

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

EFEITO DA UMIDADE E TEMPO DE CONDICIONAMENTO NAS
CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS
DE MILHO BRANCO VAR. BR 451

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final
da tese defendida por Godfrey Kalagi Kibuuka
e aprovada pela Comissão Jul-
gadora em 06.08.93.



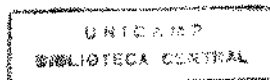
GODFREY KALAGI KIBUUKA
Engenheiro-Agrônomo

PROF. DR. AHMED A. EL-DASH
Orientador

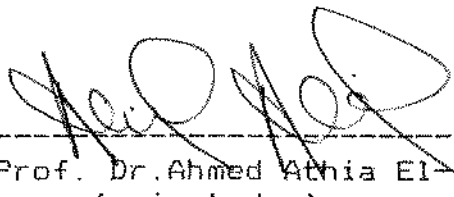
PROF. DR. INACIO M. DAL FABBRO
Co-orientador

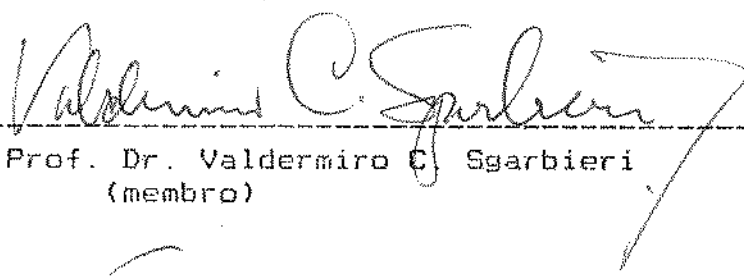
Tese Apresentada à Faculdade de Engenharia de
Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, para
Obtenção do Título de Doutor em Tecnologia de Alimentos.

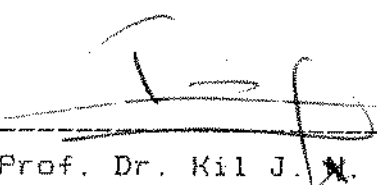
1993

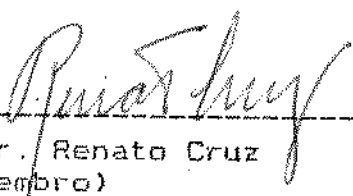


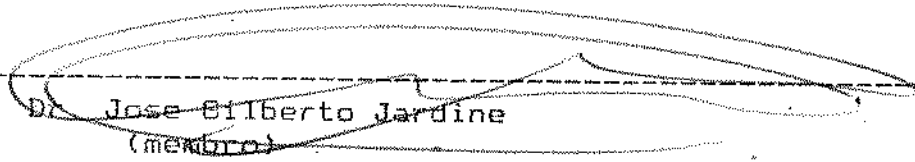
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Ahmed Athia El-Dash
(orientador)


Prof. Dr. Valdermiro C. Sgarbieri
(membro)


Prof. Dr. Kil J. N. Park
(membro)


Prof. Dr. Renato Cruz
(membro)


Dr. Jose Gilberto Jardine
(membro)


Prof. Dr. Yoon Kil Chang
(membro)


Prof. Dr. Inacio M. Dal Fabbro
(membro)

06.08.93

Dedicado a meus filhos:

Brian Gordon

Glaucia Magdalena

Samaly Sonia e

Grace Raphaela

pelo estímulo.

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar a sua profunda gratidão:

Ao professor Dr. Ahmed A. El-Dash pela sua dedicação na orientação deste trabalho.

A FEA pelas condições oferecidas para realização dos estudos e desenvolvimento de pesquisa.

Ao Colegiado do DTA e administração da UFV pela concessão de oportunidades para realização deste trabalho até sua conclusão.

Aos colegas professores Dr. Renato Cruz, Benjamin de Almeida Mendes e Dr. Helvécio J. Martins, por toda colaboração prestada.

Ao Centro de Processamento de Dados (CPD) da UFV pelo auxílio na análise dos dados.

Ao Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo (CNPMS) - EMBRAPA, Sete Lagoas pela concessão do milho necessário para realização deste trabalho.

Em especial ao Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos (CTAA - EMBRAPA) por ter permitido a execução do trabalho experimental no seus laboratórios e moinhos pilotos.

Aos colegas pesquisadores do CTAA - EMBRAPA, Laboratório de Cereais: José Emílio Campos, Moacir R. Mazzari, Dr. Rogério Germani, José Luís M. Carvalho, Maciel Rego e Elly Moura, pela sua grande contribuição na conclusão deste trabalho.

Ao Centro Nacional de Pesquisas de Hortaliças (CNPQ)- EMBRAPA, Brasília-DF pela concessão de licença de utilização do Instron Universal para os ensaios mecânicos.

A ABIA pelo auxílio no custeio das fotocópias deste trabalho.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMO.....	ix
SUMMARY.....	xv
LISTA DE ABREVIATURAS SÍMBOLOS UTILIZADOS.....	xviii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Produção e consumo de milho.....	4
2.1.1. Produção do milho no Brasil.....	5
2.1.1.1. Melhoramento de milho.....	7
2.1.1.2. Qualidade de grãos.....	9
2.1.1.2.a. Textura de grãos.....	10
i. Grãos farináceos.....	10
ii. Grãos dentados.....	12
iii. Grãos duros.....	12
b. Cor de grãos.....	14
c. Teor de proteína.....	16
2.1.2. Consumo de milho.....	20

	Pág.
2.1.2.1. Perspectivas de uso do milho nos produtos derivados de trigo.....	21
2.2. Qualidade tecnológica do milho.....	26
2.2.1. Características físicas dos grãos.....	26
2.2.1.1. Tamanho dos grãos.....	27
2.2.1.2. Forma dos grãos.....	29
2.2.1.3. Massa específica de grãos.....	30
2.2.2. Propriedades mecânicas de grãos.....	32
2.2.2.1. Dureza dos grãos.....	33
a. Métodos de avaliação de dureza de grãos.....	34
2.2.3. Processamento de milho.....	43
2.2.3.1. Moagem seca de milho.....	43
a. Limpeza de milho.....	44
b. Degerminação.....	44
c. Condicionamento de grãos.....	48
d. Moagem.....	51
i. Produtos de moagem seca	53
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3.1. Material.....	55
3.1.1. Matéria-prima.....	55
3.1.2. Reagentes.....	55
3.2. Métodos.....	56
3.2.1. Composição química da matéria-prima.....	56
3.2.1.1. Umidade.....	56
3.2.1.2. Proteína.....	56
3.2.1.3. Lipídeos.....	57

	Pág.
3.2.1.4. Cinzas.....	57
3.2.1.5. Fibra.....	57
3.2.1.6. Carboidratos.....	57
3.2.1.7. Carotenos totais.....	57
3.2.2. Propriedades físicas dos grãos.....	57
3.2.2.1. Forma e tamanho de grãos.....	58
a. Esfericidade (ψ).....	58
b. Raios de grão (R).....	58
c. Área seccional (A).....	58
d. Área de superfície (As).....	60
e. Volume dos grãos individuais (v).....	60
f. Peneira média (Fm).....	60
3.2.2.2. Massa específica dos grãos.....	60
a. Volume aparente (Va).....	61
b. Volume real (Vr).....	61
c. Massa específica aparente(ρ_b)	61
d. Massa específica real (ρ).....	62
3.2.2.3. Porosidade de grãos (x).....	62
3.2.3. Propriedades mecânicas do milho.....	63
3.2.3.1. Resistência à deformação.....	63
a. Limite linear de carga (LL)..	64
b. Deslocamento ou Deformação (De).....	64
c. Tensão θ	64
d. Deformação específica (ϵ)....	65
e. Modelo elástico de Young ou Hooke (E_1).....	65

	Pág.
f. Área seccional de grãos antes e depois da compressão.....	66
g. Energia de deformação (U)....	66
h. Deformação específica lateral (ϵ_t).....	67
i. Deformação específica axial (ϵ_a).....	67
j. Coeficiente de poisson (μ)...	67
k. Módulo elástico de HERTZ (E_2)	68
l. Índice de dureza (ID).....	69
3.3 Propriedades tecnológicas do milho.....	70
3.3.1. Degerminação de grãos de milho.....	70
3.3.1.1. Tempo de degerminação.....	70
3.3.1.2. Eficiência de degerminação de grãos de milho.....	71
3.3.1.3. Tamanhos de partículas de canjica e germe.....	72
3.3.1.4. Cálculo da área de superfície das partículas.....	72
3.3.2. Moagem experimental da canjica do milho.....	73
3.3.2.1. Características do moinho.....	73
3.3.2.2. Processo de moagem.....	75
a. Intensidade de moagem.....	78
b. Eficiência de moagem.....	79
c. Determinação da cor das farinhas.....	79
d. Tamanho das partículas.....	80
3.4. Análise estatística.....	81
3.4.1. Delineamento experimental.....	81
3.4.2. Análise dos dados.....	82

	Pág.
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
4.1. Composição química.....	85
4.2. Características físicas de grãos.....	86
4.2.1. Tamanho e forma de grãos.....	87
4.2.1.1. Classificação por tamanho.....	88
4.2.2. Volume, porosidade e massa específica dos grãos.....	88
4.3. Propriedades mecânicas de grãos.....	90
4.3.1. Deformação elástica.....	90
4.3.1.1. Energia de deformação.....	91
a. Área de curva.....	91
b. Energia de ruptura.....	92
4.3.1.2. Tensão compressiva.....	93
4.3.1.3. Deformação elástica relativa.....	101
4.3.1.4. Modelo elástico de Young (E_1).....	102
4.3.1.5. Aplicação do modelo elástico aparente de Hertz (E_2).....	104
a. Deformação específica lateral.....	105
b. Deformação específica axial...	107
c. Coeficiente de Poisson (μ)....	107
d. Estimativa de módulo elástico aparente de Hertz.....	109
e. Índice de dureza de grãos de milho.....	109
i. Limite linear de força no ponto de inflexão.....	111
ii. Deformação elástica no Ponto de Inflexão..	111
iii. Módulo de Deformabilidade.....	113

	Pág.
iv. Constante Elástica....	113
v. Estimativa do Índice de Dureza (Índice de Tensão).....	114
4.4. Propriedades tecnológicas.....	116
4.4.1. Degerminação de grãos.....	116
4.4.1.1. Degerminação preliminar.....	117
4.4.1.2. Eficiência de degerminação dos grãos em função de umidade e tempo de condicionamento.....	120
4.4.2. Moagem de canjica	136
4.4.2.1. Ajustes do moinho.....	138
4.4.2.2. Rendimento de produtos de moagem.....	139
a. Farinha de quebra.....	140
b. Farinha de redução.....	147
c. Rendimento de farinha.....	156
d. Rendimento de farelinho.....	156
e. Rendimento de farelo.....	166
4.4.2.3. Características de Produtos de Moagem.....	168
a. Distribuição de tamanho de partículas de farinha de quebra.....	172
b. Distribuição de tamanho de partículas de farinha de redução.....	174
c. Distribuição de tamanho de partículas de farelinho.....	175
d. Teor de cinza.....	178
e. Distribuição de proteína.....	181
i. Farinha de quebra...	183
ii. Farinha de redução..	189

	Pág.
iii. Farelinho.....	192
iv. Farelo.....	194
f. Amido danificado.....	195
g. Cor da farinha.....	205
i. Avaliação das caracte- rísticas da cor das farinhas.....	206
ii. Diferença de cromatici- dade na farinha de quebra.....	206
iii. Diferença de cromatici- dade na farinha de re- dução.....	211
iv. Diferença total de cor da farinha.....	216
5. CONCLUSÕES.....	224
6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	227
BIBLIOGRAFIA.....	228
APÊNDICE.....	249

RESUMO

Foi realizado um estudo para caracterização tecnológico de milho branco, variedade BR 451 visando principalmente obtenção de uma farinha que passa ser utilizada na panificação e massas alimentícias. As características investigadas incluíram, a composição dos grãos; suas propriedades físicas e mecânicas; características de deformação e moagem no moinho experimental BUHLER Modelo MLU 202 avaliados na base de eficiência de processos em função de quantidade e qualidade de produtos e influência de grau de condicionamento recebido pelos grãos antes de processamento.

Análise de composição química dos grãos demonstrou presença de 9,84% de proteínas, 5,85% de lipídeos, 3,91% de fibras, 67,44% de amido e nenhum pigmento carotenóide na sua Endosperma.

Os grãos também apresentam um comprimento de 11,64 mm, largura de 9,00 mm, espessura de 4,61 e esfericidade de 64,46%. Em função dessas características, a peneira média com furos redondos de 7,89 mm foi escolhida como a mais apropriada para classificação dos grãos. Os valores da massa específica real e aparente de grãos por sua vez foram de 1200 e 780 Kg/m³, respectivamente; correspondendo a uma porosidade de 34.61%

Avaliação de propriedades mecânicas dos grãos, principalmente a resistência a deformação com aplicação de tensão compressiva uniaxial e quase estática em função de tempo e umidade de condicionamento demonstrou que a tensão compressiva normal aos grãos até ruptura em relação a sua área seccional unitária original foi decrescente com aumento de umidade de condicionamento. Maiores tempos de condicionamento proporcionaram maiores valores de tensão compressiva. Umidades entre 14 e 16% e tempos entre 20 e 25 horas registraram o menor valor de tensão compressiva de 0,05 N/m². A deformação elástica relativa dos grãos por sua vez não foi influenciada pelo condicionamento. Cálculos de modelo elástico de YOUNG mostrou que a deformação de grãos de milho não obedeceu a lei de HOOKE, assim revelando uma possível falta de isotropicidade nos grãos de milho condicionado.

Levando em consideração a esfericidade dos grãos de milho e aplicando-se teoria de HERTZ de tensões de contatos em corpos elásticos esféricos, também não provou nenhuma influência de condicionamento recebido pelos grãos.

Calculando o módulo de deformabilidade dos grãos de milho gerou valores entre 0,2378 e 0,3404 GPa. Porém análise de regressão não apresentou evidência significativa de contribuição de condicionamento.

Procedendo os cálculos do índice de dureza para representar a resistência real dos grãos de milho a deformação apresentou valores entre 0,1353 e o 0,488 MPa. Esses resultados foram significativos a 10% de probabilidade e explicando 76.96% da variação atribuída à umidade e tempo de condicionamento. Aumentos no teor de umidade de condicionamento provocaram a diminuição na resistência dos grãos a deformação. Por outro lado, aumento no tempo de condicionamento os grãos com 14 a 16% de umidade por 20 a 25 horas, corresponderam à um índice de tensão de 160 KPa.

Degerminando-se os grãos no degerminador de facas por 10 minutos foi suficiente para eliminação do pericarpo sem provocar fragmentação expressiva de canjica. Reduziu também o teor de lipídeos para valores menores que 1% na canjica. Condicionamento dos grãos não influenciou o rendimento de canjica e germe.

Porém aumentos na umidade bem como quedas no tempo de condicionamento provocaram redução nas perdas do processo. Umidade residual na canjica foi maior com aumento no tempo e umidade de condicionamento.

Para o germe, aumentos no teor de umidade provocaram menor retenção de umidade residual, independente do tempo de condicionamento.

A área de superfície da canjica diminuiu com o tempo e nível de umidade de condicionamento, assim desfavorecendo a fragmentação da canjica. Por outro lado aumentos no tempo e umidade de condicionamento resultaram nos aumentos na área de superfície do germe até o valor máximo de $1,27\% \text{ m}^2/\text{g}$ indicando sua tendência à fragmentação.

A moagem de canjica no moinho experimental gerou quatro produtos: farinha de quebra e farinha de redução ambas com três passagens; farelinho e farelo como subprodutos. O rendimento geral de farinha foi de apenas 31.49% e distribuído em farinha de quebra com a média de 8.10% e farinha de redução com 23.39%. Esses resultados refletiram a alta resistência intrínseca de grãos de milho ao processo de moagem. Esse quadro foi influenciado pelo condicionamento de grãos com o teor de umidade na faixa de 12 a 14% e tempo de 35 a 40 horas. O rendimento de farelinho foi em média 44.85% e representou endosperma vítreo não reduzido em farinha. Aumento no teor de umidade provocou quedas no seu rendimento e vice-versa. Passando o farelinho no moinho de faca resultou em recuperação de cerca de 6,43% de farinha assim aumentando o rendimento de farinha final para 37.92%.

Apesar da degerminação ainda foi produzido uma quantidade de farelo na faixa de 18.34%, maior rendimento sendo com altos níveis e tempos de condicionamento.

Análise de teor de cinza e de proteína nos produtos de moagem demonstrou uma gradiente de distribuição de cinza e proteína crescente do centro de grão para a parte externa.

No caso de cinza, sua presença representou apenas concentração mineral nos produtos, e não as implicações comuns relacionados com presença de farelo como no caso do trigo.

A distribuição de proteína no endosperma foi responsabilizada pela alta resistência notado nos grãos tanto nos ensaios de propriedades mecânicas como no processo de moagem. Essa dureza de grãos foi também responsabilizada pelo crescente dano aos grânulos de amido notado com aumentos na porcentagem de extração de farinha.

Os grãos de milho não apresentaram pigmentos carotenoides. No entanto, as suas farinhas por fração apresentaram diferenças crescentes na diferença de cromaticidade e diferença total de cor decorrente da interação de proteína-amido nas partículas de cada produto.

Contudo, o sistema de condicionamento utilizado neste trabalho não foi suficiente para modificar o comportamento real dos grãos. Sugerimos maior investigação neste sentido para melhorar, principalmente, o rendimento da farinha de milho.

SUMMARY

A recent white corn variety, BR 451, introduced for national commercial production was analysed for technological properties connected with production of flour for use in baking and pastry products. The characteristics investigated included grain chemical composition; physical, mechanical as well as the degermination and milling properties as function of the grain moisture content and tempering time.

Chemical analysis of the grains revealed normal composition and absence of carotenoid pigments in the endosperm.

The average, grain length, width and thickness was found to be 11.6, 9.0 and 4.6 mm respectively and sphericity of approximately 67%. On basis of these characteristics a sieve, with 7.9 mm opening, was used for its classification. The real and bulk density of the grains was respectively

1200 e 780 kg/m³ while the porosity was 34.6%.

The analysis of the mechanical properties of the grains was performed on the basis of its resistance to deformation upon application of uniaxial and quase-estatic compressive tension. Increasing tempering moisture level provoked decreases in energy to promote rupture in the tempered grains. On the other hand, increased tempering time increased tension values. Moisture levels in the range of 14 and 16% and time intervals of 20 and 25 hours registered the least compressive tension values 0.05 N/m².

The relative elastic deformation was proved insignificant in relation to the tempering received. The elastic model of young was also inaplicable to the results. This lack of hookean law adjustment reflected a non-isotropic state of the tempered corn grains.

Considering the spherical nature of the grains and applying the theory of contact tension in spherical elastic bodies according to HERTZ, an apparent elastic model for the tempered corn grains was developed. It also did not reveal any influence to tempering conditions received by the grains.

Calculating the apparent elastic model using the compressive force and elastic deformation values at the point of inflection of the force-deformation curve, produced value for the deformability modulus between 0.2378 and 0.3404 GPa. Similary, there was no statistical significance contributed by the tempering conditions. Calculating the hardness index for the grains resulted in values ranging

from 0.1353 to 0.2188 MPa, significant at a level of 10% probability and corresponding to 10% the observed variation caused by tempering. Moisture levels of 14 to 16% and tempering durations from 20 to 25 hours resulted in stress index values of 160 KPa.

Degermination for 10 minutes was sufficient to eliminate the pericarps and germ without excessive endosperm fragmentation. The residual endosperm lipid content was reduced to levels below 1%. Tempering moisture and time did not influence the degermination products. However, increases in moisture level as well as reduction in tempering time resulted in lowering degermination losses.

Increases in the tempering moisture level provoked loss of grain resistance to deformation. On the otherhand increases in tempering time implied increasing the grain hardness.

Experimental milling produced three types each of bran and reduction flour: fine and coarse bran as products. The total flour yield was low varying between 28.3 and 33.9% as a consequence of the high grain mechanical resistance. Bran flour corresponded to 8.10% and the reduction flour to 23.4%. Tempering with 18% of moisture and gradual increases in time were favorable for higher flour yields. Moisture levels between 12 and 14% and tempering times of 35 to 40 hours showed lower yields. Low flour yield values were reflected in an increase in bran yield. This was attributed to presence of vitreous endosperm which was not reduced to flour during reduction step of the milling process. Further

milling of the bran fraction in the attrition mill recovered 6.4% as flour, thus increasing the total flour yield to a range of 35.1 and 40.3%.

Analysis of ash and protein of flour fractions revealed a gradual and crescentic distribution from the centre of the endosperm to its outer layer. However, the ash content of the flour fractions was not related to flour colour as usually observed in wheat milling.

Although corn grains demonstrated absence of pigments in the endosperm, analysis of difference in chromaticity and total colour difference for each flour fraction showed increased values with increase of degree of extraction, probably due to increasing protein concentration in the centre layers of endosperm.

The pattern of protein formation in the endosperm may be responsible for its high resistance to deformation, and the observed increase in starch damage upon increasing flour extraction.

The results of this study demonstrated that grain hardness exercised a great influence on the process of milling the corn grains and its flour yield.

It is recommended to carry out more investigations to elucidate more about the control of mechanical characteristics of grains during the milling process as a means to improve the flour yield.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS UTILIZADOS

N	=	Newton
m	=	Metro
E	=	Modelo Elástico de Young (N/cm^2)
θ	=	Tensão Normal (N/m^2)
ϵ	=	Deformação Específica Relativa
P ou F	=	Carga (N)
A	=	Área (m^2)
D_e	=	Deformação Elástica (m/m)
H ou C	=	Espessura (m)
h	=	Hora
a	=	Comprimento (m)
b	=	Largura (m)
R	=	Raio (m)
μ	=	Coefficiente de Poisson
Φ	=	Esfericidade (%)
d	=	Diâmetro (m)

D_p = Diâmetro Médio (cm)

SI = Índice de Tensão (dureza)

E_2 = Modelo Elástico Aparente de Hertz (N/m^2)

E_3 = Modelo de Deformabilidade (N/cm^2)

K^0 = Constante para Forma Cônica

f^0 = Constante para Forma Esférica

M = Massa (kg)

δ = Massa Específica Real (kg/m^3)

δ_b = Massa Específica Aparente (kg/m^3)

X = Porosidade (%)

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o milho é considerado na agricultura nacional uma cultura de grande importância agronômica e econômica; ocupando a maior área plantada, distribuído de norte a sul do país. É responsável pelo maior emprego de mão-de-obra no setor rural, e produto de alimentação básica em classes de baixa renda tanto nas zonas rurais como nos centros urbanos.

Em decorrência disso, o milho é considerado uma cultura prioritária na política agrícola do país. Maiores esforços têm sido direcionados para aumentar sua produção através da abertura de novas fronteiras agrícolas onde ainda é possível, geração de cultivares cada vez mais produtivos e adaptados às mais variadas condições ecológicas do país, bem como via modernização das práticas agrícolas.

Seleção em favor de melhor qualidade dos grãos, do ponto de vista da textura, aspecto, sabor e valor

nutricional tem sido em bases apenas subjetivas. Preferência específica tem sido direcionada para os cultivares que gerem grãos dentados e de coloração amarelada. De todas as alterações genéticas que têm influenciado a qualidade tecnológica de grãos de milho e sua utilização pode-se citar, principalmente, as mudanças na textura de grãos devido às modificações na quantidade e qualidade de proteínas, bem como na mudança do aspecto de grãos devido às alterações da cor do endosperma.

Os grãos farináceos possuem endospermas mecanicamente moles e mais susceptíveis tanto à fragmentação provocada por impactos normais sofridos durante os manuseios pós-colheita e no processamento, bem como à infestação por carunchos.

Os cultivares de milho dentados geram grãos com endosperma de uma indefinida gama de durezas e são, no entanto, os mais preferidos e produzidos no mercado brasileiro.

Os grãos duros (flints), por sua vez, são comparativamente mais resistentes à deformação mecânica, o que pode implicar no consumo elevado de energia durante os processos de sua transformação em produtos industrializados. Entretanto, maior dureza oferece alta resistência ao ataque por caruncho, assim minimizando as perdas pós-colheita deste tipo de grãos. Entretanto, a implantação de programas de melhoramento de milho no país, utilizando-se germoplastas dentados para obtenção de híbridos comerciais, vêm contribuindo para a eliminação gradativa dos milhos duros do mercado.

Com o advento de programas de tecnologia de farinhas mistas, aliadas ao problema de abastecimento interno com o trigo, para fins de panificação, novos cultivares de milho constituídos de grãos brancos têm sido pesquisados e lançados para produção comercial. Empresas de sementes de milho, tanto do governo como privadas, têm estado engajadas neste esforço. Consequentemente, uma variedade de milho branco, BR 451, mutante de opaco-2, desenvolvido pelo Centro Nacional do Milho e Sorgo (CNMS - EMBRAPA, Sete Lagoas-MG) foi liberada para a produção comercial. Isto foi baseado nas comprovadas boas características agronômicas, melhorada composição química e qualidade nutricional, bem como na coloração branca de seus grãos. Devido à sua natureza morfológica e composição, os grãos de milho devem sofrer processamento específico antes de sua utilização. Foi objetivo deste trabalho, avaliação das propriedades tecnológicas desta nova variedade de milho branco, principalmente as suas características ligadas à obtenção da farinha. Essa informação pode vir auxiliar para amenização da problemática de trigo, que mesmo com a retirada dos subsídios ainda continua oferecendo ameaças no abastecimento de produtos derivados no mercado nacional.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Produção e Consumo de Milho

O milho é um dos cereais mais importantes cultivados no mundo, sendo suplantado apenas pelo trigo e arroz (FAO, 1988). Ocupa a terceira posição tanto em área semeada como na produção global. No entanto, fornece quantidades de Kcal/hectare maiores que os demais, ou seja, 4,9 milhões de Kcal/hectare para o milho, 4,2 milhões de Kcal/hectare para o arroz e 3,2 milhões de quilocalorias/hectare para o trigo.

A produção de milho nos principais países produtores até hoje tem sido para atender o consumo interno. Apenas 10% da produção tem entrado no comércio internacional (FEIXOTO et alii, 1990). Entretanto, essa pequena proporção tem sido responsável por mais de dois terços do total do volume comercial mundial de grãos.

Considerando que o consumo de milho está ao redor de 90 kg/ano/habitante e que o teor médio de proteína do milho se situa em 9,5%, ele contribui com cerca de 42 milhões de toneladas de proteína, o que corresponde a 15% da produção mundial de proteínas (PEIXOTO et alii, 1990; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988). Portanto, é uma fonte representativa de proteínas. Entretanto, sua proteína é considerada de baixa qualidade por ser deficiente em lisina, triptofano e desproporcional no seu conteúdo de leucina e isoleucina. Esses aminoácidos são essenciais para os monogástricos incluindo o homem (ROGLER 1988; JORQUIN, et alii 1970; WILLIAMSON, 1975). Considerando a grande importância do milho como fonte alimentar, esses problemas estão sendo solucionados pelo desenvolvimento de variedades com melhor qualidade protéica (PEIXOTO et alii, 1990; ORTEGA e BATES, 1983; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988).

2.1.1. Produção do milho no Brasil

O cultivo do milho no Brasil é tradicional e foi muito importante para a subsistência das tribos indígenas (CONAGIN e JUNQUEIRA, 1966; GOODMAN, 1987).

O crescimento da população, aliado às suas necessidades alimentares, tem influenciado a produção de milho. Tanto o volume total do produto, bem como a extensão da área ocupada pela cultura, tem aumentado gradativamente (IBGE, 1970/89). Atualmente, centenas de milhares de pessoas são envolvidas na produção, comercialização e transformação do milho em diversos produtos, representando

assim o seu grande papel sócio-econômico (EMBRAPA, 1981; MONTEIRO, 1990; GARCIA, 1986).

Segundo MONTEIRO (1990) entre os fatores que têm influenciado aumentos na produção de milho nacional, estão incluídos a difusa distribuição geográfica da cultura, tamanho da propriedade e fração dessa alocada à produção de milho. O milho é uma cultura bem adaptada às condições edafo-climáticas do país, em razão disso, é produzido em todo o território nacional. No entanto, ocorrem algumas limitações climáticas, principalmente no nordeste, que ocasionam baixos rendimentos assim forçando a concentração da produção de milho nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do país. Porém, segundo VIEGAS (1989), ultimamente, os esforços de melhoristas têm sido no sentido de programas específicos para maior adaptabilidade dos cultivares.

Aumentos na produção do milho, tem sido mais relacionados com incrementos na produtividade do que acréscimos na área ocupada pela cultura.

A área média ocupada por milho nos últimos 10 anos tem sido 12 milhões de hectares, correspondendo a 58,41% de área total de cereais (milho, arroz, trigo e sorgo). Os outros produtos agrícolas importantes como soja, o arroz e o feijão produzidos na mesma época ocupam a segunda, terceira e quarta maior área, respectivamente (IBGE, 1979/89). Apesar desta expressiva área plantada, o milho brasileiro apresentou uma produtividade de apenas 1.770 kg/ha em 1979 e de perto de 2.000 kg/ha em 1989, valores bastante inferiores aos de outros países como os Estados Unidos da

América cuja média de produtividade é superior a 6.000 kg/ha (FAO, 1979/88). Essa baixa produtividade pode ser explicada, entre outros fatores, pela falta de otimização do plantio do milho, conforme confirma MANTOVANI et alii (1990).

Em termos de quantidades absolutas, a produção nacional chegou a 16,30 milhões de toneladas em 1979. A safra de 1981/82 registrou, contudo, maiores quedas devido a condições climáticas desfavoráveis. Entretanto, a produção de milho vem registrando volumes anuais correspondentes a 60% do total de produção nacional de cereais, assim refletindo a sua importância no país.

2.1.1.1. Melhoramento de Milho

Os cultivares tradicionais de milho nacional apresentaram plantas de portes elevados, espigas finas e alongadas, baixa produtividade e com qualidade e cor de grãos variadas. Dominaram a produção e continuaram assim mesmo com o advento dos colonizadores (CONAGIN e JUNQUEIRA, 1966; BRIEGER et alii, 1958; PATERNIANI e GOODMAN, 1978; BRIEGER e BLUMENCHEIN, 1966). Os produtores usaram as melhores espigas selecionadas da produção corrente para o plantio da safra seguinte (FANCELLI e LIMA, 1984). Com o crescimento na demanda alimentar tanto para utilização humana direta como para a produção agropecuária, face a baixa produtividade dos cultivares existentes, tornou-se necessária a introdução e, desenvolvimento de novas cultivares para aumentar a produção (BRIEGER et alii, 1958).

Segundo VIEGAS (1989), há cinco décadas que começaram a se instalar no país programas de melhoramento da cultura de milho. Os trabalhos têm se concentrado nas áreas de melhoramento genético, gerando novos cultivares, além da otimização de controles fitotécnico e fitossanitário (PATERNIANI, 1966; VIEGAS, 1989; EMBRAPA, 1981).

Tanto o Governo Federal como os Estaduais, têm conjugado esforços para melhoramento e geração de cultivares de milho para melhores produtividades. Variedades indígenas, como Cateto, Cristal e outros cultivares, oriundas de diversas partes do mundo, como o Tuxpenõ, originária do México, têm sido utilizadas para desenvolver cultivares novos, com maior resistência ao acamamento, resistência às doenças, pragas, restrições térmicas e hídricas, adaptadas à colheita mecânica, mais eficientes fotossinteticamente, além de apresentarem macho-esterilidade parcial e boa coloração de grãos (PATERNIANI, 1966; PEIXOTO et alii, 1990; MIRANDA, 1966; GOODMAN e SMITH, 1987; VENCOSKY e TORRES, 1986; VENCOSKY et alii, 1986. Uma grande gama de cultivares tem sido gerada como híbridos para maiores índices de produtividade (VIEGAS, 1989).

Os milhos atualmente produzidos no país têm ciclos normais e precoces. Todos têm como um dos progenitores o milho Tuxpenõ ou Tuxpenõ melhorado. A grosso modo, 67% (2/3 parte) são híbridos de ciclo normal de plantas altas ou mais modernos, de porte reduzido. Na sua grande maioria (41%) o outro progenitor é Cateto. Os restantes são obtidos com outro progenitor "Flint" da Colômbia (10%), Dentado Rio

Grandense (9%) ou Caribe (7%). Dentre os precoces (33%) do total e 13% são utilizados como outro progenitor: Dixie ou milhos do "Corn Belt" (17%), Cateto (9%), Dentado Rio Grandense (3,5) e Caribe (3,5%).

Seleção em favor de qualidade de grão tem sido restrita ao peso ou rendimento total alto de grãos com a coloração amarelada, preferidos na fabricação das rações (WATSON, 1960; PAPA e FLEICHER, 1985; BRANDEL, 1987). Recentemente, com o objetivo de obtenção da farinha branca para substituição parcial da farinha de trigo utilizada na panificação, têm sido desenvolvidos alguns cultivares específicos com a coloração branca (EMBRAPA, 1976/77; WIGEL e ZINSKY, 1978; PEIXOTO et alii, 1990).

2.1.1.2. Qualidade de Grãos

A qualidade de grãos obtidos das diversas variedades de milho difere muito devido às influências genéticas e de ambiente sobre a estrutura e composição dos grãos. Diferenças mais comuns envolvem vitreosidade ou opacidade de endosperma, tamanho relativo de germe, espessura de pericarpo e cor de grãos (ROBUTTI et alii, 1974; ZUBER e BORRAH, 1988; BRANDEL, 1978; HAMILTON et alii, 1951).

De todas alterações genéticas que têm influenciado a qualidade tecnológica dos grãos de milho e sua utilização no mercado pode-se citar as mudanças na textura de grãos devido às alterações na quantidade e qualidade de proteína e a mudança no aspecto de grãos devido às alterações da cor do endosperma.

2.1.1.2.a. Textura de grãos

Segundo WATSON (1988b) os grãos de milho podem ser classificados como farináceos, dentados e duros ou vítreos. É uma classificação subjetiva baseada na textura do endosperma dos grãos, porém referenciando a natureza mecânica dos grãos como imposto pela distribuição e grau da interligação entre os grânulos de amido e a matriz protéica constituindo o endosperma.

1. Grãos farináceos

O caráter farináceo apresentado por alguns cultivares de milho é monogênico, sendo controlado pelos genes recessivos fl_1 , fl_2 , O_1 , O_2 , e O_7 (BRANDEL, 1978). Os grãos deste tipo de milho geralmente apresentam-se redondos com coroas retas e possuem endospermas mecanicamente moles. Seu teor de proteína é geralmente baixo apesar de também depender muito do regime de adubação nitrogenada (CHRISTIANSON et alii, 1951). Isto em parte explica a textura mole de seu endosperma. Os grãos deste tipo de milho são menos densos, quando comparados com dos demais cultivares. Portanto, registram-se rendimentos comparativamente baixos (MERTZ et alii 1964; ORTEGA e BATES, 1983).

A textura mole dos grãos pode também representar suscetibilidade dos grãos a uma série de problemas tais como facilidade de infestação por carunchos, nas fases de pré-colheita e durante a estocagem (MATIOLI et alii, 1986,

SANTOS et alii, 1983, 1986 e 1986b; MIRANDA, 1986; MARTINS et alii, 1985). Para muitos outros pesquisadores como POMERANZ et alii (1984 e 1985), PEPLINSKI et alii (1989, 1984 e 1983), MOREIRA et alii (1981a e 1981b), JINDAL e MOHSENIN (1978) e MILLER et alii (1981a e 1981b), grãos moles são mais sujeitos a fragmentação provocada pelos impactos durante a colheita mecânica, transporte pneumático; assim influenciando a sua qualidade comercial.

Os grãos farináceos também representam problemas para o processo de moagem a seco do milho (BREKKE et alii, 1961 e 1963). No Brasil, como consequência das existências, no passado, de apenas grãos duros originários das cultivares de milho tradicional, foi eliminada a etapa de condicionamento dos grãos antes do processo de degerminação. Em algumas indústrias de moagem seca do milho, devido a natureza mole do seu endosperma, os grãos farináceos apresentam dificuldades na eliminação do pericarpo durante a degerminação. Ocorre nesta etapa fragmentação excessiva do endosperma em fubá e quirera, assim contribuindo para diminuição da eficiência do processo (ABDELRAHMAN e HOSENEY, 1984; TRAN et alii, 1981). Entretanto, o caráter farináceo é benéfico no processo de moagem úmida de milho que normalmente exige longas horas de maceração ácida e a uma temperatura que pode chegar a 56°C (WATSON, 1967; WATSON e YAHL, 1967; COX et alii, 1944).

Tem sido observado que os mutantes apresentando os genes recessivos O_1 , O_2 e O_7 , além de apresentarem grãos moles, também possuem um caráter opaco. Segundo ROBUTTI et

alii (1974) e ZUBER e DORRAH (1987), a opacidade dos grãos deve-se ao fato de que, durante a secagem, os grânulos de amido deixam, à sua volta, bolsas de ar que provocam refração interna da luz dentro do endosperma, gerando, assim, um aspecto opaco do grão.

Uma outra característica importante observada no milho opaco é que o valor biológico da sua proteína é melhor que do milho comum (JORQUIM et alii, 1970; BELAVADY, 1975; DE MUELENAERE e FELDMAN, 1960). Isto é em decorrência de um teor maior de aminoácidos essenciais, principalmente lisina e triptofano. Também, a proporção dos aminoácidos leucina e isoleucina está mais balanceada, assim melhorando a bioutilização da leucina cuja absorção pelo organismo é normalmente desfavorecida pela improporcionalidade dos dois aminoácidos no milho comum.

Apesar destas qualidades nutricionais que o milho opaco apresenta sobre o milho comum, não tem alcançado prioridade para produção comercial em decorrência do seu baixo rendimento agrícola e da suscetibilidade de seus grãos moles à infestação por caruncho, muitas vezes ocorrendo antes de efetuar-se a colheita.

ii. Grãos dentados

Cultivares de milho dentado, por sua vez, são originários de cruzamentos genéticos entre linhagens de cultivares duros e farináceos, assim produzindo grãos de uma indefinida gama de durezas de seu endosperma. É um caráter dominante e poligênico (BRANDEL, 1978) apesar de poder ser

influenciado por elementos de ambiente como a concentração hídrica, insolação e regime de adubação nitrogenada (HAMILTON et alii, 1951).

De acordo com WATSON (1988), os grãos de milho dentado apresentam o peso médio entre 248 e 252 mg; esfericidade de 0,62 a 0,65; densidade aparente de 400 a 460 kg/m³; peso específico real de 1,26; porosidade de 42.3% e retenção de 38 a 42% na peneira com furos redondos de 8.33 mm de diâmetro ou oblongos de 4.76 mm. Esses cultivares são mais preferidos e produzidos no mundo. A raça dos dentados mexicanos, principalmente o Tuxpenõ e seus derivados, foram introduzidos tanto no Brasil como no Chile e na Argentina e têm sido amplamente utilizados ao lado do Cateto (cultivar duro) como progenitores dominantes nos programas de melhoramento do milho (VIEGAS, 1989; CONAGIN e JUNQUEIRA, 1966; GOODMAN, 1978).

iii. Grãos Duros

Existem ainda cultivares que produzem grãos duros (vítreos ou cristalinos). Esses grãos apresentam endospermas com uma forte interligação entre os grânulos de amido e matriz protéica. É uma característica controlada por poligenes dominantes (GOODMAN, 1978).

Segundo DURVICK (1961), a matrix protéica desses grãos é mais densa e permanece intacta mesmo durante o processo de secagem. Os grânulos de amido ficam comprimidos em formas poliédricas e distribuídos com os de tamanho maior na parte central enquanto que os de tamanho menor ficam para

as camadas superiores do endosperma (GOODMAN e SMITH, 1987; WOLF et alii, 1967 e 1969).

Os milhos tradicionais, Cateto e Cristal, pertencem a este tipo. Vale ressaltar que com a implantação de programas de melhoramento de milho no país com a utilização de germoplasmas dentados para produção de compostos e híbridos comerciais, vêm sendo eliminados gradativamente do mercado os milhos duros (GOODMAN e SMITH, 1987; VIEGAS, 1989).

Por possuir grãos duros, este milho oferece alta resistência aos ataques de caruncho (METIOLI et alii, 1986), além de ser menos suscetível a danos mecânicos (POMERANZ et alii, 1984; MILLER et alii, 1981a e 1981b). Porém sua alta resistência à deformação mecânica pode implicar em consumo elevado de energia durante os processos envolvidos na transformação dos grãos em produtos na indústria (BREKKE et alii, 1961 e 1963; PEPLINSKI et alii, 1984; TRAN et alii, 1981).

b. Cor dos grãos

A coloração dos grãos de milho pode ser branca, amarela, vermelha, roxa, riscada ou pintada em várias tonalidades. Essas cores podem ocorrer em diversas partes do grão como no pericarpo, aleurona, endosperma e germe (ZUBER e DORRAH, 1987; BRANDEL, 1987).

O gene "Y" (amarelo) é que condiciona a cor amarela dos grãos de milho amarelo e dominam a forma recessiva "y" que dá a cor branca. Os pigmentos controlados por estes

genes estão localizados no endosperma do grão (WATSON, 1962).

O endosperma pode apresentar quatro constituições genotípicas com relação ao gene "Y". O genótipo "yyy", tem a cor branca e os outros três tipos apresentam uma intensificação da cor amarela em direção a cor laranja com o aumento nos genes "Y". Deste modo, genótipos "yyy" são brancos, "Yyy" são amarelos, "YYy" são amarelo-alaranjado e "YYY" são de cor laranja.

Quanto maior a proporção do gene Y no endosperma é maior também a proporção de vitamina A ou seu precursor caroteno e carotenóides totais. Para as xantofilas ocorre um aumento em progressão geométrica (BRANDEL, 1987).

Os milhos que possuem maior número de genes "Y" no seu endosperma são mais nutritivos do ponto de vista de vitamina A e de pigmentos carotenóides e xantofilas, preferidos para fabricação de rações agropecuárias (CONAGIN e JUNQUEIRA, 1966; PAPA e FLETCHER, 1975; KUZWICKY et alii, 1968). Na produção de frangos de abate e postura, a coloração amarelo-laranja na ração é conferida pela xantofila à pele e penas dos frangos e à gema de ovos. A coloração amarela nesses produtos é um caráter muito apreciado no mercado consumidor. No caso de produção de leite os pigmentos do milho na ração também contribuem para melhor coloração e sabor apreciado do creme e manteiga (HARTMAN e DRYDEN, 1974). De acordo com HEMKEN e BREMEL (1982) β -caroteno apresenta também um importante papel na reprodução. Portanto, em função desses importantes atributos de qualidade, os cultivares de milho

amarelo são os mais utilizados para a produção comercial.

Para atender usos específicos de milho como a produção de canjicas e farinhas de milho para substituição parcial de farinha de trigo, alguns cultivares de milho branco têm sido desenvolvidos usando-se material geneticamente portador de genes para coloração branca dos grãos. O Centro Nacional de Milho e Sorgo (CNMS-EMBRAPA, Sete Lagoas-MG) vem desempenhando trabalhos nesse sentido. Algumas variedades de milho branco, como CMS-XM 604, já foram desenvolvidos para produção comercial. Recentemente a mesma empresa liberou sua outra nova variedade branca BR 451 para produção extensiva no país (PEIXOTO et alii, 1990; PAIVA, 1990).

c. Teor de proteína

O teor protéico de grãos de milho é hereditário, mas também pode ser influenciado pelos tratos culturais como o regime de adubação nitrogenada (HAMILTON et alii, 1951; ZUBER e DORRAH, 1988). A variação no teor de proteína entre os cultivares tem sido entre 4,4% e 26,6% com valores médios de 9 a 11% (BRANDEL 1987; JOHNSON, 1974). Apesar desta grande variação os melhoristas não têm demonstrado muito interesse em desenvolver híbridos com potenciais protéicos altos; uma vez que existe uma grande gama de fontes alternativas de proteínas mais econômicas para suplementar à do milho e seus produtos derivados.

Nos seus estudos básicos sobre a proteína do milho, DUVICK (1961) seccionou os grãos de milho e revelou com

auxílio de exame microscópico, que a proteína de milho existe na forma de matriz na qual estão impregnados os grânulos de amido e corpúsculos protéicos esféricos com tamanho médio de 2 μ m.

Estudos histológicos posteriores de WOLF et alii (1967) demonstraram que zeína, uma proteína solúvel em álcool, é o principal componente dos corpúsculos protéicos. Estes resultados foram confirmados pelo trabalho de CHRISTIANSON et alii (1951) no qual foi constatada a presença de corpúsculos protéicos, atuando como sítios de armazenagem da proteína zeína. Provaram também que a proteína da matriz é parecida com as glutelinas, sendo solúveis em soluções diluídas de álcali e insolúveis em outros solventes, assim provando a proteína da matriz como sendo estrutural.

ROBUTTI et alii (1974) analisaram uma grande gama de cultivares de milho normal, opaco-2 simples e opaco-2 modificado quanto aos seus teores totais e distribuição de proteínas e conteúdo de aminoácidos. Foi constatado o menor teor de proteína no milho opaco-2 simples do que no milho opaco-2 modificado; e que o teor de proteína de opaco-2 modificado era igual ou maior do que do milho normal. Seu trabalho demonstrou também que existe maior diminuição na quantidade, tamanho e na distribuição dos corpúsculos protéicos no endosperma de milho opaco-2 comparado com o milho normal. Este trabalho confirmou os resultados obtidos anteriormente por HAMILTON et alii (1951), LAMBERT et alii (1969) e WOLF et alii (1967).

MERTZ et alii (1964) provaram também que milho com gene O_2 apresenta redução no teor de zeína (proteína reserva) no endosperma em favor de glutelina (proteína estrutural). Assim explicando os aumentos nos teores de aminoácidos, lisina e triptofano. O mesmo fenômeno se repete nos mutantes de constituição genética f_{12} e O_7 (ZUBER e DORRAH, 1988). Portanto, a incorporação dos mutantes f_{12} , O_2 e O_7 no milho contribui para a melhoria do seu valor nutricional (BELAVADY, 1975; CLAUSI, 1971; DE MUELENAERE e FELDMAN, 1960; JORQUIN et alii, 1970; ROGLER, 1988). Entretanto, a presença das características indesejáveis desse tipo de milho como: baixa densidade de grãos fazendo com que o milho opaco-2 fosse sempre menos produtivo que o normal; alta suscetibilidade a pragas tanto no campo quanto nas unidades de armazenagem; tempo de secagem mais longo que do milho comum; aparência opaca de seus grãos diferente do aspecto vítreo com o qual os produtores estão acostumados; tornou o cultivo comercial de milho opaco um insucesso (BRANDEL, 1978 e PEIXOTO et alii, 1990). Como consequência vários esforços no mundo inteiro vêm sendo realizados na busca das alternativas que eliminassem os fatores indesejáveis associados ao gene opaco-2, mantendo ao mesmo tempo sua contribuição para o valor nutricional do milho (BRANDEL, 1978; PEIXOTO et alii, 1990).

A linha de trabalho adotada foi da utilização de genes modificadores "h" (genes que por si só não expressam um caráter, mas que influenciam a maneira com que um gene

maior, no caso do opaco-2, se expressa). O Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT) vem realizando trabalhos nesse sentido (ORTEGA e BATES, 1973 e NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988). Depois de seis a sete ciclos de seleção recorrente foi possível obter-se cultivares estáveis de milho opaco-2 com endospermas vítreos e de altos teores de lisina e triptofano na sua proteína. Esses progressos na seleção foram acompanhados de melhoria de produtividade, resistência a doenças e pragas e aumento significativo na densidade de grãos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988).

Em 1983 o Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo (CNPMS/EMBRAPA) introduziu no Brasil 23 variedades de milho opaco-2 vítreo ou também chamado "Quality Protein Maize"(QPM), provenientes do CIMMYT, México. Esses cultivares desde então vem sendo selecionados para características agronômicas desejáveis e verificada sua adaptação à diferentes regiões do país. De todos os cultivares testados a CMS 451 ou BR 451, e portador de grãos brancos mostrou boas características agronômicas como baixa altura de plantas, alta resistência ao quebramento e acamamento e boa produtividade.

Esse cultivar portanto foi escolhido e lançado para a produção comercial a partir do ano agrícola de 1988 (MAGNAVACA et alii, 1988).

2.1.2. Consumo de milho

O milho é um cereal consideravelmente palatável e de fácil digestão tanto para o homem quanto para os animais monogástricos e ruminantes. Segundo MORSINK (1970) é um grão de excelente fonte de energia metabolizável.

Cerca de 85% do milho produzido nos países desenvolvidos é utilizado para alimentação animal, 10% para consumo humano direto e apenas 5% para uso industrial. Os países subdesenvolvidos por outro lado utilizam até 75% de sua produção diretamente para alimentação humana; sendo apenas 25%, destinado para formulação de rações (FANCELLI e LIMA, 1984; BENSON e PEARCE, 1987).

No Brasil, o consumo de milho é um hábito tão antigo quanto a história do país, e espalhado em todos os cantos do país onde a forma de consumo se manifesta de uma simples polenta gaúcha, passando pelo angu mineiro até industrialização em rações balanceadas para alimentação animal, e produtos para consumo humano na forma de canjica, quireira, fubá ou farinha, amido e derivados diversos (NOGUEIRA et alii, 1986, FANCELLI e LIMA, 1984; LOPEZ e PARADIS, 1983).

Já existe cerca de 500 produtos derivados do milho conhecidos. Muitos desses se prestam a diversos empregos em diferentes indústrias.

Segundo análises feitas por MONTEIRO (1990), cerca de 60% do consumo total do milho nacional é destinada para consumo comercial, 30% retido no meio rural e 10%

perdido através de manuseios pós-colheitas.

Segundo IBGE (1970-88), a participação do milho em grão na pauta de divisas foi expressiva até 1977, passando o país a ser importador de milho a partir de então por causa de fracassos nas safras, inexistência de estoques reguladores e crescente evolução dos rebanhos avícola e suínos (EMBRAPA, 1981). Devido à boa qualidade da carne de frangos brasileiros que chega a superar a de países de peso no cenário mundial como Holanda, França e Estados Unidos da América, grandes volumes desta carne têm sido exportados para o Oriente Médio, Iraque em especial. Assim, o milho, na realidade tem sido exportado sob forma de carne de frango o que colocou o Brasil entre os quatro maiores fornecedores mundiais dessa fonte de proteína.

2.1.2.1. Perspectivas de uso do milho nos produtos derivados de trigo

O trigo constitui um elemento significativo na dieta diária do brasileiro. É consumido na forma de produtos de panificação como pães, bolos, biscoitos e diversos produtos de confeitaria. A sua farinha origina também massas alimentícias como macarrão, lasanha, pizzas e uma infinidade de produtos salgados de consumo popular. Apesar das medidas tomadas ao longo dos anos, influências de ordem edafoclimática política e econômica tem impedido que o país alcance auto suficiência neste grão (EMBRAPA, 1983; FURTADO, 1989; EL-DASH, 1983). Em média, cerca de 18% da produção anual de trigo tem sido utilizado como

semente para plantio da safra seguinte. A sobra correspondendo cerca de 40% do consumo nacional tem sido distribuído para moagem nos moinhos para abastecimento interno.

Devido os deficits anuais no abastecimento tem sido necessário recorrer a importação do trigo americano, canadense, argentino e francês. No início da década de oitenta, importação de trigo americano e canadense era dominante. A partir de 1986 o país passou a utilizar mais o trigo argentino.

Essa importação de trigo estrangeiro tem propiciado gastos cada vez maiores de divisas e subsídeos (EDITORIAL REV.M.PAN., 1980; EDITORIAL J.SP,1980; ZANDONADI, 1985; MARTINS, 1985).

Tentativas de estimular a produção nacional têm sido implementadas através de premiação de produtores com cifras de preços maiores que os aplicados para o trigo importado.

Nem assim têm conseguido equacionar o problema a uma solução viável de abastecimento (ZANDONADI, 1980; EMBRAPA, 1983; FURTADO, 1989).

Vários trabalhos de pesquisas têm sido realizados para propor uma solução viável e definitiva ao problema de abastecimento com a farinha de trigo e seus derivados. Farinhas de várias procedências têm sido testadas em substituição parcial de farinha de trigo no preparo de diversos produtos (MAZZARI et alii, 1982; VITTI et alii, 1980; LEITÃO et alii, 1970; VITTI, 1970).

Os níveis de substituição alcançados têm oscilado devido às influências impostas pela variação na qualidade do trigo da farinha, uso irregular de aditivos, métodos de processamento empregados, tipos de produtos derivados e fonte de matéria-prima alternativa empregada para substituir a farinha de trigo (EL-DASH, 1982 e 1983).

As farinhas consideradas de maior viabilidade para substituir a de trigo têm sido as de milho comum e desengordurada, farinha de soja desengordurada, farinha de mandioca e de sorgo (EL-DASH, 1983).

As investigações sobre a viabilidade de uso do milho para substituição da farinha de trigo na panificação têm sido numerosas. Segundo os trabalhos de GOERING et alii (1974), HOSENEY et alii (1971) e RASPER et alii (1974), o milho possui amido com características visco-amilográficas diferentes da farinha de trigo, apresentando uma temperatura inicial de gelatinização mais elevada que a do trigo. No entanto, sua viscosidade máxima é intermediária, dando origem à obtenção de pães com qualidade inferior; porém bolos e biscoitos com qualidade aceitável (SDLLER e RUBENTHALER, 1971; SANDSTEDT, 1961).

Submetendo-se a farinha de milho à pré-gelatinização gerou resultados satisfatórios na panificação (VITTI, 1970; BAR 1970, VAN DER MADE, 1970). Segundo VITTI (1970) essa melhoria pode ser atribuída às mudanças na qualidade física da farinha de milho ocasionando aumento na absorção de água, e retenção do ar na massa assim produzindo bolos úmidos e de bom volume.

BALLCHMEITER e ULIESTRA (1963) com o uso de 1% de gordura vegetal hidrogenada e 50 mg de ácido ascórbico por kg de farinha de milho, conseguiram obter pães de boa qualidade com até 25% de substituição de farinha de trigo por fubá de milho. Usando em adição 6 mg de enzimas alfa-amilase por kg de farinha e 3% de fermento biológico, conseguiram elevar o nível de substituição para 50%.

BUSHUK e HULSE (1974) observaram que a substituição da farinha de trigo por 20% de fubá na presença de 0,5% do condicionador EMPEX melhorou a granulação de miolos e volume dos pães obtidos.

Os resultados da pesquisa realizada por MAZZARI et alii (1982 e 1983) no qual o fubá de milho branco foi utilizado para substituir as farinhas especiais de trigo constituídos por 10, 20 e 50% de trigo nacional e o resto por trigo importado; mostraram que poderiam substituir até 10% de farinha de trigo final por fubá cru. Submetendo fubá ao processo de pré-gelatinização por extrusão não demonstrou vantagens práticas na qualidade final do pão.

A partir de 1979 foi desenvolvida uma pesquisa conjuntamente pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) e as Indústrias Reunidas Francisco Matarazzo, objetivando viabilizar a produção de farinha desengordurada de milho (FDM) para ser empregada na substituição parcial de farinha de trigo nos produtos derivados (VITTI et alii, 1980). O processo desenvolvido envolveu a extração de "grits" ou canjiquinhas de milho com solvente orgânico, como hexano, na unidade extratora de óleos vegetais. O

produto é em seguida tratado termicamente para eliminação do solvente e depois submetido a moagem no moinho de trigo produzindo uma farinha desengordurada, menos amarela e sem cheiro característico de milho. Como subproduto deste processo foi obtido óleo bruto de milho.

Conforme os testes realizados pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos e o Centro de Tecnologia Agro Industrial e Alimentar da EMBRAPA, a farinha desengordurada de milho pode ser utilizada em substituição à farinha de trigo em níveis de até 25% para obtenção de pães ou em proporções bem maiores no caso de confecção de biscoitos, bolos e macarrão (EMBRAPA, 1983).

Como pode observar têm sido várias as alternativas para possibilitar o uso de milho para substituir a farinha de trigo. A dificuldade em execução destas substituições, qualquer que seja a proporção escolhida, tem sido os elevados índices de preços que a farinha de milho bem como das outras fontes vem registrando sobre os da farinha de trigo, em decorrência dos subsídios vigentes no país em favor do trigo (EL-DASH, 1983). Aparentemente esse quadro começou a mudar nos últimos anos como consequência da política governamental de retirada total dos subsídios incluindo os do trigo (EDITORIAL, ALIM e TEC, 1988; MAIA et alii, 1988), assim tornando os preços de trigo e seus derivados competitivos quando comparado com dos demais produtos. Com base nessa situação, a indústria de moagem poderia assumir o compromisso de adequar as indústrias de massa e panificação com produtos capazes de substituir

adequadamente a farinha de trigo. O milho branco é uma destas alternativas.

2.2. Qualidade tecnológica do milho

A qualidade de grãos pode ser definida como sua adequação para uma determinada forma de aplicação. O milho tem uma infinidade de utilidades, o que sempre torna mais difícil fazer uma única definição de sua qualidade. Atributos genéticos e de ambiente influenciam na estrutura e composição de seus grãos e componentes. Tratos culturais, modo de secagem, forma de armazenamento, manuseio e sistema de transporte; todos contribuem de uma forma ou outra para a qualidade do grãos (FREEDMAN, 1980).

A qualidade tecnológica do milho pode ser avaliada pela simples inspeção visual ou pelos diversos testes de laboratório existentes (WATSON, 1988a). Muitos desses testes são para determinar um certo grau de sujidade dos grãos, presença de micotoxinas, contaminação química ou infestação por fungos e insetos. Existem alguns testes específicos para revelar o comportamento dos grãos no processo onde o milho será empregado. Em tal avaliação, elementos como composição química, propriedades físicas e mecânicas dos grãos são importantes.

2.2.1. Características físicas dos grãos

Uma avaliação das características físicas dos grãos inclui entre muitos outros elementos relacionados à morfologia dos grãos. Esses levam em conta a sua forma

geométrica: tamanho, volume, área, massa específica e porosidade da massa de grãos.

A Figura 1 demonstra as características morfológicas básicas dos grãos de milho. Segundo WATSON (1988a) e WOLF et alii (1952) os grãos de milho representam uma cariópse típica de uma grande gama de cereais, porém com um tamanho de grão maior do que os demais.

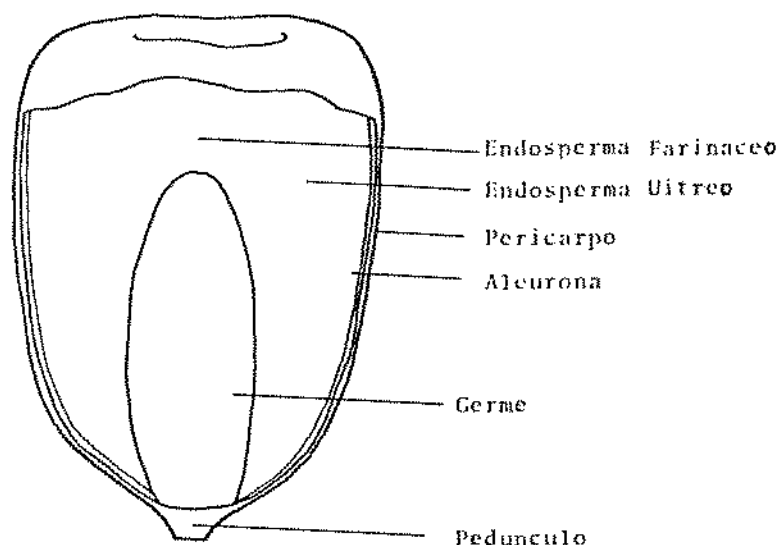


FIGURA 1 - Características morfológicas do grão de milho.

2.2.1.1. Tamanho dos grãos

Existe grande diferença entre tamanho dos grãos em si devido às influências genéticas e o ponto de localização no sabugo. Os grãos localizados na parte intermediária do sabugo são chatos em decorrência da pressão gerada pelos grãos adjacentes durante a fase de crescimento. Na base e topo do sabugo encontram-se grãos grandes e pequenos, respectivamente.

Segundo WATSON (1988a) os cultivares de milho dentado apresentam grãos em média com 12 mm de comprimento, 8 mm de largura e 4 mm de grossura. Os grãos classificados como pequenos apresentam peso médio por grão de 169,7 mg e passam pela peneira de furos redondos com um diâmetro de 6,75 mm. Os grãos grandes, por sua vez, pesam cerca de 366,8 mg, passam pela peneira com furos redondos com 11,1 mm de diâmetro mas são retidos na peneira de furos oblongos com abertura de 5,95 mm. Em média 75% dos grãos de milho dentados são classificados como chatos; 20% como grãos redondos e 5% considerados como grãos muito pequenos.

Trabalhando com três cultivares híbridos dentados, POMERANZ et alii (1985) demonstraram que cerca de 38 a 40% dos grãos passam na peneira de furos redondos de 8,3 mm de diâmetro. Os mesmos grãos também passam na peneira com furos oblongos de 4,76 mm de largura e pesam de 248 a 252 mg.

JORGE (1977) investigando as características físicas de grãos descreveu um procedimento para estimar o tamanho médio de grãos em função do qual pode-se escolher a peneira média para ser empregada na separação dos grãos bem como padronizar o seu tamanho para melhor eficiência no manuseio e processamento. Para esse fim recomenda-se a utilização de um conjunto de peneiras vibratórias e a quantidade de grãos retidos em cada uma das peneiras é usada para calcular a peneira média segundo a equação:

$$P_m = \frac{\sum_{i=a}^{i=b} i \cdot P_i}{\sum_{i=a}^{i=b} i} \quad (1)$$

onde: P_m = peneira média; P_i = peso dos grãos retidos na peneira i (g); i = número de peneiras; a = número da peneira menor (diâmetro em milímetros); b = número da peneira maior (diâmetro em milímetros).

2.2.1.2. Forma dos Grãos

Segundo WATSON (1988a) e JINDAL e MOHSENIN (1978) os grãos de milho podem ser considerados redondos, chatos ou com forma de cunha. Na opinião de POMERANZ et alii (1985) os grãos de milho são elípticos e portanto triaxiais com pontos de intersecção a , b e c . Através das medidas do comprimento, largura e espessura dos grãos pode-se estimar a esfericidade, (FOUST et alii, 1980; CHUNG et alii, 1971; MOHSENIN, 1970; POMERANZ et alii, 1985).

CHUMA et alii (1982) estabeleceram o tamanho, a área de superfície e o volume dos grãos com base nas coordenadas cartesianas da imagem projetada pelos grãos é interpolação na base da fórmula de Lagrange e Lei de Simpson.

Segundo POMERANZ (1985), para os grãos de milho híbrido dentado, sua esfericidade se situa entre 0,62 e 0,65. Entretanto de acordo com WOLF et alii (1952) as diferenças genéticas influenciam grandemente as características do endosperma, principalmente na

distribuição das proporções vítreas e farináceas, assim determinando a forma dos grãos. No milho dentado essa proporção é normalmente de 2:1. Durante a fase de amadurecimento e secagem, a ausência da parte vítrea na região da coroa do grão provoca a formação de depressão como consequência do colapso do tecido farináceo do endosperma nesta área, influenciando assim a forma do grãos (KIRLEIS et alii, 1984).

2.2.1.3. Massa específica de grãos

A massa específica de grãos é uma medida de peso por volume unitário (LOPES et alii, 1990). A relação entre a massa de grãos e o volume de líquido deslocado por estes representa a massa específica real. Por outro lado, esta grandeza pode ser expressa como massa específica global na qual a massa de grãos e o volume ocupado por ela são relacionados. Isso inclui o volume relativo dos espaços entre os grãos (espaços intersticiais). Esse espaço vazio também é conhecido como porosidade da massa dos grãos.

Água, tolueno ou etanol têm sido utilizados para determinação do volume real deslocado pelos grãos (MOHSENIN, 1970). Porém o uso de água tende a desenvolver bolhas de ar em volta dos grãos oferecendo assim erros nos resultados. O emprego de etanol ou tolueno tem provado ser uma solução viável para esse problema. TOMPSON e ISAACS (1967) e GUSTAFSON e HALL (1970) estabeleceram com sucesso massa específica de grãos de milho por meio comparativo usando hélio ou ar em aparelhos específicos.

WICHSER (1961 e 1960) desenvolveu um método no qual 100 grãos de milho poderiam ser flutuados numa mistura fluída de querosene desodorizado e tetracloacetileno em proporções ajustadas para oferecer uma massa específica de 1,275. Neste caso, a quantidade de grãos em flutuação representa a proporção de grãos menos densos. O mesmo procedimento foi utilizado com sucesso por BREKKE et alii (1961), porém usando uma solução de nitrato de sódio.

A massa específica real e global e a porosidade ao lado da configuração geométrica e tamanho dos grãos representam parâmetros importantes relacionados com as características hidrodinâmicas, aerodinâmicas e de transferência de calor e massa. São considerações indispensáveis nos estudos sobre desenho e seleção de equipamentos para manuseio e estocagem de grãos. O nível de umidade no produto sob teste exerce uma grande influência sobre estes parâmetros. Os grãos de milho dentado com nível de umidade de 12% geralmente apresentam massa específica real em torno de 1,2 enquanto que os grãos farináceos com o mesmo teor de umidade registram um valor de apenas 1,1 (WATSON, 1988b).

Grãos de milho com baixos valores de massa específica global normalmente apresentam uma alta proporção de espaço vazio entre os grãos (porosidade). Segundo THOMSON e ISAACS (1967), essa porosidade corresponde a um valor de 42,3%. Entretanto, variação na configuração geométrica dos grãos tem registrado grande influência na porosidade. De acordo com VAN DER MADE (1970) e HLYNKA e BUSHUK (1959) quanto mais

redondos são os grãos menor é este valor.

Nos processos onde o condicionamento por submersão na água é empregado, o volume de água necessário bem como o tamanho mínimo do recipiente para esta operação corresponde à soma da umidade final desejada mais a quantidade de água para se encher esse espaço vazio (FALCONE e PRIETTO, 1985).

2.2.2. Propriedades mecânicas de grãos

Os grãos de milho são manuseados mecanicamente durante o plantio, colheita, transporte, secagem e transformação industrial. Em cada uma dessas etapas os grãos são sujeitos aos esforços impactos mecânicos em magnitudes variáveis que podem resultar no abaixamento de qualidade dos grãos (PIERCE e HANNA, 1985; PAULSEN e NAVE, 1980; HALL, 1974).

Resistência à deformação mecânica, seja por compressão ou impacto, têm sido pesquisados por vários cientistas (MOHSENIN, 1970; JINDAL e MOHSENIN, 1978, SHELEF e MOHSENIN, 1969, POMERANZ et alii, 1984). Entretanto, ainda não existe nenhuma medida geral única para as propriedades mecânicas dos grãos, uma vez que os métodos utilizados tem sido sujeitos às influências peculiares dos próprios equipamentos empregados, bem como pela natureza variável do material sob teste.

Têm sido desenvolvidos para a produção comercial muitas cultivares de grãos para maiores índices de produção, às vezes até em sacrifício de algumas características tecnológicas e específicas (PEPLINSKI et alii, 1989).

De acordo com MILLER et alii (1982) pouco tem sido feito para padronização dos métodos empregados na avaliação de qualidade dos grãos. É surpreendente notar que a maior parte dessa avaliação no comércio internacional ainda continua sendo executado de maneira subjetiva.

2.2.2.1. Dureza dos grãos

Segundo FAIRES (1966), a dureza do material pode ser definida como a sua resistência à penetração (formação de uma "mossa" em sua superfície). Também a dureza de grãos tem sido definida como sua resistência à deformação mecânica (JINDAL e MOHSENIN, 1978; FREEMAN, 1973). É uma característica específica hereditária, mas também influenciada pelos tratos culturais e manuseios pós-colheita, como a secagem artificial. (WINGLY, 1972; WATSON, 1987; WILLIAM, 1979).

Sabe-se também que a dureza dos grãos é relacionada com a proporção de endosperma vítrea sobre a farinácea. Quanto maior essa proporção mais duro o grão. Milhos farináceos e opacos são geralmente mole devido a ausência do endosperma vítreo. Os milhos dentados apresentam durezas intermediárias (POMERANZ et alii, 1985). Entretanto, a dureza de grãos pode ser influenciada também pela espessura do pericarpo bem como estrutura e tamanho das células dentro do endosperma (WOLF et alii, 1952; SZANEIL et alii, 1984; BENNETT, 1950). No caso de endosperma vítreo, a matriz protéica está em volta de todos os grânulos de amido. Apesar do mesmo acontecer com os endospermas farináceos, suas

células são comparativamente mais finas (WOLF et alii, 1969, 1967). Segundo DUVICK (1961), durante a secagem a matriz protéica fina se rompe provocando aparecimento de bolsas de ar que atuam como pontos fracos do endosperma. Os grãos perdem translucidez, assim conferindo um aspecto opaco.

a. Métodos de avaliação de dureza de grãos

Não existe nenhum método padrão único para medir a dureza de grãos de milho (MACRITCHE, 1980; OBUSCHOWSKI et alii, 1980; SIMMONDS, 1974; STENVERT e KINGWOOD, 1977). Cada método ou teste proposto tem sido sujeito às influências peculiares dos próprios instrumentos envolvidos.

Aplicação das forças estáticas e dinâmicas, externas ou internas podem provocar danos ou desintegração mecânica dos grãos. Enquanto que a injúria mecânica externa é proveniente de forças externas, a modalidade interna é geralmente provocada pela variação da temperatura e umidade dentro dos grãos (SALTER e PIERCE, 1988; JINDAL et alii, 1978, 1979; PAULSEN, 1985; LITCHFIELD e OKOS, 1988).

Testes mecânicos como ensaios com penetrômetros, polidores, micromoinhos, testes quase estáticos de compressão uniaxial bem como dos impactos mecânicos tem sido investigados sua viabilidade como medidas de dureza dos grãos (JINDAL e MOHSENIN, 1978; SZANEIL et alii, 1984; OBUSCHOWSKI e BRUSHK, 1980; KOSMELAK, 1978; MILLER et alii, 1981a, b).

Outros testes indiretos como a determinação da absorbância de luz na faixa perto do infra vermelho (NIR) e

microscopia, têm sido também aplicados (DAVIES e GRANT, 1987; OSBORNE, 1981; BENNETT, 1950; BACASTREIRE, 1982 a,b).

O microtestador de MIAG foi também utilizado para medir a dureza dos grãos. É uma espécie de penetrômetro que produz uma impressão na superfície do grão GOSH e MILNER (1959).

KATZ et alii (1959) usando a impressora de Barcof que funciona no mesmo princípio que o testador de Miag, determinaram a dureza dos grãos individuais de trigo. Seus resultados demonstraram que tanto esse aparelho como o testador Miag, apesar de serem satisfatórios, não servem para as análises rotineiras de controle de qualidade devido ao maior tempo necessário para preparação e análise das amostras.

KOSMOLAC (1978) constatou no seu trabalho de moagem de trigo no testador de Brabender que o tempo de moagem pode ser usado para medir a dureza dos grãos. Porém, o método é insensível às diferenças nos tamanhos de grãos bem como aos teores de umidade na faixa normal do comércio de grãos.

De acordo com MILLER et alii (1982, 1981a, b) medidas de torque, velocidade de rotação do moinho, tempo total de moagem podem ser usados para avaliação de dureza de grãos na base de cálculos de trabalho de moagem. A equação utilizada para os cálculos é:

$$\begin{array}{rclcl} \text{Trabalho} & = & \text{Torque} & \times & \text{Velocidade} & \times & \text{Tempo} & (2) \\ \text{(joule)} & & \text{(Newton-metros)} & & \text{angular} & & \text{(seg)} \end{array}$$

Foi constatado que o trabalho de moagem acarretado sempre aumenta com o nível de umidade.

O testador de dureza de Brabender foi adaptado para medir a dureza do trigo, cevada e malte (KING, 1979; MILLER et alii, 1981; TRAN et alii, 1981). Foi acoplado no moinho um dinamômetro para registrar o torque necessário para reduzir os grãos em farinha. De seus resultados foi estabelecido que o rendimento de farinha, área total de superfície das partículas produzidas e, teores de proteína e umidade são os parâmetros mais importantes para assinalar a dureza dos grãos. No entanto, outros fatores como interação física entre as proteínas, amido, minerais e umidade na matriz do endosperma durante a maturação dos grãos de cereais influenciam no grau de dureza.

Foi também constatado que devido a sua natureza fibrosa, o pericarpo dos grãos tende a protegê-los contra a fragmentação.

O trabalho de moagem expresso sobre a quantidade de farinha obtida oferece um bom índice de dureza de grãos (KOSMOLAK, 1978; MILLER et alii, 1981a, b; CHUNG et alii, 1977).

A dureza dos grãos também pode ser estabelecida através da determinação do índice de tamanho de partículas (ITP) obtidos após a moagem e peneiragem (PFOST, 1970; WILLIAM e SOBERING, 1986). Este método foi desenvolvido originalmente por CULTER e BRINSON (1935). Seus resultados ofereceram alta sensibilidade para amostras com teores de umidade inferiores a 14%. Entretanto, é um método lento o que torna-o ineficiente nas operações de controle de qualidade rotineira.

BALASTREIRE et al, (1982) constataram a tendência da fratura progressiva nos grãos de milho durante os manuseios operacionais, proporcional ao módulo de elasticidade dos grãos, porém influenciada pela temperatura e nível de umidade.

Suscetibilidade de grãos de milho à quebra, segundo a American Association of Cereal Chemists AACC (1982) é definido como a tendência de grãos a quebra quando submetidos a uma força de impacto. É um indicativo de dureza de grãos. Pode ser determinado em dois tipos de aparelhos básicos. O primeiro representado pelo "Stein Breakage tester" aplica-se impacto gerado pela rotação de helice sobre os grãos confinados (WATSON e HERUM, 1986). O segundo é representado pelo "Wisconsin breakage tester", que exerce impacto centrifugal sobre os grãos que como consequência são jogados contra uma superfície estacionária (GUNASEKARAN, 1988).

PAULSEN et alii (1985), trabalhando com vários genótipos de milho produzidos durante quatro anos sucessivos provou que a suscetibilidade dos grãos a quebra variou significativamente entre os genótipos. Os grãos submetidos a secagem às temperaturas mais altas apresentaram-se mais suscetíveis à quebra.

STEPHENS e FOSTER (1966), RACOP et alii (1984) e GUNASEKARAN e PAULSEN (1985) trabalhando com o mesmo equipamento estabeleceram que os grãos de milho híbrido com altos valores de suscetibilidade à quebra sofreram muito dano durante a colheita mecânica. Entretanto, PIERCE e

HANNA (1985), recomendaram o uso de peneiras com furos de 4,76 mm no caso de Wisconsin breakage tester, para melhor separação de grãos com danos visíveis.

Nos últimos 10 anos, o método da reflectância na faixa perto do infra vermelho (NIR) tem sido muito investigado e aplicado na determinação da umidade, proteína, fibras dietéticas, gorduras e carboidratos (WILLIAM e SOBERING, 1986, OSBORNE, 1981; DAVIS e GRANT, 1987; POMERANZ et al., 1984). Esse método emprega-se ondas na faixa de 750 a 2500 nm, expostas as amostras. A quantidade de cada componente pode ser calculada na base da quantidade de energia reirradiada bem como do seu comprimento de onda. Na base desses resultados os grãos podem ser classificadas segundo os graus de dureza. No entanto, este método é sensível a variação no tamanho médio, forma e distribuição das partículas (WILLIAM e SOBERING, 1986).

ZOERB e HALL (1960) determinaram as propriedades mecânicas e reológicas de uma série de grãos via ensaios de compressão e tração assim estabelecendo quantidades mínimas de energia necessária para provocar dano mecânico. Para o milho, constataram que dependendo da posição da aplicação da força, a energia necessária para promover dano mecânico situou-se entre 0,00136 e 0,00339 J.

De acordo com BILANSKI (1960) aplicação gradual de carga quase estática ou impacto em baixas e altas velocidades correspondeu que energias de 0,023 a 0,068 J para as zonas vítreas dos grãos do milho. Constatou, também que o tamanho dos grãos em relação ao ponto de aplicação da

força influenciou na medida da resistência. Níveis mais elevados de umidade nos grãos necessitaram de maior trabalho mecânico para efetuar a fragmentação.

MOHSEIN (1970), SHELEF e MOHSEIN (1969), ASAE (1983), ARNOLD e ROBERTS (1966) empregando testes mecânicos de compressão quase estática uniaxial conduzido no INSTRON universal de provas, obtiveram modelos de elasticidade importantes na simulação de danos prováveis nos grãos durante o manuseio e processamento.

No caso de Compressão Quase Estática-uniaxial tem sido aplicada força de compressão sobre os grãos entre pratos planos ou com indentores esféricos. Para faces planas e paralelas, e com materiais isotrópicos, a obtenção de modelos de elasticidade das curvas de força/deformação tem sido através de cálculos seguindo a teoria de HOOKE (POPOV, 1978; MOHSEIN, 1970) usando a equação:

$$E = \frac{\theta}{\epsilon} = \frac{P/A}{D_e/H} \quad (3)$$

onde: E = modelo elástico de Young (N/m^2); θ = Tensão normal (N/m^2); ϵ = Deformação específica (m); P = Carga (N); A = área da seção transversal (m^2); D_e = Deformação elástica (m); H = Espessura inicial do espécime (m).

Considerando que tanto o milho como os outros grãos apresentam uma forma esférica (POMERANZ et alii, 1985) e também os equipamentos envolvidos no seu processamento como no caso de rolos apresentam superfícies esféricas, a teoria das tensões de contatos esféricos de HERTZ tem sido sugerida para calcular os modelos de elasticidade dos grãos; uma vez

que deformação com essas configurações esféricas geralmente não obedecem a Lei de HOOKE (MOHSENIN, 1970; SHELEF e MOHSENIN, 1967, ARNOLD e ROBERTS, 1966; POPOV, 1978). Nestes casos a fórmula para o cálculo de deformação tem sido:

$$D = (k/2)(9 P^2/16\pi^2) \{ (Q_1 + Q_2)^2 [(1/R_1) + (1/R'_1) + (1/R_2) + (1/R'_2)] \}^{1/3} \quad (4)$$

onde: D = distância entre o centro dos dois corpos (m); k = Constante dependente da curvatura da superfície de contato de corpos elásticos; P = Carga compressiva (N); $Q = 4(1 - \mu^2)/E$; μ = coeficiente de Poisson; E = Módulo Elástico de Young (N/m²); R = Raio maior de curvatura (m); R' = Raio menor de curvatura (m); 1 = representa corpo convexo primário (grão); 2 = representa corpo convexo secundário (prato ou indentado).

O valor de E para o prato de aço corresponde aproximadamente 2,070 KN/m² e portanto Q_2 (do segundo corpo, o prato) é aproximadamente = 0. A equação (4) portanto pode ser simplificada para:

$$D = (K/2) [9P^2 * (1 - \mu^2) / (\pi_1^2)] [(1/R_1) + (1/R'_1) + (1/R_2) + (1/R'_2)]^{1/3} \quad (5)$$

Substituindo o valor de k = 1,303 conforme determinado na base das propriedades geométricas dos dois corpos em contato na equação (5) e expressando E = E₁ oferece

$$E = [0,5P(1 - \mu^2)/D^{3/2}] [(1/R_1) + (1/R'_1) + (1/R_2) + (1/R'_2)]^{1/2} \quad (6)$$

Segundo SHELEF e MOHSENIN (1969), compressão de grão esférico por um prato, representa uma situação onde os raios da curvatura do prato são infinitos ou seja:

$$1/R_1 = 1/R'_1 = 0$$

Conseqüentemente, para corpos convexos comprimidos pelos pratos paralelos, a equação (6) fica reduzida para:

$$E = \{ [0,5P(1-\mu^2)/D^{3/2}] (1/R_1) + (1/R'_1) \}^{1/2}, \quad (7)$$

Alternativamente, o modelo de elasticidade, E, pode ser também obtido usando a equação:

$$E = \{ [0,338 K^{3/2} * F(1-\mu^2)/D^{3/2}] [(1/R_1) + (1/R'_1)]^{1/2} \} \quad (8)$$

Quando usa-se um indutor esférico com o diâmetro d, a equação para estimação de modelo de elasticidade fica:

$$E = \{ [0,338 K^{3/2} * F(1-\mu^2)/D^{3/2}] [(1/R_1) + (1/R'_1) + (4/d_2)]^{1/2} \} \quad (9)$$

De acordo com KOSMA e CUNNINGHAM (1962), para o valor de $K = 1,3514$, $0,338K^{3/2}$ corresponde a um valor de 0,531, e a deformação nos corpos convexos é consideradas negligível.

De acordo com ASAE (1983), para um corpo convexo comprimido pelos pratos paralelos, a tensão máxima que este corpo pode sustentar sem provocar deformação é chamado de índice de tensão ou índice de dureza, e pode ser calculado usando-se a equação:

$$SI = 0,365 ((F/A^2) [(1/R_1) + (1/R_2)]^2)^{1/3} \quad (10)$$

No caso de compressão com indutor esférico, a equação fica:

$$SI = 0.365 \left[(F/A^2) \left(1/R_1 \right) + (1/R_2) + (4/d_2) \right]^2 \right]^{1/3} \quad (11)$$

onde: SI = índice de tensão (N/m^2);

F = força ou carga (N); R_1 , R'_2 = raios de curvatura dos corpos convexos no ponto de contato (m);

d_2 = diâmetro do indutor esférico (m);

A = constante elástica $1/Pa$ obtido da Equação;

$A = (1 - \mu^2)/E$;

μ = Coeficiente de Poisson;

E = Modelo elástico do material (N/m^2).

Segundo BILANSKI (1960), o tamanho do grão, teor de umidade, posição de aplicação da força influenciam na medida da resistência à deformação. Constatou também que, nos níveis mais elevados de umidade, os grãos requerem mais trabalho mecânico para efetuar a fragmentação.

SHELEF e MOHSENIN (1969) avaliaram os efeitos de teor de umidade nas propriedades mecânicas de grãos de milho usando-se várias faixas e formas de cargas bem como de níveis de variáveis de umidade. Análise de gráficos de deformação obtidos pela compressão uniaxial pratos paralelos, demonstrou que a parte vítrea do grão com baixo nível de umidade oferece maior resistência. A parte farinácea por sua vez registrou baixos valores de resistência mecânica.

TABOR (1948) e JINDAL e MOHSENIN (1978) apresentaram testes alternativos baseados na aplicação de impacto dinâmico. A carga é normalmente transmitida por meio de queda de um determinado peso ou pela oscilação de um pêndulo. O material sob teste absorve energia no ato de impacto que se manifesta como deformação elástica, deformação plástica, efeito da histerese ou perdas de energia devido a fricção de partes em movimento.

2.2.3. Processamento de milho

Devido às características morfológicas e composição do grão do milho, conforme demonstrado na figura 2, a sua utilização como alimento humano ou animal é precedido pela uma forma de processamento. No Brasil, os processos de industrialização do milho tem ampliado muito nas últimas décadas e tem-se expressado sob forma de moagem úmida resultando na produção de amido e derivados diversos.

Indústrias de portes pequenos e médios tem-se encarregado na transformação de milho em produtos de moagem seca para usos generalizados na alimentação como por exemplo o fubá, a canjiquinha, "grits" (canjiquinha), farinha e outros produtos derivados desses (FANCELLI e LIMA, 1984).

2.2.3.1. Moagem seca de milho

A evolução dos métodos de moagem seca de milho vem acompanhando a história agrônômica do milho ao longo dos séculos.

Desde uma simples trituração dos grãos nos pilões, moinhos de mós de pedra e mojos, operados manualmente, por cavalo ou com água corrente; passando pelos moinhos de martelo operados pela energia elétrica até moinhos modernos com mecanismos de moagem mais sofisticados (FANCELLI e LIMA, 1984; ALEXANDER, 1973). A figura 2 representa o fluxo geral de moagem seca de milho.

a. Limpeza de milho

De modo geral antes de sua moagem os grãos de milho são submetidos a uma limpeza que compreende em várias operações com objetivo de eliminar as impurezas. Os grãos passam por um separador de pedras. O aspirador por sua vez elimina os fragmentos finos e pedaços de saburgo. Nesta mesma etapa os grãos são peneirados com auxílio de peneiras vibratórias para separar os quebrados dos inteiros bem como uniformizá-los para os manuseios posteriores.

É normal em algumas indústrias de moagem seca, submeter os grãos de milho a uma lavagem para eliminar as sujeiras, poeiras, excrementos de ratos além de promover uma elevação na umidade dos grãos para níveis que auxiliam a melhor retirada de pericarpo e germe durante o processo de degerminação (ABDELRAHMAN E HOSENEY, 1984; BREKKE e GRIFFIN, 1970; BREKKE et alii, 1961, LARSEN, 1970).

b. Degerminação

De acordo com HANSEN e HENDERSON (1966), os grãos com alto teor de fibra como grãos inteiros exibem

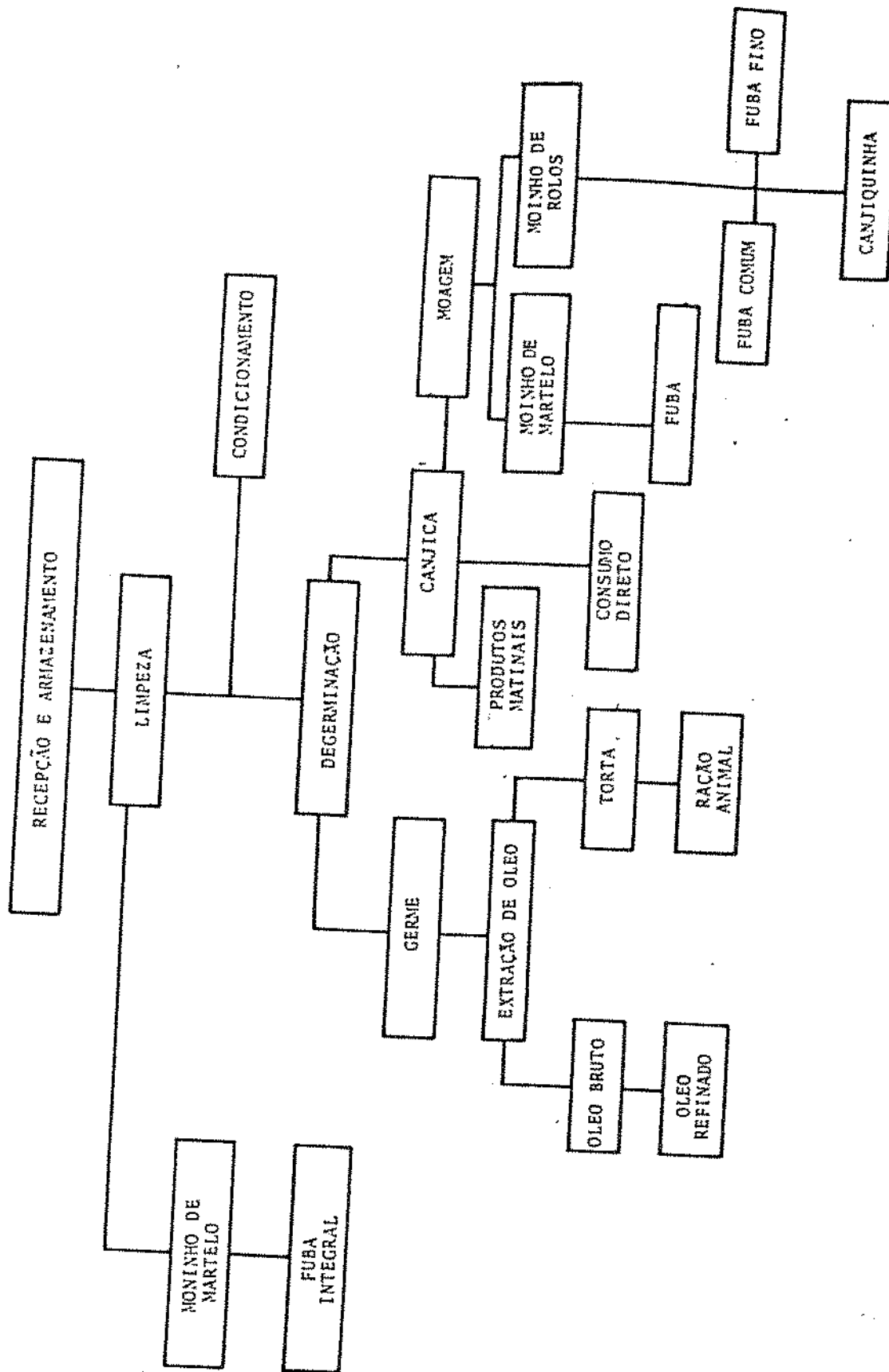


FIGURA 2 - Fluxograma geral da moagem seca de milho.

características de moagem diferentes comparado com dos grãos degerminados. Seus níveis elevados de gordura ou óleo devido a presença de germe, influenciam na distribuição de tamanho de partículas do produto moido. Foi constatado também que devido a heterogeneidade dos grãos as partículas obtidas na moagem diferem quanto a sua composição e características físicas o que implica também na diferença do valor nutricional dos produtos derivados. Classificação das partículas em tamanhos específicos sempre apresenta problemas de adesão de partículas nas peneiras, resultando em entupimento dos furos. Cargas eletrostáticas tem sido responsabilizadas pelo entupimento. Esse problema é mais acentuado nos casos de moagem de grãos mais fibrosos (HANSEN e HENDERSON, 1966).

O processo de degerminação é representa uma retirada do germe e pericarpo dos grãos de milho por meios abrasivos; para garantir melhor textura de produtos derivados bem como a conservação dos mesmos sem desenvolvimento de ranço, uma vez que lipídios responsáveis pelo ranço são eliminados junto com o germe (BREKKE et alii, 1961, 1963; BREKKE, 1970). Existem vários tipos de degerminadores: tipo Reall, Entoleter e o de facas. Desses o de faca é o mais utilizado no Brasil nas fábricas de baixa capacidade operacional.

O degerminador é sempre ajustado para o máximo rendimento da canjica e do grits com tamanhos maiores e livres do germe e tegumentos. O germe e farelo passam pela peneira abaixo do degerminador, sofre aspiração para separar o farelo do germe e finalmente pela mesa densimétrica para

separar a endosperma. O germe procede para extração de óleo e o farelo para ração animal. O endosperma por sua vez procede para moagem em produtos com granulametriás menores.

Canjica e grits são aspirados e peneirados no planisfter obtendo produtos de endosperma com vários tamanhos específicos conforme a classificação geral exposta no Quadro 1 (WATSON, 1987).

QUADRO 1 - Produtos do Endosperma depois da degerminação

Produto	Tamanho de Partícula			
	(no mesh)		(mm)	
Canjica	-3,5	+6	-5.600	+3.350
Grits Grosso	-10	+15	-2.000	+1.290
Grits Comum	-15	+30	-1.290	+600
Fubá 1	-30	+60	-600	+250
Fubá 2	-40	+80	-425	+180
Fubá 3	-60	+325	-250	+45

Nos processos onde o milho sofre condicionamento prévio, os produtos de degerminação geralmente sofrem uma pré-secagem para diminuir sua umidade para níveis menores que 17%; assim facilitando peneiragem e preservação de sua qualidade durante a estocagem posterior.

Segundo WATSON (1987) a eficiência do degerminador pode ser expressa na base de produtos obtidos no processo usando-se a equação:

$$ED = ((+3.5W.ENDO) + (+5W.ENDO) + (+7W.ENDO) * (TEP)) / 100 \quad (12)$$

onde: ED = eficiência de degerminação; ENDO = % de produtos

originários do endosperma retido na peneira; TEP = % de produto total representando o endosperma.

Os resultados dessa expressão de acordo com o trabalho de STROSHINE et alii (1986), representam altos coeficientes de correlação com o peso específico, comprimento de grão, proporção entre endosperma vítreo e endosperma farináceo e suscetibilidade a quebra dos grãos.

c. Condicionamento de grãos

Devido a natureza morfológica dos grãos e caráter mecânico do seu endosperma os vários tipos de degerminadores utilizados na indústrias não alcançam uma nítida separação do pericarpo e germe do endosperma (BREKKE e WEINECKE, 1964).

Condicionamento de grãos tem sido adotado como etapa primordial para na degerminação e redução da canjica para produtos intermediários como os grits.

Segundo LARSEN (1970), BREKKE et alii (1961), condicionamento representa adição de água aos grãos aumentando assim o nível de sua umidade. De acordo com BECKER (1960) e HSU (1983, 1984), BAKSHI E SINGH (1980) e FAN et alii (1962) esse processo envolve duas etapas distintas, da absorção de água e a outra da distribuição para atingir o equilíbrio dentro dos grãos. Fatores que influenciam na velocidade de absorção e distribuição de água no grão afetam também a velocidade no seu condicionamento. Esses fatores incluem temperatura, tamanho de grão, configuração morfológica, composição química e umidade

inicial. (OGUNTUDE e ADEBAWO, 1989; BREKKE, 1966; STENVERT e KINGSWOOD, 1977).

OGUNTUDE e ADEBAWO (1989) estudaram a cinética de absorção de água pelos grãos de milho submersos na água as temperaturas de 30, 35, 40 e 45 graus Celsius respectivamente por 72 horas. Nos intervalos de 12 horas a água foi drenada e os grãos pesados para determinar seus ganhos em peso. Os resultados foram analisados e expressos no gráfico de tempo de maceração versus teor de umidade. Quanto maior foi o tempo maceração, maior foi a quantidade de água absorvida.

De acordo com GEHLE (1952) e SOKHANSANJ et alii (1983), aumento na temperatura favorece maior fusão de água para dentro do endosperma. Geralmente o limite máximo de 46 graus Celsius é mantido para evitar a desnaturação de proteínas e gelatinização do amido.

O procedimento adotado na indústria para o condicionamento de grãos consiste de umidecimento dos grãos com água e deixando-os em repouso por tempos, variando de 18 a 72 horas para ocorrer o equilíbrio de umidade.

KUMAR (1973) mostrou no seu trabalho que o umidecimento de grãos de milho tanto pela maceração direta na água como pela exposição de grãos a um ambiente de umidade relativa elevada, provoca maior absorção pelo germe do que pelo endosperma.

GUNASEKARAN e FARKAS (1988), trabalhando com hidratação de grãos de dois genótipos de milho a alta pressão hidrostática (10,5 a 70,0 MPa) por tempos variando

de 0,08 a 1 hora: constataram aumento na absorção de água pelos grãos independente da pressão aplicada. Entretanto, a absorção foi maior para tempos mais elevados. Também, a embebição inicial foi favorecida pela alta pressão hidrostática. No entanto, pressão ao redor de 10,5 MPa por 0,08 horas reduziu consideravelmente o tempo de hidratação necessária para alcançar o nível de umidade maior que 35%.

Segundo BECKER (1960), a penetração de água para dentro dos grãos depende do coeficiente de difusão líquido da água.

De acordo com HSU (1984) condicionamento de grãos representa duas fases: uma de absorção capilar e a outra de equilíbrio de umidade no grão.

De acordo com KUMAR (1973) a maior parte da água é absorvida pelo grão de milho através do pendúculo. Dependendo da cultivar ou tipo de milho, níveis de até 24% de umidade por tempos além de 18 horas tem sido empregados (BREKKE et alii, 1961; SOKHANSANJ et alii, 1983). Entretanto, em alguns países como o Brasil, a etapa de condicionamento do milho ainda não foi largamente adotada devido aos custos adicionais para instalação do sistema bem como a convicção teórica que as cultivares nacionais não necessitam desse tratamento no processo de moagem seca. No passado quando se produzia apenas cultivares tradicionais tipo cateto, pérola e cristal (GOODMAN, 1987), os grãos de milho se apresentavam mais resistentes a deformação e portanto comportavam bem na fase de degerminação, assim oferecendo o máximo de rendimento da canjica e o mínimo de

fubá nesta fase. Entretanto, estes tipos de milho apresentavam consumo de energia maior tanto na etapa de degerminação como na de moagem. Com o advento dos programas de melhoramento genético visando a alta produtividade, desde há cinquenta anos, foram desenvolvidos cultivares dentados para o mercado nacional (VIEGAS, 1989). Seus grãos, como imposto pela constituição genética de caráter dentada apresentam muita variação nas suas propriedades mecânicas assim afetando a eficiência de processamento em produtos. Neste tipo de milho, principalmente nos países de origem, condicionamento tem sido empregado para melhorar eficiência e qualidade de produtos obtidos (WATSON, 1987).

d. Moagem

A moagem tem como objetivo principal a redução dos grãos para tamanhos apropriados na confecção dos produtos derivados além de possibilitar a separação de alguns componentes que possam afetar a qualidade dos produtos derivados.

A maioria de grãos recebidos para a moagem apresentam uma grande variação no tamanho e como consequência sua classificação antes da moagem é imprescindível.

Segundo SHELEF e NOHSENIN (1969) os grãos de milho apresentam propriedades mecânicas diferenciadas dependendo da parte do grão. Enquanto que as partes vitreas do grão são mais resistentes a deformação, a fração farinácea é comparativamente mais mole. Além dessa dureza de partes específicas dos grãos, existe também a dureza geral dos grãos

conforme imposta pela interligação entre os componentes e teor de umidade.

A moagem ou redução de tamanho de partículas, representa uma etapa importante de operações unitárias empregadas pelas várias indústrias de alimentos, ração, minerais e químicas. Tem sido objeto de investigações por muitos pesquisadores (AUSTIN e KLIMPEL, 1964; ERICKSON, 1953; FOOTE, 1953; PFOST, 1970; PIRET, 1953). Entretanto, ainda existem muitas dúvidas sobre as teorias fundamentais para sua elucidação (JINDAL e MOHSENIN, 1978). De acordo com NIEDIEK, (1970), existe uma grande interação entre a natureza ou modo de funcionamento dos moinhos e propriedades do material em moagem, influenciando assim a eficiência do processo e a natureza do produto final. As teorias originais de redução de tamanho de partículas foram elucidadas com base na relação existente entre a energia consumida e o tamanho resultante das partículas (AUSTIN e KLIMPEL, 1964; BENNETT, 1950; JINDAL e MOHSENIN, 1978; PFOST e HEADLEY, 1971; SIMMONDS, 1956; HUKKI, 1961).

HANSEN e STEWART (1965), HENDERSON e HANSEN (1966, 1969) e HEADLEY e PFOST (1968) apresentaram trabalhos sobre moagem de grãos. Suas técnicas foram baseadas nas multipassagens do material pelas várias unidades do moinho. A interpretação dos resultados foi feita na base de distribuição de partículas obtidas.

HEADLEY e PFOST (1968) expressaram a energia necessária para moagem de milho e sorgo como função de área de superfície das partículas do produto moído.

HANSEN e STEWART (1965) trabalhando com correlações de energia e distribuição de massa e tamanho das partículas do produto moído, demonstraram que os dados da retenção nas peneiras quando plotados no gráfico log-log resultaram numa correlação linear e cuja inclinação variou de acordo com a natureza do produto.

A performance do moinho tem sido avaliada em duas maneiras diferentes. Na primeira forma utiliza-se análise gráfica de massa versus tamanho de partículas obtidas após moagem. Em função da distribuição observada podem ser derivados e relacionados a performance do sistema de moagem escolhido (HENDERSON e HANSEN, 1969; PFOST e HEADLEY, 1971; KLEIS e NEUMANN, 1956).

A outra maneira de avaliação de performance do moinho é baseada na capacidade e consumo e energia como imposto pelo grau de finura alcançado pelo produto; não esquecendo de considerar a variação de umidade do material e diferença na configuração dos moinhos (DUFFEE, 1930; HENDRIX, 1937).

A Sociedade Americana de Engenharia Agrícola avalia a eficiência de moagem na fabricação de ração usando um índice de uniformidade do produto moído estabelecido através da classificação do produto em peneiras e expressando os resultados como modelo de uniformidade ou modelo de finura (ASAE n^o R246.1, 1983).

i. Produtos de moagem seca

Depois da degerminação, a canjica e grits são conduzidos para moagem em tamanhos menores nos rolos de

quebra e redução. Em seguida o produto é classificado nos plansiteres em tamanhos específicos de acordo com a exigência do mercado consumidor. Os grits cujo tamanho varia de grosso (5.600 μm) até fino (600 μm) representa matéria prima principal para indústria de bebidas alcoólicas principalmente a de cerveja (MACLEDD, 1977).

A produção de fubá, entretanto é característica de todas as etapas do processo de moagem seca do milho. Quanto mais mole os grãos de milho utilizados e maior a quantidade de fubá produzido. Isto é um problema quando o mercado consumidor exige maior produção de grits. De acordo com BREKKE (1961) este problema pode ser amenizado através do condicionamento dos grãos de milho antes da moagem.

Fubá originário do sistema de quebra é basicamente proveniente do endosperma farináceo e apresenta tamanho de partículas menor do que 250 μm ; baixo teor de proteínas e elevado teor de lipídios. Por outro lado o fubá originário do sistema de redução de grits é procedente do endosperma vítreo. Apresenta vários tamanhos de partículas com diâmetros menores do que 250 μm mas com a mesma composição como a de grits.

O fubá tem sido empregado para obtenção de diversos produtos alimentícios bem como utilização em diversos tipos de indústrias não alimentícias como da tecelagem, fundição e de papel (MATZ, 1959; WILLIAMS, 1977; ROBERTS, 1967; ALEXANDER, 1973).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Matéria-Prima

Foi utilizado para realização deste trabalho uma variedade de milho branco, BR 451, fornecido pelo Centro Nacional de Pesquisa do milho e sorgo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, sediada em Sete Lagoas, MG.

3.1.2. Reagentes

Utilizaram-se reagentes de pureza analítica para todas determinações químicas realizadas neste trabalho.

3.2. Métodos

3.2.1. Composição da matéria-prima

3.2.1.1. Umidade

O teor de umidade dos grãos foi determinado usando-se a estufa de Laboratório com circulação forçada de ar à uma temperatura de 105°C por 24 horas segundo o método no 5353 de ASAE (1980). No caso de farinha e produtos de moagem, foi utilizado a mesma estufa porém regulada a temperatura para 130°C e a determinação feita por uma hora conforme o método no 45 de AACC (1969).

Os valores de teor de umidade foram expressos nas bases úmida e seca conforme as fórmulas:

$$a) U_s = [(Pu - Ps)/Ps] 100 \quad (13)$$

$$b) U_u = [Pu - Ps]/Pu] 100 \quad (14)$$

onde Pu = Feso úmido (matéria seca + água contida no produto (g)); Ps = peso seco (g); Us = umidade de grão expressa em porcentagem, base úmida (% bu); Us = umidade do grão expresso em porcentagem, base seca (% bs).

3.2.1.2. Proteína

O conteúdo de proteína foi calculado através da determinação do nitrogênio total de acordo com o método nº 46-13 da AACC (1969).

O fator de 5.95 foi utilizado para conversão de nitrogênio em proteína.

3.2.1.3. Lipídeos

Foram determinados de acordo com o método nº 30-20 do AACC (1969) usando o extrator de Soxhlet e Éter de petróleo (PE 38-60°C) como solvente.

3.2.1.4. Cinzas

A quantidade de cinza nas matérias primas e produtos obtidos da moagem foi determinado pela calcinação das amostras a 600°C por duas horas segundo o método nº 08-09 da AACC (1969).

3.2.1.5. Fibra

Foi analisada em todas amostras segundo o método de detergente neutro (VANSOEST, 1963).

3.2.1.6. Carboidratos

O teor de amido foi analisado usando-se o método de AACC (1969) nº 76-10. Os açúcares redutores foram por sua vez determinados pelo método de AACC (1969) nº 80-68.

3.2.1.7. Carotenoides totais

Foram analisados pelo método de SIMPSON et alii (1987).

3.2.2. Propriedades físicas dos grãos

As propriedades físicas dos grãos de milho foram determinados na base de parametros que possam fornecer

informações sobre seu provável comportamento nas diversas formas de manuseios subseqüentes.

3.2.2.1. Forma e tamanho de grãos

POMERANZ et alii (1984) designou para o grão de milho uma forma quase elíptica e triaxial com suas principais dimensões sendo o comprimento (a), largura (b) e espessura (c) (Figura 3). Essas dimensões foram medidas com auxílio de paquímetro, marca MITUTOYO, com a precisão de 0,05 mm. Com base dessas medidas foi calculada a esfericidade (ψ), área seccional (A) área de superfície (A_s), volume (v) e peneira média (P_m) para os grãos.

a. Esfericidade (ψ)

Foi estabelecida na base das dimensões (a, b, c) usando-se a fórmula:

$$\text{Esfericidade } (\psi) = [100(abc)^{1/3}]/a \quad (15)$$

b. Raios do grão (R)

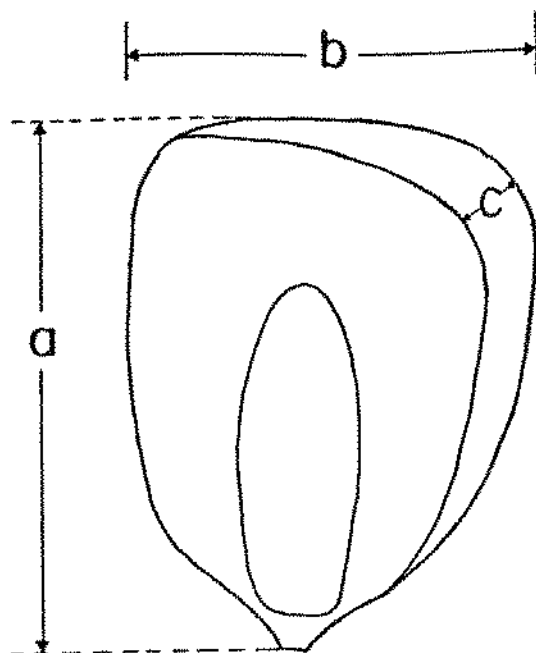
Sendo de forma elíptica, os raios menor (R_1) e maior (R_2), demonstrados na Figura 4, dos grãos foram calculados na base de espessura (c) e comprimento (a). Usando as fórmulas:

$$R_2 = [(a^2/4) + c^2]/2c \quad (16)$$

c. Área Seccional (A)

Foi calculada conforme a fórmula:

$$A = (\pi ab)/4 \quad (17)$$



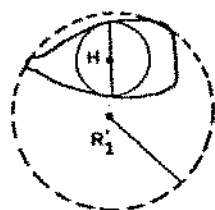
ONDE:

a = Comprimento (mm)

b = largura (mm)

c = Espessura (mm)

FIGURA 3 - As dimensões do grão de milho.



H = Altura/Espessura

$$R_1 = (H^2 + C^2/4) / 2H$$

Onde

C = Comprimento

H = Altura ou Espessura



$$R_1 = (H/2)$$

FIGURA 4 - Raios estimados de curvaturas de grãos de milho.

d. Área de superfície (As)

Foi estabelecida empregando-se a fórmula:

$$As = \pi ab \quad (18)$$

e. Volume dos grãos individuais (v)

Foi obtido utilizando a fórmula:

$$v = \frac{4}{3} \pi abc \quad (19)$$

f. Peneira média (Pm)

Lotes de 300 g de grãos de milho foram classificados em tamanhos correspondentes a 7,937; 9,525; 10,319 e 11,113 mm de diâmetro, respectivamente com auxílio de conjunto de peneiras vibratórias. A amplitude de oscilação do conjunto foi de 1,5 cm, a uma rotação de aproximadamente 360 rpm por cinco minutos. A quantidade de grãos retidos em cada uma das peneiras foi pesada e os valores utilizados no cálculo para estabelecer a peneira média (Pm) ou seja o tamanho médio dos grãos usando-se a fórmula apresentada no (1).

3.2.2.2. Massa específica dos grãos

Por definição, a massa específica representa a grandeza de massa dividido por volume. Se for volume real, o valor da massa específica é considerada real. Se o volume for aparente, o resultado de massa específica é expresso como aparente.

a. Volume aparente (V_a)

A quantidade de 100 g de grãos de milho foram escoadas para uma proveta de 250 ml com auxílio de funil. O volume alcançado pelos grãos foi lido direto na proveta como volume aparente em (cc).

b. Volume real (V_r)

No caso de determinação do volume real, a mesma quantidade de grãos foi escoada na proveta de 500 ml com 200 ml de xilol (V_i). O uso deste fluido se baseia no fato que ao contrário de quando se usa água, o xilol sendo um solvente orgânico apolar, não é absorvido pelos grãos de milho. Isto contribui para a maior precisão na leitura de volume final (V_f). O volume de xilol deslocado pelos grãos foi registrado para representar o volume real (V_r) de grãos de milho segundo a fórmula:

$$V_r = V_f - V_i \quad (20)$$

onde V_r = volume real (cc); V_f = volume final de xilol + grãos (cc); V_i = volume inicial de xilol (cc).

c. Massa específica aparente (ρ_b)

Com base no valor de volume aparente, a massa específica aparente foi calculada usando a fórmula:

$$\rho_b = \frac{M}{V_{ap.}} \quad (21)$$

onde ρ_b = massa específica aparente g/cm³ ou kg/m³; M = massa de grãos (g) ou kg; V_{ap} = volume aparente de grãos (cc) ou m³.

d. Massa específica real (ρ)

A massa específica real por sua vez foi calculada usando a fórmula:

$$\rho = \frac{M}{V_s} \quad (22)$$

onde ρ = massa específica real g/cc Kg/m³; M = peso de grãos (g) ou kg; V_s = volume real de grãos (cc) ou m³.

3.2.2.3. Porosidade de grãos (x)

A porosidade representa o espaço intersticial existente na massa de grãos de milho e pode ser calculado como diferença entre os valores de volume aparente e volume real. Alternativamente, pode ser também calculada como percentagem (%) usando-se os valores de massa específica real (ρ) e massa específica aparente (ρ_b) conforme a fórmula:

$$\text{Porosidade (X)} = 100 \text{ V } [1 - (\rho_b/\rho)] \quad (23)$$

Essa última alternativa foi utilizada para obter os dados de porosidade de grãos de milho.

3.2.3. Propriedades mecânicas do milho

As propriedades mecânicas foram avaliadas através da determinação da resistência dos grãos à deformação.

3.2.3.1. Resistência à deformação

A resistência dos grãos de milho contra deformação mecânica, como índice de dureza de grãos em cada tratamento foi determinado com auxílio do aparelho Universal de Ensaio mecânicos, o INSTRON, Modelo 1130, lotado no Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, DF.

Utilizou-se nos ensaios procedimento de compressão uniaxial, quase estática sobre o lado chato dos grãos individuais colocados entre dois pratos paralelos com o germe virado para cima.

O INSTRON foi equipado com uma célula de compressão com carga máxima de 500 Kgf. A força foi aplicada até ruptura de grãos à velocidade descendente de cabeçote de 50 mm/min contra a de carta fixando em 200 mm/min.

Essa combinação de velocidade foi escolhida através de ensaios preliminares por oferecer uma clara leitura de curvas de deformação traçadas no papel gráfico.

A compressão dos grãos individuais de milho, contudo foi conduzido até evidência do ponto de não linearidade na curva traçado no gráfico representando a força da resistência transmitida pelo grão à célula de carga e o grau de deformação sofrida durante o teste. Depois de cada teste

de compressão as novas dimensões dos grãos foram medidas e para cada tratamento foram realizadas 30 repetições.

a. Limite linear de carga (LL)

É toda força (Kgf) até o ponto de ruptura dos grãos sob compressão. Depende da força, área da secção transversal e das características do material. Neste trabalho, foi representada pelo ponto final de linearidade de curva.

b. Deslocamento ou deformação (De)

A mudança linear em mm observada na abscissa do gráfico e resultante da aplicação de força até o limite de carga durante a compressão foi medida para representar a deformação elástica. O fator de 1:40 correspondendo a proporção da velocidade de aplicação de força (5 mm/min) à velocidade da carta (200 mm/min) foi utilizado para transformar as medidas em mm.

c. Tensão θ

Por definição representa a força por unidade de área ou também conhecido como, intensidade de força (P) distribuída perpendicularmente a uma certa secção transversal (A). Foram utilizados os valores de limite linear de carga (Kgf) e área seccional dos grãos antes da compressão para calcular a tensão compressiva segundo a fórmula:

$$\text{Tensão compressiva } (\theta) = P/A. \quad (24)$$

onde P = força em Kgf ou Newtons; A = Área em m^2 ; θ = Tensão expressa em N/m^2 ou Pascal.

As grandezas expressas nas unidades pascales às vezes tornam-se muito grandes. Utilizaram-se múltiplos dessas unidades como:

Kilo Pascal ($kPa = 10^3 Pa = 10^3 N/m^2$).

Mega Pascal ($MPa = 10^6 Pa = 10^6 N/m^2$)

Giga Pascal ($GPa = 10^9 Pa = 10^9 N/m^2$) (para diminuir o número dos dígitos).

d. Deformação específica (ϵ)

Foi obtido por cálculo usando-se os valores de deslocamento, espessura original dos grãos e a fórmula:

$$\epsilon = De/H \quad (25)$$

onde De = deslocamento observado (m); H = espessura original do grão (m).

e. Modelo elástico de Young ou Hooke (E_1)

Segundo a Lei de Hooke, a tensão compressiva é diretamente proporcional à deformação específica (ϵ) e vice-versa. Os valores de tensão e de formação específica foram portanto utilizados para calcular a constante de proporcionalidade ou o modelo elástico de Young (E_1) dos grãos.

A fórmula utilizada foi:

$$E_1 = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (26)$$

onde:

E_1 = Constante de proporcionalidade (N/m^2 ou Pa).

σ = Tensão (N/m^2 ou Pa).

ϵ = Deformação específica (m/m) (adimensional).

f. Área seccional de grãos antes e depois da compressão

Medidos e calculados segundo a prescrição e fórmula no 3.2.2.1.c.

g. Energia de deformação (U)

A energia de deformação é representada pelo triângulo formado entre ponto inicial de determinação, no gráfico Limite Load e deformação elástica correspondente pela área demarcada. Foi traçada em cm^2 com auxílio de planímetro, marca MAHO. Paralelamente, a energia de deformação foi computada em Joules (J) usando-se como base os valores de limite linear de carga (LL), deslocamento (De) e a fórmula:

$$U = \frac{LL \times 9,81 \times De}{100} \quad (27)$$

onde U = energia de deformação em joules; LL = limite de carga Kgf; De = deformação elástica (mm).

h. Deformação específica lateral (ϵ_t)

Foi determinado como proporção de acréscimo em milímetros (Δ_t) a o comprimento (a) e largura (b) sobre os valores das medidas originais.

Os cálculos foram realizados com a fórmula:

$$\text{Para comprimento } \epsilon_{t1} = \frac{\Delta_t}{a}, \text{ (m/m)} \quad (28)$$

$$\text{Para a largura } \epsilon_{t2} = \frac{\Delta_t}{b} \text{ (m/m)} \quad (29)$$

i. Deformação específica axial (ϵ_a)

Determinada como proporção de diminuição na espessura (c) em milímetros sobre o valor da medida original em (mm), ou seja:

$$\epsilon_a = \frac{\Delta_c}{c} \text{ m/m} \quad (30)$$

j. Coeficiente de Poisson (μ)

Foi calculado como proporção da deformação específica lateral sobre a deformação específica axial, assumindo que o milho é um produto isotrópico e usando a fórmula:

$$\mu = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_a} \quad (31)$$

Tentou-se obter o mesmo coeficiente (μ_2) usando-se a proporção de mudança na área seccional do grão (2.1) antes e depois da compressão, sobre a área original. Neste caso a fórmula utilizada foi:

$$\mu_2 = \frac{A_2 - A_1}{A_1} = \frac{\Delta A}{A_1} \text{ cm}^2/\text{cm}^2 \quad (32)$$

onde μ_2 = coeficiente de Poisson; A_1 = área seccional original; A_2 = área seccional após compressão; ΔA = mudança na área.

k. Módulo elástico de Hertz (E_2)

Considerando que os grãos de milho apresentam uma forma elíptica, sua compressão entre pratos paralelos representa a situação em que os pratos entram em contato com a superfície esférica de grãos. Neste caso o material não obedece o modelo elástico de Young, mas sim comporta conforme a teoria de Hertz que leva em consideração as tensões geradas pelos contatos esféricos. Foi portanto, assumido que o prato paralelo possui raios $R_1 = R'_1 = \infty$ e que os grãos de milho possuem raios $R_2 = R'_2 = d/2$, onde d = diâmetro dos grãos.

Na base dessas considerações e dos parâmetros obtidos das curvas de deformação nos ensaios de compressão uniaxial quase estática, foi calculada o modelo de elasticidade dos grãos de milho. Segundo a teoria de Hertz, usando a equação:

$$E_2 = [0,531P (1 - \mu^2)/D^{3/2}] [1/R_2 + (1/R_2)]^{1/2} \quad (33)$$

onde P = carga (N) correspondente a deformação elástica de (m/m); μ = coeficiente de Poisson; R_2 = raio menor da curvatura do grão (m) R' = raio maior da curvatura do grão (m).

1. Índice de dureza (ID)

Foi calculado segundo a fórmula a seguir e os valores foram utilizados para comparar a dureza de grãos nos vários tratamentos:

$$ID = 0,365 \left\{ (P/A^2) \left[(1/R_2) + (1/R_2') \right]^2 \right\}^{1/3} \quad (34)$$

onde ID = índice de dureza (Pa ou N/m^2); P = carga correspondente a metade da deformação elástica; R_2 , R_2' = raio de curvatura do grão de milho no ponto de aplicação de força; A = constante elástica ($1/Pa$).

A constante elástica (A) foi obtido pela equação:

$$A = \frac{(1 - \mu^2)}{E_3} \quad (35)$$

onde μ = coeficiente de poisson de grãos de milho; E_3 = módulo de deformabilidade (Pa).

O modelo de deformabilidade foi calculado usando-se a mesma equação de Hertz (ASAE, 1983) com metade dos valores de carga e deslocamento obtidos das curvas dos ensaios da compressão uniaxial.

3.3. Propriedades tecnológicas do milho

As propriedades tecnológicas do milho foram avaliadas, levando em consideração suas características de degerminação, moagem seca e qualidade de produtos finais obtidos.

3.3.1. Degerminação de grãos de milho

Foi utilizado para a degerminação dos grãos o degerminador descontínuo de faca, marca D'Andrea com o motor de 3 cavalos, 24 facas e capacidade de 50 kg/hora. Esse equipamento possui um cilindro de chapa de ferro e fundo perfurado. Na parte interna e longitudinalmente está colocado um eixo provido de quatro fileiras cada um com seis facas cortantes, dispostas radialmente opostos, duas a duas em posição alternada à 90° , e afastadas uma das outras cerca de 5 cm. A velocidade do eixo variou entre 750 a 900 rpm, e o produto foi transportado helicoidalmente até a saída da câmara de degerminação. Um dispositivo de descarga passou os grãos degerminados para peneira vibratória (mesa densimétrica) com furos de 3,5 mm de diâmetro. Por meio desta, o produto degerminado foi separado em duas frações: o germe com partículas menor que 3,5 mm a canjica e cangiquinha com partículas maior que 3,5 mm de diâmetro.

3.3.1.1. Tempo de degerminação

O tempo de degerminação foi estabelecido degerminando-se os grãos de milho sem condicionamento por

tempos de 7,5; 10; 12,5 e 15 minutos respectivamente. Foi escolhido o melhor tempo na base de maior rendimento de produtos, em especial da canjica com maior tamanho conforme refletido pelas curvas de distribuição de tamanho de suas partículas versus tempo de degerminação e cálculos de área de superfície total, conforme descrito em 3.4.1.4. Este tempo, contudo foi fixado em 10 minutos para degerminação das demais amostras.

3.3.1.2. Eficiência de degerminação de grãos de milho

A eficiência do processo de degerminação foi avaliada tomando como base a quantidade dos grãos não degerminados encontrados numa amostra representativa de um lote de grãos submetidos ao processo de degerminação. Também foi feita determinação da quantidade de lipídios e fibras residuais na canjica. Os menores valores foram indicativos da maior eficiência de degerminação. Alternativamente, a eficiência de degerminação foi avaliada tomando como base a distribuição de tamanho das partículas finais alcançado no término da degerminação. Os dados dessa distribuição foram analisados e usados nos cálculos da área de superfície total das parcelas e a menor área foi utilizada como indicativo de ocorrência da menor fragmentação durante o processo de degerminação e portanto da melhor qualidade de canjica e maior eficiência de degerminação. Esses valores foram utilizados ao lado das demais avaliações para concluir qual dos tratamentos de condicionamento dos grãos, foi melhor.

Foi também determinado o teor de umidade residual na canjica e germe conforme descrita no 3.2.1.1 para verificar suas necessidades de pré-secagem para garantir conservação dos produtos finais.

3.3.1.3. Tamanhos de partículas de canjica e germe

A distribuição de tamanho de partículas tanto da canjica como do germe foi analisada utilizando-se amostras de 100 g classificando-os nas suas respectivas faixas de tamanho usando-se o jogo de peneira. Foram escolhidas peneiras com furos de 6.350; 4.760; 3.360; 2.000 e 590 μm de diâmetro respectivamente para a separação da canjica e 3.360; 2.000; 1.410; 1.190; 590 e 297 μm de diâmetro respectivamente para o germe. A quantidade do produto retido em cada peneira foi analisada segundo procedimentos descritos por GOMIDE (1967) FOUST et alii (1980). Entre essas análises foram incluídos cálculos de diâmetro médio das partículas (D_m), Massa (M) como peso ou percentagem das partículas retidas em cada peneira ou numa outra modalidade como massa de partículas cumulativas que passou em cada peneira, os resultados foram apresentados em gráficos de partículas retidas versus seus diâmetros médios.

3.3.1.4. Cálculo de área de superfície das partículas

Os cálculos de área de superfície das partículas levou em consideração o seguinte:

M = massa total das partículas (g).

D_m ou D_p = Diâmetro médio obtido como média aritmética de fração classificada em tamanhos D_1 e D_2 (cm).

$$D_m = 0.5 (D_1 + D_2) \quad (36)$$

ρ = Densidade ou massa específica do produto (g/cm^3).

$f^0 = \pi$ = Constante para forma esférica de partícula.

$k^0 = \pi/6$ = Coeficiente para forma cúbica de partículas.

$$f^0/k^0 = 6$$

A = Área de superfície específica de partículas (unidade de massa)

$$A = (1/D_p) (f^0/k^0)^{-1} \quad cm^2 g^{-1} \quad (37)$$

$$A_t = \sum_{i=a}^{i=b} A \quad cm^2 g^{-1} \quad (38)$$

onde a = diâmetro médio menor; b = diâmetro médio maior e

A_t = área de superfície específica total.

3.3.2. Moagem experimental da canjica do milho

3.3.2.1. Características do moinho

Foi utilizada para moagem das amostras de canjica moinho de rolos BÜHLER MLU 202 constituído por três pares de rolos de quebra ou rotura, três pares de rolo de redução e respectivas peneiras para classificação do produto moído em cada estágio.

Conforme demonstra o Quadro 2, o diâmetro médio de cada conjunto de rolos de quebra foi de 149,6, 150 e 150 mm respectivamente. O comprimento de cada rolo por secção foi

QUADRO 2 - Características do Moinho Bühler no início de moagem de canjica

Componente	Secção					
	Q1	Q2	Q3	R1	R2	R3
Diâmetro de rolo (mm)	149,6	150	150	150	150	150
Comprimento de rolo (mm)	40	90	70	90	70	40
Nº estrias/cm	6	8	10	480	480	480
Diferencial de velocidade ($V_2:V_1$)	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1
Espaço entre rolos(mm)	0.40	0.20	0.15	0.10	0.10	0.05
Peneiras [Abertura(mm)]	1 778	660	563	466	466	210
	2 210	210	210	210	210	210
	3 -	-	-	210	210	-

respectivamente de 40, 90, e 70 mm. A superfície de cada rolo apresentou número de estrias em ordem de 6/cm para Q_1 , 8/cm para Q_2 e 10/cm para Q_3 . A distância entre rolos foi de 0,55 mm para Q_1 , 0,20 mm para Q_2 e 0,15 mm para Q_3 . Cada estágio de moagem do sistema de quebra foi equipado com um par de peneiras com furos de 778 e 210 μ m para Q_1 , 660 e 210 μ m para Q_2 e 563 e 210 μ m para Q_3 .

O sistema de redução por sua vez apresentou três conjuntos de rolos lisos com diâmetro de 150 μ m e comprimentos de 90, 70 e 40 mm para as unidades R_1 , R_2 e R_3 . As velocidades dos rolos individuais em cada unidade foram também ajustadas para um diferencial de 2:1. Os espaços entre os rolos foram fixados em 0,1; 0,1 e 0,05 mm respectivamente. O produto moído no R_1 e R_2 foi classificado por jogos de peneiras, constituía de uma peneira com furos

de 466 μm e duas peneiras com furos de 210 μm de diâmetro, respectivamente. A última unidade de moagem R_3 foi equipada com apenas duas peneiras de abertura de 210 μm .

3.3.2.2. Processo de moagem

O fluxo de canjica para primeira unidade de quebra foi fixada no limite máximo deixando-se a abertura da moega de alimentação na calibração máxima ou seja no ponto correspondendo à uma vazão de 167 g/min (10 kg/hora).

Conforme demonstra o fluxograma da moagem no moinho experimental BUHLER MLU 202, apresentado na Figura 5, a canjica foi moída no primeiro instante pela unidade de quebra (Q_1) com seus rolos ajustados para a distância de 0,55 mm. O produto moído foi classificado em semolas e farinha com auxílio de peneiras vibratórias apresentando abertura de 778 e 210 μm . A farinha foi colhida no depósito de farinha (FQ_1). As semolas grossas foram retidas sobre a peneira 778 μm e passados para remoagem na unidade Q_2 com a distância entre seus rolos ajustados para 0,2 mm.

O produto moído pela unidade de quebra Q_2 foi classificado pelas peneiras 660 μm e 210 μm , respectivamente. A farinha foi colhida no depósito FQ_2 enquanto que as semolas retidas na peneira 660 μm foram passadas para moagem no Q_3 . Os rolos desse estágio foram ajustados em 0,15mm. Os produtos de moagem dessa unidade foram classificados sobre peneiras com furos de 563 e 210 μm , respectivamente. As partículas retidas na peneira 563 μm foram coletadas no depósito de farelo, enquanto

aquelas de 210 μm foram direcionadas para depósito de farinha FQ_3 .

As semolas médias retidas nas peneiras com furos de 210 μm nas secções Q_1 , Q_2 e Q_3 foram conduzidas para o primeiro (R_1) dos três estágios (R_1 , R_2 e R_3) do sistema de redução.

Uma parte do produto de moagem na R_1 foi classificado em farelinho retido na peneira 466 μm e enviado para um depósito próprio. A outra parte representando a farinha com tamanho menor que 210 μm foi direcionada para o depósito de farinha R_1 . As semolas retidas nas peneiras 210 μm foram remoidas na secção R_2 . A classificação das partículas foi realizado como descrita para o estágio R_1 , produzindo farelinho que foi conduzido para o depósito.

A farinha por sua vez foi levada para seu depósito (FR_3). As partículas retidas na peneira 210 μm foram encaminhadas para R_3 para serem moidas, assim gerando com auxílio de duas peneiras com furos de 210 μm farelinho separado e coletado ao mesmo depósito para os demais farelinhos (Farelinho-1) de R_1 e R_2 . A farinha de (R_3) foi coletada no depósito próprio de farinha.

É bom salientar que devido a degerminação sofrida pelos grãos de milho antes da moagem, o produto aqui designado farelinho quase na sua íntegra representou produto de endosperma vitreo que não foi reduzido em farinha durante o processo de moagem.

Com o objetivo de aumentar o rendimento de farinha, o farelinho foi repassado no moinho de facas marca Brabender equipado com uma peneira de abertura de 450 μ m. O produto coletado foi classificado em farinha (FR₄) e farelinho (Farelinho-2) com auxílio de peneira com furos de 210 μ m de diâmetro.

a. Intensidade de moagem

A intensidade de moagem é uma expressão de grau de extração de farinha em função de pressão sofrida pelo grão ou pelas partículas na zona de moagem, conforme imposto pela regulagem da distância entre os rolos. No presente trabalho, foi feito moagem de canjica ajustando-se, primeiramente, a distância entre os rolos, tanto de quebra quanto de redução, até o ponto de máximo rendimento de produtos; principalmente de farinha. Este reajuste otimizado foi utilizada para moagem de todas as demais amostras. O Quadro 3 apresenta as regulagens testadas.

QUADRO 3 - Regulagem de rolos para mudança na intensidade de moagem

Regulagem	Espaço entre Rolos (mm)					
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	R ₁	R ₂	R ₃
A	0,55	0,21	0,15	0,10	-	0,05
B	0,40	0,20	0,10	0,10	-	0,05
C	0,30	0,20	0,10	0,05	-	0,03
D	0,40	0,20	0,10	0,10	-	0,03

b. Eficiência de moagem

A eficiência de moagem da canjica no moinho experimental BÜHLER foi primeiramente avaliado com base no rendimento de quantidades individuais de produtos de moagem, compreendendo farinhas de Q_1 , Q_2 , Q_3 , R_1 , R_2 e R_3 e de subprodutos farelinho e farelo. De cada um desses produtos foram tiradas amostras para determinação do teor de cinza e os resultados foram utilizados para construir curvas cumulativas de cinza, relacionando o teor de cinza com grau de extração de farinha, conforme o procedimento descrito e utilizado por FARREL e WARD(1974).

Foi também avaliada a qualidade dos produtos em função de teor de proteína, usando-se o método N.º 46-13 de AACC (1968); amido danificado segundo o método de SANDSTEDT e MATTER (1960) e a cor.

c. Determinação da cor das farinhas

Foram colocados aproximadamente 12 g das farinhas em cápsulas de vidro para a determinação da coloração no aparelho - COR INSTRUMENTAL - S&M colour computer (SM-4-CH) sediado no Centro Nacional de Pesquisas Agroindustrial (EMBRAPA-RJ). Este aparelho funciona nos mesmos princípios do COLORÍMETRO HUNTER LAB D25 para as medidas da diferença de cor.

O espectofotômetro do aparelho foi previamente calibrado com sulfato de bário, para estabelecer o branco padrão. A determinação da reflectância (em percentagem) foi

feita na faixa do espectro visível (400-700 Am), a intervalos de 20 nm. A tonalidade e cor das amostras podem ser localizadas no diagrama de cromaticidade da Comissão Internacional de Iluminação usando-se os valores das coordenadas de cromaticidade X e Y.

$$\Delta c = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (39)$$

para calcular a diferença da cromaticidade.

A diferença total de cor (ΔE) foi calculada usando-se a formula de SCHOFIELD (FRANCIS e CLUDESDALE, 1975), ou seja:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + [(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]} \quad (40)$$

onde (ΔL) = diferença na luminosidade

$(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2$ = diferença na cromaticidade.

d. Tamanho das partículas

O efeito de condicionamento na friabilidade do endosperma e na dureza das fibras de farelo foi avaliado via análise de distribuição de tamanho e área de partículas dos produtos finais, conforme descrito no 3.4.1.5.

As farinhas das passagens de quebra foram misturadas junto, homogeneizadas e analisado quanto a sua distribuição de tamanho das partículas no conjunto de peneiras constituído pelas peneiras com furos de 210; 188; 149; 115 e 88 μ m de diâmetro. A farinha das passagens de redução também recebeu o mesmo tratamento.

O farelinho, por sua vez, foi classificado em peneiras com furos maiores do que das usadas para farinha, sendo de 59, 50, 420 e 350 μm . Devido seu aspecto visual que representou o farelinho como produto de endosperma não moído, foi necessário o uso de moinho de facas para recuperação de mais farinha. Foi utilizada a peneira com furos de 0,210 μm de diâmetro para recuperação de farinha final.

3.4. Análise estatística

3.4.1. Delineamento experimental

Com objetivo de avaliar o efeito da umidade e tempo de condicionamento das amostras de grãos de milho nas propriedades mecânicas e na eficiência de degerminação e moagem dos mesmos, um delineamento central rotacional de modelo de segunda ordem, aplicável a metodologia de superfície de resposta (MSR) segundo BOX e WILSON (1951) foi empregado. Foi estudado o efeito combinado de tempo e umidade em três níveis codificados como -1, 0 e 1. Os níveis foram definidos pela equação:

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\Delta X_i} \quad (41)$$

onde X_i = valor codificado da variável; X_i = valor real da variável; $\bar{X}_i$ = valor real da variável no ponto central; ΔX_i = valor do intervalo da variação de X_i .

Os valores máximos e mínimos de cada variável independente foram escolhidos em função da informação

contida na literatura sobre condicionamento de grãos de milho BREKKE (1966).

Para as duas variáveis ($K=2$) ou (umidade e tempo), o delineamento composto central na consideração de modelos de segunda ordem, necessita-se de no mínimo 13 ensaios. Neste caso os ensaios obedecem a combinação de níveis de variáveis codificados como 2^K fatoriais (combinando os níveis de +1 e -1) e $2K$ axiais (combinando com $+\alpha$ ou $-\alpha$ com os outros em 0), o restante no ponto central (todas as variáveis no nível 0). O valor de α depende do número de pontos da porção fatorial do delineamento.

Este valor foi definido pela equação segundo BOX e WILSON (1951) como

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^K)^{1/4} \quad (42)$$

onde F e K correspondem a porção fatorial e ao número de variáveis independentes, respectivamente.

O Quadro 4 apresenta o número de experimentos e as combinações de variáveis de diferentes níveis utilizados.

3.4.2. Análise dos dados

Para analisar o efeito das variáveis independentes em níveis diferentes foi empregada a metodologia de análise de superfície de resposta (MSR) assim descrevendo o comportamento das variáveis independentes em relação a diversas variáveis dependentes (respostas) do experimento.

Para cada observação de resposta o modelo de segunda ordem foi assumido para algumas regiões dos valores de (umidade e tempo) e a resposta poderia ser escrita como:

QUADRO 4 - Delineamento experimental composto rotacional para duas variáveis independentes

Experimento	x_1	x_2	X_1	X_2
			Umidade (X)	Tempo (h)
1	-1,00	-1,414	19	7
2	-1,00	-1,000	16	12,00
3	+1,00	-1,000	22	12,00
4	0,00	0,00	19	24,00
5	0,00	0,00	19	24,00
6	0,00	0,00	19	24,00
7	0,00	0,00	19	24,00
8	0,00	0,00	19	24,00
9	1,414	0,00	23,2	24,00
10	-1,414	0,00	14,8	24,00
11	-1,00	+1,00	16	36,00
12	+1,00	+1,00	22	36,00
13	0,00	+1,414	19	41,00

x_1 e X_1 = Umidade de grãos em unidade codificada e real, respectivamente.

x_2 e X_2 = Tempo de condicionamento em unidade codificada e real, respectivamente.

$$Y_i = B_0 + \sum_{i=1}^K B_i X_i + \sum_{i=1}^K B_{ii} X_i^2 + \sum_{i,j} \sum_{i < j} B_{ij} X_i X_j \quad (43)$$

onde Y_i = função-resposta genérica; $i = 1$ a 13 tratamentos; X_i = representa as variáveis independentes codificadas; B_0 , B_i , B_{ii} e B_{ij} = coeficiente de ordem zero, um, dois, e de interação, respectivamente, $j = 1$ a 388 (repetições); K = representa o número de valores (variáveis independentes).

A equação da regressão múltipla completa, as variáveis independentes e os termos (linear, quadrática e produto) foram analisados quanto a sua significância, através da análise de variância (teste F). Nas análises com

exceção de alguns casos, aqueles termos que apresentaram a probabilidade de significância superior a (P) 0,15) não foram caracterizados como influenciados pelo modelo. A equação de análise de regressão apresentando o maior valor de coeficiente de variação (R^2) e superior a 50 % foi representada na curva de superfície de resposta com finalidade de melhor interpretação e visualização do mesmo. Aqueles resultados com um valor de R^2 menor que 50% foram atribuídos as influências não decorrentes dos efeitos das variáveis independentes, umidade e tempo de condicionamento.

O processamento dos dados e análise estatística foram efetuados com auxílio do computador e com o uso de programa do sistema de Análise Estatística e Genética (SAEG), desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, UFV, e que fornece as análises de regressões múltiplas completas. Os gráficos de representação tridimensional foram elaborados com auxílio de programa "SURF".

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi feita avaliação experimental das propriedades tecnológicas de milho branco var. BR 451, produzido pelo Centro Nacional de Milho e Sorgo, Sete Lagoas - MG. Foram realizadas análises de composição química propriedades físicas e mecânicas, características de moagem, principalmente a influência de tempo e umidade de condicionamento de grãos na eficiência de degerminação, rendimento e qualidade de farinha.

Os resultados dessa avaliação são discutidos a seguir.

4.1. Composição química

A composição química dos grãos de milho encontra-se apresentada no Quadro 5. Os grãos de milho apresentaram teores de componentes químicos na mesma faixa e o conforme encontrados por MAGNAVACA et alii (1988).

QUADRO 5 - Composição química dos grãos de milho

Componente	(%)	Desvio-Padrão (Dp)
Umidade	11,03	0,01
Proteína	9,84	0,15
Lipídeos	5,85	0,17
Fibra	3,91	0,51
Cinza	1,52	0,12
Carotenoides totais*	-	-
Amido	67,44	0,52

* Presentes em níveis não detectáveis pelo método analítico utilizado.

Ausência de pigmentos carotenoides foi evidente tanto visualmente como pela análise química. Este resultado reflete o grande valor comercial desse milho no mercado de farinhas compostas onde a farinha de trigo poderia ser substituída pela farinha de milho sem provocar mudanças marcantes na coloração normal dos produtos derivados.

4.2. Características físicas dos grãos

As características físicas dos grãos de milho foram avaliadas tomando como base os parâmetros refletindo o tamanho, forma e massa específica dos mesmos. O conhecimento desses parâmetros é importante tanto para estudos básicos de propriedades físicas dos grãos como nas operações relacionados com os manuseios preparatórios da matéria-prima, e nos processos operacionais empregados na transformação dos grãos de milho em produtos industrializados.

4.2.1. Tamanho e forma dos grãos

O Quadro 6 apresenta as medidas de comprimento, largura e espessura, representando os três eixos básicos dos grãos de milho. Seus valores foram em média de 11,64, 9,00 e 4,61 mm respectivamente. Com base desses valores, foram calculadas as áreas seccional e de superfície bem como o volume e a esfericidade dos grãos. Seus raios menor e maior também foram determinados. Os respectivos valores dessas medidas obtidas encontram-se, no mesmo no Quadro 6.

Em função de suas dimensões e formato, POMERANZ et alii (1984) atribuiu uma configuração esférica ou elíptica para os grãos de milho. Usando como base as medidas das dimensões para cálcula a esfericidade dos grãos de milho, apresentou um valor médio de 64,5%; mostrando que não são completamente esféricas. Entretanto, a forma esférica foi levada em consideração nas avaliações posteriores, principalmente das propriedades mecânicas dos grãos.

QUADRO 6 - Tamanho e forma de grãos de milho

Características	Média	Dp
Dimensões		
Comprimento (mm)	11,64	0,82
Largura (mm)	8,99	0,72
Espessura (mm)	4,61	0,53
Raio menor (cm)	0,23	0,03
Raio maior (cm)	0,61	0,06
Area seccional (cm ²)	0,82	0,09
Area de superficie (cm ²)	3,29	0,34
Volume (cm ³)	2,02	0,28
Esfericidade (%)	67,46	0,05

4.2.1.1. Classificação por tamanho

Tomando como base a largura média dos grãos observada no Quadro 6, amostras do lote de grãos de milho foram classificados por tamanho usando-se um jogo de 12 peneiras com furos redondos. Os resultados dessa classificação estão apresentados no Quadro 7. As quantidades de grãos retidos em cada uma das peneiras do conjunto foram utilizadas para o cálculo de peneira média necessária para classificação geral dos grãos. A peneira com abertura de 7,89 mm foi escolhida como a mais apropriada.

QUADRO 7 - Distribuição de tamanho dos grãos para escolha de peneira média

Peneira (i) (mm)	Retenção Média (pi)	$i \times p_i$	Soma Acumulativa
9.52	4.11	39.18	4.11
9.12	5.89	53.81	10.00
8.77	11.57	101.57	21.57
8.33	18.71	115.98	40.28
7.93	19.44	154.36	59.72
7.54	16.18	112.07	75.90
7.14	11.08	79.19	86.98
6.74	6.35	42.85	93.72
6.35	2.87	18.26	96.59
5.95	1.14	6.78	97.73
5.55	0.50	2.80	98.23
5.15	2.06	10.65	100.20
TOTAL	99.96	787.56	

* Peneira média = 7.87 mm.

4.2.2. Volume, porosidade e massa específica dos grãos

A massa específica de grãos é determinada relacionando-se sua massa com o seu volume unitário. Primeiramente, foi determinado o volume real e aparente de

uma determinada quantidade de grãos e os resultados dessa determinação estão apresentados no Quadro 8. O valor de volume real foi menor que do volume aparente, em decorrência dessa grandeza incluir espaços de ar entre os grãos. O volume real por sua vez representou o espaço volumétrico que possa ser ocupado pela massa de grãos excluindo-se o ar.

Na prática o cálculo do espaço de armazenagem ou capacidade de transporte pelas caçambas deve incluir consideração de espaços vazios normalmente ocupados pelo ar.

Esse espaço expresso como percentagem do espaço total representa a porosidade da massa de grãos.

Os grãos de milho branco, BR 451, apresentou uma porosidade de 34,61%, um valor considerado menor que encontrado por THOMSON e ISAACS (1967) para milho dentado. Esse baixo valor pode ser atribuído à forma meio arredondada que essa variedade de milho apresenta; assim provocando boa acomodação dos grãos deixando menos espaços vazios.

Conforme apresentado no Quadro 8, os valores de massa específica real e aparente foram de 1200 kg/m^3 e 780 kg/m^3 respectivamente. Esses resultados estão em conformidade com aqueles encontrados na literatura para milhos dentados a 12% de umidade (WATSON, 1988b).

As medidas de massa específica são importantes nos cálculos de operações unitárias envolvidas nos manuseios dos grãos, como no transporte pneumático. Podem ser também utilizados na estimativa da capacidade de silos de estocagem.

QUADRO 8 - Massa específica e porosidade dos grãos de milho

Parâmetro	Valor Médio	DP
Volume		
Real (kg/m^3)	833,0	0,95
Aparente (kg/m^3)	1271,0	1,52
Massa Específica		
Real (kg/m^3)	1200,0	0,01
Aparente (kg/m^3)	780,0	0,01
Porosidade (%)	34,61	0,74

4.3. Propriedades mecânicas dos grãos

As propriedades mecânicas dos grãos de milho foram avaliados estabelecendo-se o seu modelo de deformação elástica. Com base nesses dados foi calculado o índice de dureza assim representando a rigidez real dos grãos contra a deformação mecânica. Os resultados dessas determinações estão apresentados e discutidos a seguir.

4.3.1. Deformação elástica

A força necessária para obter uma determinada deformação do grão é um dos parâmetros freqüentemente utilizado na avaliação e comparação da resistência de grãos à deformação. Quanto maior for essa força é mais resistente é o produto. No caso específico de moagem, maior será o consumo de energia no processo.

As curvas de força de formação obtidas nos testes de compressão uniaxial de grãos de milho foram todos similares em forma, curvadas na sua parte inicial, tornando-se lineares até um certo ponto, também denominado de limite linear (LL,) de força; acima do qual a relação entre a força e a deformação aumentou mais rapidamente do que a força.

Levando em consideração a área total dos gráficos de deformação os valores de força compressiva e deformação elástica relativa para promover ruptura, foi possível calcular e estabelecer parâmetros para descrever a resistência mecânica dos grãos.

4.3.1.1. Energia de deformação

A energia necessária para promover a deformação de grãos pode ser expressa como área total da curva de força - deformação traçada até a ruptura ou calculada a partir dos dados da força compressiva.

a. Área da curva

Os valores médios de área da curva obtidos até ruptura dos grãos encontram-se no Quadro 9. Análise do modelo de regressão múltipla completo não mostrou significância a nível de 1% ($P \leq 0,01$) de probabilidade pelo teste t-Student. Entretanto, optando-se para análise de modelo de regressão com apenas dois termos, umidade e tempo registrou-se um ajuste significativo ao nível de $P = 0,0805$, porém explicando apenas 43% da variação da área da curva até

ruptura ($R^2 = 0.4287$), como sendo influenciado pelas variáveis independentes, umidade e tempo de condicionamento. No entanto, essa influência sendo inferior a 50% da variação observada, não foi considerada importante.

QUADRO 9 - Deformação de grão até ruptura em função de área da curva e variáveis independentes, umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Variável dependente área de ruptura (cm ²)	
	X ₁	X ₂	médias	DP
1	19	7	7.1600	5.4793
2	16	12	5.4079	7.0476
3	22	12	6.4722	6.1753
4	19	24	6.8554	5.5133
5	19	24	5.8317	5.1935
6	19	24	5.4310	6.1337
7	19	24	5.0126	4.9322
8	19	24	3.5977	2.6811
9	23,2	24	5.6103	4.8325
10	14,8	24	2.7556	2.9360
11	16	36	-	-
12	22	36	8.1163	8.1539
13	19	41	3.3824	2.6376

- Valores perdidos.

b. Energia de ruptura

A energia de ruptura de grãos em decorrência de aplicação de força compressiva pode ser obtida através do cálculo de força (kgf) multiplicado por deslocamento (m). É uma expressão de trabalho efetivo (joules) e representa o trabalho mecânico mínimo necessário para promover dano mecânico nos grãos durante as operações de moagem.

Os valores de energia de ruptura de grãos em função das variáveis independentes umidade e tempo de condicionamento estão apresentados no Quadro 10. Foi registrado um valor mínimo médio de 0,1935 e máximo de 6.6682 KPa. Análise de regressão múltipla apresentou um modelo de melhor ajuste com apenas uma variável independente, o tempo. Foi significativo ao nível de 5% ($P \leq 0,05$) de probabilidade pelo teste t-Student e explicando 26% da variação de energia de ruptura ($R^2 = 0.2602$) como sendo influenciado pelo tempo de condicionamento.

QUADRO 10 - Energia de ruptura (U) de grãos em função de variáveis independentes, umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Energia de deformação KPa	
	X_1	X_2	médias	DP
1	19	7	0.1033	0.0965
2	16	12	0.6388	0.9966
3	22	12	1.0263	0.7759
4	19	24	0.2923	0.0537
5	19	24	0.4124	0.0728
6	19	24	4.9269	4.5839
7	19	24	0.1935	0.1419
8	19	24	0.2562	0.1751
9	23,2	24	0.2644	0.1645
10	14,8	24	1.4330	2.1950
11	16	36	1.7041	1.7360
12	22	36	6.6682	15.5872
13	19	41	2.5411	2.0913

4.3.1.2. Tensão compressiva

Por definição a tensão compressiva expressa a proporção de força compressiva normal ao produto até ruptura

dos grãos em relação a área seccional unitária original dos mesmos. Conforme apresentado no Quadro 11 a força média variou de 27,84 kgf (273,11 N) a 201,43 kgf (1.976.02 N). O Quadro 12 apresenta a equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes de análise de variância do modelo reajustado. Apresentou-se significativo ao nível de 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$) pelo teste t-Student e cerca de 71% da variação observada nos valores de força compressiva foi atribuída à influência das variáveis independentes umidade e tempo de condicionamento. Expressão dos resultados na forma gráfica de superfície de resposta (Figura 6) demonstrou que a força compressiva sobre os grãos até ruptura foi influenciado pelos de condicionamento. Aumento de umidade foi acompanhado por quedas nas forças compressivas. Aumentando-se tanto o tempo de condicionamento provocou aumentos na força compressiva. Porém aumentos no tempo de condicionamento nas faixas baixas de umidade provocaram quedas na força compressiva.

A área seccional dos grãos, por sua vez, variou de 0.7662 a 0.8780 cm² como demonstra o Quadro 13. Análise de variância para modelo de regressão que expressa área seccional dos grãos em função das variáveis independentes, umidade e tempo de condicionamento não foi significativo até o nível de 10% de probabilidade ($P \leq 0,10$) pelo teste t-Student.

QUADRO 11 - Força compressiva até ruptura de grãos de milho em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Variável dependente força compressiva (kgf)	
	X ₁	X ₂	médias	DP
1	19	7	27.8400	13.3189
2	16	12	80.5179	45.5848
3	22	12	35.3750	17.2903
4	19	24	80.5172	40.5618
5	19	24	98.8333	46.1105
6	19	24	108.0690	69.9586
7	19	24	60.0862	29.3264
8	19	24	67.9167	39.9250
9	23,2	24	70.7426	34.3066
10	14,8	24	62.9167	59.6328
11	16	36	63.9667	37.5394
12	22	36	201.4286	449.7202
13	19	41	75.0000	40.1613

Entretanto, calculando-se a tensão compressiva em função dos valores médios observados de força compressiva e área seccional dos grãos gerou valores médios apresentados no Quadro 14, e variando de 0,0333 a 0,2449 KPa.

Análise do modelo de regressão para tensão compressiva em função de variáveis independentes, umidade e tempo de condicionamento de grãos, apresentou reajuste significativo ao nível de $P = 0,05$ para efeitos individuais e combinados (interação); assim explicando até 72,42% de sua variação ($R^2 = 0.7242$) como sendo influenciado pela umidade, tempo e sua interação. (Quadro 15).

QUADRO 12 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para força compressiva até ruptura dos grãos de milho em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{2-1} = 0.5194858 \times 10^3 - 0.2601117 \times 10^2 X_1 - 0.217114 \times 10^2 X_2 + 0.126176 \times 10 X_1 X_2$	
Média das respostas	79.5478
Desvio-padrão	42.5941
Coeficiente de variação	53.5453
R^2	0.710042

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Prob.)F
Devido a regressão	3	15458.41	5152.801	7.35	0,0086
Independente	9	63(2.71)	701.4121	-	-
Total	12	21.771,1210	-	-	-

Variáveis	Estimativa dos coeficientes	Prob.)t
Intercessão	-0.519485×10^3	-
X_1	-0.260117×10^2	0.0107
X_2	-0.217115×10^2	0.0065

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

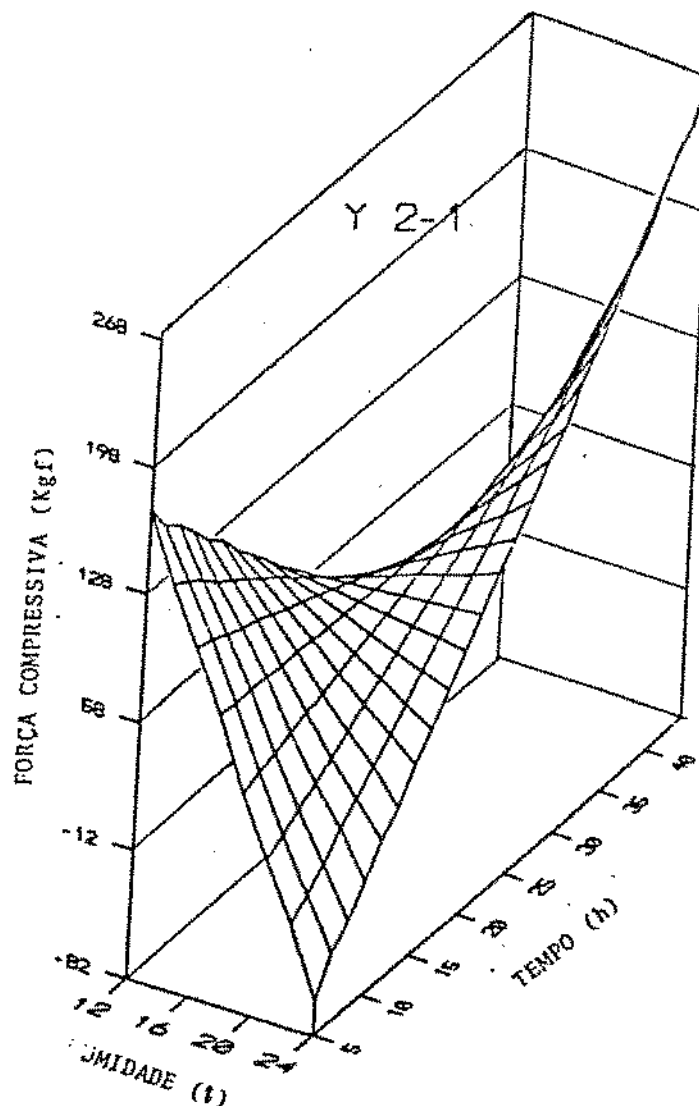


FIGURA 6 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento na força compressiva até ruptura dos grãos de milho.

O gráfico de superfície resposta elaborado com o modelo de regressão reajustado (Figura 7) apresentou o mesmo formato o gráfico da força compressiva (Figura 6). Foi observada tensão compressiva decrescente com aumento de umidade de condicionamento. Aumento no tempo de condicionamento proporcionou maiores valores de tensão compressiva. Porém como observada no caso anterior o emprego de baixos níveis de umidade com tempos crescentes provocou queda na tensão compressiva.

QUADRO 13 - Área seccional de grãos antes de compressão uniaxial quase estática

Expto.	Variáveis independentes		Variável dependente área seccional de grãos (cm ²)	
	X ₁	X ₂	média	DP
1	19	7	0.8113	0.0924
2	16	12	0.7847	0.0729
3	22	12	0.8152	0.0676
4	19	24	0.8780	0.1096
5	19	24	0.8202	0.0759
6	19	24	0.8403	0.0858
7	19	24	0.8174	0.0731
8	19	24	0.8350	0.0868
9	23,2	24	0.8191	0.1699
10	14,8	24	0.8234	0.0541
11	16	36	0.7668	0.0996
12	22	36	0.7962	0.0570
13	19	41	0.8439	0.0818

Observou-se que condicionamento na faixa de umidade entre 14 e 16% e tempos entre 20 e 25 horas registraram efeitos com menor tensão compressiva, apresentando um valor de 0,05 N/m².

Essa diminuição de tensão compressiva pode implicar no menor consumo de energia durante a deformação nos grãos.

Aplicação de tensão compressiva geralmente provoca deslocamento ou contração do material. Alguns pesquisadores expressam esse efeito como mudanças percentuais na espessura do produto. Pode-se também expressar esse efeito na base de deformação elástica relativa.

Quando se aplicou tensões compressivas sobre os grãos de milho condicionados a níveis de umidade e tempos diferentes, houve diminuição na espessura dos mesmos na

QUADRO 14 - Tensão compressiva até ruptura de grãos de milho em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Tensão compressiva KPa	
	X ₁	X ₂	Média	DP
1	19	7	0.0333	0.0144
2	16	12	0.1019	0.0584
3	22	12	0.0428	0.0211
4	19	24	0.0897	0.0429
5	19	24	0.1174	0.0521
6	19	24	0.1240	0.0771
7	19	24	0.0720	0.0339
8	19	24	0.0788	0.0423
9	23,2	24	0.1012	0.0988
10	14,8	24	0.0756	0.0737
11	16	36	0.0807	0.0433
12	22	36	0.2449	0.5314
13	19	41	0.0864	0.0434

faixa de 2,65 a 10,01% conforme, também apresentado no Quadro 16. Empregando-se uma análise de regressão múltipla para expressar a variação de contração dos grãos em função de umidade e tempo de condicionamento não apresentou resultados significativos para os níveis de até 10% de probabilidade ($P \leq 0.10$) pelo teste t-Student. Isto implica que as variáveis independentes, umidade e tempo não foram influentes no comportamento mecânico observado.

QUADRO 15 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para a deformação de grãos até ruptura em função de tensão compressiva e variáveis independentes, umidade e tempo de condicionamento

Equação					
$Y_{2-3} = 0.624886 - 0.312117 \times 10^{-1} X_1 - 0.266589 \times 10^{-1} X_2 + 0.154406 \times 10^{-2} X_1 X_2$					
Média das respostas				0.0961	
Desvio-padrão				0.0515	
Ceficiente de variação				53.59	
R ²				0.7242	
Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	3	0.02308	0.00779	7.88	0.0069
Independente	9	0.00879	0.00098		
Total	12	0.0319			
Variáveis	Estimativa dos coeficientes			Prob.>t	
Intercessão	0.624886			-	
X ₁	-0.312117 × 10 ⁻¹			0.0099	
X ₂	-0.266589 × 10 ⁻¹			0.0053	
X ₁ X ₂	0.154406 × 10 ⁻²			0.0031	

X₁ = umidade (%).

X₂ = tempo (horas).

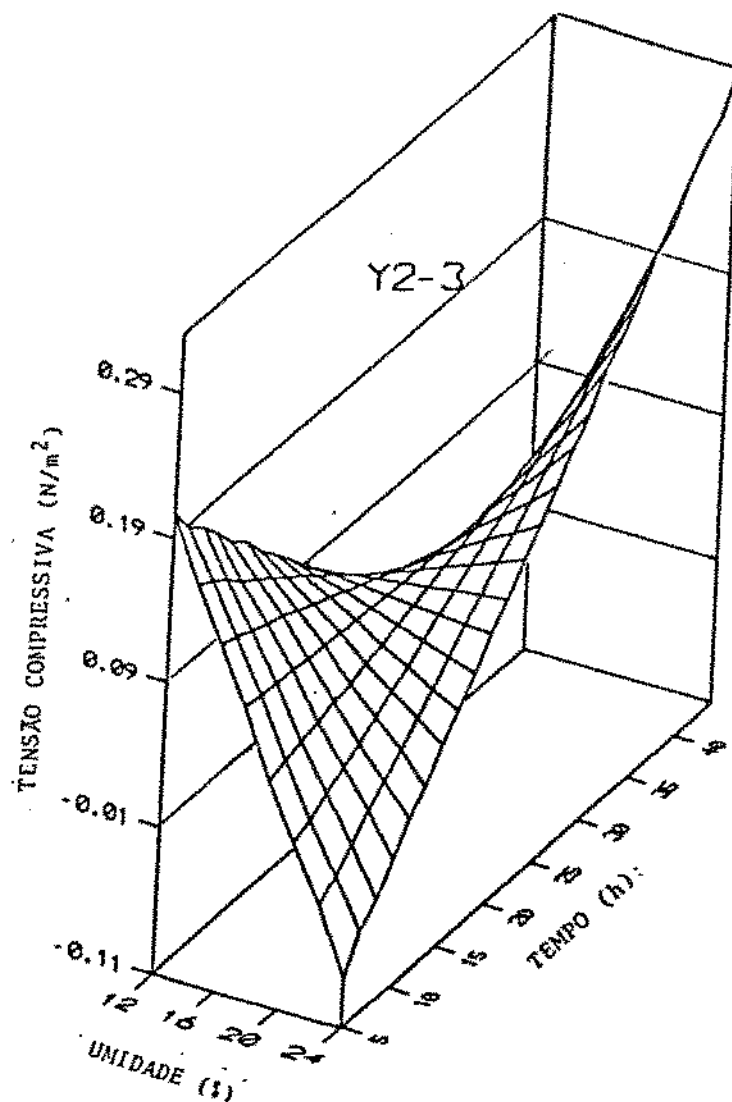


FIGURA 7 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento na tensão compressiva dos grãos de milho.

4.3.1.3. Deformação elástica relativa

Avaliação da deformação elástica relativa dos grãos de milho, levou em consideração deslocamento medido no gráfico de deformação e medidas na espessura original dos grãos. Foram obtidos valores médios adimensionais situados entre 0,065 a 0,9221, conforme apresentado no Quadro 17. Os

resultados de análise de variância apresentaram um modelo significativo ($P \leq 0.10$) porém explicando apenas 18.08% da variação da resposta. Portanto, as influências da umidade e tempo de condicionamento foram desprezados.

4.3.1.4. Modelo elástico de Young (E_1)

O modelo elástico de Young expressa a constante de proporcionalidade entre a tensão compressiva e deformação elástica relativa para material isotrópico (POPOV, 1978). Foi aplicado aos grãos de milho condicionados. O Quadro 18 apresenta os valores médios obtidos variando-se do mínimo de 0.08319 ao máximo de 1.3850 KPa.

Aplicação de análise de variância de regressão do modelo para expressar sua variação em função de umidade e tempo de condicionamento, não resultou em valores significativos ao nível de 10% de probabilidade pelo teste t-Student decorrente, possivelmente aos grãos de milho não ser material perfeitamente isotrópico. Essa observação também foi notada na avaliação da deformação elástica relativa na qual foi registrado um baixo coeficiente de determinação. Isto poderia ter sido provocado pelos valores de deformação elástica relativa provados não significativos neste trabalho.

Entretanto, a deformação elástica de materiais biológicos com configurações quase esféricas podem ser melhor estimados com auxílio da teoria de HERTZ, que corrige as influências de tensões sobre superfícies esféricas nos ensaios de compressão uniaxial. Conforme apresentado

QUADRO 16 - Mudança na espessura de grãos em função de compressão uniaxial e variáveis independentes, unidade (X_1) e tempo (X_2)

Expto.	Variáveis independentes		Variável dependente compressão axial (%)	
	X_1	X_2	Média	DP
1	19	7	8.5960	5.5785
2	16	12	2.8457	2.0720
3	22	12	3.3407	2.8803
4	19	24	8.5145	5.9892
5	19	24	5.6667	3.4607
6	19	24	10.0124	7.0546
7	19	24	6.2742	4.1612
8	19	24	3.6556	3.1656
9	23,2	24	4.9356	3.6677
10	14,8	24	6.0825	3.6522
11	16	36	5.5998	4.6745
12	22	36	7.8681	5.6331
13	19	41	8.1606	5.8873

QUADRO 17 - Valores médios de deformação elástica relativa de grãos de milho em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis Independentes		Variável Dependente Deformação Elástico-Relativa (e)	
	X_1	X_2	Médias	DP
1	19	7	0.07634	0.03024
2	16	12	0.1295	0.1181
3	22	12	0.5604	0.2505
4	19	24	0.07502	0.03063
5	19	24	0.08989	0.03189
6	19	24	0.9221	0.4321
7	19	24	0.06500	0.02489
8	19	24	0.06787	0.02458
9	23,2	24	0.08095	0.02250
10	14,8	24	0.4150	0.1925
11	16	36	0.4897	0.2396
12	22	36	0.6299	0.2387
13	19	41	0.6408	0.2628

QUADRO 18 - Valores médios de modelo elástico de Young (Hooke) (E_1) para os grãos de milho em função de umidade¹ e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Variável dependente modelo elástico de Hooke (E_1) Y4 (KPa)	
	X_1	X_2	Médias	DP
1	19	7	0.4645	0.1788
2	16	12	0.1168x10	0.1157x10 ⁻¹
3	22	12	0.8319x10 ⁻¹	0.3496x10 ⁻¹
4	19	24	0.1385x10	0.1124x100
5	19	24	0.1361x10	0.4641
6	19	24	0.1417	0.8601x10 ⁻¹
7	19	24	6.1160x10	0.4290
8	19	24	0.1162x10	0.4003
9	23,2	24	0.1325x10	0.1655x10 ⁻¹
10	14,8	24	0.1646	0.6918x10 ⁻¹
11	16	36	0.1678	0.5363x10 ⁻¹
12	22	36	0.3363	0.6111
13	19	41	0.1341	0.5056x10 ⁻¹

anteriormente, os grãos de milho registraram uma esfericidade de 64% que poderia ter influenciado na distribuição da tensão compressiva.

4.3.1.5. Aplicação do modelo elástico aparente de Hertz(E2)

Os grãos de milho apresentam uma forma elipsoide (PMERANZ et alii, 1984). Como tal, quando comprimidos uniaxialmente entre placas paralelas, tensões de contacto em copos elásticos esféricos são envolvidos, e seus modelos de elasticidade só podem ser considerados como aparentes e calculados na base da teoria de Hertz (SHPOLYANSKAYA, 1952; MOHSENIN, 1970). De acordo com essa teoria, a deformação de grão de milho foi calculado usando a equação 33.

O valor do coeficiente de poisson foi obtido de três maneiras diferentes, porém, a terceira modalidade foi utilizada adimensionalmente ao lado dos valores médios dos raios menor e maior dos grãos, força compressiva uniaxial e a deformação elástica relativa para o cálculo o modelo de deformação elástica dos grãos.

a. Deformação específica lateral

O Quadro 19 apresenta os resultados das medidas e cálculos da Deformação Específica Lateral considerando as mudanças lineares nos eixos maior e menor, bem como as mudanças na área seccional dos grãos. Com a aplicação de tensão compressiva uniaxial.

No caso de mudanças no eixo maior os valores médios ficaram na faixa de $0,8444 \times 10^{-2}$ a $0,2815 \times 10^{-1}$. Aplicação de análise de variância de regressão gerou equação de modelo e estimativas de coeficientes apresentados no Quadro 29. O modelo foi significativo até o nível de 15% ($P < 0.15$) de probabilidade pelo teste t-Student e a umidade e tempo de condicionamento poderia explicar até 35.06% de variação, deixando uma grande proporção de variação não influenciado pelas variáveis independentes do experimento.

Expressando-se a deformação específica lateral na base de eixo menor (LARGURA) os valores médios ficaram entre $0,2243 \times 10^{-1}$ a $0,6958 \times 10^{-1}$ conforme pode-se notar no Quadro 20.

QUADRO 19 - Valores médios de deformação específica lateral (na base de comprimento) em função de umidade e tempo de condicionamento

Explo	Variável independente		Deformação específica lateral (comp.) Y5-1		Deformação específica lateral (largura) Y5-2		Deformação específica (Lateral (Δ a' rea) Y5-3	
	X_1	X_2	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1	19	7	0.2815×10^{-1}	0.2343×10^{-1}	0.6958×10^{-1}	0.4962×10^{-1}	0.8278×10^{-1}	0.5891×10^{-1}
2	16	12	0.1244×10^{-1}	0.1181×10^{-1}	0.3274×10^{-1}	0.3309×10^{-1}	0.3614×10^{-1}	0.3169×10^{-1}
3	22	12	0.1240×10^{-1}	0.1337×10^{-1}	0.2489×10^{-1}	0.2323×10^{-1}	0.3073×10^{-1}	0.2852×10^{-1}
4	19	24	0.2508×10^{-1}	0.2161×10^{-1}	0.5790×10^{-1}	0.5772×10^{-1}	0.7438×10^{-1}	0.6459×10^{-1}
5	19	24	0.2368×10^{-1}	0.2463×10^{-1}	0.4382×10^{-1}	0.3675×10^{-1}	0.5602×10^{-1}	0.4278×10^{-1}
6	19	24	0.1271×10^{-1}	0.1418×10^{-1}	0.2610×10^{-1}	0.3280×10^{-1}	0.3203×10^{-1}	0.3151×10^{-1}
7	19	24	0.1258×10^{-1}	0.1047×10^{-1}	0.3033×10^{-1}	0.2106×10^{-1}	0.3595×10^{-1}	0.2328×10^{-1}
8	19	24	0.0444×10^{-2}	0.6651×10^{-2}	0.2243×10^{-1}	0.2061×10^{-1}	0.2625×10^{-1}	0.2103×10^{-1}
9	23.2	24	0.1180×10^{-1}	0.1143×10^{-1}	0.2498×10^{-1}	0.2879×10^{-1}	0.5577×10^{-1}	0.1307
10	14.8	24	0.9691×10^{-2}	0.5218×10^{-2}	0.2743×10^{-1}	0.2436×10^{-1}	0.3103×10^{-1}	0.2040×10^{-1}
11	16	36	0.1633×10^{-1}	0.1564×10^{-1}	0.3385×10^{-1}	0.3408×10^{-1}	0.3903×10^{-1}	0.3316×10^{-1}
12	16	36	0.2123×10^{-1}	0.2237×10^{-1}	0.3265×10^{-1}	0.2811×10^{-1}	0.4300×10^{-1}	0.2937×10^{-1}
13	19.8	41	0.1889×10^{-2}	0.1857×10^{-2}	0.2755×10^{-1}	0.1888×10^{-1}	0.3915×10^{-1}	0.2764×10^{-1}

Análise de variância de regressão para as variáveis independentes, não revelou significativo men ao nível de 10% de probabilidade ($P < 0,10$) pelo teste t-Student.

Usando-se a mudança na área seccional com aplicação de tensão compressiva uniaxial, para expressar deformação, apresentou valores médios na faixa de $0,2625 \times 10^{-1}$ a $0,8278 \times 10^{-1}$ (Quadro 19). Da mesma forma aplicando-se análise de variância de regressão não aprovou nenhum modelo significativo, até o nível de 10% de probabilidade ($P < 0,10$) pelo teste t-Student. Com esses resultados foi comprovado que mudança na área seccional não foi influenciada pela umidade e tempo de condicionamento utilizada neste trabalho.

b. Deformação específica axial

Aplicação de tensão compressiva uniaxial afetou a espessura dos grãos, provocando contração que foi medida e seus valores utilizados para calcular a deformação específica axial. Os valores médios desses cálculos encontram-se no Quadro 20. Variando entre $0,2846 \times 10$ e $0,1001$. Analisando-se a variância de regressão e estimativa dos coeficientes, não apresentou significância ao nível de 10% de probabilidade ($P < 0,10$) pelo teste t-Student.

c. Coeficiente de Poisson (μ)

O coeficiente de Poisson é calculado como proporção dos valores de deformação específica lateral sobre os de deformação específica axial. O Quadro 21 apresenta os valores de coeficientes de Poisson calculados.

Utilizando-se a deformação específica lateral baseada no comprimento do grão (coeficiente ν_1 , ou resposta (Y5-6), obtiveram-se valores médios variando de $0,2066$ a $0,5414$, uma faixa bem próximo aquela apresentado pelas matérias biológicas em geral (MOSEHNIN, 1974). Entretanto, a aplicação da análise de variância de regressão desses valores não apresentou nenhum modelo que pudesse reajustar significativamente.

Quando utilizou-se a deformação específica lateral baseada na largura (coeficiente ν_2) obtiveram valores médios mais altos na faixa entre $0,4501$ a $1,240$ (Quadro 21). Aplicação da análise de variância de regressão sobre estes

Os cálculos dos coeficientes de Poisson apresentaram diferenças esperadas devido a natureza heterogênea dos materiais biológicos conforme também constata MOHSEIN, (1974). Apesar dessas diferenças, e falta de significância estatística, o coeficiente de Poisson ν_3 , foi utilizado nos cálculos de modelo elástico aparente de Hertz, em função dos variáveis independentes do experimento.

d. Estimativa de módulo elástico aparente de Hertz

Com base no coeficiente de Poisson, foi calculado o módulo elástico aparente de Hertz (E_2). Os valores médios obtidos estão apresentados no Quadro 22, situados numa faixa de 2,366 a 2,816 MPa. Análise de variância da regressão múltipla revelou reajuste do modelo significativo para o módulo elástico aparente de Hertz ao nível de 10% ($P < 0,1$) de probabilidade pelo teste t-Student. No entanto, apenas 44,58% da variação observada poderia ser atribuída às influências de umidade e tempo de condicionamento empregados nos experimentos.

Com estes resultados foi descartada a influência do tempo e umidade de condicionamento na estimativa de módulo elástico aparente de Hertz.

e. Índice de dureza de grãos de milho

Segundo ASAE (1983), a utilização dos valores da força compressiva e deformação elástica relativa no ponto de inflexão (metade de limite linear força é sua correspondente

QUADRO 21 - Valores médios de coeficientes de Poisson em função de umidade e tempo de condicionamento de grãos de milho

Expto.	Variáveis Independentes		Coeficiente de Poisson (μ_1)		Coeficiente de Poisson (μ_2)		Coeficiente de Poisson (μ_3)	
	X_1	X_2						
			Média	DP	Média	DP	Média	DP
1	19	7	0.3158	0.2318	0.7424	0.3541	0.2071×10^{-4}	0.8605×10^{-5}
2	16	12	0.4496	0.2050	1.240	1.173	0.2482×10^{-4}	0.3525×10^{-4}
3	22	12	0.3925	0.1978	0.7609	0.3447	0.5445×10^{-3}	0.4757×10^{-3}
4	19	24	0.3189	0.1610	0.6601	0.3315	0.6869×10^{-5}	0.3692×10^{-5}
5	19	24	0.5414	0.9323	0.7287	0.3692	0.8097×10^{-5}	0.8628×10^{-5}
6	19	24	0.2066	0.2384	0.4501	0.6516	0.2818×10^{-3}	0.1852×10^{-3}
7	19	24	0.3276	0.6063	0.7498	1.084	0.9152×10^{-5}	0.1029×10^{-4}
8	19	24	0.3349	0.2105	0.8574	0.9871	0.1008×10^{-4}	0.6762×10^{-5}
9	23.2	24	0.5297	0.8922	0.8520	1.036	0.3420×10^{-3}	0.1186×10^{-3}
10	14.8	24	0.2515	0.2297	1.201	2.256	0.1481×10^{-3}	0.9525×10^{-4}
11	16	36	0.4837	0.6625	1.186	1.928	0.1661×10^{-3}	0.1600×10^{-3}
12	22	36	0.4324	0.5769	0.6537	0.6532	0.9552×10^{-4}	0.6956×10^{-3}
13	19	41	0.3741	0.7032	0.8163	1.247	0.2187×10^{-3}	0.1665×10^{-3}

QUADRO 22 - Valores médios de modelo elástico aparente de Hertz (E2) em função de umidade, tempo de condicionamento e coeficiente de Poisson (μ_3)

Expto.	Variáveis Independentes		Variável dependente E2 (N/m ²)	
	X_1	X_2		
			Média	DP
1	19	7	0.6193×10^6	0.3150×10^6
2	16	12	0.1475×10^7	0.1687×10^7
3	22	12	0.4047×10^5	0.2558×10^5
4	19	24	0.2816×10^7	0.5789×10^7
5	19	24	0.1733×10^7	0.7848×10^6
6	19	24	0.5932×10^5	0.3888×10^5
7	19	24	0.1762×10^7	0.1202×10^7
8	19	24	0.1707×10^7	0.8819×10^6
9	23.2	24	0.2366×10^7	0.1943×10^8
10	14.8	24	0.1016×10^6	0.4145×10^5
11	16	36	0.8259×10^5	0.3350×10^5
12	22	36	0.1455×10^6	0.2790×10^6
13	19	41	0.5689×10^5	0.2203×10^5

deformação elástica relativa representa uma avaliação real da resistência dos grãos ao dano mecânico. Esses valores podem ser utilizados para calcular um índice de dureza na base do qual pode ser avaliada a eficiência do condicionamento.

1. Limite linear de força no ponto de inflexão

O Quadro 23 apresenta os valores do limite linear de força no ponto de inflexão no qual os grãos apresentaram o máximo de seu comportamento elástico. Os valores médios variaram de 136,56 Kgf (1.339,65N) a 988,01 Kgf (9.692,38N). Análise de variância desse parâmetro não registrou nenhuma significância até o nível de 10% ($P < 0,10$) de probabilidade pelo teste t-Student. Entretanto, os valores do limite linear de força foram empregados no cálculo de módulo de deformabilidade.

1.1. Deformação elástica no ponto de inflexão

Avaliação de deformação elástica no ponto de inflexão levou em consideração o deslocamento gráfico causado pela diminuição na espessura dos grãos, causado pela aplicação de força. Os valores médios dessa medida (Quadro 24) apresentaram-se uma faixa entre 0,0001490341 a 0,002040946 (m).

Aplicação de análise de variância de regressão não revelou significância até o nível de 10% ($P < 0,10$) de probabilidade pelo teste t-Student. Seus valores no entanto, foram utilizados assim mesmo para os cálculos de módulo de deformabilidade.

QUADRO 23 - Valores médios de limite linear de força no de inflação em função das variáveis independentes (umidade e tempo) de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Variável dependente limite linear de força (kgf)	
	X ₁	X ₂	Média	DP
1	19	7	136.5551	65.3286
2	16	12	394.9380	223.5960
3	22	12	173.5139	84.8097
4	19	24	394.9355	198.9568
5	19	24	484.7754	226.1749
6	19	24	530.0762	343.1492
7	19	24	294.7217	143.8473
8	19	24	333.1296	195.8331
9	23.2	24	346.9910	168.2748
10	14.8	24	308.6047	292.4998
11	16	36	313.7551	184.1318
12	22	36	988.0051	2205.877
13	19	41	367.8730	196.99932

QUADRO 24 - Valores médios de deformação elástica (deslocados grãos no ponto de inflexão em função de umidade e tempo de condicionamento)

Expto.	Variáveis independentes		Variável dependente deformação elástica	
	X ₁	X ₂	Média	DP
1	19	7	0.1719×10^{-3}	0.6239×10^{-4}
2	16	12	0.2934×10^{-3}	0.2764×10^{-3}
3	22	12	0.1386×10^{-2}	0.6665×10^{-3}
4	19	24	0.1652×10^{-3}	0.6331×10^{-4}
5	19	24	0.2023×10^{-3}	0.7268×10^{-4}
6	19	24	0.2041×10^{-2}	0.8577×10^{-3}
7	19	24	0.1490×10^{-3}	0.5625×10^{-4}
8	19	24	0.1563×10^{-3}	0.5481×10^{-4}
9	23.2	24	0.1816×10^{-3}	0.4614×10^{-4}
10	14.8	24	0.8875×10^{-3}	0.3597×10^{-3}
11	16	36	0.1126×10^{-2}	0.5323×10^{-3}
12	22	36	0.1446×10^{-2}	0.4834×10^{-3}
13	19	41	0.1515×10^{-2}	0.5599×10^{-3}

i.i.i. Módulo de deformabilidade

O módulo de deformabilidade foi obtido efetuando-se os mesmos cálculos como os realizados na obtenção de modelo elástico aparente de Hertz, porém, usando-se valores fornecidos pelo ponto de inflexão na curva de deformação elástica e o valor de coeficiente de Poisson (ν_3).

O Quadro 25 apresenta os valores médios dos módulos de deformabilidade obtidos. Variaram de 0,3404 GPa a 0,2378 GPa. Encontram-se no Quadro 40 os resultados de análise de variância de regressão múltipla. O modelo de regressão apresentou melhor reajuste para o nível de 10% de significância ($P < 0,10$) pelo teste t-Student, no qual somente 44,58% da variação foi provocada pela umidade e tempo de condicionamento de grãos.

Iv. Constante elástica

Em função dos valores de coeficiente de Poisson - m_3 (Y5-8) e módulo de deformabilidade apresentado pelos grãos de milho, foi calculado a constante elástica, com base na qual poderia ser estimado, finalmente o índice de dureza dos grãos. O Quadro 26 apresenta os valores médios de constante elástica estimada em função das condições de condicionamento.

Através da análise de regressão, foi reajustado o modelo para a constante elástica, e apresentou significância a nível de 5% de probabilidade ($P < 0,5$) pelo teste t-Student. Entretanto, como ocorreu com os demais parâmetros

QUADRO 25 - Valores médios de modelos de deformabilidade em função de umidade e tempo de condicionamento de grãos de milho

Expto.	Variáveis independentes		Variável dependente E2-3 (N(m2))	
	X1	X2	media	DP
1	19	7	0.5263×10^9	0.2645×10^9
2	16	12	0.1244×10^{10}	0.1436×10^{10}
3	22	12	0.3404×10^8	0.2152×10^8
4	19	24	0.2378×10^{10}	0.4862×10^{10}
5	19	24	0.1463×10^{10}	0.6590×10^9
6	19	24	0.5003×10^8	0.3332×10^8
7	19	24	0.1482×10^{10}	0.1013×10^{10}
8	19	24	0.1435×10^{10}	0.7416×10^9
9	23.2	24	0.1148×10^{10}	0.5988×10^9
10	14.8	24	0.8539×10^8	0.3477×10^8
11	16	36	0.6966×10^8	0.2838×10^8
12	22	36	0.1225×10^9	0.2343×10^9
13	19	41	0.4788×10^8	0.1850×10^8

de deformação elástica, seu coeficiente de determinação foi baixo, sendo de apenas 33,01% nos valores da constante elástica que poderiam ser atribuídos as influências de umidade e tempo de condicionamento.

v. Estimativa do índice de dureza (índice de tensão)

Os valores médios de índice de dureza foram estimados e encontram-se apresentados no Quadro 27 com valores mínimos de 0,13330 MPa e máximo de 0,2188 MPa. Análise de variância da regressão reajustou um modelo para índice de dureza significativo ao nível de 10% ($P < 0,10$) de probabilidade pelo teste t-Student. Neste modelo foi atribuído cerca de 76,96% da variação como proveniente da contribuição de

QUADRO 26 - Valores médios de constante elástica em função de tempo e umidade de condicionamento de grãos de milho

Expto.	Variáveis independentes		Constante elástica 3 (i/pa) (Y6-B)	
	X ₁	X ₂	Mediã	DP
1	19	7	0.1198×10^{-4}	0.5299×10^{-5}
2	16	12	0.1270×10^{-4}	0.1845×10^{-4}
3	22	12	0.2765×10^{-3}	0.2503×10^{-3}
4	19	24	0.4030×10^{-5}	0.3012×10^{-5}
5	19	24	0.4530×10^{-3}	0.5825×10^{-3}
6	19	24	0.1425×10^{-5}	0.1018×10^{-5}
7	19	24	0.4598×10^{-5}	0.5164×10^{-5}
8	19	24	0.4926×10^{-5}	0.3220×10^{-5}
9	23.2	24	0.5705×10^{-4}	0.7172×10^{-4}
10	14.8	24	0.7538×10^{-4}	0.5195×10^{-4}
11	16	36	0.8384×10^{-4}	0.8461×10^{-4}
12	22	36	0.4903×10^{-4}	0.3818×10^{-3}
13	19	41	0.1136×10^{-3}	0.9482×10^{-4}

umidade e tempo de condicionamento ($R = 0,7696$). O Quadro 28 apresenta a equação, análise de variação e estimativas dos coeficientes de regressão. Expressão da equação do modelo na forma de gráfico de superfície resposta (Figura 8) demonstrou que o aumento no teor de umidade provocou diminuição no índice de dureza dos grãos. Por outro lado, aumento no tempo de condicionamento implicou aumento no índice de dureza.

O valor mínimo de índice de dureza foi alcançado com níveis de 14 a 16% de umidade e tempos de 20 a 25 horas de condicionamento, correspondendo a um valor de índice de dureza de 160 Kpa nos grãos.

QUADRO 27 - Valores médios de índice de dureza de grãos de milho em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Índice de dureza (MPa)	
	X ₁	X ₂	média	DP
1	19	7	0.1330x10 ³	0.2187x10 ²
2	16	12	0.1870x10 ³	0.3549x10 ²
3	22	12	0.1394x10 ³	0.2688x10 ²
4	19	24	0.1877x10 ³	0.3576x10 ²
5	19	24	0.2023x10 ³	0.3611x10 ²
6	19	24	0.2049x10 ³	0.4557x10 ²
7	19	24	0.1996x10 ³	0.3049x10 ²
8	19	24	0.1748x10 ³	0.3970x10 ²
9	23.2	24	0.1791x10 ³	0.3725x10 ²
10	14.8	24	0.1688x10 ³	0.4793x10 ²
11	16	36	0.1737x10 ³	0.3735x10 ²
12	22	36	0.2188x10 ³	0.5625x10 ²
13	19	41	0.1767x10 ³	0.3775x10 ²

4.4. Propriedades tecnológicas

As propriedades tecnológicas de grãos de milho foram avaliadas analisando-se sua eficiência no processo de degerminação e facilidades de transformação da canjica em farinha.

4.4.1. Degerminação dos grãos

A degerminação dos grãos de milho foi realizado em duas etapas. A primeira para escolha do tempo ideal de degerminação e a outra utilizando esse tempo para degerminação dos grãos condicionados.

QUADRO 28 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão do índice de dureza em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação					
$Y_{6-9} = 0.38855 \times 10^3 - 0.149429 \times 10^2 X_1 - 0.680892 \times 10 X_2 - 0.852602 \times 10^{-1} X_2^2 + 0.643840 X_1 X_2$					
Média das respostas				178.1487	
Desvio-padrão				23.9025	
Coefficiente de variação				13.4172	
R ²				0.76957	
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	4	5276.121	1319.030	6.68	0.0115
Independente	8	1579.813	197.4766		
Total	12	6.855.934			
Variáveis	Estimativa dos Coeficientes			Prob. > t	
Intercessão	0.388551 × 10 ³			-	
X ₁	-0.149429 × 10 ²			0.0084	
X ₂	-0.680892 × 10 ¹⁰			0.0688	
X ₂ ²	-0.852602 × 10 ⁻¹			0.0243	
X ₁ X ₂	0.643840			0.0054	

X₁ = umidade (%).
X₂ = tempo (horas).

4.4.1.1. Degerminação preliminar

Os resultados da degerminação preliminar para escolher o melhor tempo de degerminação estão apresentados nos Quadros 29, 30 e 31. Foram utilizados como indicadores o rendimento de produtos, teor de lipídeos residuais e tamanhos de partículas produzidas.

Pelo Quadro 29, observou-se que o rendimento de canjica diminuiu com tempo de degerminação. A quantidade de germe por sua vez aumentou com tempo de degerminação,

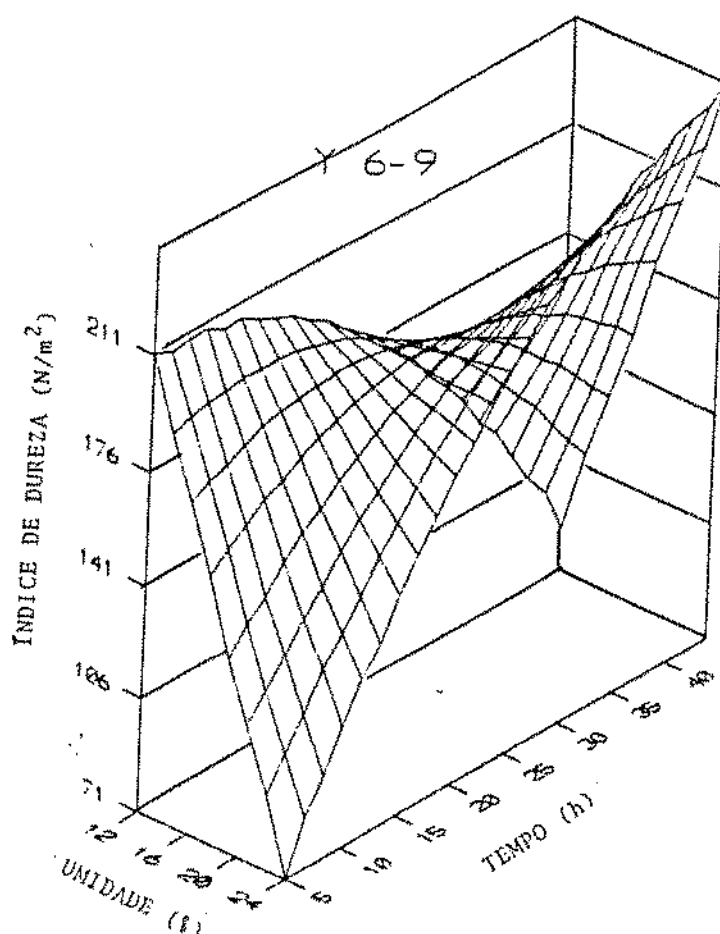


FIGURA 8 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento no índice de dureza dos grãos de milho.

provavelmente devido à ação abrasiva que as facas de degerminador exerceu sobre os grãos. Entretanto, o rendimento total de produtos foi relativamente maior para os tempos de 10 e 12, 5 minutos.

Através da degerminação eliminou-se película externa dos grãos e os lipídios no germe, componentes que quando presentes em excesso podem comprometer a qualidade de produtos derivados.

QUADRO 29 - A quantidade de produtos de degerminação em função do tempo

Produto	Tempo em minutos			
	7,5	10,0	12,5	15,0
Milho em grão (%)	100,00	100,00	100,00	100,00
Canjica (%)	80,00	74,23	68,18	55,48
Germe (%)	15,10	23,40	28,60	39,73
Rendimento total (%)	95,60	97,60	96,80	95,20
Perdas (%)	4,40	2,40	3,20	4,80

Observa-se pelo Quadro 30 que maior tempo de degerminação, resultou no menor a quantidade de fibras na canjica. Quando a degerminação foi conduzida por mais de 7,5 minutos reduziu a quantidade de lipídeos para níveis normalmente aceitos no comércio para canjica de boa qualidade, principalmente para fermentação alcoólica na indústria de bebidas (HUG e PFENNINGER, 1980).

Baixos teores de fibra normalmente garantem melhor textura de produtos alimentícios derivados do milho. Presença de lipídios em níveis baixos, implicam na maior conservação dos produtos finais.

A eficiência de degerminação pode ser também analisado na base do tamanho das partículas obtidas durante o processo de degerminação. Quanto maior ficou o tamanho da canjica ou do germe, maior foi a eficiência do processo de degerminação.

QUADRO 30 - Quantidade de Fibra e Lipídeos Residuais da Canjica em Função de Tempo de Determinação

Parâmetro	Tempo em minutos			
	7,5	10,0	12,5	15,0
Teor de Fibra* (%)	9,58	8,46	7,84	7,21
Teor de Lipídeos (%)	1,54	1,06	1,02	1,06

* Fibra detergente neutro (σ) (VAN SOEST, 1963).

** Valores médios de quatro determinações.

Observa-se pela Figura 9 que tanto os grãos degerminados por 7,5 como por 10 minutos apresentaram tamanhos de partículas de canjica maiores, sendo retidos basicamente na peneira com abertura de 5,13 mm. Entretanto, quanto maior o tamanho de partícula, menor a sua área de superfície. Calculando-se a área de superfície específica das partículas de canjica demonstrou altos valores de superfície com menores tamanhos das partículas, conforme apresentam o Quadro 31 e Figura 18.

Na base desses resultados foi escolhido o tempo de 10 minutos para a degerminação das amostras de milho utilizadas nos demais experimentos.

4.4.1.2. Eficiência de degerminação dos grãos em função de umidade e tempo de condicionamento

Amostras dos grãos de milho condicionados de acordo com o delineamento experimental foram degerminados no degerminador de facas por 10 minutos. Os resultados de rendimento dos produtos encontram-se apresentados no Quadro 32. Houve variação no rendimento médio da canjica.

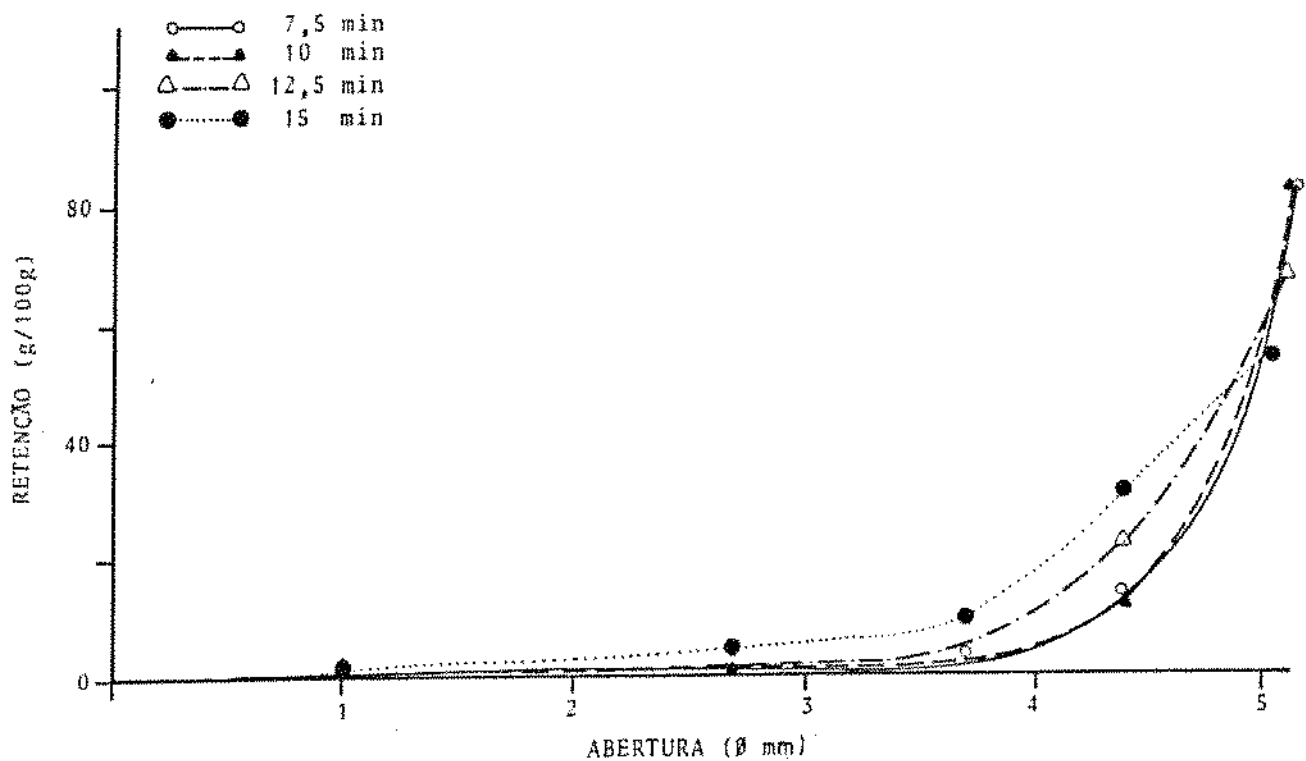


FIGURA 9 - Distribuição de tamanho de partículas em função do tempo de degerminação de grãos de milho.

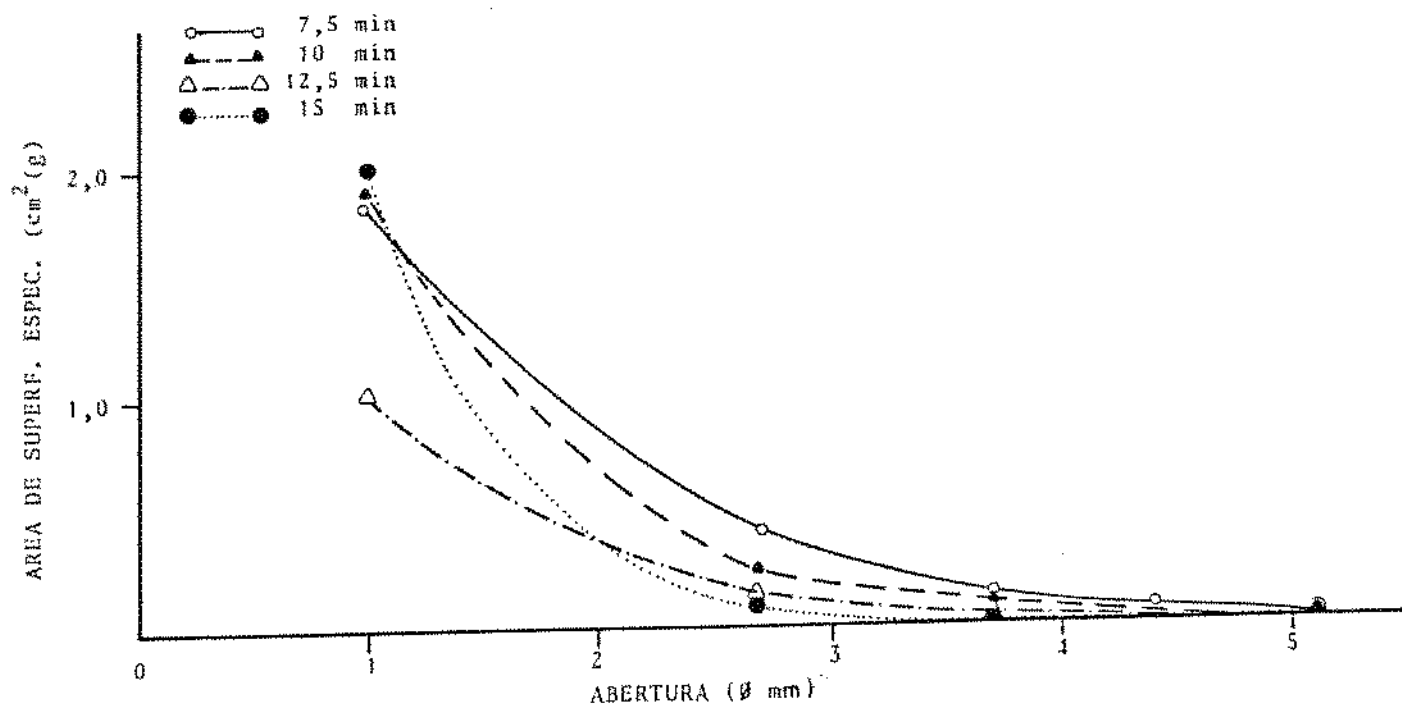


FIGURA 10 - Área de superfície específica das partículas em função do tempo de degerminação de grãos de milho.

QUADRO 31 - Influências de tempo de degerminação na distribuição de tamanho de partículas da canjica

Tempo (min)	Diâmetro médio (mm)	Retenção média (g/100 g)	Área de superfície (cm ² /g)
7.50	5.13	83.10	0.0022
	4.38	12.33	0.0174
	3.68	3.11	0.0819
	2.68	0.96	0.3644
	1.00	0.51	1.8382
		100.01	2.3041
10.00	5.13	79.96	2.3041
	4.38	14.26	0.0150
	3.68	3.64	0.0700
	2.68	1.65	0.2120
	1.00	0.49	1.9133
		100.00	2.2126
12.50	5.13	69.40	0.0026
	4.38	22.66	0.0094
	3.68	5.18	0.0492
	2.68	1.89	0.1851
	1.00	0.88	1.0653
		100.01	1.3116
15.00	5.13	54.80	0.0033
	4.38	31.36	0.0068
	3.68	9.51	0.0268
	2.68	3.56	0.0983
	1.00	0.48	1.9531
		99.71	2.0883

Entretanto, aplicando-se uma análise de regressão não se encontrou nenhuma significância estatística na variação observada. No entanto, análise dos valores de rendimento de germe, conforme demonstrado no Quadro 32, as quantidades de germe variaram de acordo com as condições de umidade e tempo de condicionamento, ao nível de 5% ($p < 0,05$). No entanto o coeficiente de determinação foi baixo, sendo de apenas 0,3218.

Segundo o Quadro 32, foi também evidenciado uma ligeira perda de produtos na fase de degerminação. Análise de variância de perdas para avaliar o efeito de tempo e umidade de condicionamento gerou a equação de regressão e estimativa dos coeficientes apresentados no Quadro 33.

QUADRO 32 - Valores médios de rendimentos de produtos de degerminação de grãos de milho em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Variável dependente		
	X ₁	X ₂	canjica (g) (bs)	germe (g) (bs)	perdas (g) (bs)
1	19	7	4382.11	1461.86	59.03
2	16	12	4419.14	1169.91	276.93
3	22	12	4406.10	1770.13	57.10
4	19	24	4460.35	1540.53	57.67
5	19	24	4568.91	1384.09	56.49
6	19	24	4845.0	1142.11	40.34
7	19	24	4726.46	1263.54	45.00
8	19	24	4684.75	1249.42	51.77
9	23.2	24	4725.36	1504.20	28.45
10	14.8	24	4460.50	1340.71	12.79
11	16	36	4438.54	1310.91	51.04
12	22	36	4376.65	1705.04	15.81
13	19	41	4771.48	1316.76	17.96

Cerca de 52,19% das variações observadas poderia ser explicadas pelas condições do experimento. Conforme apresentado na curva de superfície de resposta (Figura 11), níveis baixos de umidade bem como aumento no tempo de condicionamento favoreceram maiores perdas.

A eficiência de degerminação foi também avaliada com base dos grãos não degerminados, lipídios (gordura), umidade, fibras e proteínas residuais na canjica ou no germe. O Quadro 34 mostra os valores médios em base seca dos

QUADRO 33 - Equação e análise de variância e estimativa dos coeficientes para perdas na degerminação em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação					
$Y_{7-3} = 0.9114 \times 10^3 - 0.405761 \times 10^2 X_1 - 0.277379 \times 10^2 X_2 + 0.128183 \times 10 X_1 X_2$					
Média das respostas				59.2599	
Desvio-padrão				67.5663	
Coefficiente de variação				114.01699	
R ²				0.521884	
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	3	28590.05	9530.016	3.27	0.0728
Independente	9	26192.34	2910.260		
Total	12	54782.39			
Variáveis	Estimativa dos Coeficientes			Prob.>t	
Intercessão	0.911400x10 ³			-	
X ₁	-0.405761x10 ²			0.0312	
X ₂	-0.277379x10 ²			0.0424	
X ₁ X ₂	0.128183x10			0.0606	

X₁ = umidade (%)
X₂ = tempo (horas)

grãos não degerminados, lipídeos, fibra e proteína residual na canjica.

Por meio de análise estatística dos obteve-se o modelo de regressão para apenas gorduras residuais. Notou-se que tanto a umidade como o tempo de condicionamento foram influenciadas somente ao nível de 15% (P < 0,15) de probabilidade pelo teste t-Student, fazendo com que o modelo explica-se apenas 36,94% da variação observada.

QUADRO 34 - Eficiência de degerminação de grãos de milho determinado na base de grãos não degerminados (GND), gordura, fibra e proteínas residuais e em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes			Variável dependente		
	X ₁	X ₂	GND (%)	Gordura Residual (%)	Fibra Residual (%)	Proteína Residual (%)
1	19	7	11.806	3.05	8.211	8.973
2	16	12	11.191	4.11	9.456	9.384
3	22	12	3.990	1.01	8.425	7.943
4	19	24	9.777	1.08	9.541	8.811
5	19	24	11.202	4.41	9.579	11.178
6	19	24	14.309	1.67	8.770	10.006
7	19	24	23.512	1.27	8.787	10.018
8	19	24	14.308	1.49	9.152	9.808
9	23.2	24	15.282	1.48	9.162	9.700
10	14.8	24	9.907	1.32	7.238	9.768
11	16	36	12.146	0.78	7.715	9.629
12	22	36	8.366	0.61	7.707	9.146
13	19	41	11.416	2.03	9.475	9.194

Os lipídios residuais na canjica representam perdas no teores de óleo comestível que poderia ser extraído do germe. Por outro lado, sua presença na canjica pode concorrer para o comprometimento de sua vida útil no mercado bem como de seus produtos derivados, através de manifestação de odor estranho ou ranço. No caso de produção de cerveja a presença de lipídios pode prejudicar o processo, principalmente na fase de filtração e clarificação (HUG e PFENNINGER, 1980).

Os demais parâmetros não mostraram alterações significativas mesmo até o nível de 15% de probabilidade pelo teste t-Student.

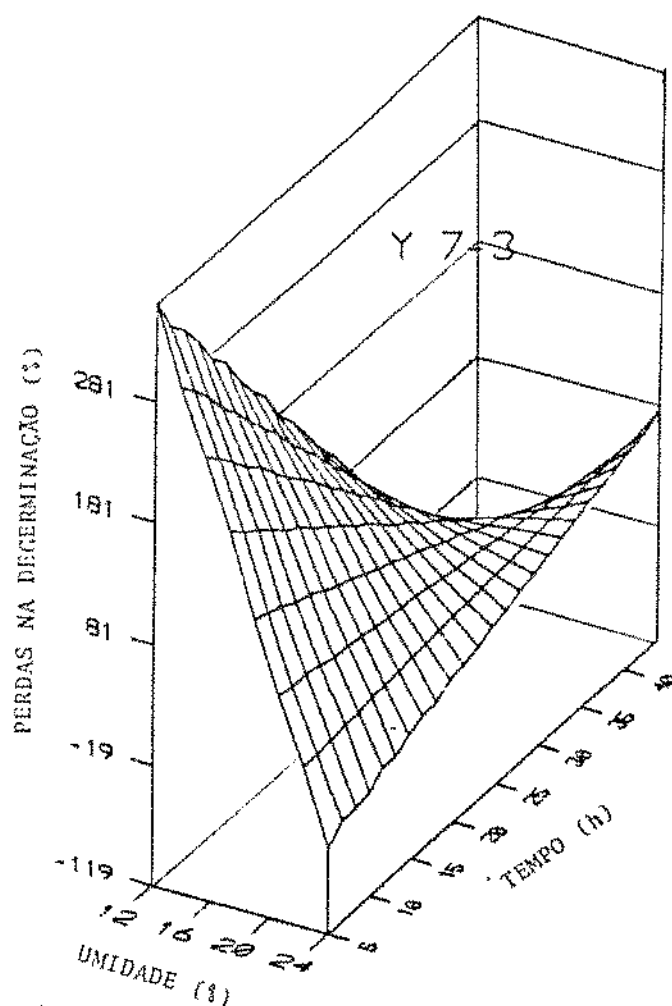


FIGURA 11 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento nas perdas devida à degerminação dos grãos de milho.

Análise de umidade residual tanto na canjica como no germe apresentou resultados mostrados nos Quadros 35 e 36. A degerminação de grãos de milho condicionado deixou níveis significativos de umidade residual. No caso de canjica, foi registrado variação significativa ao nível de 5% ($P < 0,05$) de probabilidade e nível de determinação na faixa de 72,56%. Deste modo, conforme também apresenta a Figura 12 maiores tempos e umidade de condicionamento favoreceram

QUADRO 35 - Teor de umidade residual da canjica e germe em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Unidade residual (%)	
	X_1	X_2	Canjica	Germe
1	19	7	15.30	19.30
2	16	12	16.45	15.00
3	22	12	19.80	21.80
4	19	24	17.15	17.65
5	19	24	16.80	17.75
6	19	24	17.05	16.80
7	19	24	17.15	16.95
8	19	24	16.90	15.80
9	23.2	24	20.10	21.65
10	14.8	24	14.00	12.95
11	16	36	13.80	13.75
12	22	36	18.00	19.45
13	19	41	18.10	18.10

QUADRO 36 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para umidade residual na canjica em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação					
$Y_{7-8} = 0.170898 \times 10^2 - 0.493599 X_2 + 0.257144 \times 10^{-1} X_1 X_2$					
Média das respostas	16.9692				
Desvio-padrão	1.8748				
Coefficiente de variação	11.0483				
R^2	0.725638				
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.)F
Devido a regressão	2	30.60561	15.30280	13.22	0.0016
Independente	10	11.57191	1.157191		
Total	12	42.1775			
Variáveis	Estimativa dos Coeficientes				Prob.)t
Intercessão	0.170898×10^2				-
X_2	-0.493599				0.0003
$X_1 X_2$	0.257144×10^{-1}				0.0002

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

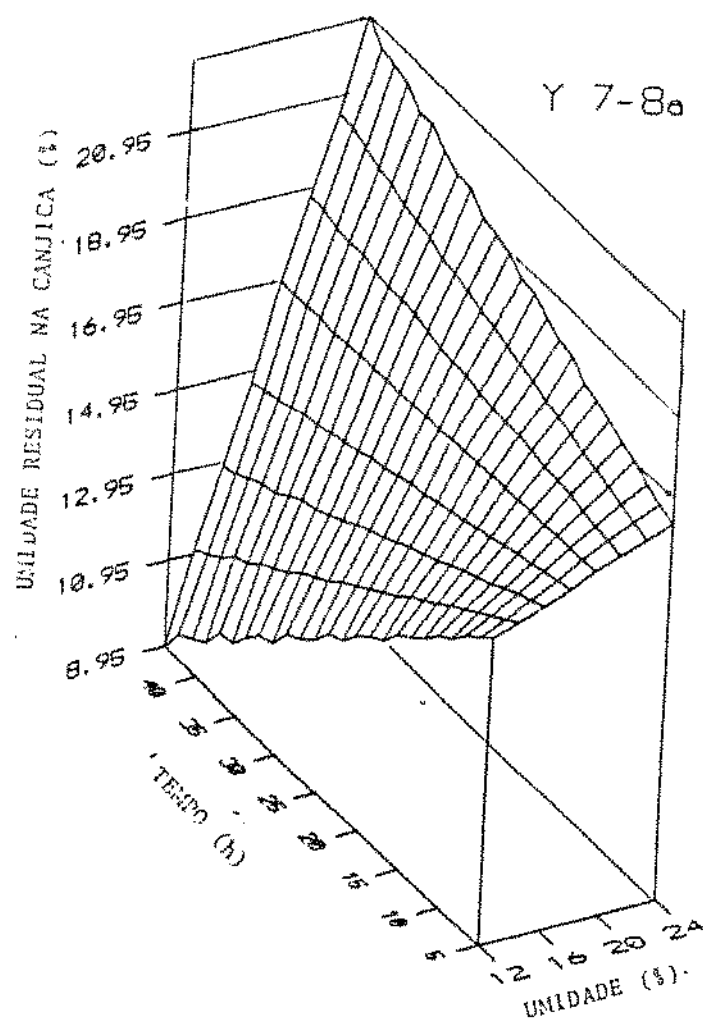


FIGURA 12 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento no teor de umidade residual da canjica.

maior retenção de umidade residual na canjica. Presença de excesso de umidade poderia reduzir a eficiência do processo de moagem principalmente na fase de classificação dos produtos por tamanho nas peneiras, transporte pneumático, bem como reduzir a vida de prateleira os produtos finais, principalmente em níveis acima de 17% (BREKKE et alii, 1969).

No caso de germe, conforme demonstra o Quadro 37, o nível de umidade residual também foi altamente influenciado pelas variações de condicionamento até o nível de 5% ($P < 0,05$) de probabilidade pelo teste t-Student. O modelo ajustado poderia explicar até 92,13% de variação com base nos efeitos da umidade e tempo de condicionamento.

Usando como base o gráfico de superfície resposta exposta na Figura 13 observou-se que o aumento do teor de umidade de condicionamento provocou maior retenção de umidade no germe independente do tempo de condicionamento. Isto tem implicação na estabilidade do germe antes da sua utilização para outros processos como de extração de óleo.

Analisando-se a distribuição das partículas da canjica e do germe obtidas após a degerminação, e aplicando o cálculo de estimativa da área de superfície das partículas segundo PFOST (1970), (apêndice 1) mostrou que a área específica total de canjica variou segundo o teor de umidade e tempo de condicionamento.

Análise de variância e a equação de regressão para distribuição das partículas da canjica encontram-se no Quadro 38. Foi ajustado um modelo de regressão significativo ao nível de 5% ($P < 0,05$) de probabilidade pelo teste t-Student, pelo qual poderia explicar até 93,88% de variação de área de superfície específica observada em função de umidade e tempo de condicionamento de grãos antes da degerminação. Conforme demonstra a Figura 14, a curva de superfície assinalou uma ligeira queda na área de canjica tanto com o aumento de umidade como com o tempo de

QUADRO 37 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para unidade residual no germe em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação					
$Y_{7-8b} = -0.263928 \times 10 + 0.112326 \times 10 X_1 - 0.264593 \times 10^{-2} X_1 X_2$					
Média das respostas				17.4961	
Desvio-padrão				2.7401	
Coefficiente de variação				15.6612	
R^2				0.921308	
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.)F
Devido a regressão	2	83.00708	41.50354	58.54	0.0000
Independente	10	7.089920	0.7089920		
Total	10	90.0970			
Variáveis	Estimativa dos Coeficientes			Prob.)t	
Intercessão	-0.263928×10			-	
X_1	0.112326×10			0.0000	
$X_1 X_2$	-0.264593×10^{-2}			0.0343	

X_1 = umidade (%).
 X_2 = tempo (horas).

condicionamento de grãos. Queda na área de canjica significa produção de partículas maiores e portanto indicando menor tendência de fragmentação da canjica durante o processo de degerminação.

A área de superfície das partículas finais do germe após o término de degerminação apresentou variação provocado pelas condições de condicionamento, conforme apresentado nos apêndices 2 e Quadro 39 análise estatística dos dados ajustou uma equação de modelo de regressão significativo ao nível de 5% ($P < 0,05$) de probabilidade pelo teste t-Student. Cerca de 51,18% da variação observada nos

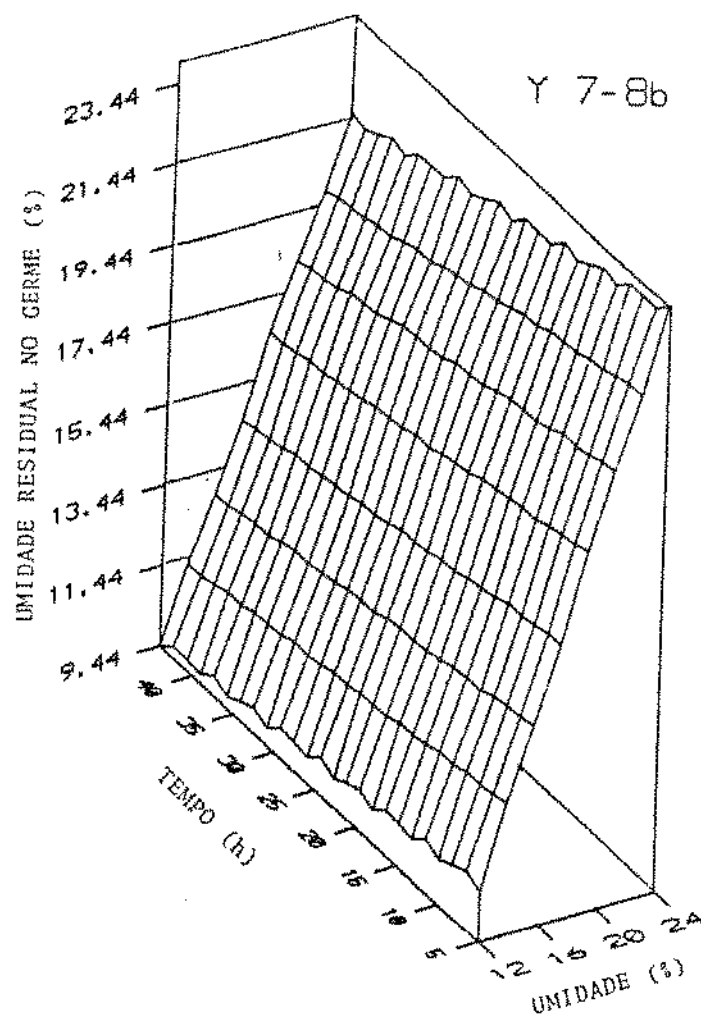


FIGURA 13 - Efeito da umidade e tempo de condicionamento no teor de umidade residual do germe.

experimentos desta a valiação foi influenciada pela umidade e tempo de condicionamento.

Notou-se com auxílio da curva de superfície resposta (Figura 15) que aumentos tanto no teor de umidade como no tempo de condicionamento provocaram aumentos na área de superfície sendo no máximo $1.27 \text{ cm}^2/\text{g}$. Isto indicou que o degerminador fragmentou o germe em menores no caso das amostras condicionadas por altas umidades e tempo.

QUADRO 38 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes de área de superfície específica de canjica em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação					
$Y_{7-9} = 0.116627 \times 10^3 - 0.770566 \times 10 X_1 - 0.2343059 \times 10 X_2 + 0.155530 X_1^2 + 0.354096 \times 10^{-1} X_2^2 + 0.545273 \times 10^{-1} X_1 X_2$					
Média das respostas				19.6421	
Desvio-padrão				5.7811	
Coefficiente de variação				29.4322	
R^2				0.93880	
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	5	407.8828	81.57655	24.54	0.0001
Independente	7	26.58984	3.32373		
Total	12	434.4726			
Variáveis	Estimativa dos Coeficientes			Prob.>t	
Intercessão	0.116627×10^3			-	
X_1	-0.770566×10			0.0168	
X_2	-0.233059×10			0.0011	
X_1^2	0.15553			0.0395	
X_2^2	0.354096×10^{-1}			0.0000	
$X_1 X_2$	0.545273×10^{-1}			0.0317	

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

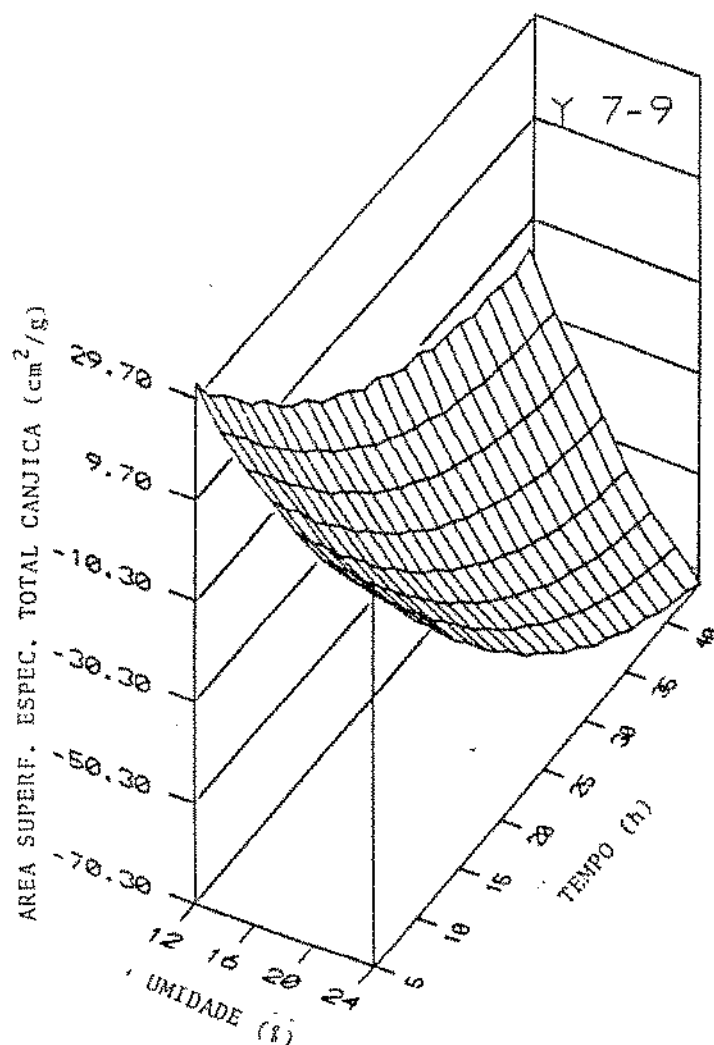


FIGURA 14 - Efeito da umidade e tempo de condicionamento no área de superfície específica de canjica.

As facas do degerminador influenciaram tanto o tamanho da canjica como do germe, de forma a reduzir seus tamanhos. Levando em consideração a área de superfície específica total das partículas, tanto do germe como de canjica após o término de degerminação obteve-se os valores apresentados no Quadro 40. Notou-se através de análise de regressão que os valores de área de superfície específica das partículas apresentaram uma equação de modelo de

QUADRO 39 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes de área de superfície específica de germe em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{7-10} = 0.106837 \times 10 - 0.252744 \times 10^{-1} X_2 + 0.125069 \times 10^{-2} X_1 X_2$	
Média das respostas	1.0321
Desvio-padrão	0.1105
Coeficiente de variação	10.7063
R^2	0.511815

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	2	0.7496816×10^{-1}	0.3748408×10^{-1}	5.24	0.0277
Independente	10	0.7150692×10^{-1}	0.715069×10^{-2}		
Total	12	0.1165			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.>t
Intercessão	0.106837×10	-
X_1	-0.252744×10^{-1}	0.0047
$X_2 X_2$	0.125069×10^{-2}	0.0049

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

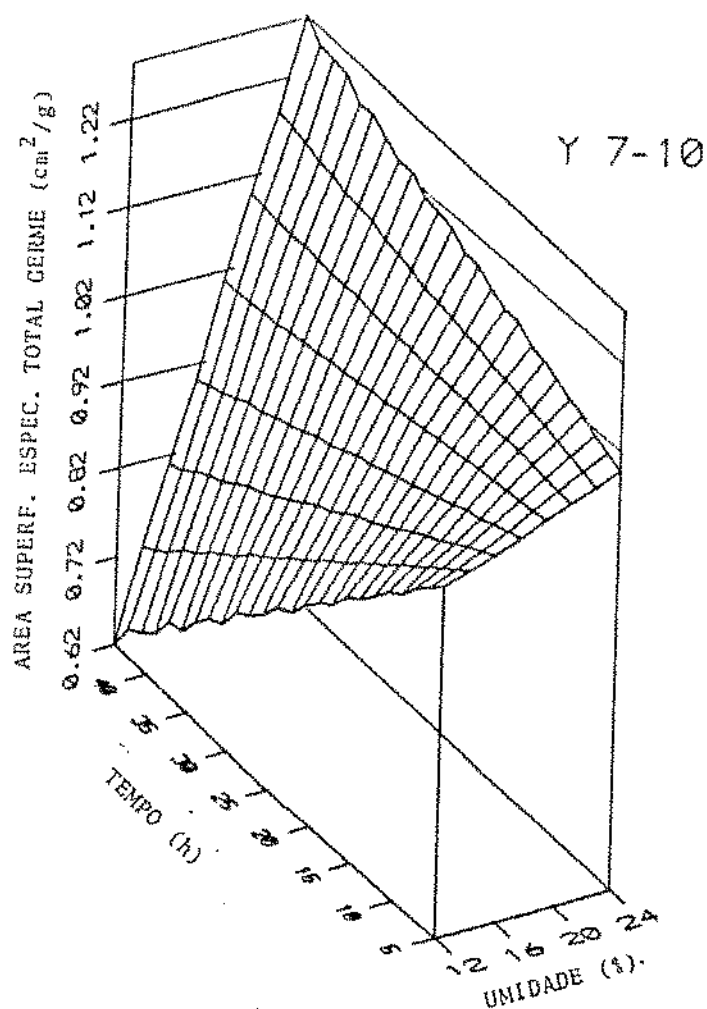


FIGURA 15 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento na área de superfície específica do germe.

regressão conforme está disposto no Quadro 41. O com um ajuste significativo ao nível de 10% ($P < 0,1$) de probabilidade pelo teste t-Student. Essa variação na área de superfície específica dos dois produtos foi influenciado pelo nível de umidade e tempo de condicionamento até 89,32%. Expressando esses resultados na forma de curva de superfície resposta (Figura 16) observou-se que a área de superfície total do germe e canjica foi mínimo para

QUADRO 40 - Área de superfície específica total de produtos de degerminação em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Área espec. total
	X_1	X_2	cm^2/g
1	19	7	10.9086
2	16	12	10.1526
3	22	12	7.2469
4	19	24	8.2349
5	19	24	5.5833
6	19	24	9.5760
7	19	24	8.3425
8	19	24	7.1609
9	23.2	24	8.2253
10	14.8	24	10.7837
11	16	36	14.3701
12	22	36	15.4465
13	19	41	15.7385

condicionamento de grãos a 20% de umidade e entre 17 e 18 horas. Aumentando o nível de umidade provocou obtenção de áreas maiores com aumentos de tempos além de 20 horas. Aumento na área das partículas indica, de modo geral, uma fragilidade de grãos, susceptível a fragmentação na aplicação de força pelas facas do degerminador.

4.4.2. Moagem de canjica

Os efeitos de condicionamento de grãos de milho na eficiência de moagem foram avaliados moendo-se a canjica no moinho experimental BUHLER MLU 202 previamente ajustado. A eficiência do processo foi baseado no rendimento de produtos, teores de proteína e cinza, quantidade de amido danificado e cor da farinha.

QUADRO 41 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes de área de superfície específica total para canjica e germe em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação

$$Y_{7-11} = 0.706174 \times 10^2 - 0.502631 \times 10 X_1 - 0.127744 \times 10 X_2 + 0.108815 X_1^2 + 0.198408 \times 10^{-1} X_2^2 + 0.276510 \times 10^{-1} X_1 X_2$$

Média das respostas

10.1361

Desvio-padrão

3.2565

Coeficiente de variação

32.1277

R²

0.893271

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	5	113.6723	22.73445	11.72	0.0027
Independente	7	13.58173	1.940247		
Total	12	127.2540			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.>t
Intercessão	0.706174×10 ²	-
X ₁	-0.502631×10	0.0333
X ₂	-0.127744×10	0.0084
X ₁ ²	0.108815	0.0553
X ₂ ²	0.198408×10 ⁻¹	0.0005
X ₁ X ₂	0.27651×10 ⁻¹	0.0980

X₁ = umidade (%).

X₂ = tempo (horas).

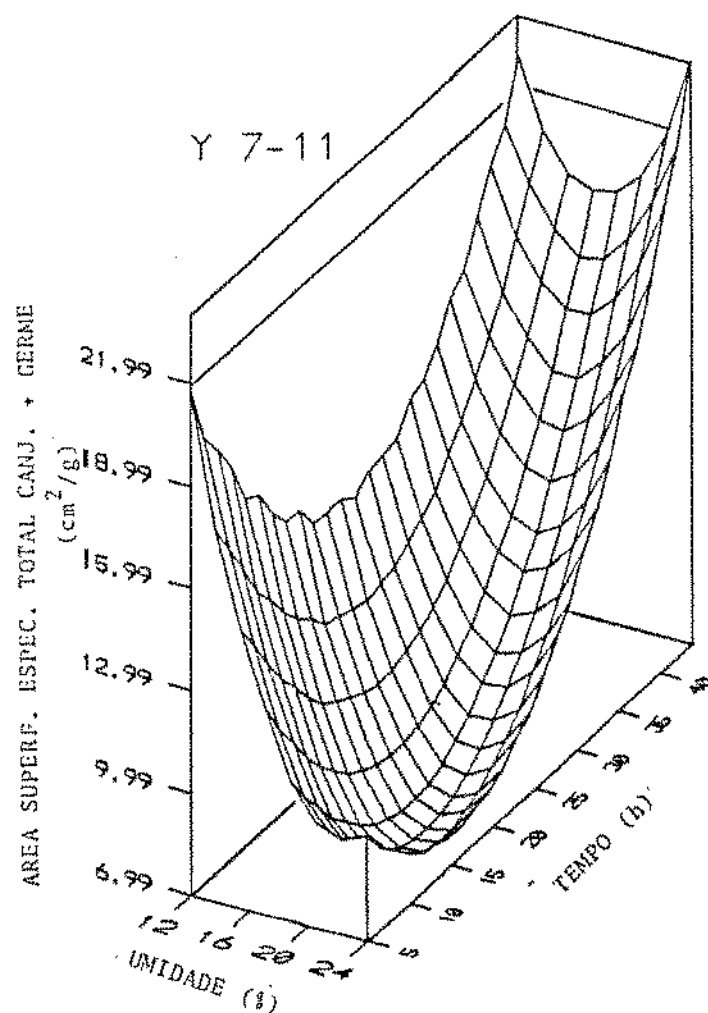


FIGURA 16 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento na área de superfície específica total dos produtos de degerminação de grãos de milho.

4.4.2.1. Ajustes do moinho

A moagem refere-se à redução de tamanho de partículas resultante principalmente da aplicação de força compressiva sobre as partículas entre os rolos do moinho. A intensidade com que isto se realiza depende da distância entre os rolos. Foram utilizados quatro séries de ajustes de rolos do moinho e o melhor desses foi escolhido em função do rendimento

QUADRO 42 - Ajustes preliminares dos rolos de moinho experimental BUHLER MLU 202

Produto	Ajuste			
	A	B	C	D
FQ1	17.41	38.07	52.96	45.10
FQ2	27.31	35.14	54.95	38.35
FQ3	13.53	10.49	10.59	6.55
FQT	58.25	83.69	118.49	170.30
FR1	122.72	134.81	138.51	170.30
FR2	81.57	79.96	81.73	72.50
FR3	54.40	56.10	53.82	46.65
FRT	255.69	270.86	274.06	289.45
FT	316.94	354.55	392.55	379.45
Farelo	132.99	71.37	30.60	45.65
Farelinho	477.61	513.69	549.75	532.45
Rendimento Total	927.54	939.60	972.89	957.55
Perdas	72.36	60.11	27.12	42.46

Onde FQ1 = farinha quebra 1; FQ2 = farinha quebra 2; FQ3 = farinha quebra 3; FQT = farinha quebra total; FR1 = farinha redução 1; FR2 = farinha redução 2; FR3 = farinha redução 3; FRT = farinha redução total; FT = farinha total.

máximo de farinha. O Quadro 42 apresenta os resultados dos quatro ajustes do moinho empregados e seus respectivos rendimentos de produtos de moagem. O ajuste C, com o rendimento maior de farinha foi escolhido e utilizado na moagem visando avaliar os efeitos do condicionamento dos grãos de milho.

4.4.2.2. Rendimento de produtos da moagem

A moagem da canjica no moinho experimental BUHLER MLU 202, gerou basicamente quatro classes de produtos, ou seja, as farinhas de quebra, farinhas de redução, o farelo e farelinho.

a. Farinha de quebra

A farinha de quebra apresentou rendimentos conforme discriminados no Quadro 43. Observou-se que todas as passagens de farinha de quebra (FQ1, FQ2, FQ3), apresentaram valores baixos de rendimento, com variações marcantes entre os experimentos. Conforme Quadro 44, a análise de regressão múltipla revelou um modelo com melhor ajuste significativo ao nível menor que 5% ($P < 0,05$) de probabilidade pelo teste t-Student. Segundo essa análise, cerca de 73,37% da variação nos valores de rendimento observados poderiam ser atribuído às influências do tempo e umidade de condicionamento utilizado no experimento. Transformação da equação num gráfico de superfície de resposta (Figura 17), mostrou que o rendimento em farinha de quebra-1 foi prejudicado pelos aumentos de umidade e tempo de condicionamento. Uma combinação de menor nível de umidade e maior tempo de condicionamento resultou na obtenção de maior rendimento de farinha, registrando um valor máximo de 4,3%.

Aplicação da análise de regressão nos valores médios de farinha de quebra 2 (FQ2) gerou uma equação de regressão com reajuste significativo ao nível menor que 5%, ($P < 0,05$), de probabilidade pelo teste t-Student (Quadro 45). Foi atribuído um coeficiente de ajuste de $R = 0,8056$, assim explicando 80,56% da variação observado nos resultados na base das influências de umidade e tempo de condicionamento. O gráfico de análise de superfície resposta encontra-se na Figura 18. Foi observado que aumentos na

QUADRO 43 - Rendimento de farinha de quebra em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis Independentes		Rendimento de Farinha Quebra (%)			
	X ₁	X ₂	FQ1	FQ2	FQ3	FQT
1	19	7	4.210	3.260	1.27	8.740
2	16	12	4.130	3.350	1.010	8.480
3	22	12	3.975	3.220	0.980	8.175
4	19	24	4.275	2.930	1.010	8.215
5	19	24	3.820	2.885	0.985	7.690
6	19	24	4.005	2.925	0.925	7.855
7	19	24	3.825	2.785	0.930	7.540
8	19	24	3.900	2.810	0.945	7.655
9	23.2	24	3.505	3.120	1.12	7.745
10	14.8	24	4.245	3.390	0.875	8.510
11	16	36	4.170	3.745	1.010	8.925
12	22	36	3.380	3.050	1.070	7.500
13	19	41	4.050	3.110	1.135	8.295

QUADRO 44 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para rendimento de farinha de quebra 1 em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação					
$Y_{8-1} = 0.415584 \times 10 + 0.598697 \times 10^{-1} X_2 - 0.357884 \times 10^{-2} X_1 X_2$					
Média das respostas				3.9608	
Desvio-padrão				0.2756	
Coefficiente de variação				6.9582	
R ²				0.733707	
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	2	0.66855119	0.3342559	13.78	0.0013
Independente	10	0.2426304	0.2426304 × 10 ⁻¹		
Total	12	0.9111			
Variáveis	Estimativa dos Coeficientes			Prob.>t	
Intercessão	0.415584 × 10 ⁻¹			-	
X ₁	0.598697 × 10 ⁻¹			0.0010	
X ₂ X ₂	-0.537884 × 10 ⁻²			0.0003	

X₁ = umidade (%).
X₂ = tempo (horas).

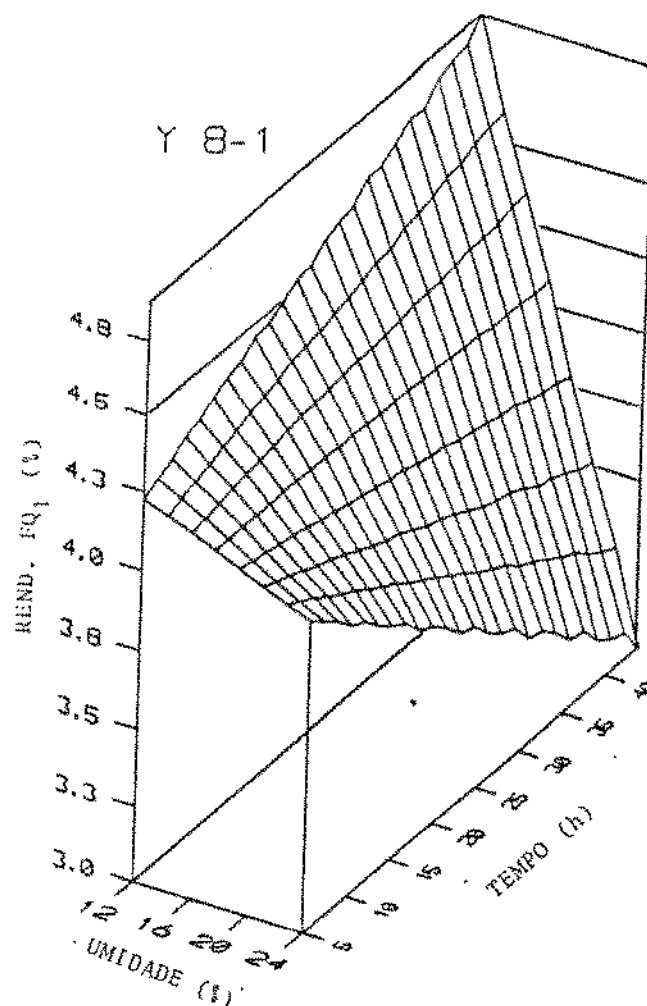


FIGURA 17 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento no rendimento de farinha de quebra-1 (FQ1).

umidade de condicionamento provocou uma ligeira queda no rendimento em farinha de quebra 2. A diminuição foi máxima na faixa entre 18 a 20% de umidade. Aumentos no tempo de condicionamento também provocaram decréscimo no rendimento de farinha, com o efeito sendo máximo com os tempo de 40 horas. De modo geral, combinações de menores tempos e umidades inferiores de condicionamento deram melhores resultados.

QUADRO 45 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para rendimento de farinha de quebra 2 em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação					
$Y_{8-2} = 0.137447 \times 10^2 - 0.101575 \times 10 X_1 - 0.624206 \times 10^{-1} \\ + 0.253979 \times 10^{-1} X_1^2 + 0.130314 \times 10^{-2} X_2^2$					
Média das respostas				3.9608	
Desvio-padrão				0.2755	
Coeficiente de variação				6.9557	
R^2				0.805625	
Fonte de Variação	GL	SS	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	4	0.7159344	0.1789836	8.29	0.0060
Independente	8	0.1727349	0.2159186×10^{-1}		
Total	12	0.8887			
Variáveis	Estimativa dos Coeficientes			Prob.>t	
Intercessão	0.137447×10^2			-	
X_1	-0.101575×10			0.0010	
X_2	-0.624206×10^{-1}			0.0056	
X_1^2	0.253979×10^{-1}			0.0019	
X_2^2	0.130314×10^{-2}			0.0048	

X_1 = umidade (%).
 X_2 = tempo (horas).

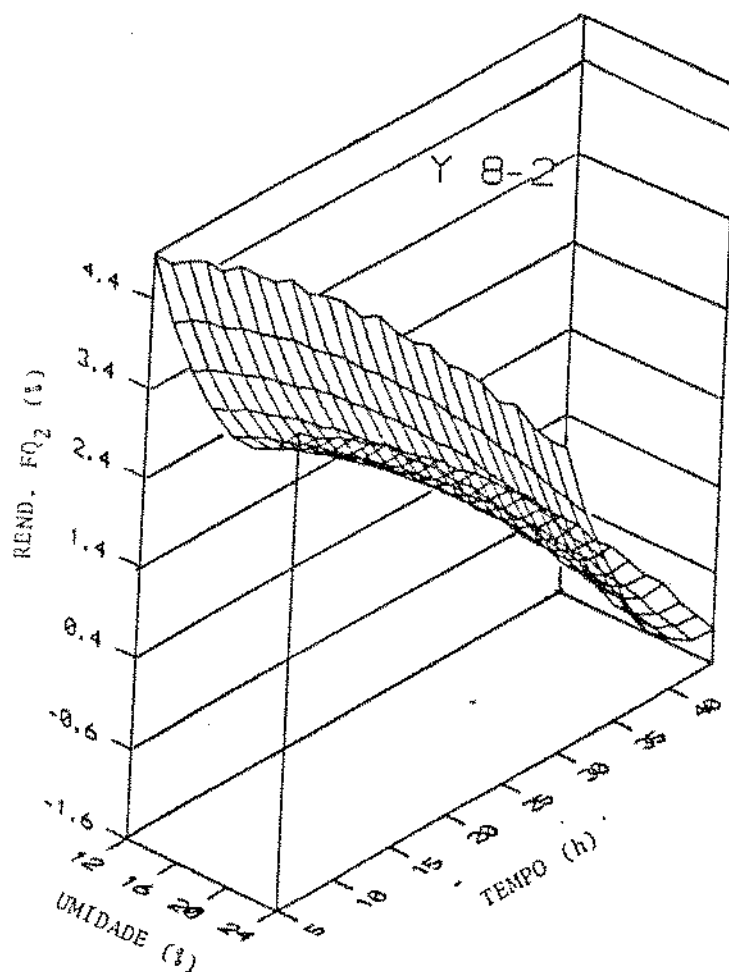


FIGURA 18 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento no rendimento de farinha de quebra-2 (FQ2).

Para farinha de quebra 3 (FQ3) por sua vez obtiveram-se resultados inferiores às demais passagens anteriores. O modelo de regressão para esta farinha teve melhor reajuste para o nível de 15% de probabilidade pelo teste t-Student. A variação observada nos valores determinados foi pouco influenciado pela umidade e tempo de condicionamento conforme conferido também pelo baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,1544$).

Observou-se no Quadro 43, que no geral, o rendimento total de farinha de quebra foi baixo em todos os experimentos, com valores médios na faixa de 7.5 a 8.9%. Aplicando-se uma análise de regressão múltipla, como foi o caso nas passagens individuais da farinha de quebra, foi possível ajustar uma equação do modelo que explica o comportamento de grãos de milho durante a moagem em função de umidade e tempo de condicionamento recebidos (Quadro 46). O modelo foi significativo ao nível de 10% ($P < 0,1$) de probabilidade pelo teste t-Student. Notou-se também que cerca de 75,23% ($R = 0,7523$) da variação observada no rendimento de farinha total de quebra poderia ser atribuída as condições de umidade e tempo de condicionamento de milho forem submetido antes da moagem. A Figura 19 apresenta a curva de superfície resposta de modo a visualizar melhor os efeitos do condicionamento. Pode-se notar que o rendimento total de farinha de quebra foi prejudicado pelo aumento no tempo e umidade de condicionamento. Melhores resultados foram obtidos com baixos níveis de umidade de condicionamento. Entretanto, os valores sendo no máximo cerca de 11% registrou-se um índice muito baixo de rendimento de farinha de quebra. Isto é uma indicação de que os grãos do milho branco estudados não se reduziram facilmente em farinha no moinho experimental de trigo como consequência de uma forte resistência do seu endosperma a desintegração.

QUADRO 46 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para rendimento de farinha de quebra total em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{B-4} = 0.179562 \times 10^2 - 0.782802X_1 - 0.175094X_2 + 0.174978 \times 10^{-1}X_1^2 + 0.241972 \times 10^{-2}X_2^2$	
Média das respostas	8.1019
Desvio-padrão	0.4731
Coeficiente de variação	5.8394
R^2	0.752279

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	4	2.020111	0.5050278	6.07	0.0151
Independente	8	0.6652107	0.8315134×10^{-1}		
Total	12	2.6853			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.>t
Intercessão	0.179562×10^2	-
X_1	-0.782802	0.0672
X_2	-0.125094	0.0050
X_1^2	0.174978×10^{-1}	0.0969
X_2^2	0.241972×10^{-2}	0.0063

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

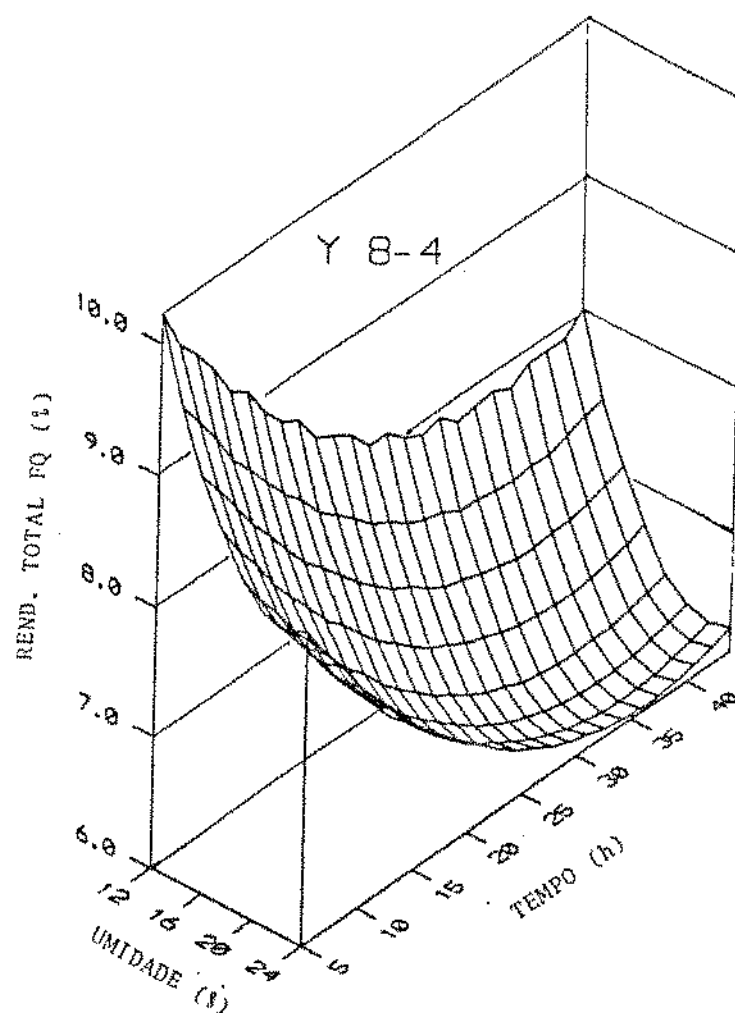


FIGURA 19 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento no rendimento total de farinha de quebra.

b. Farinha de redução

O rendimento da farinha de redução por sua vez encontra-se no Quadro 47. A passagem de redução 1 (FR1) ofereceu o maior rendimento na faixa de 9,81 a 13,58%, seguido pela redução 2 (FR2) sendo de 5,998, 12%, e menor na passagem de redução 3 (FR3) com o mínimo de 3,95 e máximo de 6,45%. Os valores de rendimento total de farinha de redução foram também baixos apesar de ser comparativamente mais

QUADRO 47 - Rendimento de farinha de redução em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Rendimento de farinha de redução (%)			
	X1	X2	FR1	FR2	FR3	FRTotal
1	19	7	11.82	6.825	3.95	22.59
2	16	12	11.24	7.18	4.29	22.70
3	22	12	12.69	8.12	4.705	25.515
4	19	24	10.745	7.990	5.125	23.860
5	19	24	9.805	6.545	4.210	20.560
6	19	24	11.050	6.985	4.635	22.670
7	19	24	11.415	5.910	4.120	21.445
8	19	24	10.665	6.295	3.935	20.895
9	23.2	24	13.575	7.515	5.360	26.450
10	14.8	24	12.240	7.740	5.085	25.065
11	16	36	11.875	6.675	6.445	24.995
12	22	36	11.635	7.225	5.370	24.230
13	19	41	12.261	6.420	4.385	23.065

altos que os apresentados pela farinha de quebra. Situavam-se na faixa de 20,56 a 25,07%.

O Quadro 48 apresenta a equação de modelo de regressão múltipla reajustada para os valores observados e suas estimativas dos coeficientes, para os rendimentos da farinha de redução 1. O modelo se ajustou melhor ao nível de significância de 5% ($P < 0,05$) de probabilidade pelo teste t-Student. A variação no rendimento de farinha observada poderia ser explicado pelo modelo até 72,35% ($R = 0,7235$) em função de condicionamento recebido pelos grãos de milho antes da moagem.

Como apresenta a Figura 20, a curva de superfície resposta revelou um rendimento parabólico de farinha em redução-1 (FR-1). A umidade de 18% correspondeu o menor rendimento dessa farinha. Umidades abaixo desse limite

QUADRO 4B - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para rendimento de farinha de redução 1 em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação					
$Y_{8-5} = 0.480334 \times 10^2 - 0.385329 \times 10 X_1 - 0.162119 X_2 + 0.104813 X_1^2 + 0.342154 \times 10^{-2} X_2^2$					
Média das respostas	11.6165				
Desvio-padrão	0.9725				
Coeficiente de variação	8.3717				
R^2	0.723547				
Fonte de Variação	GL	SS	QM	F	Prob.)F
Devido a regressão	4	8.211687	2.052921	5.23	0.0227
Independente	8	3.137527	0.3921908		
Total	12	11.3470			
Variáveis	Estimativa dos Coeficientes			Prob.)t	
Intercessão	0.480334×10^2			-	
X_1	-0.385329×10			0.0027	
X_2	-0.162119			0.0401	
X_1^2	0.104813			0.0022	
X_2^2	0.342154×10^{-2}			0.0355	

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

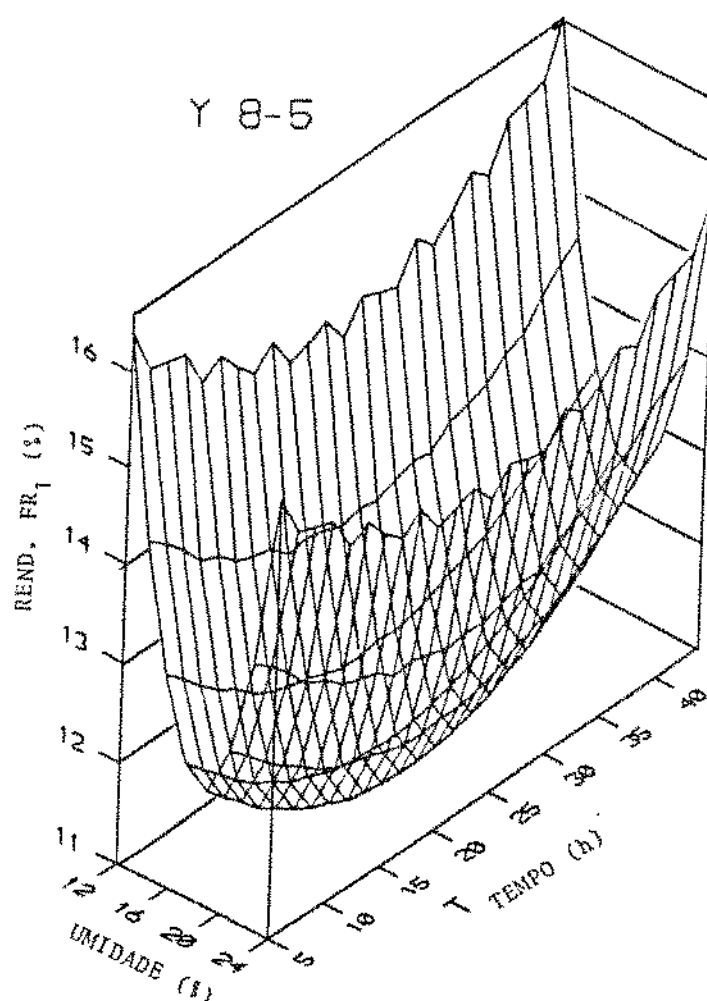


FIGURA 20 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento no rendimento de farinha de redução-1 (FR-1).

resultou em maiores quantidades de farinha de redução que as quantidades correspondentes obtidas através de aumentos na umidade.

Aumento no tempo de condicionamento não exerceu efeito marcante no rendimento. Entretanto, o rendimento da farinha de redução-1 foi maior que a quantidade obtida por todo sistema de quebra. Isto implicou que para a endosperma do milho branco a força compressiva dos rolos de redução

representou uma forma mais eficiente na redução de tamanho das suas partículas.

A farinha de redução 2 apresentou rendimentos médios cujas análises do modelo de regressão gerou a equação e os coeficientes das estimativas significativa até o nível de 15% de significância ($P < 0,15$) pelo teste t-Student. O tempo e umidade de condicionamento empregado nos experimentos poderia explicar somente 43,26% da variação observada.

No caso de farinha de redução 3, apesar de seu baixo rendimento, (Quadro 49) apresentou uma equação de regressão com bom reajuste para as condições de umidade e tempo utilizados nos experimentos antes da moagem. Apresentou um nível de 10% ($P < 0,10$) de significância pelo teste t-Student. Pudemos atribuir cerca de 65,49% da variação observada em função das condições dos experimentos ($R = 0,6549$). Expressão de equação na forma de superfície de resposta (Figura 21) demonstrou que o rendimento de farinha de redução 3 (FR-3) também registrou o valor mínimo com umidade de 18%. Porém, umidades abaixo desse limite apresentaram aumento de rendimento com tempo de condicionamento. Valores de umidade acima de 18% não apresentou diferença marcante no rendimento com aumento no tempo de condicionamento.

Contudo, a soma total de farinha de redução apresentou um modelo de regressão cuja equação e coeficientes de estimativas estão expostos no Quadro 50. O modelo apresentou reajuste significativo ao nível de 10% ($P < 0,01$) de probabilidade pelo teste t-Student.

QUADRO 49 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para rendimento de farinha de redução 3 em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{8-7} = 0.209524 \times 10^2 - 0.206864 \times 10 X_1 + 0.232314 X_2$ $+ 0.606679 \times 10^{-1} X_1^2 - 0.103465 \times 10^{-1} X_1 X_2$	
Média das respostas	4.7396
Desvio-padrão	0.7208
Coeficiente de variação	15.208
R^2	0.65488

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.)F
Devido a regressão	4	4.082367	1.0205928	3.80	0.0513
Independente	8	2.151402	0.2689252		
Total	12	6.2338			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.)t
Intercessão	0.209524×10^2	-
X_1	-0.206864×10	0.0210
X_2	0.232314	0.0650
X_1^2	0.606679×10^{-1}	0.0124
$X_1 X_2$	-0.103465×10^{-1}	0.0944

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

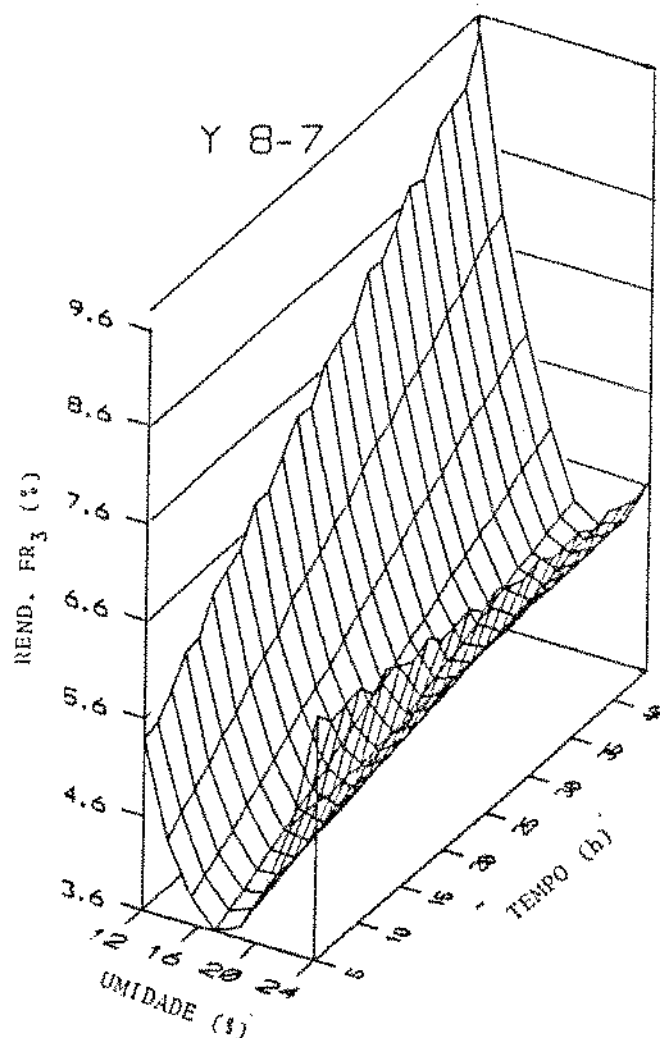


FIGURA 21 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento no rendimento de farinha de redução-3 (FR-3).

A variação nos valores de rendimento em farinha de redução foi influenciado pela umidade e tempo de condicionamento até cerca de 77,34% das considerações ($R = 0,7734$). Conforme apresentado pelo gráfico de superfície resposta (Figura 22), aumentos de umidade de condicionamento além de 18% não contribuíram para aumentos no rendimento em farinha redução, mesmo com aumento no tempo de condicionamento. Entretanto, umidades menor que 18% fez

QUADRO 50 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para rendimento de farinha de redução em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{8-8} = 0.843536 \times 10^2 - 0.734942 \times 10 X_1 + 0.489821 X_2 + 0.213525 X_1^2 - 0.248591 \times 10^{-1} X_1 X_2$	
Média das respostas	23.3877
Desvio-padrão	1.8245
Coefficiente de variação	7.8011
R^2	0.773384

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	4	30.892327	7.723080	6.83	0.0108
Independente	8	9.052017	1.131502		
Total	12	39.9443			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.>t
Intercessão	0.843536×10^2	-
X_1	-0.734942×10	0.0015
X_2	0.489821	0.0007
X_1^2	0.213525	0.0007
$X_1 X_2$	-0.248591×10^{-1}	0.0655

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

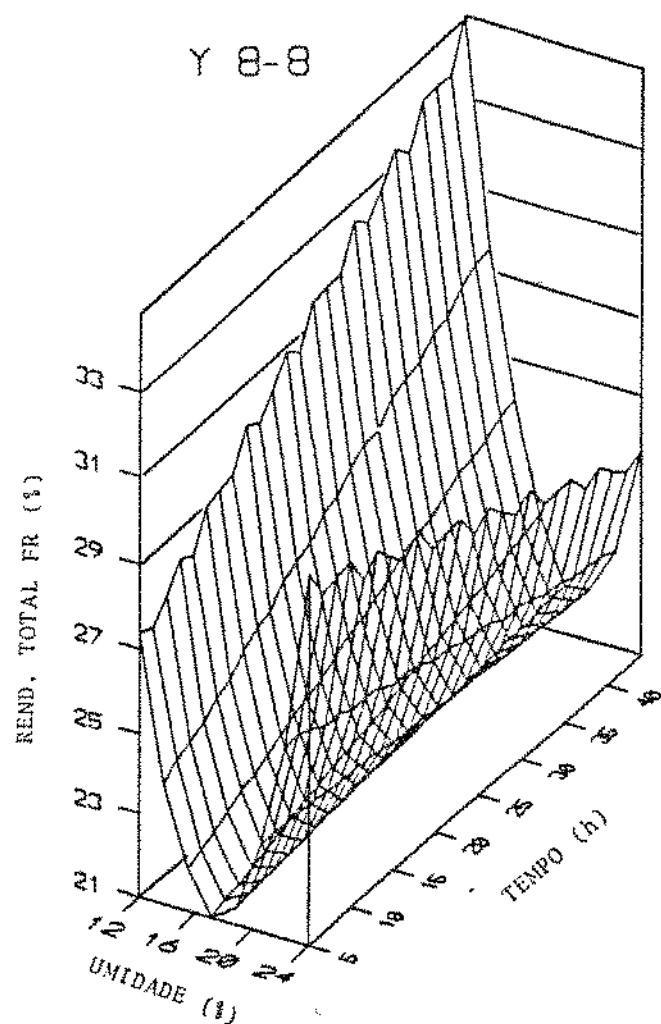


FIGURA 21 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento no rendimento total de farinha de redução.

com que aumentando o tempo de condicionamento aumenta-se também o rendimento em farinha de redução alcançando um máximo de 35%. Essa quantidade de farinha mesmo baixa representou praticamente três vezes o rendimento de farinha de quebra.

c. Rendimento de farinha

A soma do rendimento médio de toda farinha de quebra e redução obtido por experimento, está apresentado no Quadro 51. Os rendimentos apresentaram valores baixos sendo, na faixa de 28,25 a 33,92%. O Quadro 52 apresenta a variação dos rendimentos. Foi desenvolvido o modelo de regressão com reajuste significativo ao nível de 10% ($P < 0,1$) de probabilidade pelo teste t-Student.

Nessas condições o rendimento de farinha foi influenciado até 69,31% pela umidade e tempo de condicionamento utilizado. A Figura 23 apresenta o gráfico de superfície resposta, no qual observou o mesmo comportamento com da farinha de redução.

Aumento no nível de umidade de 12 a 18% causou um redução no rendimento de farinha enquanto o tempo de condicionamento era baixo. Aumento no tempo de condicionamento ocasionavam aumentos no rendimento de farinha, sendo o máximo obtido com baixo teor de umidade 12 a 14% e alto aumento no tempo de condicionamento 35 a 40 horas.

d. Rendimento de farelinho

Os resultados de rendimento em farelinho pelo processo de moagem experimental encontram-se no Quadro 52. Foi observado um alto rendimento em farelinho em todos os experimentos, atingindo quantidades na faixa de 36,20 a 52,46%. Essa fração representa de fato um produto de endosperma residual, resistente à fragmentação em farinha

QUADRO 51 - Rendimento total de farinha em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Rendimento de farinha (%)
	X_1	X_2	
1	19	7	31.33
2	16	12	31.18
3	22	12	33.69
4	19	24	32.075
5	19	24	28.250
6	19	24	30.525
7	19	24	28.985
8	19	24	28.550
9	23.2	24	34.195
10	14.8	24	33.575
11	16	36	33.920
12	22	36	31.730
13	19	41	31.360

durante o processo de moagem. Apesar de ajustes para manter aproximação dos rolos de redução, não foi possível gerar uma pressão suficiente sobre as partículas, para sua maior redução de em farinha. Assim sendo, o farelinho desse processo não representou um sub-produto, mas sim, fragmentos de endospermas que ainda poderiam ser sujeitos à moagem adicional para obter-se mais farinha.

Através da análise de regressão múltipla dos rendimentos médio de farelinho por experimento foi ajustado um modelo de regressão cuja equação e coeficientes estimados estão apresentados no Quadro 54. O modelo foi significativo ao nível de 5% ($P < 0,05\%$) de probabilidade pelo teste t-Student. Os dados explicaram 89,18% da variação observada em função das variáveis independentes, umidade e tempo de condicionamento. A Figura 24 apresenta o gráfico de superfície de resposta gerada a partir da equação do modelo.

QUADRO 52 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para rendimento total farinha em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{8-9} = 0.958138 \times 10^2 - 0.775632 \times 10 X_1 + 0.628637 X_2 + 0.226042 X_1^2 - 0.32636 \times 10^{-1} X_1 X_2$	
Média das respostas	31.4896
Desvio-padrão	2.0268
Coefficiente de variação	6.4364
R^2	0.693111

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	4	34.16690	8.541725	4.52	0.0335
Independente	8	15.12811	1.891014		
Total	12	49.2950			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob. > t
Intercessão	0.958138×10^2	-
X_1	-0.775632×10	0.0046
X_2	0.628637	0.0617
X_1^2	0.226042	0.0024
$X_1 X_2$	-0.326368×10^{-1}	0.0629

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

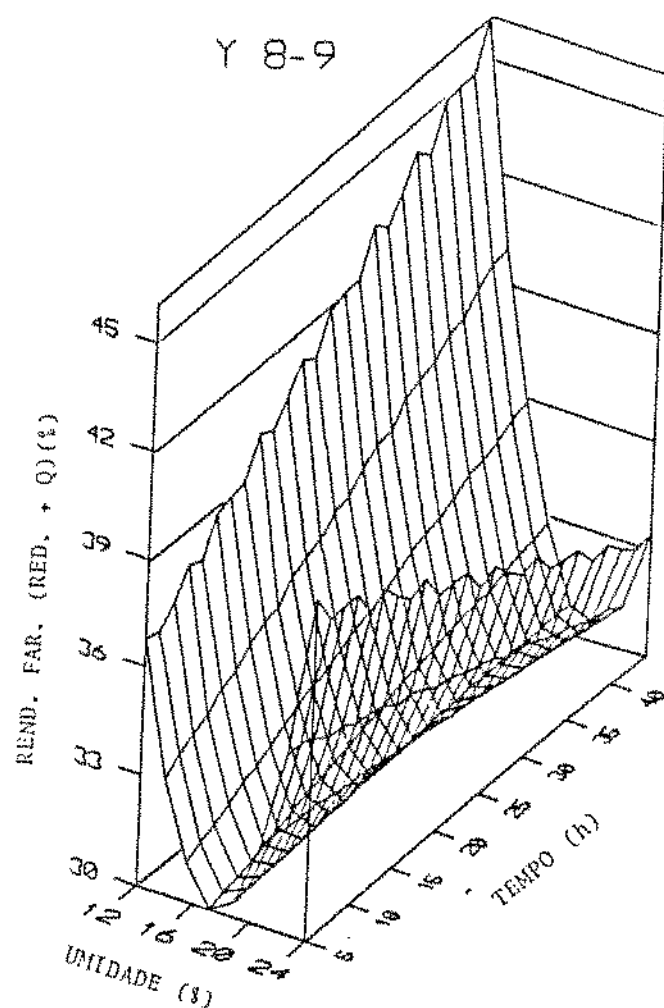


FIGURA 23 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento no rendimento total de farinha de quebra e redução.

O maior rendimento de farelinho foi obtido com baixo teor de umidade na faixa de 12 a 14% e menor tempo de condicionamento.

Considerando-se a alta percentagem de farelinho obtido na moagem experimental, tentou-se com auxílio de moinho de faca uma remoagem do farelinho para se obter partículas menores, assim, possivelmente aumentando o rendimento em farinha. O Quadro 55 apresenta o rendimento de produtos da remoagem do farelinho com moinho de facas.

QUADRO 53 - Rendimento total de farelinho em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis independentes		Rendimento de farelinho (%)
	X ₁	X ₂	
1	19	7	46.17
2	16	12	49.82
3	22	12	38.90
4	19	24	47.815
5	19	24	46.415
6	19	24	45.610
7	19	24	44.405
8	19	24	45.475
9	23.2	24	36.195
10	14.8	24	52.455
11	16	36	45.655
12	22	36	40.665
13	19	41	43.450

Foi possível recuperar de 5,52% a 7,5% mais de farinha, assim aumentando a quantidade total de farinha para faixa de 35,09% a 40,26%. O rendimento em farelinho caiu para uma faixa de 30,68 a 45,78%.

O Quadro 56 apresenta a equação do modelo de regressão, análise de variância e estimativas dos coeficientes para o rendimento em farinha recuperada no moinho de facas em função de umidade e tempo de condicionamento. Observou-se que o modelo de regressão reajustado foi significativo ao nível de 5,0% ($P < 0,05$) de probabilidade pelo teste t-Student. No entanto, apenas 55,20% da variação observada poderia ser explicada pelo modelo. A Figura 25 mostra a curva da superfície de resposta obtida com a equação de regressão.

QUADRO 54 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para rendimento de farelinho em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{8-11} = 0.961112 \times 10^2 - 0.261594 \times 10 X_1 - 0.847374 X_2 + 0.411768 \times 10^{-1} X_1 X_2$	
Média das respostas	44.8480
Desvio-padrão	4.3502
Coeficiente de variação	9.6999
R^2	0.891796

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	3	202.5179	67.50598	24.73	0.0001
Independente	9	24.57201	2.730223		
Total	12	227.0899			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob. > t
Intercessão	0.961112×10^2	-
X_1	-0.261594×10	0.0008
X_2	-0.847374	0.0427
$X_1 X_2$	0.411768×10^{-1}	0.0532

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

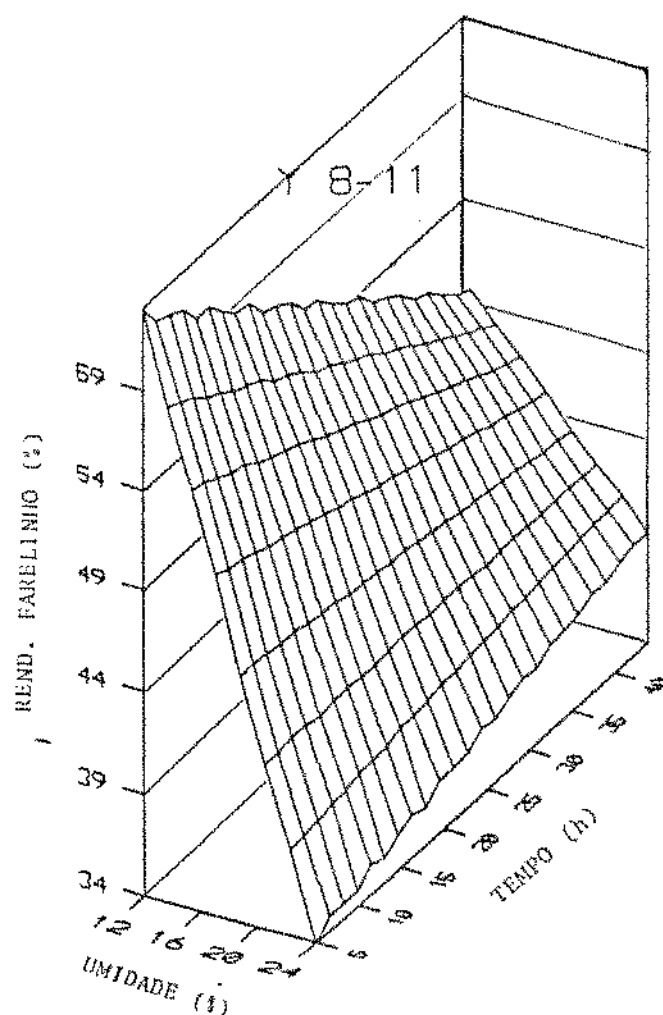


FIGURA 24 - Efeito de Umidade e Tempo de Condicionamento no Rendimento de Farelínho.

No entanto pode-se notar que o melhor rendimento de farinha recuperada foi com umidade de 16 a 18% e baixo tempo de condicionamento.

Com base nas quantidades finais do rendimento, em farinha a análise de regressão múltipla, gerou um modelo de regressão (Quadro 57) com reajuste significativo ao nível de 10% ($P < 0,1$) de probabilidade pelo teste t-Student.

QUADRO 55 - Rendimento de farinha e farelinho com moagem no moinho de facas

Expto.	Variáveis independentes		Rendimento de produtos (%)		
	X ₁	X ₂	Farinha Recuperada	Total de Farinha (Final)	Farelinho Final
1	19	7	6.49	37.82	39.68
2	16	12	7.20	38.38	42.62
3	22	12	6.12	39.81	32.78
4	19	24	6.18	38.26	41.63
5	19	24	7.38	35.63	39.04
6	19	24	7.49	38.02	38.12
7	19	24	6.77	35.76	37.64
8	19	24	6.54	35.09	38.94
9	23,2	24	5.52	39.72	30.68
10	14,8	24	6.68	40.26	45.78
11	16	36	5.71	39.63	39.95
12	22	36	5.27	37.00	35.40
13	19	41	6.26	37.62	37.19

Porém, esse modelo poderia explicar somente 68,05% da variação dos valores observados ($R = 0,68046$) como causado pela umidade e tempo de condicionamento. O gráfico de superfície resposta obtido da equação de regressão, a Figura 26 mostrou que a umidade e tempo de condicionamento apresentaram o mesmo tipo de gráfico visto com total de farinha sem recuperação.

QUADRO 56 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para rendimento de farinha recuperada em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{8-12} = -0.675502 \times 10 + 0.157914 \times 10 X_1 - 0.441628 \times 10^{-1} X_1^2 - 0.138644 \times 10^{-2} X_1 X_2$	
Média das respostas	6.4315
Desvio-padrão	0.6887
Coeficiente de variação	10.7082
R^2	0.551997

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	3	3.142170	1.047390	3.70	0.0554
Independente	9	2.550196	0.2833551		
Total	12	5.6924			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.>t
Intercessão	-0.675502×10	-
X_1	0.15791×10	0.0499
X_2	-0.441628×10^{-1}	0.0411
$X_1 X_2$	-0.138644×10^{-2}	0.0625

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

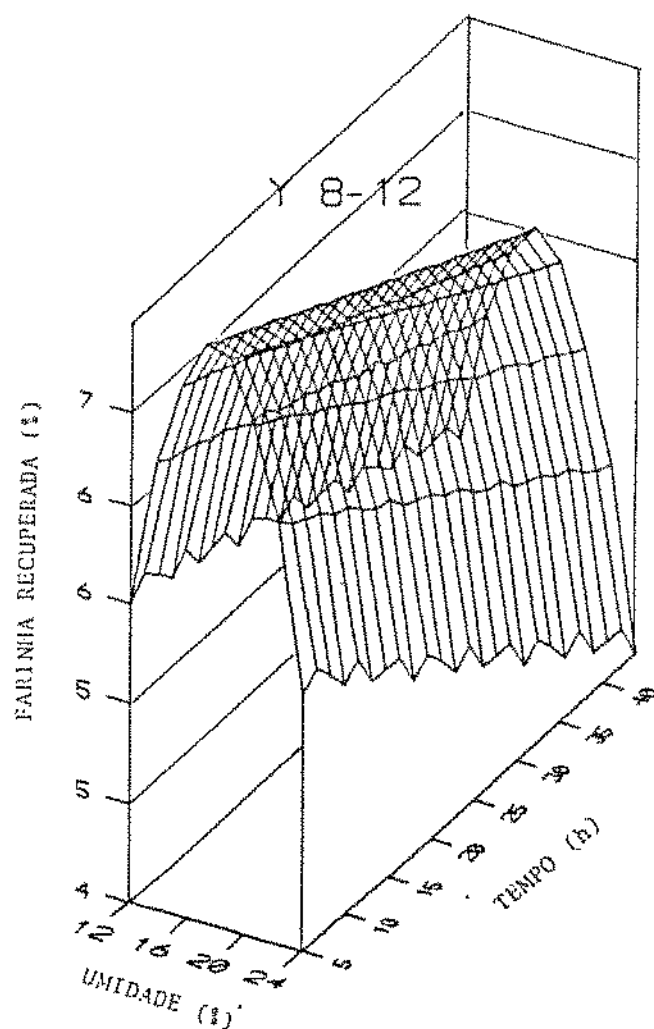


FIGURA 25 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento no rendimento de farinha recuperada.

Também, da mesma forma, o melhor resultado de rendimento de foi com umidade de 16 a 18% e baixo tempo de condicionamento.

O farelinho final por sua vez diminuiu em quantidade e seus valores poderiam ser expressos pelo modelo de regressão (Quadro 58) como influenciado pelos níveis de umidade e tempo de condicionamento, ao nível de 10% ($P < 0,1$) de probabilidade pelo teste t-Student. Nessa base

cerca de 88,53% da variação poderia ser explicado pelo modelo. A influência de umidade e tempo de condicionamento pode ser melhor visualizado pela Figura 26 no qual a curva de superfície resposta obtido da equação de regressão demonstra que aumento na umidade de condicionamento provocou queda no rendimento de farelinho final. Aumentos, no tempo de condicionamento na faixa de umidade baixa provocou uma ligeira queda no rendimento. Por outro lado umidades altas combinado com aumentos no tempo demonstraram um ligeiro acréscimo no rendimento de farelinho.

e. Rendimento de farelo

O farelo representou o subproduto fibrosa originário do pericárpio residual, remanescente depois da degerminação. A quantidade de farelo obtido em cada experimento encontra-se apresentado no Quadro 59. Os seus valores variaram de um mínimo de 11,43 até um máximo de 22,73%. Análise de regressão múltipla, conforme apresentado no Quadro 60, gerou um modelo reajustado ao nível de 5% ($P < 0.5$) de probabilidade pelo teste t-Student.

Cerca de 77,24% ($R = 0,7724$) da variação observada foi influenciada pelo modelo de regressão. A Figura 28 representa uma demonstração gráfica do modelo na forma de curva de superfície de quantidade de farelo com aumento na umidade e tempo de condicionamento.

QUADRO 57 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para rendimento de farinha final (com moinho de faca) em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{8-13} = 0.917776 \times 10^2 - 0.631979 \times 10 X_1 + 0.516488 X_2 + 0.181950 X_1^2 - 0.28192 \times 10^{-1} X_1 X_2$	
Média das respostas	37.9230
Desvio-padrão	1.6935
Coeficiente de variação	4.4656
R^2	0.680457

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.)F
Devido a regressão	4	23.41711	5.854279	4.26	0.0388
Independente	8	10.99667	1.374584		
Total	12	34.4138			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.)t
Intercessão	0.917776×10^2	-
X_1	-0.631979×10	0.0057
X_2	0.51648	0.0678
X_1^2	0.18195	0.0032
$X_1 X_2$	-0.281920×10^{-1}	0.0608

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

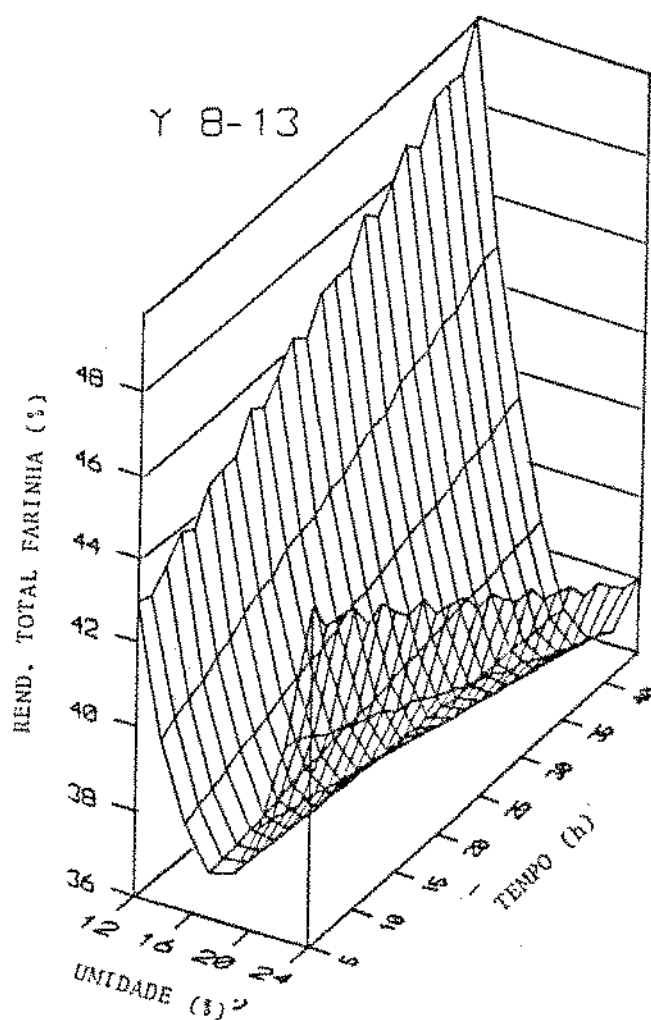


FIGURA 26 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento no rendimento de farinha total final.

4.4.2.3. Características dos produtos de moagem

As características dos produtos de moagem foram avaliados na base dos elementos que refletem a eficiência do processo.

Esses elementos incluíram: determinação da distribuição do tamanho de partículas e suas correspondentes áreas da superfície de partículas geradas, análise de distribuição da cinza e proteína nas frações dos produtos

QUADRO 58 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para rendimento de farelinho final em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação					
$Y_{8-14} = 0.844740 \times 10^2 - 0.237696 \times 10 X_1 - 0.735116 X_2 + 0.367327 \times 10^{-1} X_1 X_2$					
Média das respostas					38.4192
Desvio-padrão					3.9764
Coefficiente de variação					10.3500
R ²					0.885310
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	3	167.98381	55.994009	23.16	0.0001
Independente	9	21.76202	2.418002		
Total	12	189.7458			
Variáveis	Estimativa dos Coeficientes				Prob. > t
Intercepção	0.84474×10^2				-
X ₁	-0.237696×10				0.0010
X ₂	-0.735116				0.0543
X ₁ X ₂	0.367327×10^{-1}				0.0616
X ₁ X ₂	-0.281920×10^{-1}				0.0608
X ₁ = umidade (%).					
X ₂ = tempo (horas).					

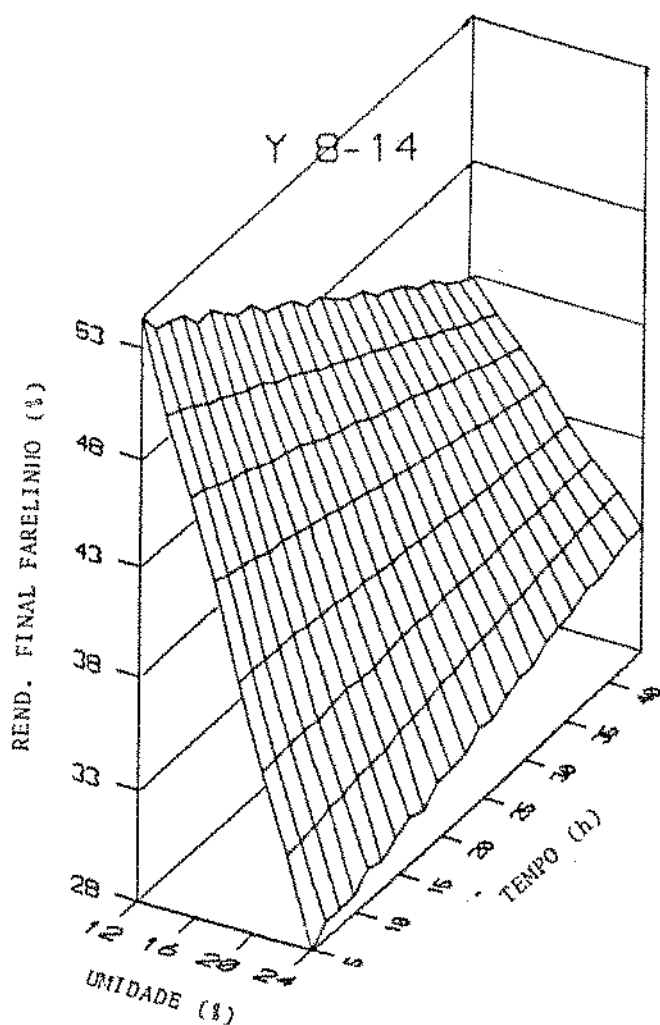


FIGURA 27 - Efeito da umidade e tempo de condicionamento no rendimento final em farelinho.

obtidos em cada passagem, determinação de amido danificado por passagem da farinha e finalmente através da avaliação da cor das farinhas por passagem, na base da diferença na cromaticidade e diferença total de cor.

QUADRO 59 - Rendimento de farelo em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto.	Variáveis Independentes		Rendimento de Farelo (%)
	X_1	X_2	
1	19	7	18.31
2	16	12	14.88
3	22	12	19.435
4	19	24	17.33
5	19	24	19.135
6	19	24	19.820
7	19	24	20.570
8	19	24	19.73
9	23,2	24	22.73
10	14,8	24	11.43
11	16	36	13.645
12	22	36	20.95
13	19	41	20.47

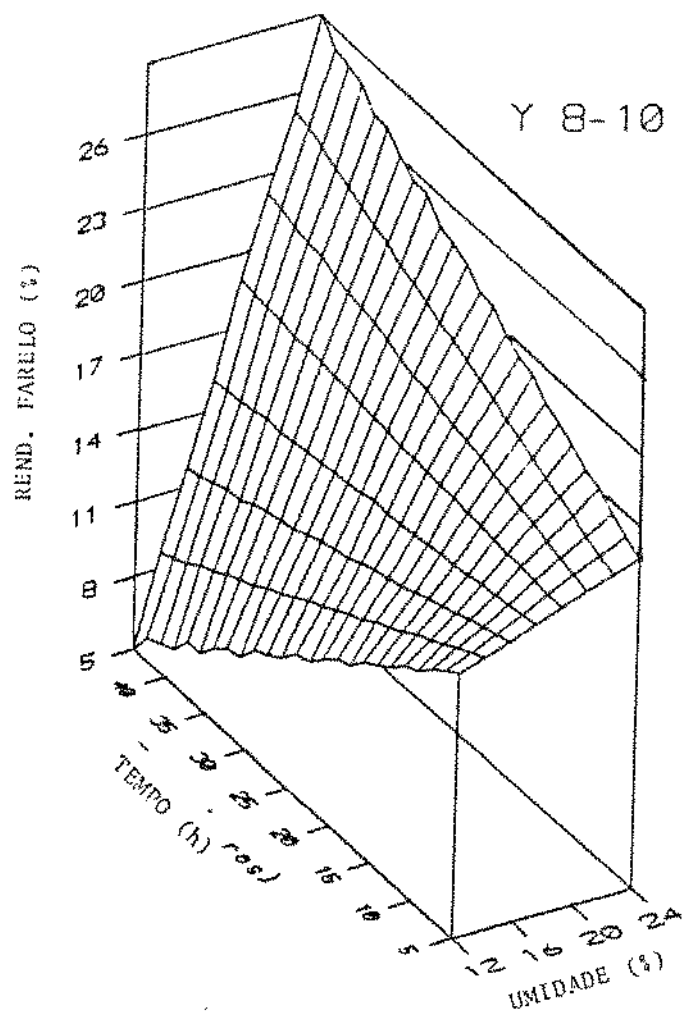


FIGURA 28 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento no rendimento em farelo.

a. Distribuição de tamanho de partículas de farinha de quebra

A distribuição de tamanho de partículas de farinha é um elemento importante na avaliação da qualidade de produtos derivados, principalmente a textura dos produtos. Sua determinação, portanto, reflete a qualidade, bem como assinalar a facilidade de fragmentação da canjica em partículas menores durante a moagem. Quanto menor for o

QUADRO 60 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para rendimento de farelo em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{8-10} = 0.175076 \times 10^2 - 0.824822 X_2 + 0.452397 \times 10^{-1} X_1 X_2$	
Média das respostas	18.3411
Desvio-padrão	3.2188
Coefficiente de variação	17.5497
R^2	0.772386

Fonte de Variação	GL	SS	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	2	96.03156	48.01578	28.29948	0.0006
Independente	10	28.29948	2.829948		
Total	12	58.8457			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob. > t
Intercessão	0.175076×10^2	-
X_2	-0.824822	0.0002
$X_1 X_2$	0.452397×10^{-1}	0.0001

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

tamanho das partículas, maior é sua área de superfície geralmente expresso como área de superfície específica por unidade de massa.

O apêndice 3 apresenta os resultados de determinação da distribuição de tamanho das partículas da farinha de

quebra e suas respectivas áreas de superfície específicas em função da umidade e tempo de condicionamento dos grãos de milho. Foi observado que a maior retenção das partículas ocorreu acima da peneira com 1935 μm de abertura. Aplicação da análise de regressão múltipla nos valores médios da área de superfície específica ajustou uma equação de modelo de regressão e valores de estimativa dos coeficientes de análise de variância, significativo ao nível de 15% ($P \leq 0.15$) de probabilidade pelo teste t-Student. Apenas 24,03% ($R^2 = 0.2403$) da variação observada poderia ser atribuída às influências de umidade e tempo de condicionamento recebido pelos grãos antes da moagem.

b. Distribuição do tamanho de partículas da farinha de redução

A farinha de redução normalmente recebe maior intensidade de moagem devido a ação de força compressiva acentuada dos rolos de redução sobre as partículas. O efeito desses rolos sobre as partículas originárias da etapa de quebra está apresentado no apêndice 3. Observou-se que da mesma forma que a farinha de quebra, a farinha de redução foi retida em maior proporção sobre as peneiras com abertura acima de 163,0 μm . Expressão desses dados na base de área de superfície específica por fração retida nas peneiras segue apresentado no apêndice 4.

Análise de regressão desses valores em função de umidade e tempo de condicionamento está apresentada no Quadro 61. Foi ajustado um modelo de regressão,

significativo ao nível de 10% ($P \leq 0.1$) de probabilidade pelo teste t-Student. Observou-se que o teor de umidade e tempo de condicionamento realizados influenciaram o modelo de regressão até a proporção de 70.47% ($R^2 = 0.7047$). A Figura 29 apresenta graficamente a equação de modelo na forma de curva de superfície de resposta.

Notou-se que aumentos nos teores de umidade de condicionamento favoreceram obtenção de farinha de redução com partículas mais finas. Combinação de umidade com maiores tempos de condicionamento facilitou ainda mais a fragmentação. Essa observação foi atribuída à influência da umidade sobre a endosperma vítreo do qual a farinha de redução é originária.

Segundo BENNETT (1950) essa parte do endosperma do milho tende a ser resistente a desintegração devido à íntima interligação entre seus grânulos de amido e a matriz protéica. Crescentes níveis de umidade fizeram com que a endosperma torne-se mais friável, facilitando assim obtenção de partículas mais finas.

c. Distribuição de tamanho de partículas de farelinho

Foi observado durante a moagem que o endosperma do milho apresentou tanta resistência a deformação que mesmo depois de passar pela secção de redução no qual as partículas receberam a maior intensidade de moagem, ainda pode-se encontrar partículas de endosperma não moído, denominado farelinho. Conforme pode-se observar no apêndice

QUADRO 61 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para a Área de superfície específica de farinha de redução em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{8-16} = -0.246853 \times 10^4 + 0.153713 \times 10^3 X_1 + 0.911977 \times 10^2 X_2 + 0.456971 \times 10 X_2^2 - 0.612438 \times 10 X_1 X_2$	
Média das respostas	151.8339
Desvio-padrão	168.6528
Coeficiente de variação	111.0772
R^2	0.704721

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	4	240539.1	60134.77	4.77	0.0290
Independente	8	100786.3	12598.28		
Total	12	341325.4	-		

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob. > t
Intercessão	-0.246853×10^4	-
X_1	0.153713×10^3	0.0024
X_2	0.911977×10^2	0.0122
X_2^2	0.456971	0.0782
$X_1 X_2$	-0.612438×10	0.0022

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

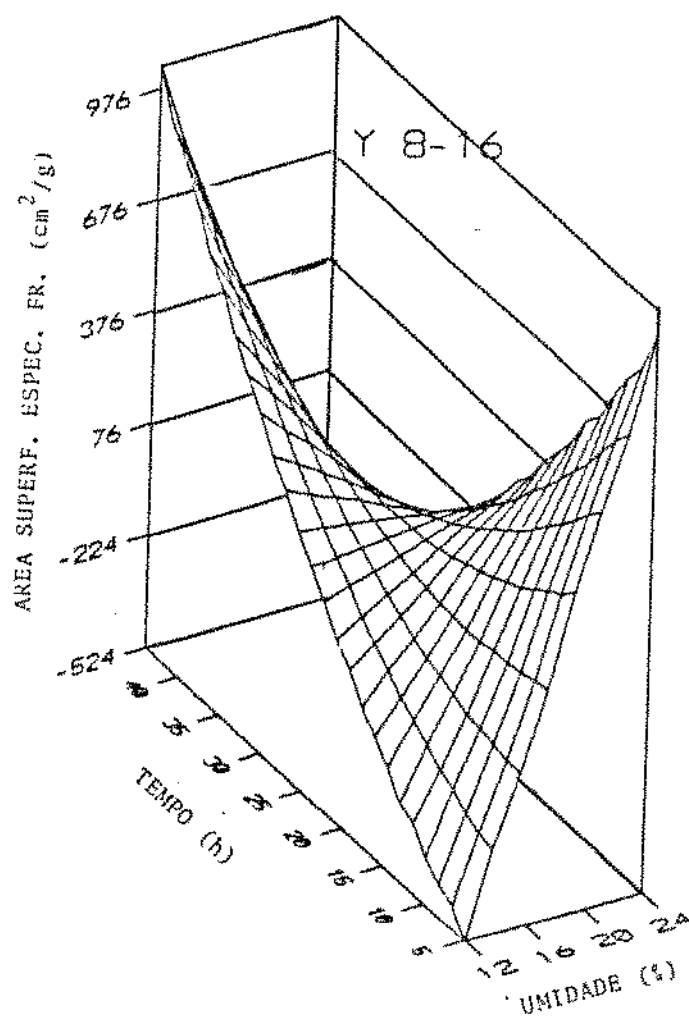


FIGURA 29 - Área de superfície específica de farinha de redução em função de umidade e tempo de condicionamento.

5, a distribuição de suas partículas variou em função das condições do experimento. Contudo, as partículas apresentaram tamanhos entre 175 e 545 μm ; com maior retenção sobre a peneira com furos de 175 μm . Como consequência, a área de superfície das partículas também variou de acordo com o experimento, sendo menor para as partículas com maior diâmetros (Quadro 62).

Uma análise de regressão múltipla para observar a influência das variáveis independentes, umidade e tempo de condicionamento sobre a distribuição das partículas de farelinho apresentou reajuste significativo ao nível de 15% ($P \leq 0.15$) de probabilidade pelo teste t-Student. Entretanto, apenas 16.66% ($R^2 = 0.16661$) de variação observada poderia ser atribuída aos efeitos de umidade e tempo de condicionamento.

QUADRO 62 - Área de superfície das partículas de farelinho em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto	Variável Independente		Área de Superfície Específica Total (cm ² /g)
	X ¹	X ²	
1	19	7	0.3250
2	16	12	0.3248
3	22	12	0.3278
4	19	24	0.3215
5	19	24	0.3115
6	19	24	0.3193
7	19	24	0.2732
8	19	24	0.3285
9	23.2	24	0.3259
10	14.8	24	0.3267
11	16	36	0.3761
12	22	36	0.3252
13	19	41	0.3237

d. Teor de cinza

O teor de cinza na farinha representa, de modo geral, a concentração de sais minerais, fibras ou presença de farelo na farinha. Essa presença na farinha normalmente compromete tanto a cor como a textura de miolo dos produtos derivados (FARREL & WARD, 1974; GEHLE, 1974). A qualidade nutricional também chega a ser comprometida uma vez alto

teor de cinza é associado ao alto teor de fósforo orgânico, ou fitina (TANGKONCHITR et alii, 1981a e 1981b).

O apêndice 6 apresenta os valores de teor de cinza encontrado nos produtos de cada passagem. Os teores de cinza em cada fração foram oscilatórios, porém representativo de conteúdo mineral de cada fração. As curvas da distribuição de cinza em cada passagem e por experimento, estão apresentados nas Figuras 30a e 30b. Foi observado que o teor de cinza variou com o grau de extração de farinha. Alta a percentagem de extração alcançada durante a moagem foi associada a maior quantidade de cinza observada. O processo de moagem tendeu extrair a farinha no sentido da parte central do endosperma para fora do grão, de modo que os produtos extraídos da parte externa apresentaram mais alta concentração de cinza. As farinhas dos experimentos 2 e 3 apresentaram os menores graus de extração de cinza, enquanto que os experimentos 5, 7 e 9 apresentaram os maiores teores de cinza.

O apêndice 6 e Quadro 63 apresentam os teores totais cumulativos de cinza de todas as passagens por experimento. Foi notado que as quantidades médias variaram dependendo da combinação de tempo e umidade de condicionamento. No entanto, a análise de variância bem como de regressão múltipla não conseguiram ajustar nenhum modelo significativo em função das variáveis independentes estudados. Isto mostrou que as diferenças nos valores médios observados não representaram uma variação estatística decorrente dos tratamentos recebidos pelos grãos durante o condicionamento.

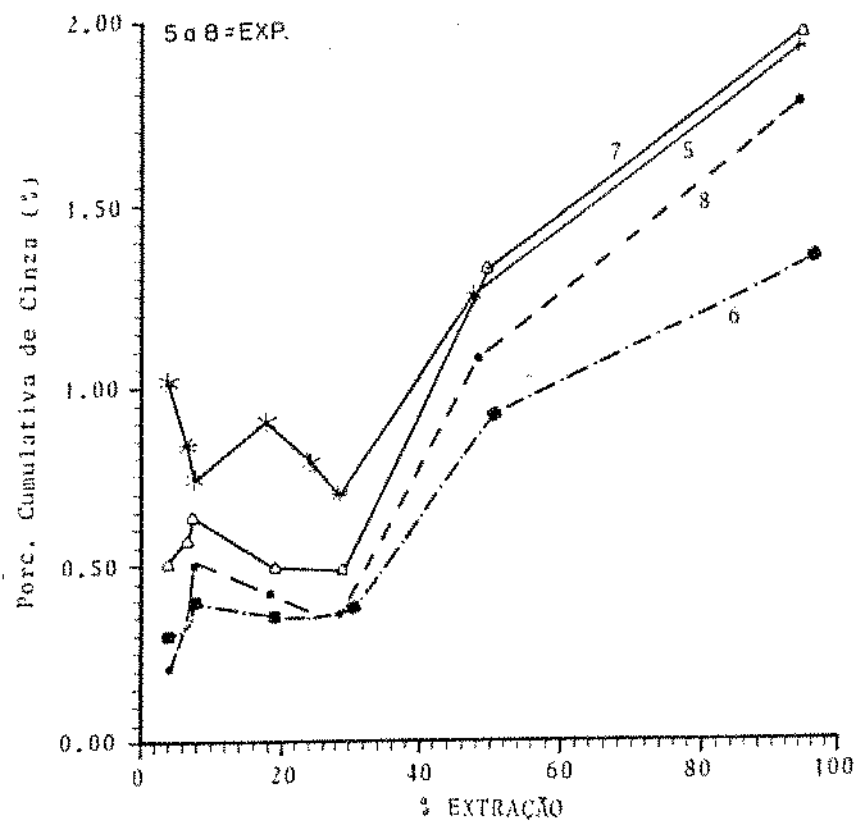


FIGURA 30a - Teor cumulativo de cinza em função de grande extração e condicionamento dos grãos de milho.

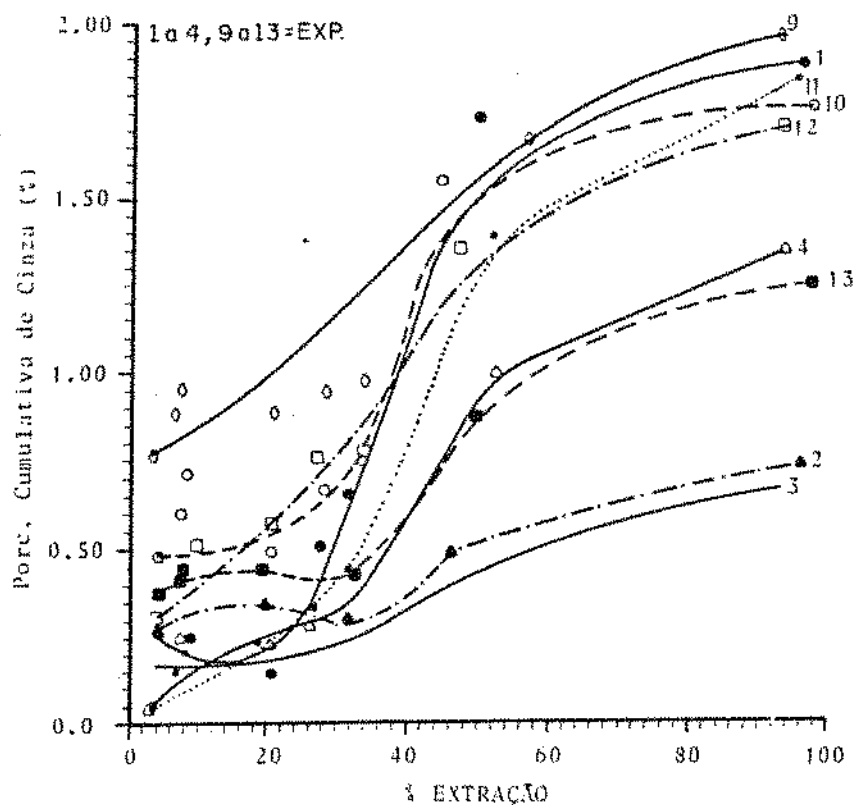


FIGURA 30b - Teor cumulativo de cinza por extração por experimento de condicionamento de grãos de milho em função de tempo e umidade.

QUADRO 63 - Quantidade cumulativa total de cinza nos produtos de moagem de grãos de milho em função de umidade e tempo de condicionamento

Expto	Variável independente		Cinza total (Σ)
	x^1	x^2	
1	19	7	207.9827
2	16	12	59.1770
3	22	12	76.8840
4	19	24	106.2393
5	19	24	117.1655
6	19	24	88.2040
7	19	24	124.0449
8	19	24	101.1593
9	23.2	24	155.1155
10	14.8	24	150.4561
11	16	36	125.7712
12	22	36	92.5783
13	19	41	128.4983

e. Distribuição de proteína

A distribuição da proteína nos produtos de moagem da canjica em função de umidade e tempo de condicionamento encontra-se no Quadro 62. Houve diferença nos teores médios de proteína em cada produto, decorrente da diferença na concentração de proteína nas várias regiões do grão (HAMILTON et alii, 1951 e WOLF et alii, 1969).

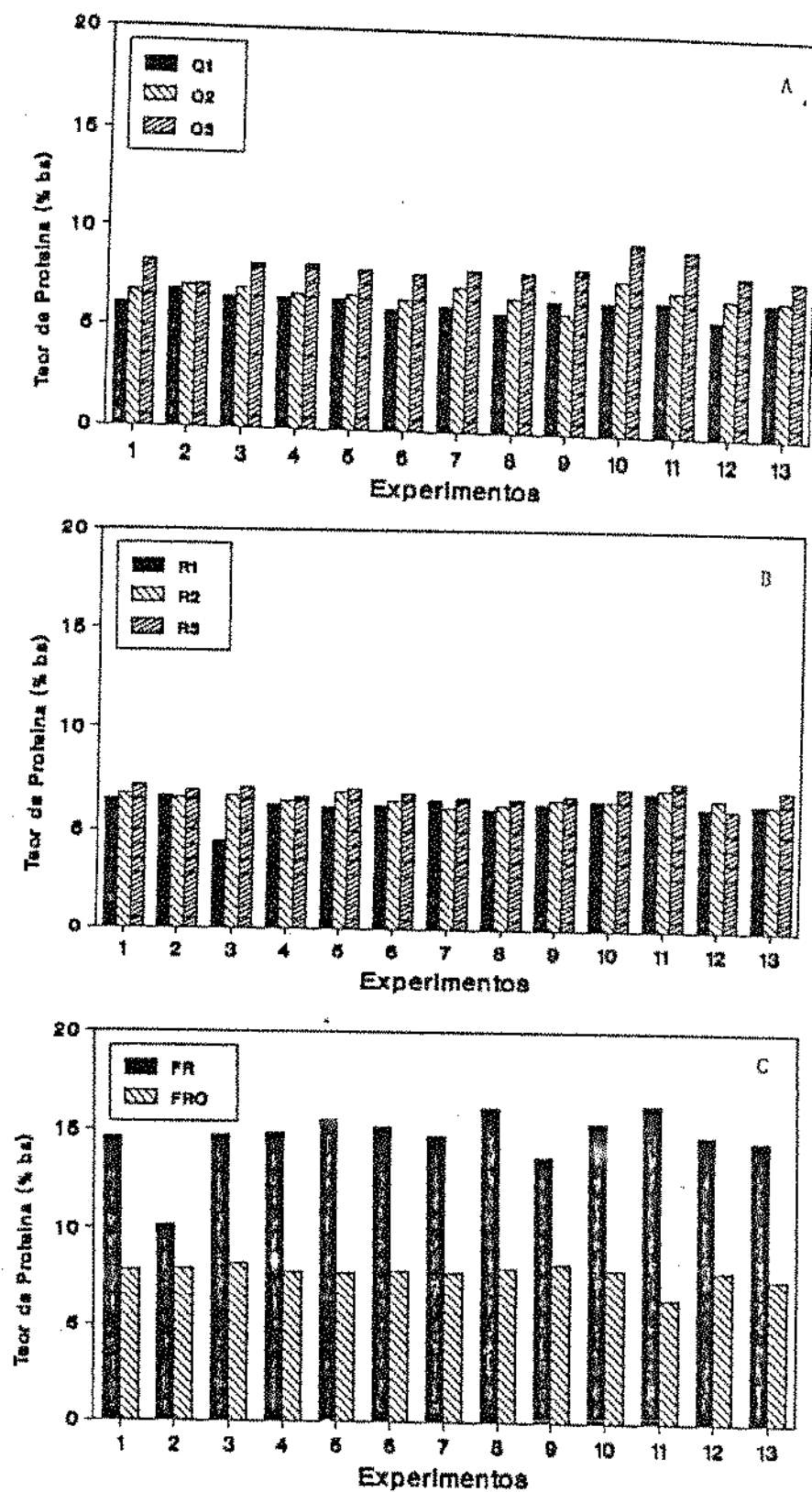


FIGURA 30 - Teores de proteína nos produtos de moagem em função de umidade e tempo de condicionamento.

Conforme apresentado na Figura 30a extraída do apêndice 7, os teores de proteína nas farinhas de quebra apresentaram-se em maior quantidade na farinha de quebra 3 (FQ-3)

A Figura 30b apresenta os resultados de proteína na farinha de redução. Os teores foram também baixos e seguiram a mesma distribuição encontrado nas farinhas de quebra, ou seja, valores menores na farinha de redução-1 (FR-1), ligeiramente maiores na farinha de redução-2 (FR-2) do que as quantidades encontradas na farinha de redução-1, porém um pouco maior na farinha de redução 3 (FR-3).

Os subprodutos, principalmente o farelo, apresentaram teores de proteínas maiores do que presentes nas farinhas de quebra e de redução (Figura 30C). No caso de farelo, o teor de proteína alcançou valores duas vezes os níveis encontrados nos demais produtos. O farelinho, por sua vez, apresentou quase o mesmo conteúdo protéico encontrado nas farinhas.

i. Farinha de quebra

Conforme demonstra a Figura 30, a farinha de quebra apresentou uma distribuição de proteína em ordem de $Q_1 < Q_2 < Q_3$; uma sequência esperada, uma vez que a distribuição de proteína nos grãos de milho é menor no centro de endosperma do que nas partes mais externas. Durante o processo de moagem a farinha é extraída da parte central para fora do endosperma.

A farinha de quebra 1 (FQ-1) apresentou valores médios de proteína de 6.34%. Análise de regressão múltipla ajusto um modelo significativo ao nível de 10% ($P \leq 0.1$) de probabilidade pelo teste t-Student. No entanto, só poderia explicar apenas 16.16% ($R^2 = 0.1616$) de variação no teor de proteína observado em função dos tratamentos de umidade e tempo empregados nos experimentos.

A farinha de quebra 2 (FQ-2) por sua vez apresentou níveis de proteína média ao redor de 6.84% conforme apresenta o Quadro 64. Através da análise de regressão múltipla foi possível ajustar uma equação de modelo significativa ao nível de 5% ($P \leq 0.05$) de probabilidade pelo teste t-Student. Esse modelo poderia explicar até 50,61% ($R^2 = 0.5061$) da variação observado devido aos níveis de umidade e tempo de condicionamento empregados nos experimentos. Expressando-se esses resultados na forma gráfica (Figura 31) revelou-se que da mesma forma como foi observado para farinha de quebra 1, o teor de proteína na farinha de quebra 2 (FQ-2) apresentou valores mais altos na faixa de umidade baixo de condicionamento.

QUADRO 64 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para teor de proteína na farinha de quebra 2 em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{10-3} = 0.913278 \times 10 - 0.120875 X_1$	
Média das respostas	6.8361
Desvio-padrão	0.4141
Coefficiente de variação	6.0575
R^2	0.506128

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	1	1.041462	1.041462	11.27	0.0064
Independente	11	1.016242	0.09238571		
Total	12	2.0577			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.>t
Intercessão	0.913278x10	-
X_1	-0.120875	0.0032

X_1 = umidade (%).

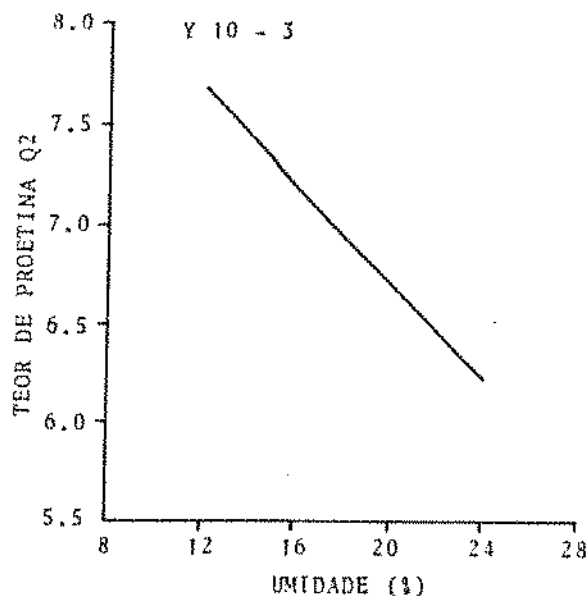


FIGURA 31 - Teor de proteína na farinha de quebra-2 (FQ-2) em função de umidade e tempo de condicionamento.

Isto sugere que baixas umidades facilita o desprendimento da matriz protéica durante a moagem no sistema de quebra-2.

A farinha de quebra 3 (FQ-3) por sua vez apresentou o teor de proteína média 8.21% (Quadro 65). Análise de regressão do seu teor médio de proteína em função das variáveis independentes desenvolveu um modelo significativo ao nível de 10% ($P \leq 0.1$) de probabilidade pelo teste t-Student.

QUADRO 65 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para teor de proteína na farinha de quebra 3 em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{10-4} = 0.174473 \times 10^2 - 0.134833 \times 10 X_1 + 0.332621 X_2 +$ $+ 0.436533 \times 10^{-1} X_1^2 - 0.166654 \times 10^{-1} X_1 X_2$	
Média das respostas	8.2108
Desvio-padrão	0.6548
Coefficiente de variação	7.9749
R^2	0.653728

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	4	3.363748	0.8409369	3.78	0.0520
Independente	8	1.781738	0.222717		
Total	12	5.1455			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.>t
Intercessão	0.174473×10^2	-
X_1	-0.134833×10	0.0609
X_2	0.332621	0.0145
X_1^2	0.436533	0.0304
$X_1 X_2$	-0.166654×10^{-1}	0.0173

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

Com esse modelo a variação de proteína poderia ser explicada até 65.37% ($R^2 = 0.6537$) como influenciado pelos níveis de umidade e tempos de condicionamento empregado nos experimentos.

A Figura 32 representa a curva de superfície de resposta como meio de visualizar os efeitos das condições dos experimentos. Notou-se que o teor de proteína nessa fração aumenta com acréscimos no tempo e baixos níveis de umidade de condicionamento com alta umidade.

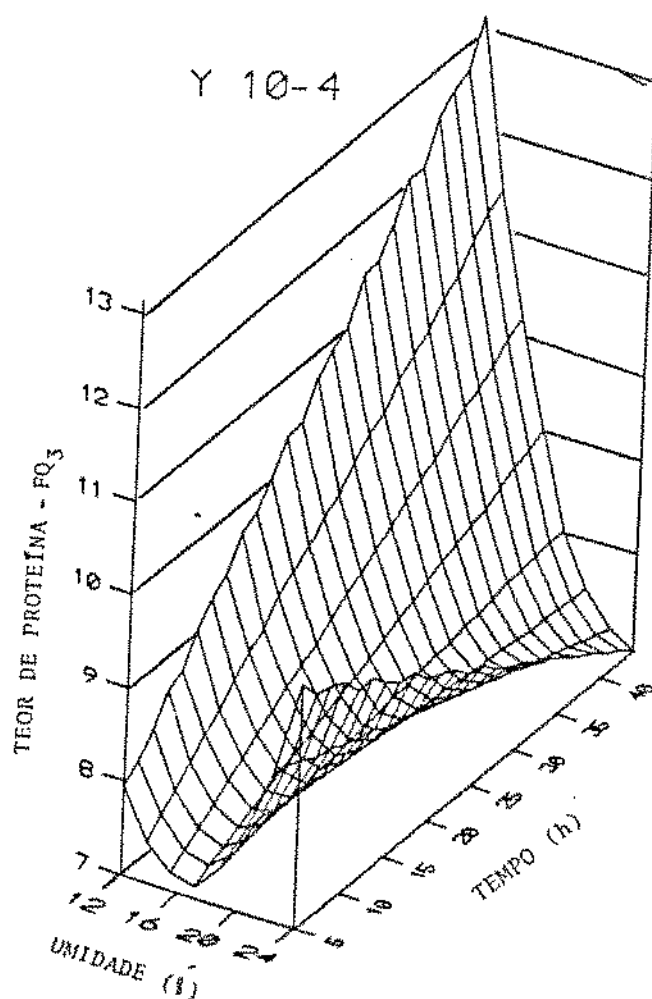


FIGURA 32 - Teor de proteína na farinha de quebra-3 (FQ-3) em função de umidade e tempo de condicionamento.

1.1. Farinha de redução

Os valores médios encontrados na farinha de redução foram de 6,41%. Com auxílio da Figura 30b, notou-se que houve similaridade entre o nível protéico das três farinhas de redução.

Através da análise de regressão múltipla (Quadro 66) os valores médios da proteína de farinha de redução 1 (FR-1) foram ajustados para obter um modelo que explicasse esses níveis de proteínas em função das condições dos experimentos. Foi desenvolvido um modelo significativo ao nível de 10% ($P \leq 0.1$) de probabilidade pelo teste t-Student. Entretanto, cerca de 61.46% ($R^2 = 0.6146$) da variação observada poderia ser atribuída à variação devido a umidade e tempo de condicionamento. A Figura 33 mostra uma representação gráfica do modelo como curva de superfície de resposta. Aumento no teor de umidade independente do tempo de condicionamento favoreceu extração de farinha de redução 1 com maior teor de proteína. Os maiores valores de proteína foram registrados com condicionamento à nível de 18 a 20% de umidade, obtendo-se farinha com cerca de 8,5% de proteína.

QUADRO 66 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para teor de proteína na farinha de redução 1 em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{10-5} = 0.139324 \times 10^2 - 0.697388X_1 - 0.447874 \times 10^{-1}X_2 + 0.168572 \times 10^{-1}X_1^2 + 0.935600 \times 10^{-3}X_2^2$	
Média das respostas	6.4069
Desvio-padrão	0.2554
Coeficiente de variação	3.9863
R^2	0.61463

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	4	0.4810569	0.1202642	3.19	0.0763
Independente	8	0.3016208	0.03770260		
Total	12	0.7827			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.>t
Intercessão	0.139324×10^2	-
X_1	-0.697388	0.0293
X_2	-0.447874×10^{-1}	0.0562
X_1^2	0.168572×10^{-1}	0.0884
X_2^2	0.9356×10^{-3}	0.0518

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

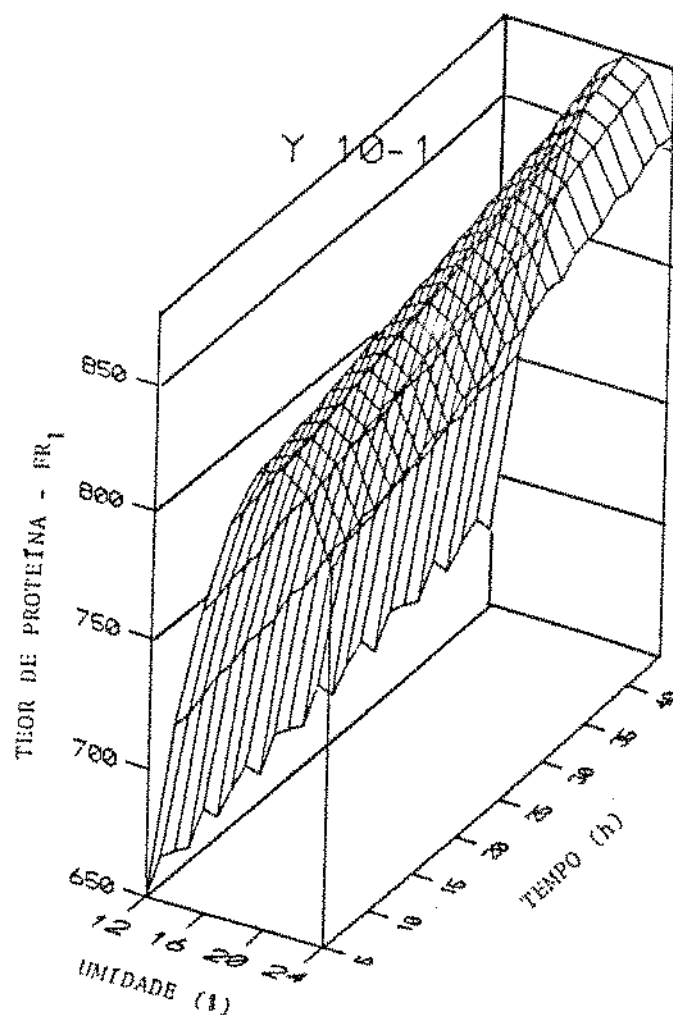


FIGURA 33 - Teor de proteína na farinha de redução-1 (FR-1) em função de umidade e tempo de condicionamento.

A farinha de redução 2 por sua vez apresentou teores de proteína média ao redor de 6.61%. Ao contrário da farinha de redução 1, aplicação de análise de regressão não gerou nenhum modelo significativo até o nível de 10% ($P \leq 0.1$) de probabilidade pelo teste t-Student.

Entretanto, a farinha de redução 3, com seu teor médio de proteína na faixa de 6.92% apresentou um modelo de regressão com reajuste significativo ao nível de 5% ($P \leq$

0.05) de probabilidade pelo teste t-Student (Quadro 67).

Portanto o nível de umidade e tempo de condicionamento poderiam explicar até 81.98% da variação observada. Expressando o modelo na forma de curva de superfície de resposta (Figura 34) observou-se que aumento de tempo a baixo teor de umidade de condicionamento provocou aumentos no teor de proteína da farinha de redução 3, porém esse teor diminuiu com os níveis altos de umidade e curtas durações de condicionamento.

iii. Farelinho

A quantidade média de proteína no farelinho foi um pouco maior que encontrada nas farinhas de quebra e redução, ficando em média 7.84%. Aplicação de análise de regressão múltipla nos valores médios revelou um modelo de reajuste significativo ao nível de 5% ($P \leq 0.05$) de probabilidade pelo teste t-Student. Entretanto, o coeficiente de determinação entre experimentos de apenas 48.85% ($R^2 = 0.48854$).

QUADRO 67 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para teor de proteína na farinha de redução 3 em função de umidade e tempo de condicionamento

Equação	
$Y_{10-7} = 0.391668 \times 10 + 0.190432X_1 + 0.152749X_2 +$ $+ 0.104314 \times 10^{-2}X_2^2 - 0.109019 \times 10^{-1}X_1X_2$	
Média das respostas	6.9231
Desvio-padrão	0.3434
Coefficiente de variação	4.9602
R^2	0.819755

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.)F
Devido a regressão	4	1.159686	0.2899215	9.10	0.0045
Independente	8	0.2549887	0.03187358		
Total	12	1.4147			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.)t
Intercessão	0.391668x10	-
X_1	0.190432	0.0083
X_2	0.152749	0.0097
X_2^2	0.104314×10^{-2}	0.0275
X_2X_2	-0.109019×10^{-1}	0.0011

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (h).

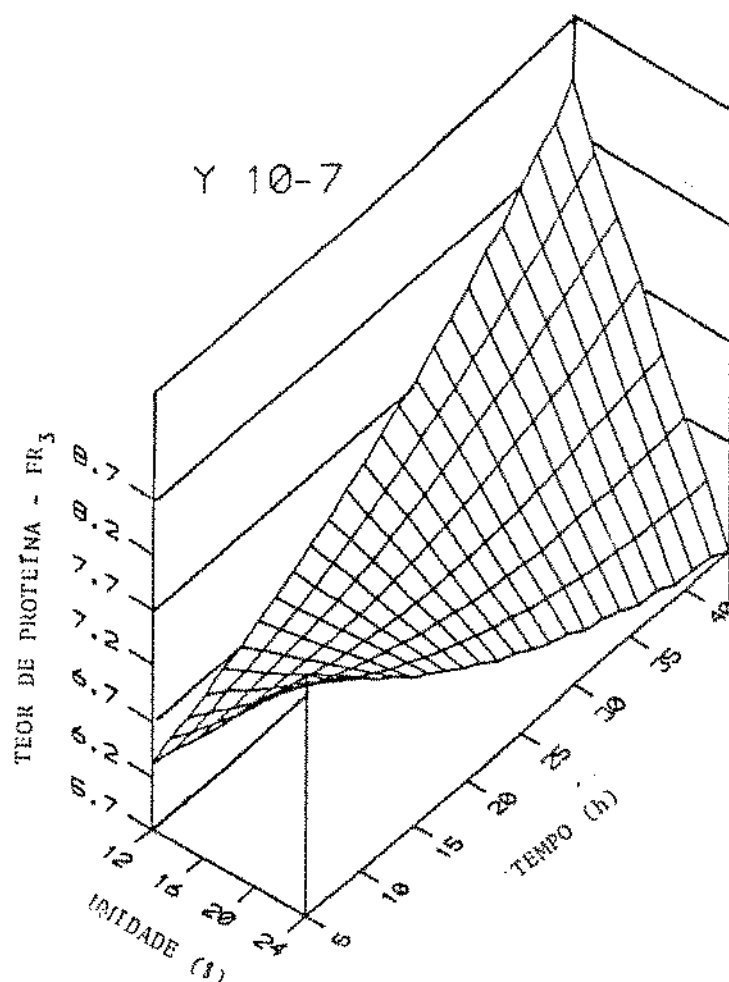


Figura 34 - Teor de proteína na farinha de redução -3(FR-3) em função da umidade e tempo de condicionamento.

iv. Farelo

O farelo representou teor de proteína em média de 14%.

Análise de variância e modelo de regressão para essa proteína do farelo em função das condições dos experimentos de condicionamento, apresentou reajuste significativo ao nível de 10% ($P \leq 0.10$) de probabilidade pelo teste t-Student. Entretanto, poderia explicar apenas 16.21%

($R^2 = 0.162095$) de variação.

f. Amido danificado

Amido danificado é uma consequência de ação mecânica dos rolos sobre os grânulos de amido na endosperma durante o processo de moagem. A quantidade de dano sofrido pelos grânulos depende da resistência intrínseca de cada grânulo, tipo de grão (se mole ou duro), tipo de condicionamento recebido antes da moagem; tipo de superfície, dos rolos, diferenças na velocidade, grau de inclinação das estrias, força compressiva dos rolos, bem como a eficiência de classificação dos produtos moídos em tamanhos específicos antes de ser submetidos à mais moagem adicional (WILLIAMS, 1968).

Apêndice 8 apresenta os resultados da determinação de quantidade do amido danificado em cada passagem de farinha como meio de avaliar a eficiência do processo de moagem e a influência de cada combinação de umidade e tempo de condicionamento utilizado nos experimentos.

Houve dano progressivo de grânulos de amido durante a moagem em todos níveis de condicionamento. Esse dano se intensificou com grau de extração, bem como com o tipo de condicionamento recebido.

O valor médio de amido danificado para farinha de quebra 1 (FQ-1) foi de 3,15%. Análise de regressão múltipla apresentado no Quadro 68 estabeleceu um modelo significativo ao nível de 5% ($P \leq 0.5$) de probabilidade pelo teste t-Student. Essa determinação atribuiu influências de até

80.39% ($R^2 = 0.80368$) como sendo devido à umidade e tempo de condicionamento usado nos experimentos.

Expressão dos resultados na forma da gráfico de superfície de resposta (Figura 35) demonstrou que a quantidade de amido danificado foi influenciada pela umidade e tempo de condicionamento; sendo mais alto na faixa de umidade de 18%. As quantidades, no entanto, diminuíram com maior tempo de condicionamento.

No caso da farinha de quebra 2 (FQ-2) os valores médios foram ao redor de 3.40%. Análise de modelo de regressão, revelou reajuste de modelo significativo ao nível comparativamente baixo de até 15% ($P \leq 0.15$) de probabilidade pelo teste t-Student. Apenas 31.10% ($R^2 = 0.31104$) de variação no amido danificado poderia ser atribuída aos efeitos de umidade e tempo de condicionamento.

A farinha de quebra 3 (FQ-3) não apresentou valores estatisticamente significativos de modo que os valores de grânulos de amido quebrado não puderam ser explicados em função de tratamento recebido nos ensaios.

QUADRO 68 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para amido danificado na farinha de quebra 1 (FQ1)

Equação	
$Y_{11-1} = -0.764157 \times 10 + 0.110335 \times 10 X_1 + 0.11789 X_2$ $- 0.263998 \times 10^{-1} X_1^2 - 0.728109 \times 10^{-2} X_2^2$	
Média das respostas	3.1515
Desvio-padrão	0.4013
Coeficiente de variação	12.7336
R^2	0.803883

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	4	1.553555	0.3883886	8.20	0.0062
Independente	8	0.3790102	0.4737628×10^{-1}		
Total	12	1.9326			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob. > t
Intercessão	-0.764157×10	-
X_1	0.110335×10	0.0077
X_2	0.117890	0.0378
X_1^2	-0.263998×10^{-1}	0.0106
X_2^2	-0.729109×10^{-2}	0.0212

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

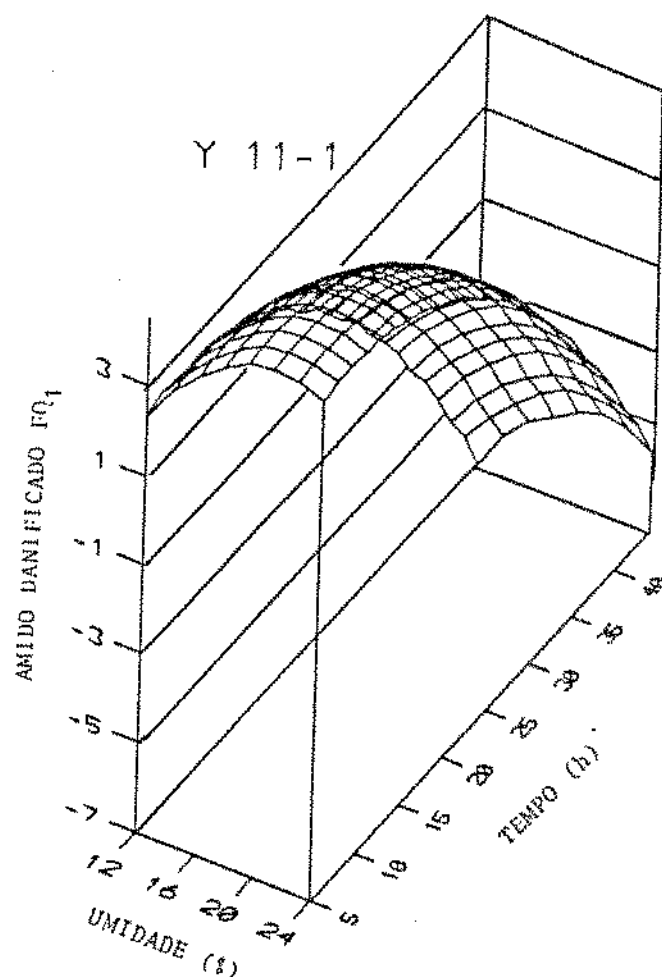


FIGURA 35 - Quantidade de amido danificado na farinha de quebra-1 (FQ-1) em função de umidade e tempo de condicionamento.

A farinha de redução 1 (FR1) por sua vez apresentou a média de 4.94% de amido danificado, por sinal, um valor pouco superior aos apresentados pela farinha de quebra. Isto foi decorrente em parte da maior força compressiva recebidos pelas partículas no sistema de redução.

Foi possível ajustar um modelo de regressão múltipla significativo ao nível de 5% ($P \leq 0.05$) pelo teste t-Student (Quadro 69). Cerca de 57.14% ($R^2 = 0.5714$) da variação foi de fato devido às influências de umidade e tempo de condicionamento utilizado nos experimentos. A Figura 36 apresenta a curva de superfície de resposta, obtido do modelo de regressão ajustado. Foi possível concluir da mesma que aumentos no teor de umidade até o máximo de 18% por tempos crescente de condicionamento provocou valores máximos na quebra de grânulos de amido de farinha de redução-1 (FR-1). Apresentando-se o nível de umidade além de 18% e tempo de provocou queda nos valores de amido quebrado.

Os resultados de análise de amido danificados na farinha de redução 2 (FR-2) encontram-se no Quadro 70 no qual o valor médio foi de 5,62%. Análise de regressão múltipla ajustou uma equação significativa ao nível de 10% ($P \leq 0.10$) de probabilidade pelo teste t-Student e explicando a variação observado como influenciado pelo tempo de condicionamento na proporção de 64.76% ($R^2=0.6476$).

Pela Figura 37, pode-se notar que a curva de superfície resposta assinalou um valor máximo para amido danificado com umidade de 18%. Níveis de umidade fora deste limite com aumentos no tempo de condicionamento apresentou ligeira tendência de queda na quantidade de amido danificado.

QUADRO 69 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para amido danificado na farinha de redução 1 (FR1)

Equação					
$Y_{11-4} = 0.163259 \times 10^2 + 0.197863 \times 10 X_1 + 0.278956 X_2 - 0.434636 \times 10^{-1} X_1^2 - 0.155544 \times 10^{-1} X_1 X_2$					
Média das respostas	4.9415				
Desvio-padrão	0.6360				
Coeficiente de variação	12.8706				
R^2	0.571397				
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	4	2.773540	0.6933849	2.67	0.1109
Independente	8	2.080425	0.2600532		
Total	12	4.8540			
Variáveis	Estimativa dos Coeficientes			Prob.>t	
Intercessão	-0.163259×10^2			-	
X_1	0.19786×10			0.0233	
X_2	0.278956			0.0367	
X_1^2	-0.434636×10^{-1}			0.0397	
$X_1 X_2$	-0.155544×10^{-1}			0.0297	
X_1 = umidade (%).					
X_2 = tempo (horas).					

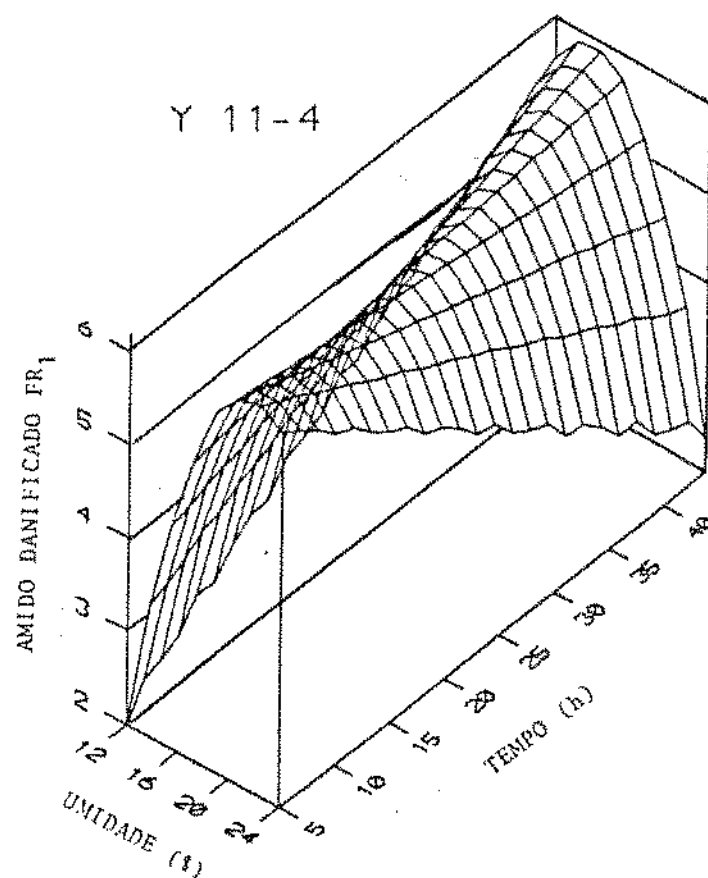


FIGURA 36 - Quantidade de amido danificado na farinha de redução-1 (FR-1) em função de umidade e tempo de condicionamento.

Obtenção de farinha de redução 3 (FR-3) provocou mais quebra de grânulos de amido para um valor médio de 6.71%, conforme apresentado no Quadro 71. Uma análise de regressão múltipla como realizado nas demais farinhas gerou uma equação de modelo reajustada para o nível de 5% ($P \leq 0.01$) de probabilidade pelo teste t-Student, a uma determinação que atribui cerca de 74.80% ($R^2 = 0.74798$) de variação

QUADRO 70 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para amido danificado na farinha de redução 2 (FR2)

Equação	
$Y_{11-5} = -0.100053 \times 10^{-2} + 0.175011 \times 10 X_1 - 0.466953 \times 10^{-1} X_1^2 - 0.113337 \times 10^{-2} X_1 X_2$	
Média das respostas	5.6169
Desvio-padrão	0.4999
Coeficiente de variação	8.8999
R^2	0.647584

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	3	1.942150	0.6473833	5.51	0.0200
Independente	9	1.056923	0.1174359		
Total	12	2.9991			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob. > t
Intercessão	-0.100053×10^{-2}	-
X_1	0.175011×10	0.0058
X_2^2	-0.466953×10^{-1}	0.0053
$X_1 X_2$	-0.113337×10^{-2}	0.0301

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

Y 11-5

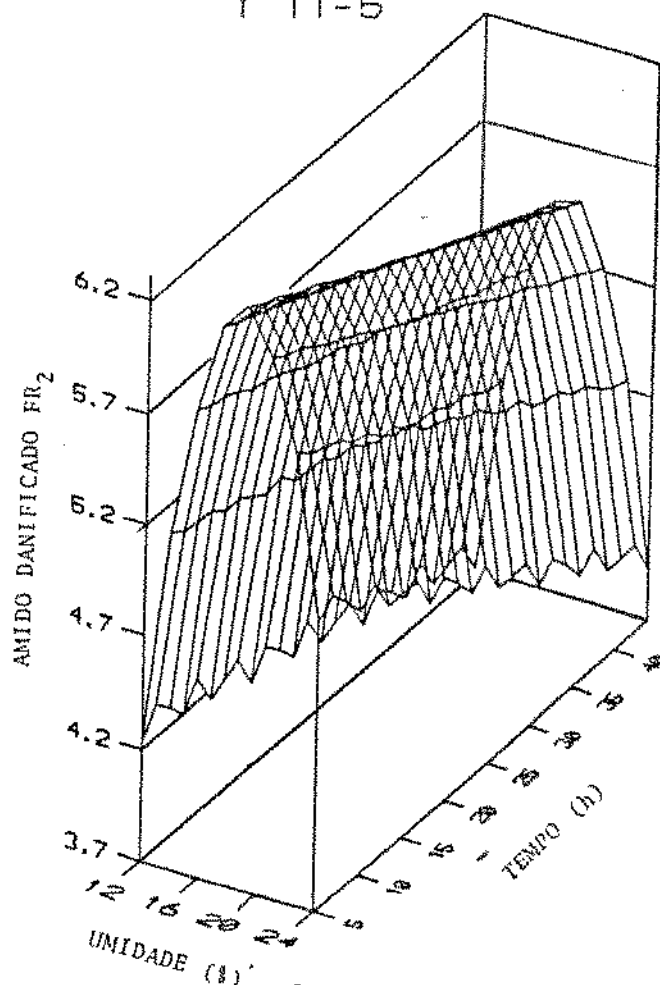


FIGURA 37 - Quantidade de amido danificado na farinha de redução-2 (FR-2) em função de umidade e tempo de condicionamento.

observada como consequência de umidade e tempo de condicionamento. Expressando a equação do modelo na forma de curva de superfície de resposta demonstrado na Figura 38, mostrou que o emprego de alto teor de umidade com aumentos no tempo de condicionamento provocou queda na tendência de quebra de amido durante a moagem de milho na terceira unidade de redução. Porém emprego de quantidades menores de umidade de condicionamento e tempos de descanso maiores

QUADRO 71 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para amido danificado na farinha de redução 3 (FR3)

Equação	
$Y_{11-6} = -0.999868 \times 10 + 0.164507 \times 10 X_1 + 0.148647 X_2 - 0.388868 \times 10^{-1} X_1^2 - 0.84716 \times 10^{-2} X_1 X_2$	
Média das respostas	6.7108
Desvio-padrão	0.4059
Coeficiente de variação	6.0485
R^2	0.747982

Fonte de Variação	GL	SS	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	4	1.479128	0.3697820	5.94	0.0161
Independente	8	0.4983635	$0.6229544 X_1^{-1}$		
Total	12	1.9775			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.>t
Intercessão	-0.999868×10	-
X_1	0.164507×10	0.0020
X_2	0.148647	0.0276
X_1^2	-0.388868×10^{-1}	0.0031
$X_1 X_2$	-0.847160×10^{-2}	0.0202

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

Y 11-6

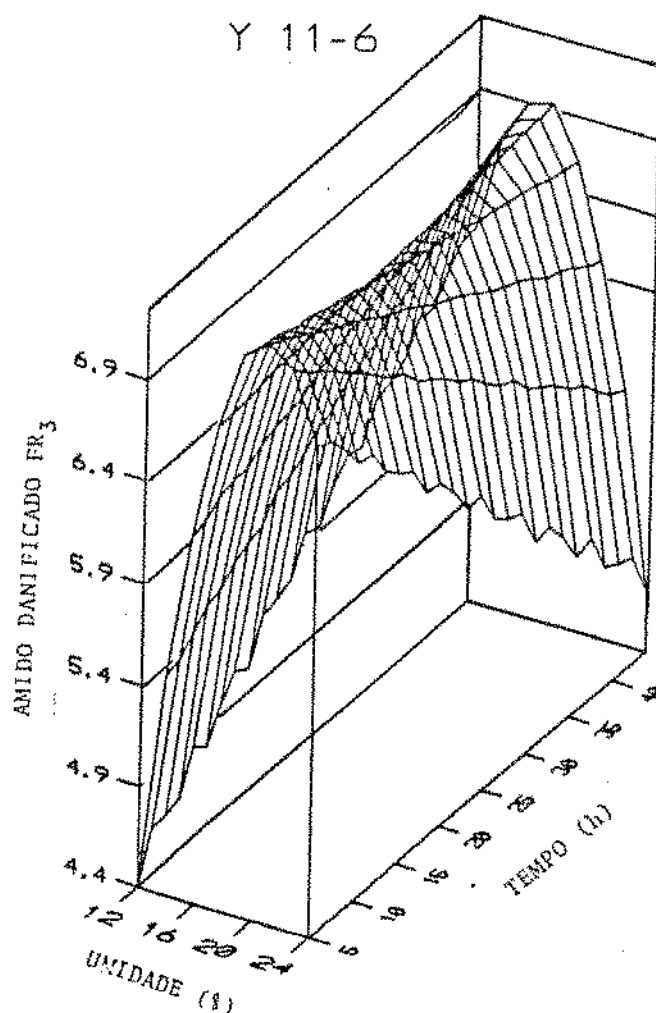


FIGURA 38 - Teor de amido danificado na farinha de redução 3 (FR-3) em função de umidade e tempo de condicionamento.

favoreceu aumento na tendência de danificação dos grânulos de amido.

g. Cor da farinha

A cor de farinha, na indústria de moagem é geralmente provocada pela presença de pigmentos inerentes. Portanto, as medidas da cor na indústria moageira podem visar revelação de possível presença de pigmentos na farinha.

Os grãos de milho utilizados neste trabalho apresentaram uma coloração inerente e visualmente branca.

Entretanto, avaliação da cor de cada farinha na base de diferença da cromaticidade e luminosidade em referência as cores das amostras padrões, ou seja, a cor branco de sulfato de bário. Demonstrou diferença na amostra de farinhas obtidas.

Os apêndices 9 a 13 apresentam os resumos dos resultados de avaliação da cor de farinhas de quebra 1, 2 e 3; redução 1, 2 e 3, respectivamente por experimento de condicionamento.

i. Avaliação das características da cor das farinhas

Em função dos valores para cada parâmetro foram calculados os valores para a diferença na cromaticidade e diferença na cor total das farinhas, conforme apresentados a seguir para refletir a qualidade dessas farinhas e como essa qualidade foi influenciada pelas condições de umidade e tempo de condicionamento usados nos experimentos.

ii. Diferença de cromaticidade na farinha de quebra

Avaliação da diferença de cromaticidade para farinha de quebra (FQ1) representando a sua cor no espaço bidimensional eliminando-se a luminosidade, está apresentado no Quadro 72. O valor médio foi de 2,0802. Aplicando-se análise de regressão múltipla gerou-se uma equação de modelo com ajuste significativo ao nível de 5% ($P \leq 0.05$) de

QUADRO 72 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para diferença de cromaticidade de farinha de quebra 1 (FQ1)

Equação	
$Y_{12-8} = -0.532206 \times 10 + 0.741118 X_1 + 0.405652 \times 10^{-1} X_2 -$ $- 0.184910 \times 10^{-1} X_1^2 - 0.131769 \times 10^{-2} X_1^2$	
Média das respostas	2.0802
Desvio-padrão	0.3155
Coefficiente de variação	15.1668
R^2	0.911974

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	4	1.089636	0.2724090	20.72	0.0003
Independente	8	0.1051760	0.1314700×10^{-1}		
Total	12	1.1948			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob. > t
Intercessão	-0.532206×10	-
X_1	0.741118	0.0021
X_2	0.405652×10^{-1}	0.0128
X_1^2	-0.184910×10^{-1}	0.0027
X_2^2	-0.131769×10^{-2}	0.0012

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

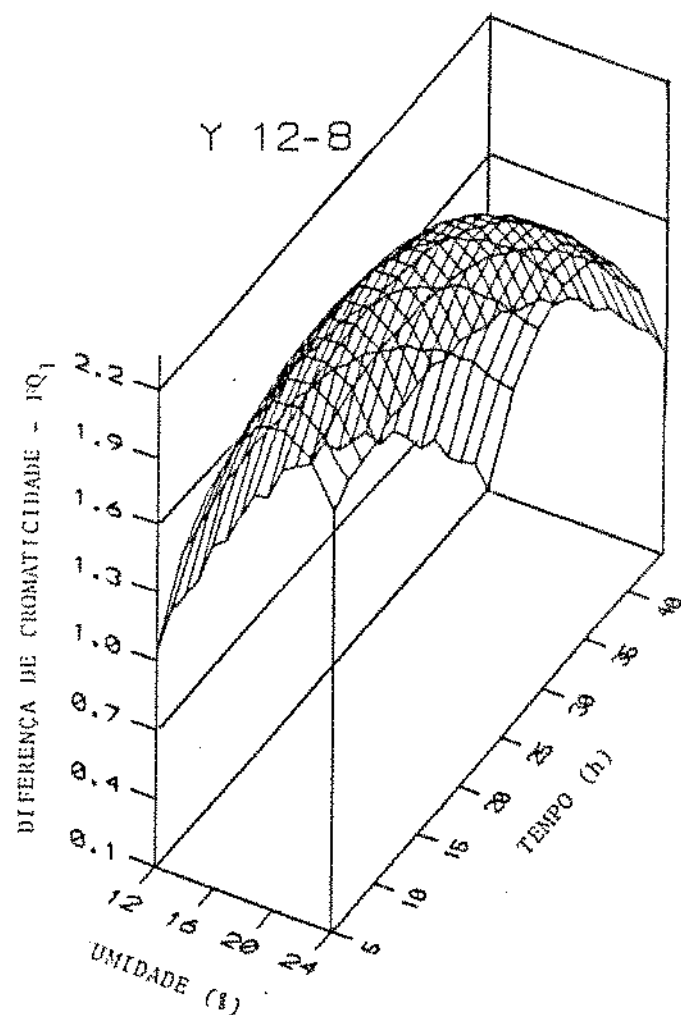


FIGURA 39 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento na diferença de cromaticidade de farinha de quebra 1 (FQ1).

probabilidade pelo teste t-Student. Foi observado que a cromaticidade foi muito influenciada até 91,2% pelas condições dos experimentos ($R^2 = 0.91197$), principalmente o teor de umidade. Conforme apresentado na curva de superfície de resposta na Figura 39, a farinha de quebra 1 apresentou o maior valor de diferença na cromaticidade quando houve uma combinação de 18 a 20% de umidade e 30 horas de condicionamento. Abaixo desses limites, mudanças no teor de

umidade e tempo de condicionamento a diferença na cromaticidade de farinha foi atenuada.

A farinha de quebra 2 (FQ-2) por sua vez apresentou uma diferença na cromaticidade de cor com valor médio de 2.2389. O modelo de regressão ajustada para essa farinha encontra-se no Quadro 73. Apresentou-se significativa ao nível de 5% ($P \leq 0.05$) de probabilidade pelo teste t-Student. Ademais, notou-se que este modelo poderia explicar até 90.88% ($R^2 = 0.90882$) da variação como sendo influenciada pela umidade e tempo de condicionamento. Expressando a equação de modelo de regressão na forma de curva de superfície de resposta observado na Figura 39, poderia notar que aumento de teor de umidade de condicionamento provocou quedas na diferença de cromaticidade. Aumentos no tempo de condicionamento por sua vez resultou no aumento na diferença de cromaticidade apresentou uma equação com ajuste significativo ao nível de 5% ($P \leq 0.05$) de probabilidade. Foi observado também que cerca de 83.19% da variação ($R^2 = 0.8319$) poderia ser atribuída às influências de tempo e umidade de condicionamento utilizados nos experimentos. A Figura 40 apresenta expressão da equação do modelo de regressão na forma de curva de superfície de resposta. Essa curva apresentou o mesmo formato observado para a farinha de quebra 1.

Entretanto, a umidade entre 18 e 20% representou um ponto otimizado abaixo do qual notou aumentos de valores de diferença da cromaticidade na farinha de quebra 2.

QUADRO 73 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para diferença de cromaticidade de farinha de quebra 2 (FQ2)

Equação	
$Y_{12-9} = 0.137337 \times 10^2 - 0.119226 \times 10 X_1 - 0.4038 \times 10^{-2} X_2 + 0.305556 \times 10^{-1} X_1^2 + 0.142020 \times 10^{-2} X_2^2$	
Média das respostas	2.2389
Desvio-padrão	0.3910
Coeficiente de variação	17.4639
R^2	0.908816

Fonte de Variação	GL	SS	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	4	1.667639	0.4169097	19.93	0.0003
Independente	8	0.1673183	0.2091479×10^{-1}		
Total	12	1.8350			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob. > t
Intercessão	0.137337×10^2	-
X_1	-0.119226×10	0.0011
X_2	-0.403800×10^{-2}	0.0309
X_1^2	0.305556×10^{-1}	0.0014
X_2^2	0.142020×10^{-2}	0.0028

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

No caso de farinha de quebra 3, foi observado um valor médio de cromaticidade mais alta que das demais passagens de quebra, sendo de 4.2544. O seu modelo de regressão por sua vez conforme apresentado no Quadro 74.

Também foi observado que a umidade de 18% e tempo de 30 horas proporcionou uma farinha com o máximo de diferença na cromaticidade. Fora desse ponto os valores apresentaram quedas na diferença de cromaticidade.

iii. Diferença de cromaticidade na farinha de redução

O Quadro 75 apresenta a equação de modelo de regressão e análise de regressão para a diferença de cromaticidade na farinha de redução 1 (FR1). A diferença média foi de 1.6222 e equação do modelo apresentou melhor ajuste ao nível 1 de 15% ($P \leq 0.15$) de probabilidade, explicando que 77.67% ($R^2 = 0.7767$) de variação como influenciado pela umidade e tempo de condicionamento. No entanto expressão da equação do modelo na forma de curva de superfície de resposta (Figura 42) mostrou que os menores valores de diferença na cromaticidade foram registrados com umidades de 18 a 20% independente de tempo de condicionamento. Fora desse limite foi apenas a umidade que exerceu influência marcante nos valores de cromaticidade, sendo mais acentuado na faixa de umidade baixa combinado com tempos elevados.

QUADRO 74 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para diferença de cromaticidade de farinha de quebra 3 (FQ3)

Equação	
$Y_{12-10} = -0.390476 \times 10 + 0.824018 X_1 + 0.407593 \times 10^{-1} X_2 - 0.208189 \times 10^{-1} X_1^2 - 0.127205 \times 10^{-2} X_2^2$	
Média das respostas	4.2544
Desvio-padrão	0.3120
Coeficiente de variação	7.3336
R^2	0.831904

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	4	0.9716218	0.2429054	9.90	0.0035
Independente	8	0.1963270	0.2454087 × 10 ⁻¹		
Total	12	1.1679			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.>t
Intercessão	-0.390476 × 10	-
X_1	0.824018	0.0060
X_2	0.407593 × 10 ⁻¹	0.0396
X_1^2	-0.208189 × 10 ⁻¹	0.0073
X_2^2	-0.127205 × 10 ⁻²	0.0074

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

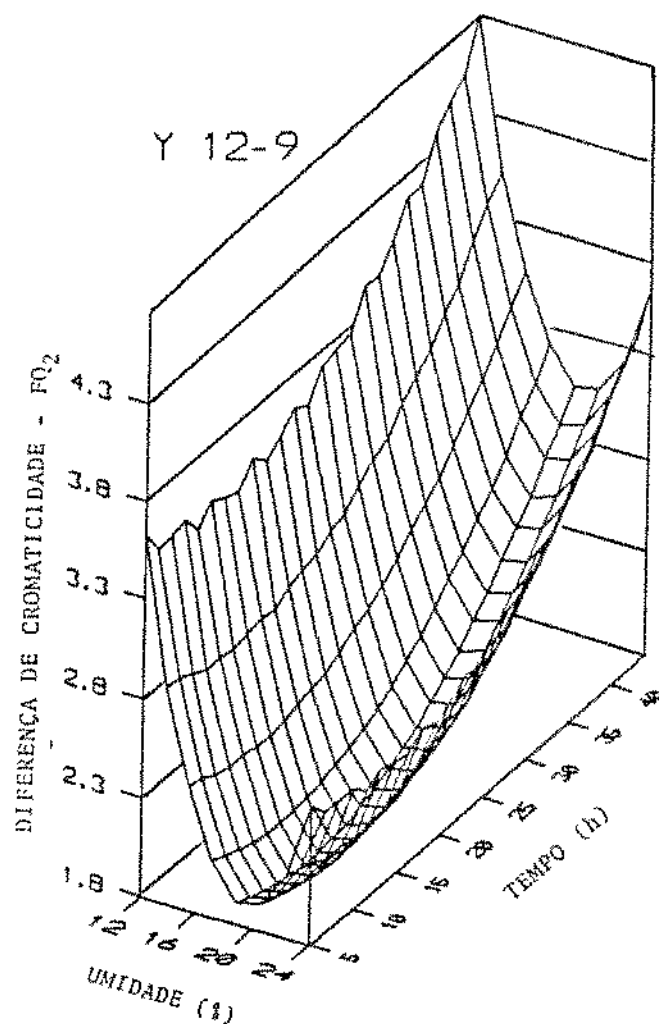


FIGURA 40 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento na diferença de cromaticidade de farinha de quebra 2 (FQ2).

A farinha de redução 2 (FR-2) não apresentou diferenças significativas nos valores de cromaticidade. A farinha de redução 3 (FR-3) por sua vez apresentou uma média também baixa sendo de 1.7675. O seu modelo de regressão apresentou uma equação (Quadro 76) significativa ao nível de 10% ($P \leq 0.1$) de probabilidade pelo teste t-Student. Cerca de 85.84% ($R^2 = 0.85836$) de variação na diferença de cromaticidade foi atribuída ao efeito de umidade e tempo de

QUADRO 75 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para diferença de cromaticidade de farinha de redução 1 (FR1)

Equação	
$Y_{12-11} = 0.294938 \times 10 - 0.137075 X_1 - 0.697967 \times 10^{-2} X_2 + 0.276907 \times 10^{-3} X_2^2$	
Média das respostas	1.6222
Desvio-padrão	0.0832
Coefficiente de variação	5.1288
R^2	0.776702

Fonte de Variação		SS	QM	F	Prob.>F
Devido a regressão	4	0.6456053×10^{-1}	0.1614013×10^{-1}	6.96	0.0102
Independente	8	0.1856089×10^{-1}	0.2320111×10^{-2}		
Total	12	0.0831			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob.>t
Intercessão	0.294938×10	-
X_1	-0.137075	0.0595
X_2	-0.697967×10^{-2}	0.1476
X_1^2	0.344005×10^{-2}	0.0668
X_2^2	0.276907×10^{-3}	0.0299

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

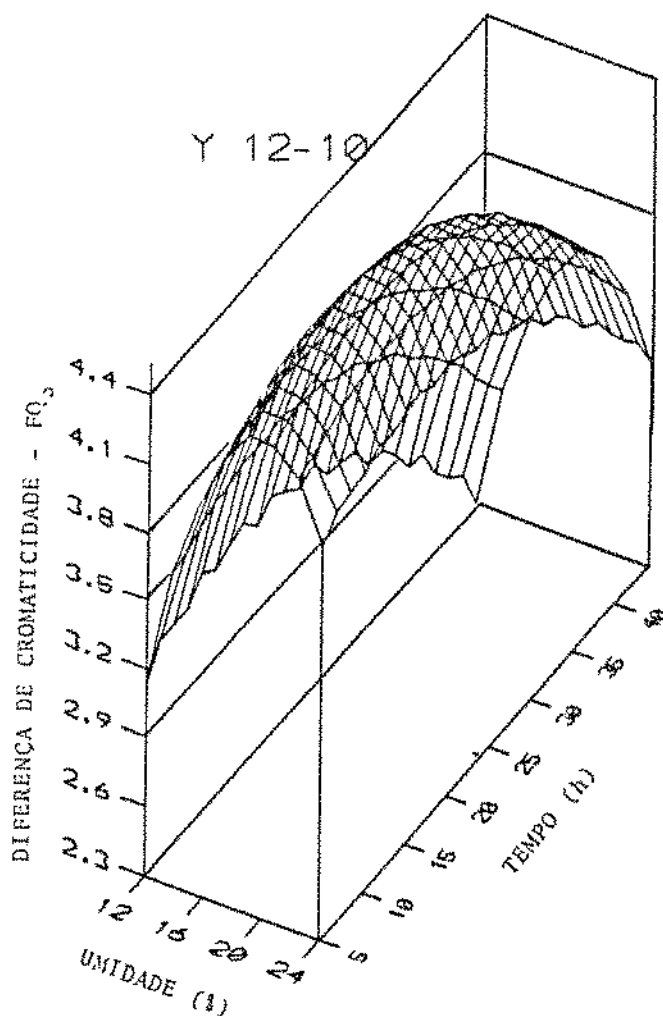


FIGURA 46 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento na diferença de cromaticidade de farinha de quebra 3 (FQ3).

condicionamento utilizados nos experimentos. Expressando-se a equação de modelo de regressão na forma de curva de superfície de resposta exposta na Figura 42, mostrou quase a mesma influência na diferença de cromaticidade como da farinha de redução 1. Entretanto, os valores da diferença de cromaticidade encontrados na farinha de redução 3, foram mais altos que na farinha de redução 1. A umidade de 18 a 20% continuou exercendo menor influência na diferença de cromaticidade de farinha de redução 3 (Figura 43). Maiores

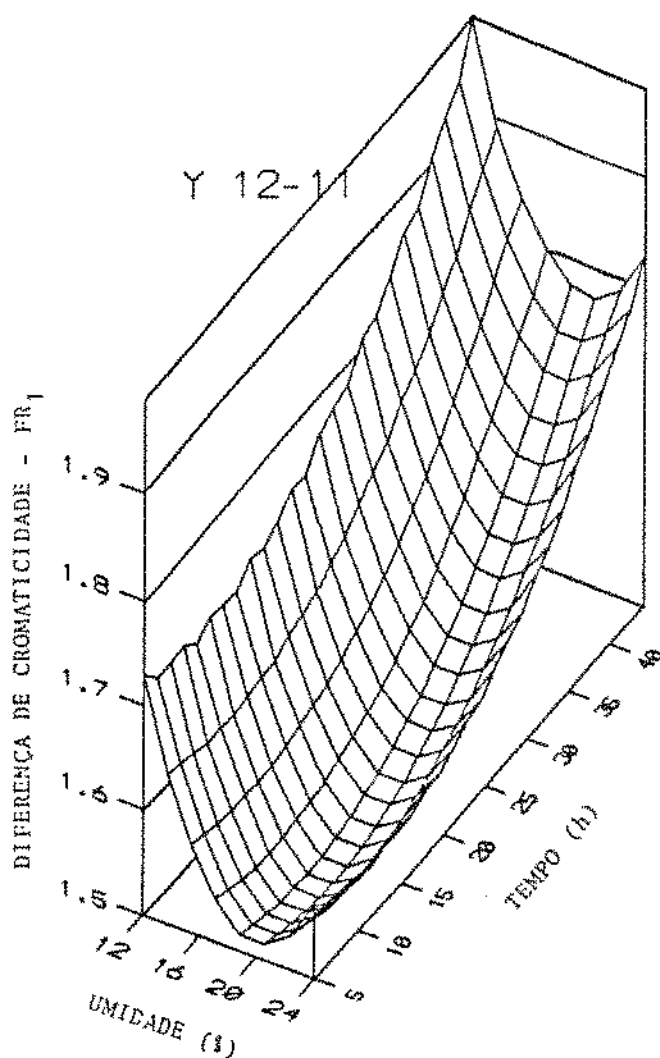


FIGURA 42 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento na diferença de cromaticidade de farinha de redução 1 (FR1).

tempos de condicionamento tenderam a oferecer maiores diferenças na cromaticidade, porém combinados com menores níveis de umidade.

iv. Diferença total de cor da farinha

A diferença total da cor de farinha de quebra no espaço tridimensional foi avaliado e não apresentou nenhuma diferença considerada significativa estatisticamente.

QUADRO 76 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para diferença de cromaticidade de farinha de redução 3 (FR3)

Equação	
$Y_{12-13} = 0.149078 \times 10^2 - 0.1344 \times 10 X_1 - 0.649912 \times 10^{-1} X_2 + 0.339067 \times 10^{-1} X_1^2$	
Média das respostas	1.7675
Desvio-padrão	0.6113
Coeficiente de variação	34.5856
R^2	0.858364

Fonte de Variação	GL	SS	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	4	3.849616	0.9624040	12.12	0.0018
Independente	8	0.6352119	0.7940149×10^{-1}		
Total	12	4.4848			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob. > t
Intercessão	0.149078×10^2	-
X_1	-0.134400×10	0.0095
X_2	-0.649912×10^{-1}	0.0562
X_1^2	0.339047×10^{-1}	0.0114
X_2^2	0.230158×10^{-2}	0.0072

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

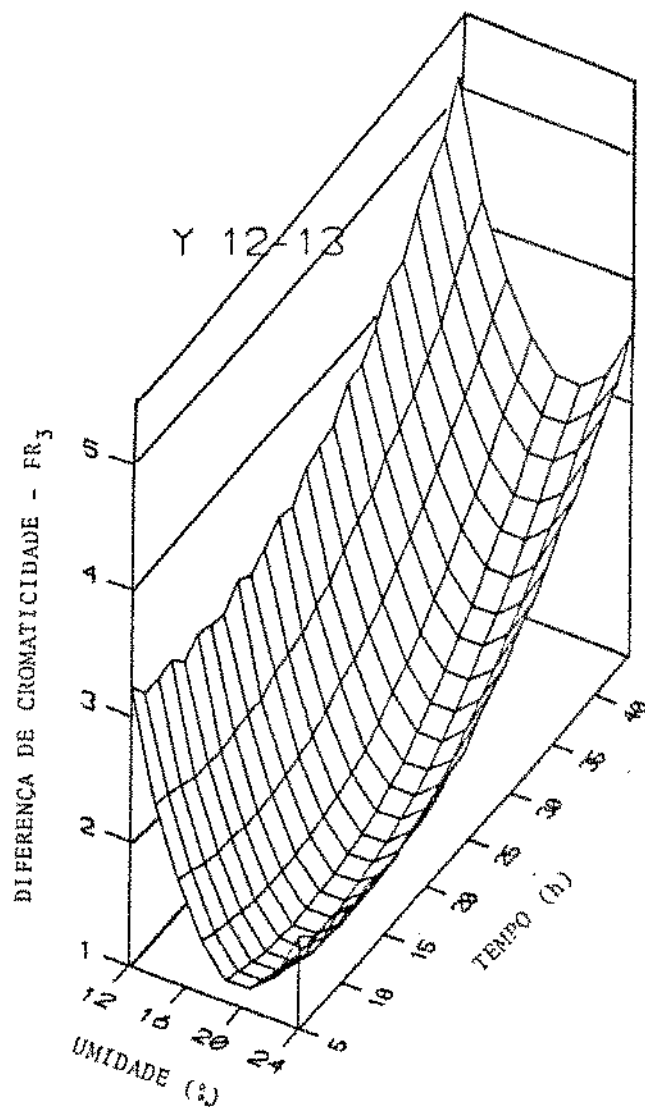


FIGURA 43 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento na diferença de cromaticidade de farinha de redução 3 (FR3).

Entretanto, foi notado uma diferença na cor da farinha de redução 1 (FR-1), conforme apresentado no Quadro 77. Foi desenvolvido o modelo de regressão apresentando reajuste significativo ao nível de 5% ($P \leq 0.05$) de probabilidade pelo teste t-Student. A variação observada poderia ser explicada pelas condições dos experimentos em cerca de 68.25% ($R^2 = 0.68247$). Expressão da equação do modelo na

QUADRO 77 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para diferença total de cor de farinha de redução 1 (FR1)

Equação	
$Y_{12-4} = 0.614690 \times 10^2 + 0.185843 \times 10 X_1 - 0.440308 \times 10^{-1} X_1^2 - 0.251426 \times 10^{-2} X_1 X_2$	
Média das respostas	79.4961
Desvio-padrão	0.7700
Coefficiente de variação	0.9686
R^2	0.682472

Fonte de Variação	GL	SS	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	3	4.855453	1.618484	6.45	0.0127
Independente	9	2.259055	0.2510061		
Total	12	7.1145			

Variáveis	Estimativa dos Coeficientes	Prob. > t
Intercessão	0.614690×10^2	-
X_1	0.185843×10	0.0237
X_1^2	-0.440308×10^{-1}	0.0341
$X_1 X_2$	-0.251426×10^{-2}	0.0049

X_1 = umidade (%).

X_2 = tempo (horas).

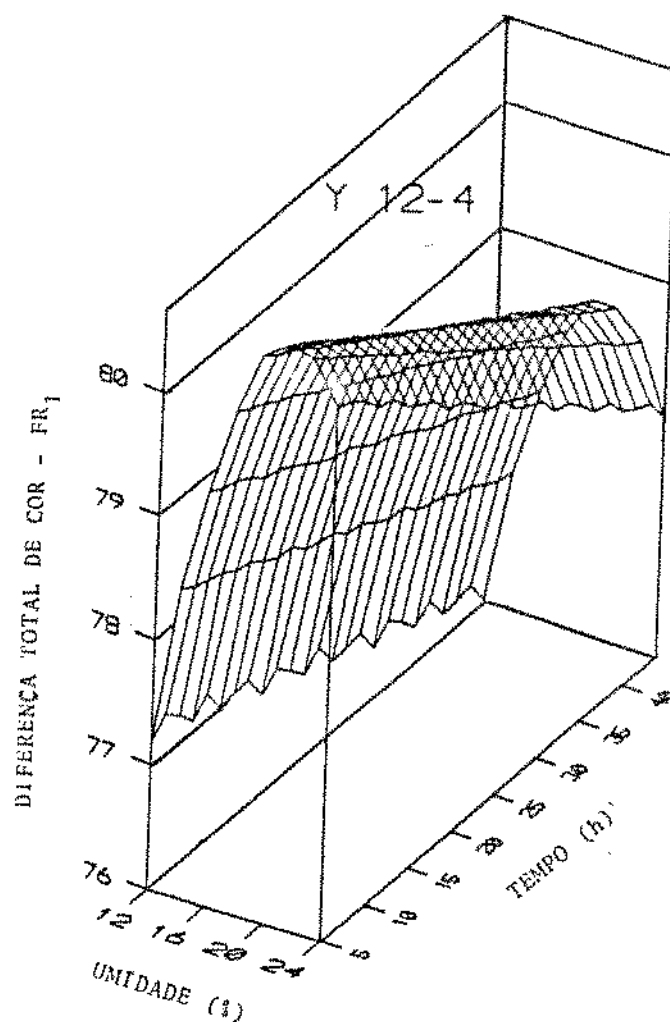


FIGURA 44 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento na diferença total de cor da farinha de redução 1 (FR1).

forma da curva de superfície de resposta conforme apresentado na Figura 47 mostrou que aumentos no teor de umidade alcançou valores máximos para diferença na cor de farinha com nível de 20%. Porém maior tempo de condicionamento provocou diminuição gradativa na diferença de cor observada.

Aplicando-se a mesma avaliação na farinha de redução 2 não produziu resultados considerados significativos estatisticamente.

A farinha de redução 3 (FR-3), por sua vez, apresentou uma diferença significativa na cor total. O Quadro 78 registrou seu valor médio como sendo 79.00.

O modelo de regressão múltipla medindo a variação da diferença total de cor dessa farinha do padrão em função das condições de condicionamento mostrou reajuste significativo ao nível de 5% ($P \leq 0.05$) de probabilidade pelo teste t-Student. Cerca de 64.11% ($R^2 = 0.64107$) da variação observada foi decorrente a condicionamento recebido pelos grãos. Expressando-se a equação na forma de curva de superfície de resposta (Figura 45) gerou uma superfície parecida com uma obtida para a farinha de redução 1; porém com valores da diferença total de cor um pouco inferiores (sendo no máximo 28,8 para farinha de redução 3 contra 79,8 para a farinha de redução 2).

QUADRO 78 - Equação de regressão, análise de variância e estimativa dos coeficientes para diferença total de cor de farinha de redução 3 (FR3)

Equação					
$Y_{12-6} = 0.560522 \times 10^2 + 0.237863 \times 10 X_1 - 0.586005 \times 10^{-1} X_1^2 - 0.168765 \times 10^{-2} X_1 X_2$					
Média das respostas				78.9999	
Desvio-padrão				0.7203	
Coeficiente de variação				0.9118	
R^2				0.641074	
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Devido a regressão	3	3.991447	1.330482	5.86	0.0216
Independente	9	2.234741	0.2483045		
Total	12	6.2262			
Variáveis	Estimativa dos Coeficientes			Prob. > t	
Intercessão	0.560522×10^2			-	
X_1	0.237860×10			0.0081	
X_1^2	-0.586005×10^{-1}			0.0108	
$X_1 X_2$	-0.168765×10^{-2}			0.0277	
X_1 = umidade (%).					
X_2 = tempo (horas).					

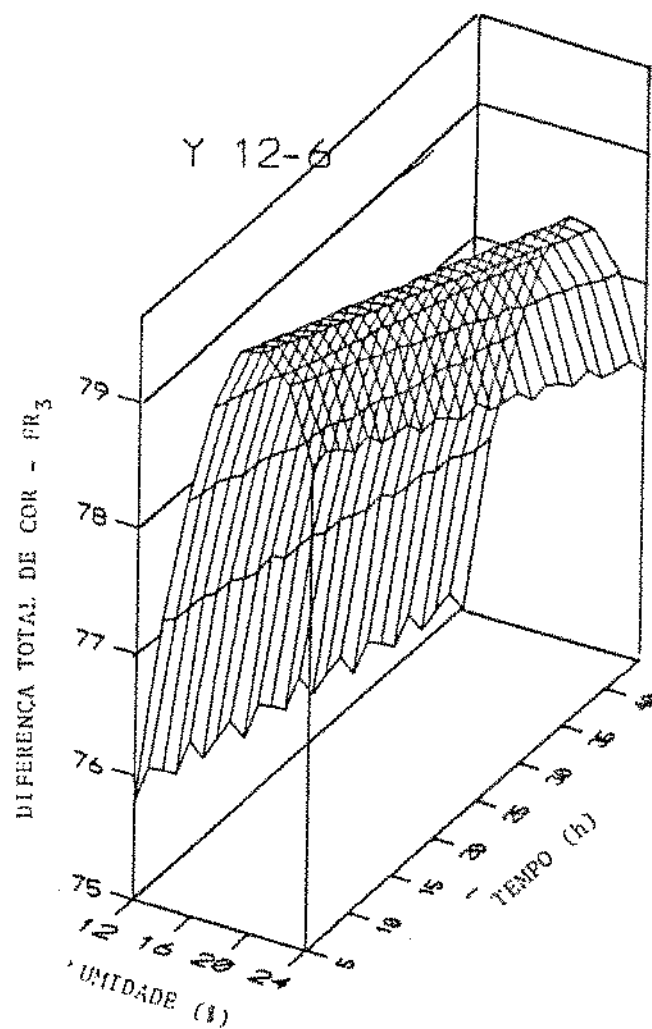


FIGURA 45 - Efeito de umidade e tempo de condicionamento na diferença total de cor da farinha de redução 3 (FR3).

5. CONCLUSÕES

1. O comportamento mecânico dos grãos de milho variedade BR451 foi influenciado até um certo ponto pelo aumento no tempo e umidade de condicionamento.

a) A tensão compressiva foi maior com aumentos no tempo de condicionamento e decrescente com o aumento no teor de umidade. A interação de umidade com a matriz de proteína e grânulos de amido na endosperma dos grãos, deve ter provocado esse comportamento, assim resultando na acomodação de endosperma durante à compressão e elevação da energia de ruptura dos grãos.

b) Avaliação de deformação elástica dos grãos de milho segundo o modelo elástico de YOUNG e HOOKE não foi significativo, talvez devido aos valores de deformação elástica relativos que não foram influenciados pelo condicionamento, bem como pela possível falta de isotropia nos grãos de milho, entretanto o índice de dureza diminui

com aumentos no teor de umidade. Aumentos no tempo de condicionamento resultaram no aumento do índice de dureza.

2. O teor de umidade e tempo de condicionamento favoreceram com maior rendimento e tamanho de partícula do germe e menor concentração de lipídeos residuais na canjica. Entretanto, promoveram retenção de umidade excessivo nos produtos.

3.a) O rendimento de farinha de quebra foi baixa refletindo a maior dureza dos grãos e a pouca influência do condicionamento.

3.b) O rendimento de farinha de redução também foi baixo devido a dureza dos grãos de milho, porém três vezes maior que a de quebra.

c) Para obter o maior rendimento em farinha o nível de umidade tem que ser baixo (12 a 14%), com tempo de condicionamento (35 a 49 horas). Esse nível de umidade está na faixa normal de umidade crítica no comércio. Pode-se esperar portanto, um bom rendimento de farinha mesmo sem condicionamento prévia dos grãos.

Entretanto, os baixos teores de umidade de condicionamento resultaram em maior rendimento de farelinho.

4. Eliminação de farelo, foi facilitado pelos aumentos no teor de umidade e tempo de condicionamento.

5. Aumentos na umidade e tempo de condicionamento facilitaram na obtenção de farinha com tamanho de partículas mais finos.

6. O teor de cinza nos produtos aumentou com grau de extração indicando sua concentração menor no centro e

acentuada na parte externa do grão. Porém isto não tem relação com fatores indesejáveis associados à cinza nos outros cereais como trigo uma vez que a cinza da canjica não representa presença de farelo.

7. A distribuição de proteína também foi maior com grau de extração indicando uma gradiente de distribuição de quantidade de proteína menor no centro e crescente para as camadas externas do grão.

8. Obtenção de farinha tanto de quebra como de redução evidenciou dano mecânico no amido em quantidade crescente conforme o grau de extração. Entretanto foi menor com emprego de umidade e tempo de condicionamento.

9. O grau de extração influenciou tanto a cromaticidade bem como na diferença de cor das farinhas. Os valores foram maiores para farinhas de altas extrações com níveis de umidade e tempos de condicionamento elevados.

10. A forma pelo qual os grãos absorvem a umidade, sendo principalmente pelo pendúnculo não permitiu uma boa distribuição de umidade nos ensaios de condicionamento usados neste trabalho. Isto resultou nos menores coeficientes de determinação (R^2) e baixo graus de extração de farinha.

6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

1. Estudar melhor o fenômeno de absorção de água pelos grãos de milho branco var. BR 451 e em função de resultados obtidos tentar otimização do processo de condicionamento visando maior aumento no rendimento de farinha durante a moagem.

2. Testar os grãos com condicionamento otimizado no moinho piloto de trigo onde os produtos são sujeitos à mais passagens de redução e compressão assim evitando o alto rendimento de farelinho porém aumentando o rendimento de farinha. Aliás era um dos objetivos complementares do presente trabalho que não se completou devido a falta de milho e tempo suficiente para sua execução.

3. Estudar possibilidade de pré-moagem dos grãos no moinho de martelo antes de passar no moinho de trigo, com intuito de melhorar o rendimento total de farinha.

4. Investigar possíveis formas da aplicação das farinhas obtidas no processo de moagem em produtos derivados, seja de panificação ou massas alimentícias.

BIBLIOGRAFIA

- ABDELRAHMAN, A.A.; HOSENEY, R.C. Basis for hardness in pearl millet grain sorghum and corn. *Cer. Chem.* 61(3): 232-5, 1974.
- ALEXANDER, D.E. Meeting the nutritional requirements with modified protein corn. In: HILL, L.D. Corn quality in world markets. Interstate Print & Pub., 1975. p. 23-9. (Ch. 2).
- ALEXANDER, R. Industrial uses dry-milled corn products. In: POMERANZ (ed.). Industrial uses cereals. St. Paul, MN, Am. Assoc. Cer. Chem., 1973. p. 303-15.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Determination of corn breackage susceptibility. St. Paul, MN, The Association, 1982. (Approved April 13, 1961; Review Doct., 27). (Method n.o 55-20).
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agric. Eng. Yearbook. 1983.
- ARNOLD, P.C. & ROBERTS, A.W. Stress distributions in loaded wheat grains. *J. Agric. Eng. Res.* 11(1):38-43, 1966.
- AUSTIN, L.G. & KIMPEL, R.R. The theory of grinding operations. *Ind. & Eng. Chem.* 56(11):18-29, 1964.
- BAKSH, A.S. & SINGH, R.P. Kinetics of water diffusion and starch gelatinization during rice parboiling. *J. Food Sci.* 45:1327, 1980.
- BAÇASTREIRE, R.A.; HERUM, F.L.; STEVENS, K.K.; BLAISDELL, J.L. Fracture of corn endosperm in bending. *Trans ASAE*, 25(6):1057-61, 65, 1982a. (Part I - Fracture parameters).
- _____. Fracture of corn endosperm in bending. *Trans ASAE*, 25(6):1062-5, 1982b. (Part 1 - Fracture analysis by fractography and optical microscopy).
- BALLCHMEITER, H.M. & VLEISTRA, M. Use of maize flour in wheat bread. *Brof. Gobaecck*, 3:44-52, 1963.
- BAR, W.H. Processamento de farinha de milho pré-gelatificada, seu emprego e resultados na panificação. *Col. Inst. Tec. Alim.* 3(1):351-68, 1970.
- BECKER, H.A. On the absorption of liquid water by the wheat kernel. *Cer. Chem.* 37(2):309-23, 1960.

- BELAVADY, B. Nutritive value of maize (*Zea mays*) and sorghum (*Sorghum vulgare*). J. Sc. Ind. Res. 34(5):294-304, 1975.
- BENNETT, E.H. Kernel hardness in corn II. Microscopic examination of hard and soft types of dent corn. Cer. Chem. 27(1):232-8, 1950.
- BENSON, G.O. & PEARCE, R.B. Corn perspective & culture. Corn Chem. & Tech., AACC, 1:1-29, 1987.
- BILANSKI, W.K. Damage resistance seed grains. Trans ASAE, 9(3):260-3, 1960.
- BOX, G.E.P. & WILSON, K.B. On the experimental attainment of optimum conditions. J. the Royal Statistical Society Serv. B 13(1):1-45, 1951.
- BRANDEL, G. Genética. In: CARBILL. Melhoramento de milho. CARBILL, 1978. cap. 4, p. 114-33.
- BREKKE, O.L. Corn dry milling. A comparison of several procedures for tempering low-moisture corn. Cer. Chem. 43(2):303-12, 1966.
- BREKKE, O.L. & GRIFFIN, E.L. Drymilling of opaque-2 (high lysine). Corn Cer. Chem. 48(5):499-511, 1970.
- BREKKE, O.L. & WEINECKE, L.A. Corn dry milling. A comparative evaluation of comercial degerminator samples. Cer. Chem. 41(2):321-8, 1964.
- BREKKE, O.L.; WEINECKE, L.A.; BOYD, J.N.; GRIFFING, E.L. Corn dry - milling effects of first temper moisture screen perforation and rotor speed on Beall degerminator through output and products. Cer. Chem. 40(4):423-9, 1963.
- BREKKE, O.L.; WEINECKE, L.A.; WOHLROBE, F.C.; GRIFFIN, E.L. Tempering and degermination for corn dry milling - a research project for industry. Am. Milling Process, 89(1):14-7, 1961.
- BRIEGER, F.G. & BLUMENSCHIEIN, A. Botânica e origem do milho. In: Cultura e adubação do milho. São Paulo, Inst. Bras. de Potassa Exp. e Pesquisa, 1966. 541 p. (cap. 3, p. 81-107).
- BRIEGER, F.G.; BURGEL, J.T.A.; PATERNIANI, E.; BLUMENSCHIEIN, A.; ALLEDONI, M.R. Races of maize in Brazil and other eastern south american countries. Washington, D.C., 1958. 283 p. (Mat. Acad. of Sc., Mat. Res. Council

- BROWN, W.L. & ANDERSON, E. The northern flint corns. *Mo. Bot. Gardens*, 34:1-29, 1947.
- The southern dent corns. *Ann. Hor. Gardens*, 35:255-74, 1948.
- BROWN, W.L.; GOODMAN, M.M. Races of corns. In: SPRAGUE, G.F. (ed.). *Corn and corn improvement*. Madison, Wisconsin, 1979. 774 p., p. 49-80. (Rev. Ed. *Crop. Sc. Soc. of America*).
- BUSHUK, W.; HULSE, J.H. Dough development by sheeting and its application to bread production from composite flours. *Cer. Sc. Today*, 19(9):424-7, 1974.
- CHRISTIANSON, D.D.; NIELSEN, H.C.; KHOO, U.; WOLF, M.J.; WALL, J.S. Isolation and chemical composition of protein bodies and matrix.
- CHUMA, Y.; UCHIDA, S.; SHEMSANGA, K.H.H. Simultaneous measurement of size surface area and volume of grains and soybeans. *Trans ASAE* 33(9):1752-6, 1982.
- CHUNG, C.J.; CLARCK, S.J.; LINDHOLM, J.C.; MCGINTY, R.J.; WATSON, C.A. Communiton parameters for wheat hardness measurements. *Trans. ASAE*, 20(2):375-9, 1977.
- CLUSI, A.S. Cereal grains and dietary protein sources for developing highly acceptable, high protein foods. *Food Tech.* 25(8):821-5, 1971.
- CONAGIN, A. & JUNQUEIRA, A.A.B. O milho no Brasil. In: *Cultura e adubação do milho*. São Paulo, Inst. Bras. de Potassa Exp. e Pesquisa, 1966. 541 p.
- COX, M.J.; MacMASTERS, M.M.; HILBERT, G.E. Effect of sulfuric acid steep in corn wet milling. *Cer. Chem.* 21(1):1-19, 1944.
- CULTER, G.H. & BRINSON, G.A. The granulation of whole meal and a method for expressing it numerically. *Cer. Chem.* 12(1):120, 1935.
- DALPASQUALE, V.A. & SILVA, J.S. Secagem do grãos. *Inf. Agropec.*, 9(99):8-11, 1983.
- DAVIS, A.M.C. & GRANT, A. Review: near infra-red analysis of food. *Int. J. of Food Sc. & Tech.* 22(1):191-207, 1987.
- DE MUELENAERE, H. & FELDMAN, R. Availability of amino acids in maize. *J. Nutrition*, 72(4):447-50, 1960.

- DUFFE, F.W. The design and performance of small hamer type feed mills. *Agric. Eng.* 2:171-6, 1930.
- DURVICK, D.N. Protein granules of maize endosperm cells. *Cer. Chem.* 38(1):374-85, 1961.
- EDITORIAL. A polêmica de retirada do subsídio do trigo. *Rev. Mineira de Panificação*, 1(2):41-5, 1980.
- _____. Distorções do trigo. *J. Estado de São Paulo, Coluna Atualidades Econômicas*, 26/06/80.
- _____. O trigo em xeque. O setor avaliou o fim do subsídio e vai em frente. *Alim. e Tech.* 3(20):66-71, 1988.
- EL-DASH, A.A. Avaliação do conteúdo de alfa-amilase das farinhas produzidas comercialmente por um moinho durante o ano 1980-1981. In: SEMINARIO LATINO-AMERICANO DE CTAA, 4, 1982. Anais...
- _____. Análise das perspectivas de um programa para a substituição parcial de farinha de trigo por sucedâneos de produção nacional. CTAA/EMBRAPA, 1983. p. 25.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Ensaio nacional de milho precoce, resultados preliminares do ano agrícola 1976/77. Sete Lagoas, CNMS, 1976/77.
- _____. Programa Nacional de Pesquisas de Milho. Brasília, EMBRAPA, 1981. 50 p.
- _____. Proposta de uma política de governo para o trigo, milho, sorgo e o triticale. 1989. 35 p.
- ERICKSON, H.W. Types of grinding mills and when to use them. *Chem. Sup.* 49(2):63-8, 1953.
- FALCONE, M. & PRIETTO, R.P. Estudo sobre a parboilização de seis variedades de arroz (*Oryza sativa* L.). Bol. SPCTA, Campinas, 19(4):243-63, out./dez. 1985. (Parte Final: Maceração, tratamento térmico e controles).
- FAN, L.T.; CHU, P.S.; SHELLENBERGER, J.S. Volume increase of kernels of corn and sorghum accompanying absorption of liquid water. *Biotechnol. Bioeng.* 4:311, 1962.
- FANCELLI, A.L. & LIMA, U.A. Milho: produção, processamento e transformação agroindustrial. 1984. 112 p. (Serv. Extensão Agroind., 5).
- FAO. Production yearbook 1973-1988. Rome, Italy. v. 37 e 42.

- FARREL, E.P. & WARD, A.B. Flow rates and analyses for ash and protein of all streams with Kansas State University Pilot flow mill. Tech. Bul., Ass. Operative Millers, 3:233-8, 1974.
- FOOTE, J.H. Usual techniques in grinding. Chem. Eng. Prog. 49(7):68-72, 1953.
- FOUST, A.S.; WENZEL, L.A.; CLUMP, C.W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L.B. Princípios das operações unitárias. 2.ed. Guanabara Dois, 1980. 670 p.
- FRANCIS, F.J.; CLYDESDALE, F.M. Food colorimetry: theory and applications. The Avi Pub. Co. Inc., 1975. 477 p.
- FREEMAN, J.E. Quality factors affecting the value of corn for wet milling. Trans. ASAE, 24:671-878, 1973.
- Quality preservation during harvesting, conditioning and storage of grains & oilseeds. In: Crop quality, storage & utilization. Madison, WI, C.S. Hoveland Ad. Am. Sc. Agron., 1980. p. 187-224.
- FURTADO, R. Trigo: quem vai comprar? Globo Rural Economia, (7):11-3, 1989.
- GARCIA, J.C. Situação do cultivo do milho no Brasil. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1986. (Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa do Milho e do Sorgo, 1980-1984).
- GEHLE, H.H. Milling without purifiers. A comparison of flour. Tech. Bul., Assoc. Operating Millers, :246-50, 1974.
- GOERING, K.J.; FRITTS, D.H.; ALLEN, K.G.D. A comparison of loss of birefringence with the percent of gelatinization and viscosity on potato, wheat, rice, corn, cow cocklé and several barley starches. Cer. Chem. 51(6):764-71, 1974.
- GOMIDE, R. Problemas de operações unitárias. São Paulo, Faculdade de Eng. Industrial/USP, 1967. 19 p.
- GOODMAN, M.J. História e origem do milho. In: Melhoramento e produção do milho. 1987. cap. 1, p. 1-40.
- GOODMAN, M.M. & SMITH, J.S. Botânica. In: Melhoramento e produção do milho. 1987. cap. 2, p. 41-78.

- GOSH, G.M. & MILNER. Water penetration & internal cracking in tempered wheat grains. *Cer. Chem.* 36(3):260-73, 1959.
- GUNASEKARAN, S. Evaluation and comparison of Wisconsin and stein breakage testers on corn. *Cer. Chem.* 65(4):287-91, 1938.
- GUNASEKARAN, S.; FARKAS, D.F. High pressure hydration of corn. *Trans ASAE*, 31():1589, 1958.
- GUNASEKARAN, S. & PAULSEN, M.R. Breakage resistance of corn as a function of drying rates. *Trans ASAE*, 28(6):2071-6, 1985.
- GUSTAFSON, R.J. & HALL, G.E. Density and porosity of shelled corn during drying. *Trans ASAE*, 15(4):523-5, 1970.
- HALL, G.E. Damage during handling of shelled corn and soybean. *Trans ASAE* 17(2):335-8, 1974.
- HAMILTON, T.S.; HAMILTON, B.C.; JOHNSON, B.C.; MITCHELL, H.H. The dependence of the physical and chemical composition of the corn kernel on soil fertility and cropping system. *Cer. Chem.* 28(3):163-76, 1951.
- HANSEN, R.C. & HENDERSON, S.M. Agricultural grain comminution: sizing critique and nutritive analysis. *Trans ASAE* 9(6):818-23, 1966.
- HANSEN, R.C. & STEWART, R.F. Energy - size reduction relation in agricultural grain comminution. *Trans ASAE* 8(2):230-7, 1965.
- HARTMANS, A.M. & DRYDEN, L. The vitamins in milk and milk products. In: *Fundamentals of Dairy Chemistry*. Avi. Pub. Co. Westport Conn, 1974. cap. 7, p. 325-401.
- HEADLEY, V.E.; PFOST, H.B. A comminution equation relating energy to surface area by the log probability method. *Trans ASAE* 11(3):331-8, 1968.
- HEMKEN, R.W. & BREMEL, D.H. Possible role of beta-carotene in improving fertility in dairy cattle. *J. Dairy Sc.* 65:1069-73, 1982.
- HENDERSON, S.M. & HANSEN, R.C. Farm grain comminution hammer mill and burr mill performance analysed. *Trans ASAE* 11(3):399-402, 1969.
- HENDRIX, A.T. Design and performance of small automatic hammer mill. *Agric. Eng.* 18(3):445-50, 19327.
- HLYNKA, I.; BUSHUK, W. The weight per bushel. *Cer. Sc. Today* 4(2):239-340, 195

- HOBBS, L. Cornbased sweeteners. *Cer. Food World* 31(12): 852-8, 1986.
- HOSENEY, R.C. Dry milling cereals. In: Principles of cereal science and technology. St. Paul, Minnesota, AACC, 1986. 327 p., p. 133-152.
- HUG, H. & PFENNINGER, H. Utilization of maize in breeding. In: MALETT, G.E. & MUNCK. Cereals progress in cereal chemistry and technology. New York, Academic Press, 1980. p. 227-300.
- HUKKI, R.T. Proposal for a solomonic settlement between the theories of Von Rittinger, Kick & Bond. *AIME Trans.* 220(3):402-8, 1961.
- HSU, K.H. Effect of temperature on water diffusion in soybean. *J. Food Sc.* 48(8):1364-5, 1983.
- _____. A theoretical approach to the tempering of grains. *Cer. Chem.* 61(5):466-70, 1984.
- INGLETT, G.E. Corn in perspective. In: Culture processing and products. West Port, Conn. Av. Pub. Co., 1970. cap. 1, p. 1-5.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ECONOMIA. Anuário estatístico do Brasil - 1970/08. 1988.
- JINDAL, V.K.; MOHSENIN, M.M. Dynamic hardness determination of corn kernel from impact tests. *J. Agric. Res.* 23(1):77-84, 1978.
- JOHNSON, V.A. Genetic improvement of food proteins. *J. Agric. Food Chem.* 22(4):558-66, 1974.
- JORGE, T.T. Determinação de algumas propriedades físicas e mecânicas de soja var. Santa Rosa. Campinas, UNICAMP, 1977. 173 p. (Tese M.S.).
- JORQUIN, R.; ALBERTAZZI, C.; BRESSANI, R. Value of opaque-2 corn protein for chicks. *J. Agric. Food Chem.* 18(2):268-72, 1970.
- KATZ, F.R. Maltodextrins. *Cer. Food. World*, 31(12):866-7, 1986.
- KING, G.T. Selecting the right type of grinding machine. *Processing* 29(1):31, 1969.
- KIRLEIS, A.W.; CROSBY, K.D.; HOUSLEY, T.L. A method for quantitatively measuring vitreous endosperm area in sectioned sorghum grains. *Cer. Chem.* 61(3):556-8, 1984.
- KLEIS, R.W. & NEUMANN, A.L. Cattle neutral on feed

- grinding method. Agric. Eng. 37(3):344-7, 1956.
- KOSHLAKI, F.G. Grinding time. A screening test for kernel hardness in wheat. Can J. Plant. Sc. 58(3):415-20, 1979.
- KOSMA, A. & CUNNINGHAM, H. Tables for calculation the compressive surface stresses and deflections in the contact of two solid elastic bodies whose principle planes of curvature do not coincide. J. Industrial Mathematics 12(1):31-9, 1962.
- KRUG, C.A. O milho no mundo. In: Cultura e adubação do milho. São Paulo, Inst. Bras. Potassa, 1966. 541 p.
- KUMAR, M. Moisture distribution between whole corn, endosperm and germ by various methods of conditioning. Food Technology 8(3):407-17, 1973.
- KUZMICKY, D.D.; KOHLER, G.O.; LIVINGSTONE, A.L.; KNOWLES, R.E.; NELSON, J.W. Pigmentation potency of xanthophyll sources. Poultry Sc. 47:389-487, 1968.
- LAMBERT, R.J.; ALEXANDER, D.E.; DUDLEY, J.W. Relative performance of normal and modified protein (opaque-2) maize hybrids. Crop. Sc. 9:242, 1969.
- LARSEN, R.A. Milling. In: Cereal technology. West Port, CT, S.A. Matz. Ed. Avi. Publ. Co., 1970. p. 6.
- LEITÃO, R.F.; VITTI, P.; ANGELUCCI, E.; TANGO, J.S. Farinha de milho pré-gelatinizada em pastas alimentícias. Coletânea do Inst. Tec. de Alim. 3(1):325-36, 1970.
- LITCHFIELD, J.B. & OKOS, M.R. Prediction of corn kernel stress and breakage induced by drying, tempering and cooling. Trans ASAE 31(2):585-94, 1988.
- LONG, J.E. High fructose corn syrup. Cer. Food World 31(12):862-5, 1986.
- LOPES FILHO, J.F.; CUNHA, R.M.; RAMOS, A.M.; JORGE, J.I. Curvas de secagem e estudo da massa específica e propriedades do café. Cienc. Tecnol. Aliment. 10(1):43-56, 1990.
- LOPEZ, O.P.; PARADES, M.E.S. Maize: a review of tortilla production technology. Bakers Digest. 13(9):16-25, 1983.
- MACLEOD, A.M. Beer. In: ROSE, A.H. (ed.). Alcoholic beverages. London, Acad. Press, 1977. p. 43-137.
- MACRITCHIE, F. Physico-chemical aspects of some problems in wheat research. In: Advances in cereal science and technology. St. Paul, Pomeranz. Y. AACC, 1980. v. 3.

- MADONAVACA, R.; PAIVA, E.; WINICLER, E.; CARVALHO, F.N.L.; SILVA, M.C.; PEIXOTO, M.J.V.D.: Avaliação de populações de milho de alta qualidade protéica. *Pesq. Agropec. Bras.* 23(11):1263-8, 1980.
- MARTINS, D.S.; FARONI, L.R.A.; SILVA, F.A.P.; SOUZA, O.F.F.: Avaliação das perdas do milho antes da colheita e no armazenamento, pelo gorgulho (*Sitophilos spp*) e pela traça (*Silofaga cerealella*) na microrregião de Viçosa, MG. *Rev. Bras. de Armaz.*, Viçosa, 9-10(1,2):6-8, 1985.
- MANTOVANI, E.C.; BERTAUX, S.; FRANCO, V.P.: Plantio do milho. *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, 14(164):9-12, 1990.
- MATIDOLI, J.C.; MATIDOLI, C.H.; ALMEIDA, A.A.: Comportamento do *Sitophilus orizae* L. (1763, Coleoptera, curculionidae) em relação ao local de emergência dos adultos. In: CONGRESSO DE MILHO E SORGO, 14, Belo Horizonte. *Anais...*
- MATZ, S.A.: The chemistry and technology of cereals as food and feed. *Avi Pub. Co. Inc. Westport Co.*, 1959.
- MATZ, S.A.: Manufacture of breakfast cereals. In: *Cereal as food and feed*. S.A. Matz ed. *Av.*
- MAZZARI, M.R.; COELHO, D.T.; PAPE, A.; KIBUUKA, G.K.: Fubá de milho branco cru e pregelatinizado por extrusão em mistura com farinha de trigo para produção de pães I. Efeito na composição química, características bioquímicas e neológicas. *EMBRAPA*, 1982. 27 p. (Bol. Pesq., 3).
- MERTZ, E.T.; BATES, L.S.; NELSON, O.E.: Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Sc.* 145:279-80, 1964.
- MILLER, B.S.; HUGHES, J.W.; ROUSSER, R.; POMERANZ, Y.: Measuring the breakage susceptibility of shelled corn. *Cer. Food. World* 26(2):75-80, 1981a.
- MILLER, B.S.; AFEWORKS, S.; HUGHES, J.W.; POMERANZ, Y.: A method to determine hardness and work of grinding wheat. *J. Food Sc.* 46(8):1851-4, 1981b.
- MILLER, B.S.; AFEWORK, S.; POMERANZ, Y.; BRUINSMA, B.L.; BOOTH, G.D.: Measuring the hardness of wheat. *Cer. Food World* 27(2):61-4, 1982.
- MIRANDA, L.T.: Híbridos e variedades. In: *Cultura e adubação do milho*. São Paulo, Inst. Bras. Potassa, 1966. cap. 5, p. 153-73.

- MONTEIRO, J.A. O milho no Brasil: considerações econômicas. Inf. Agropec., Belo Horizonte, 14(164):5-8, 1990.
- MORSINK, C.H. Comparative quality of US corn for feed, food and oil in the netherlands. In: HILL, L.D. (ed.). Corn quality in world markets. Interstate Print & Pub., 1975. p. 175-96.
- MOHSENI, M.M. Physical properties of plant and animal materials. New York, Gordon & Breach Sc. Pub., 1970. (Vol. I - Structure, physical characteristics and mechanical properties).
- MOREIRA, S.M.C.; KRUTZ, G.W.; SUN, C.T. Distribuição de tensões no interior de grãos de milho durante impactos mecânicos. Rev. Bras. de Armaz. 6(2):19-24, 1981a.
- MOREIRA, S.M.C.; KRUTZ, G.W.; FOSTER, G.H. Determinação dos parâmetros necessários à simulação do impacto mecânico em grãos de milho. Rev. Bras. de Armaz., Viçosa, 6(1):37-42, 1981b.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Quality protein maize. Washington, National Academy Press, 1988. 100 p.
- NIEDIEK, E.A. Fundamentals and optimization of crushing process in food production. 3.ed. Inter. Congress Food Sc. & Tech., p. 474-83.
- NOGUEIRA, S.J.; NOGUEIRA, E.A.; TSUAECIRO, A. Agroindústria do milho: diagnóstico e perspectivas. In: CONG. NAC. DE MILHO E SORGO, 16, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 1986. p. 566-76.
- OBUCHOWSKI, W. & BRUSHUK, W. Wheat hardness: comparison of methods of its evaluation. Cer. Chem. 57(3):421, 1980.
- OGUNTUNDE, A.O. & ADEBAWO, O.O. Water-uptake pattern during traditional soaking of cereals grains.
- ORTEGA, E.I. & BATES, L.S. Biochemical and agronomic studies of two modified hard-endosperm opaque-2 maize (Zea mays L.) populations. Cer. Chem. 60(2):107-11, 1983.
- OSBORNE, B.G. Principles and practice of near infra-red (NIR) reflectance analysis. J. Food Tech. 16(1):13-9, 1981.
- PAIVA, E. Biotecnologia no melhoramento do milho. Inf. Agropec., Belo Horizonte, 14(165):35-37, 1990.

- PAPA, C.M. & FLETCHER, D.L. Utilization of yolk coloring capacity of xanthophylls from synthetic and high xanthophyll concentrates. *Poultry Sc.* 64:1464-1469, 1985.
- PATERNIANI, E. Genética e melhoramento do milho. In: *Cultura e adubação do milho*. São Paulo, Inst. Bras. Pólas-
sa, 1966. cap. 4, p. 109-51.
- PATERNIANI, E. & GOODMAN, M.M. Races of maize in Brazil and adjacent areas. *Cimmyt*, Mexico, 1978. 95 p.
- PAULSEN, M.R. & NAVE, W.R. Corn damage from conventional and rotary combines. *Trans ASAE*, 23(5):1110-6, 1980.
- PAULSEN, M.R. Corn breakage susceptibility as a function of moisture content. *J. Agric. Eng. Research* 31(1):255-65, 1985.
- PEIXOTO, M.J.V.V.D.; PARENTONI, S.N.; GAMA, E.E.G.; MAGNA-
VACA, R.; PAIVA, E.; REGO, M.M. Perspectiva de utiliza-
ção do milho de alta qualidade protéica no Brasil.
Inf. Agropec., Belo Horizonte, 14(165):23-34, 1990.
- PEPLINSKI, A.J.; ECHOFF, S.R.; WARNER, K.; ANDERSON, R.J. Physical testing and drymilling of high moisture corn preserved with ammonia wholegrains drying with ambient air. *Cer. Chem.* 60(6):442-5, 1983.
- PEPLINSKI, A.J.; ANDERSON, R.A.; ALAKSIEWCZ, F.B. Corn milling studies: shortened milling and reduced temper, time and moisture. *Cer. Chem.* 61(1):60-2, 1984.
- PEPLINSKI, A.J.; PAULSEN, M.R.; ANDERSON, R.A.; KWOLEK, W.F. Physical, chemical and drymilling characteristics of corn hybrids from various genotypes. *Cer. Chem.* 66(2):117-20, 1989.
- PFOST, H.B. Grinding and rolling. In: *Feed Product Council. Amer. Feed. Manufacturing Technology*, p. 67-77, 1970.
- PFOST, H.B.; HEADLEY, Y.E. Use of logarithmic normal distribution to describe hammer mill performance. *Trans ASAE*, 14:531-2, 1971.
- PIERCE, R.O. & HANNA, M.A. Corn kernel damage during on-farm handling. *Trans ASAE*, 36(1):239-41, 1985.
- PIRET, E.L. Fundamental aspects of grinding. *Chem. Eng. Progress*, 49(2):56-63, 1953.
- POMERANZ, Y.; MARTIN, C.R.; TAYLOR, D.D.; LAI, F.S. Corn

- hardness determination. *Cer. Chem.* 61(2):147-50, 1984.
- POMERANZ, Y.; CZUCHAJOWSKA, Z.; MARTIN, C.R.; LAI, F.S.
Determination of corn hardness by the stonvert hardness test. *Cer. Chem.* 62(2):108-12, 1985.
- POPOV, E.P. Resistência dos materiais. 2.ed. In: Deformações. 1978. cap. 2, p. 28-49.
- RACOP, E.; STROSHINE, R.; LIEN, R.; NOTZ, W. Comparison of tree combines with respect to harvesting losses and grain damage. *Avi. Soc. Agric. Eng. St. Joseph MI*, 1984. (Paper, 84-3016).
- RASPER, V.; RASPER, J.; MABEY, G.L. Functional properties of wheat flours substitutes in composite flours. *J. Can. Inst. Food Sc. Tech.* 7(2):86-96, 1974.
- REINERS, R.A. & GOODMAN, C.M. Corn oil. In: Corn culture, processing and products. *Am. Pub. West Port Coun. Co.*, 1970. cap. 13, p. 241-61.
- ROBERTS, H.J. Cornflour: from surplus commodity to premium product. *Cer. Sc. Today* 12(3):505-8, 592, 1967.
- ROBUTTI, J.L.; HOSENEY, R.C.; DEYOE, W.C. Modified opaque-2 corn endosperm I. Protein distribution and amino acid composition. *Cer. Chem.* 51(1):163-72, 1974.
- ROGLER, J.C. A comparison of opaque-2 and normal corn for the chick. In: MERTZ, E.T. & NELSON, O.E. Proceedings of high lysine corn conference. Washington, D.C., Industries Research Foundation, 1974.
- SANDSTEDT, R.M. The function of starch in the baking of bread. *Bookers Digest* 35(6):26, 1961.
- SANTOS, J.P.; CRUZ, I.; FONTES, R.A. Milho em espiga: controle de pragas e armazenagem em pequenas propriedades agrícolas. *Inf. Agropec.* 9(99):35-45, 1983.
- SANTOS, J.P.; FONTES, R.A.; CAJUEIRO, I.V.M.; ARLEU, J.A.; FANTON, C.; FORNAZIE, R. Situação do armazenamento a nível de propriedade no Estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO DE MILHO E SORGO, 14, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 1986a. p. 237-47.
- SANTOS, J.P.; FONTES, R.A.; CAJUEIRO, I.V.M.; BRANCO, R.; SEPULHERIO, O.; LAZZRINI, F.; BEDANI, J.L. Determinação de perdas por insetos no milho armazenado em pequenas propriedades do Estado do Paraná. In: CONGRESSO MILHO E SORGO, 14, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 1986b. p. 255-67.

- SCHAUM, N.M. Sementes de variedades de milho x pequenos agricultores brasileiros. Inf. Agropec., Belo Horizonte, 14(165):5-8, 1990.
- SCHENCK, F.W. Dextrose. Cer. Food World 31(12):858-62, 1986.
- SENTI, F.R. & SCHAEFER, W. Corn: its importance in food, feed and industrial uses. Cer. Sc. Today 17(11):352-6, 1972.
- SHELEF, L. & MOHSENIN, M.M. Evaluation of the modulus of elasticity of wheat grains. Cer. Chem. 44(3):392-402, 1967.
- Effect of moisture content on mechanical properties of shelled corn. Cer. Chem. 46(3):242-53, 1969.
- SHFOLYAMSKAYA, A.L. Structural and mechanical properties of the wheat grain. Colloid Journal, URSS, 14(1):137-48, 1952.
- SILVA, B.G. & CORRÊA, L.A. Cultivares de milho. Inf. Agropec., Belo Horizonte, 14(164):13-4, 1990.
- SIMMONDS, W.H.C. Size reduction as a nucleation process. Proc. 52(4):139-142, 1956.
- W.H.C. Chemical basis for hardness and vitruosity in the wheat kernel. Bakers Digest 48(5):16, 1974.
- SIMPSON, K.L.; TSOU, S.T.C.; CHICHESTER, C.D. A report of the international vif.: a consultative group (IVACG). 1987.
- SOKHANSANJ, S.; LAMPMAN, W.P.; MACAULAY, J.D. Investigation of grain tempering on drying test. Trans ASAE 34(7):1293-6, 1983.
- SOLLERS, W.F.; RUBENTHALER, G. Performance of wheat and other starches in reconstituted flours. Cer. Chem. 48(4):397-409, 1971.
- STENVERT, N.L.; KINGWOOD, K. The influence of the physical structure of the protein matrix on wheat hardness. J. Sc. Food Agric. 28(1):11-9, 1977.
- STEPHENS, L.E. & FOSTER, G.H. Breakage tester predicts handling damage in corn. Reports n.o IRS-NC-49, US Agric. Res. Serv., 1976.
- STROSHINE, R.L.; KIRLEIS, A.W.; TUIITE, J.F.; BAUMAX, L.F.; EMAM, A. Differences in corn quality among selected corn hybrids. Cer. Foods World 3:311-6, 1986.

- SZANEIL, J.; SAGI, F.; BALVOLGYI, I. Hardness determination and quality prediction of maize kernels by a new instrument, the molograph. *Maydice* 29:9-20, 1984.
- TAPOR, D.A. A simple theory of static dynamic hardness. *Proceedings of Royal Soc.* 192A:247-74, 1948.
- TANGKOMACHITR, U.; SEIB, P.A.; HOSENEY, R.C. Determination of three forms of phosphorus infalor, dough and bread. *Cereal Chem.* 58(3):226-8, 1981.
- THOMPSON, R.A. & ISAACS, G.W. Porosity determination of grains and seeds with the air comparison Pycnometer. *Trans ASAE* 10(3):693-6, 1967.
- THOMPSON, T.L. Predicted performance and optimal design of correction grain friers. West Lafayette, IN, Purdue University, 1967. (Thesis Ph.D.).
- TRAN, T.L.; DE MAN, J.M.; RASPER, V.F. Measurement of corn kernel hardness. *J. Can. Inst. Food Sc. & Tech.* 14 (1):42-8, 1981.
- VAN DER MADE, C. Bread from composite flours: progress report with reference to Brazil. Roma, FAO, 1970. (Papers Contributed by Invited Speakers and General Comitee Representative of the FAO/Industry Cooperative Program).
- VAN SOEST, P.J. Use of detergents in analysis of fibrous feeds II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. Assoc. Official Agric. Chem.* 46(5):828-35, 1963.
- VENCOVSKY, R. & TORRES, R.A.M. Estabilidade geográfica e temporal de algumas cultivares de milho. In: CONG. NAC. DE MILHO E SORGO, 16, Belo Horizonte, 1986. *Anais...* Belo Horizonte, 1986. p. 294-300.
- VENCOVSKY, R.; MORAES, A.R.; GARCIA, J.C.; TEIXEIRA, N.M. Progresso genético em vinte anos de melhoramento do milho no Brasil. In: CONG. NAC. DE MILHO E SORGO, 16, Belo Horizonte, 1986. *Anais...* Belo Horizonte, 1986.
- VEZZANI, E. Panoramas das utilizações do milho. *Rev. Alim. Téc.* (2):34-41, 1986.
- VIEGAS, G.P. Melhoramento do milho para condições adversas. Campinas, Fundação Cargill, 1989. 44 p.
- VITTI, P. Emprego de farinha de milho pré-gelatinizada em bolos e bolachas. *Coletânea do Inst. Téc. de Alim.* 3: 293-310, 1970.

- VITTI, P., LEITÃO, R.F.F., PIZZINATO, A., PENTEADO, R.C.B.
Preparo de uma farinha de milho integral e desengordurado
e seu uso em produtos de panificação. Bol. Ital. 17(4):
451-67, 1980.
- WATSON, S.A. The yellow carotenoid pigments of corn. In:
Proc. Corn Res. Conf. 17th Amer. Seed Trade Assoc.
Washington, D.C., 1962.
- Manufacture of corn and milo starches. In: WHISTLEY,
R.L. & PASCHALL, E.F. Starch: chemistry and technology.
New York, Academic Press, 1967. v. 2.
- Measurement and maintenance of quality. In: Corn:
chemistry and technology. AACC, 1988a. cap. 5, p. 125-
84.
- Structure and composition of corn. In: Corn:
chemistry and technology. AACC, 1988b. cap. 3, p. 53-
82.
- WATSON, S.A. & HERUM, F.L. Comparison of eight devices for
measuring breakage suscetibility of corn. Cer. Chem.
63(2):139-42, 1956.
- WATSON, S.A. & YAHL, K.R. Comparison of wetmilling
properties of opaque-2 high lysine corn and normal corn.
Cer. Chem. 44(3):488-98, 1967.
- WEIGEL, P. & ZINSLY, J.R. Comparação entre milho (Zea mays
L.) branco e amarelo de idêntico germoplasma. In: REUNIÃO
BRASILEIRA DE MILHO E SORGO. Piracicaba, 1978.
- WICHSER, W.R. The world of corn processing. Am. Miller
Press. 89(3):23-4, 1961.
- The world of corn processing. Am. Miller Press.
89(4):29-31, 1960.
- WILIAM, H.C. Screening wheat for protein and hardness by
near infra-red reflectance spectroscopy. Cer. Chem. 56
(2):169, 1979.
- WILLIAM, P.C., SOBERING, D.C. Attempts at standarlization
of hardness testing of wheat I. The grinding/seiving
(Particle size index) method. Cer. Foods World 31(5):
359-64, 1986a.
- WILLIAMS, M.A. Direct extrusion of convenience foods.
Cereal Foods World 22(1):152-4, 1977.
- WILLIAMSON, J.L. Nutritional requirements of livestock as
related to corn quality. In: HILL, L.D. Corn quality in
world markets. Insterstate Print & Pub., 1975. cap. 2,
17-22.

- WINGLY, C.W. The biochemistry of the protein complex and its genetic control. *Cer. Sci. Today* 17(2):370, 1972.
- WOLF, M.J.; DUZAN, C.L.; MACMASTERS, M.M.; RIST, C.E. The structure of the mature corn kernel, I Gross Anatomy and structural relationship 29(5):321-333, 1952.
- WOLF, M.J.; KHOO, V.; SECKINAER, H.L. Subcellular structure of endosperm protein in high lysine and normal corn. *Cer. Sci.* 157:556-7, 1967.
- WOLF, M.J.; KHOO, V.; SECKINAER, H.L. Distribution and subcellular structure of endosperm protein in varieties of ordinary and high lysine-maize. *Cer. Chem.* 46:253-63, 1969.
- ZANDONADI, R. Trigo: subsídio e inflação. *Rev. Alim. e Tec.* 3:7-8, 1985.
- ZDERB, G.C. & HALL, C.W. Some mechanical properties of grains. *J. Agric. Eng. Research* 5(1):83-93, 1960.
- ZUBER, M.S.; DORRAH, L.L. Breeding genetics and seeds corn production. In: *Corn chemistry and technology*. AACC, 1987. cap. 2, p. 31-52.

Apêndice 1 - Distribuição de Tamanho de Canjica e Cálculo de Área de Superfície Específica em Função de Umidade e Tempo de Condicionamento

Variável Independente			Variáveis Dependentes			
Expto.	X1	X2	Diâmetro Médio (mm)	Retenção Média (g/100 g)	Área de Superfície (cm ² /g)	Total
1	19	7	5.555	83.8816	0.0020	0.0020
			4.060	31.2859	0.0074	0.0094
			2.680	2.5383	0.1378	0.1472
			1.295	0.1181	6.1299	6.2771
			0.295	0.2361	13.4603	19.7374
2	16	12	5.555	73.7889	0.0023	0.0023
			4.060	41.1135	0.0056	0.0079
			2.680	4.4884	0.0779	0.0858
			1.295	0.1197	6.0479	6.1337
			0.295	0.2394	13.2747	6.1337
3	22	12	5.555	51.0606	0.0033	0.0033
			4.060	66.9585	0.0034	0.0067
			2.680	6.3592	0.0550	0.0617
			1.295	0	0.7239	0.7856
			0.295	0.2494	12.7424	13.5280
4	19	24	5.555	53.6632	0.0031	0.0031
			4.060	60.181	0.0038	0.0069
			2.680	6.1798	0.0566	0.0635
			1.295	0.0712	10.1677	10.2312
			0.295	0.6264	5.0734	15.3046
5	19	24	5.555	50.5940	0.0033	0.0033
			4.060	63.5685	0.0036	0.0069
			2.680	5.4266	0.0645	0.0714
			1.295	0.0721	10.0408	10.1122
			0.295	0.5288	6.0098	16.1220
6	19	24	5.555	60.4619	0.0028	0.0028
			4.060	57.1884	0.0040	0.0068
			2.680	3.3694	0.1030	0.1106
			1.295	0.0542	13.3568	13.4674
			0.295	0.6811	4.6659	18.1333

Continua...

Apendice 1, Cont.

Variável Independente			Variáveis Dependentes			
Expto.	X1	X2	Diâmetro Médio (mm)	Retenção Média (g/100 g)	Área de Superfície (cm ² /g)	Total
7	19	24	5.555	48.91	0.0035	0.0035
			4.060	41.55	0.0056	0.0091
			2.680	3.57	0.0980	0.1071
			1.295	0.06	12.0656	12.1727
			0.295	0.915	3.4732	15.6459
8	19	24	5.555	49.47	0.0034	0.0034
			4.060	46.11	0.0050	0.0084
			2.680	3.69	0.0948	0.1032
			1.295	0.055	13.1625	13.2657
			0.295	0.68	4.6735	17.9392
9	23.2	24	5.555	42.89	0.0039	0.0039
			4.060	51.26	0.0045	0.0084
			2.680	5.26	0.0665	0.0749
			1.295	0.08	9.0492	9.1241
			0.295	0.92	6.1115	15.2356
10	14.8	24	5.555	64.14	0.0026	0.0026
			4.060	34.62	0.0067	0.0093
			2.680	3.38	0.1035	0.1128
			1.295	0.07	10.3420	10.4548
			0.295	0.31	10.2515	20.7063
11	16	36	5.555	54.50	0.0031	0.0031
			4.060	41.62	0.0055	0.0086
			2.680	3.60	0.0972	0.1058
			1.295	0.05	14.4788	14.5846
			0.295	0.24	13.2415	27.8261
12	22	36	5.555	36.28	0.0047	0.0047
			4.060	58.28	0.0040	0.0087
			2.680	5.21	0.0671	0.0758
			1.295	0.06	12.0656	12.1414
			0.295	0.18	17.6554	29.7968
13	19	41	5.555	64.55	0.0026	0.0026
			4.060	32.60	0.0071	0.0097
			2.680	2.60	0.1345	0.1442
			1.295	0.05	14.4788	14.6230
			0.295	0.20	15.8898	30.5128

Apêndice 2 -- Distribuição de Tamanho de Semente e Cálculo de Área de Superfície Específica em Função de Umidade e Tempo de Condicionamento

Variável Independente			Variáveis Dependentes			
Expto.	X1	X2	Diâmetro Médio (mm)	Retenção Média (g/100 g)	Área de Superfície (cm ² /g)	Total
1	19	7	3.43	11.3928	0.0320	0.0320
			2.68	32.7026	0.0143	0.0463
			1.57	14.9346	0.0533	0.0996
			1.30	5.7259	0.1679	0.2675
			0.89	24.9107	0.0564	0.3239
			0.44	15.9381	0.1782	0.5021
			0.15	12.4553	0.6691	1.1712
2	16	12	3.43	10.2335	0.0356	0.0356
			2.68	22.6214	0.0206	0.0562
			1.57	13.4651	0.0591	0.1153
			1.30	6.0443	0.1591	0.2744
			0.89	29.1445	0.0231	0.2975
			0.44	19.9284	0.1426	0.4401
			0.15	18.2527	0.4566	0.8967
3	22	12	3.43	7.5437	0.0483	0.0483
			2.68	31.5466	0.0148	0.0631
			1.57	17.3943	0.0458	0.1089
			1.30	6.9203	0.1389	0.2478
			0.89	29.0528	0.0483	0.2961
			0.44	19.2646	0.1475	0.4436
			0.15	15.9603	0.5221	0.9657
4	19	24	3.43	7.9783	0.0457	0.0457
			2.68	38.3283	0.0122	0.0579
			1.57	15.2867	0.0521	0.1100
			1.30	6.0290	0.1595	0.2695
			0.89	27.6524	0.0508	0.3203
			0.44	17.6524	0.2414	0.5617
			0.15	13.8081	0.6025	1.1652

Continua...

Apendice 2, Cont.

Variável Independente		Variáveis Dependentes			
Expto	X1	X2	Diâmetro Médio (mm)	Retenção Média (g/100 g)	Área de Superfície Total (cm ² /g)
5	19	24	3.43	14.9937	0.0243
			2.68	30.2518	0.0154
			1.57	13.1428	0.0606
			1.30	5.5528	0.1732
			0.89	24.5188	0.0573
			0.44	16.6643	0.1705
			0.15	15.0658	0.5531
6	19	24	3.43	11.4342	0.0319
			2.68	30.8246	0.0151
			1.57	13.3750	0.0595
			1.30	5.4489	0.1765
			0.89	25.7374	0.0546
			0.44	17.7269	0.1603
			0.15	16.0030	0.5207
7	19	24	3.43	10.4587	0.0348
			2.68	31.9855	0.0146
			1.57	13.8262	0.0576
			1.30	5.2927	0.1817
			0.89	25.9083	0.0542
			0.44	17.6584	0.1609
			0.15	15.5703	0.5352
8	19	24	3.43	12.4853	0.0292
			2.68	31.5592	0.0148
			1.57	14.2422	0.0268
			1.30	5.6439	0.1704
			0.89	25.3316	0.0554
			0.44	17.0101	0.1670
			0.15	14.0677	0.5924

Continua...

Apêndice 2, Cont.

Variável Independente		Variáveis Dependentes			
Explo.	X1	X2	Diâmetro Médio (mm)	Retenção Média (g/100 g)	Área de Superfície Total (cm ² /g)
9	23.2	24	3.43	12.9165	0.0282
			2.68	39.1375	0.0119
			1.57	15.2507	0.0522
			1.30	5.1941	0.1851
			0.89	24.5001	0.0573
			0.44	16.3709	0.1735
			0.15	11.7901	0.7068
10	14.8	24	3.43	10.7966	0.0388
			2.68	19.6571	0.0237
			1.57	10.7617	0.0740
			1.30	5.0931	0.1888
			0.89	26.3781	0.0532
			0.44	18.8606	0.1506
			0.15	24.7328	0.3369
11	16	36	3.43	11.4676	0.0318
			2.68	22.3261	0.0209
			1.57	11.1254	0.0716
			1.30	4.9188	0.1955
			0.89	26.2821	0.0534
			0.44	18.2658	0.1555
			0.1	21.6243	0.3854
12	22	36	3.43	13.8657	0.0263
			2.68	38.6582	0.0020
			1.57	13.9572	0.0570
			1.30	4.8536	0.1981
			0.89	21.4022	0.0109
			0.44	15.8230	0.1795
			0.1	13.3901	0.6224
13	19	41	3.43	10.1954	0.0357
			2.68	26.5568	0.0176
			1.57	21.0012	0.0379
			1.30	6.4713	0.1486
			0.89	27.8999	0.0503
			0.44	19.5971	0.1450
			0.15	15.7509	0.5291

Apêndice 3 - Distribuição de Tamanho de Partículas de Farinha de Quebra em Função de Unidade e Tempo de Condicionamento

Expto			Diâmetro Médio (mm)	Retenção (g)	Área de Superfície Específica cm ² /g	Total com. Área Sup. Específica cm ² /g
1	19	7	0.2535	1.4991	1.3157	1.3157
			0.1935	41.5051	0.0623	1.3780
			0.1630	53.9776	0.0568	1.4348
			0.1270	2.1087	1.867	3.3018
			0.0965	0.4497	11.5218	14.8236
			0.0810	0	0	14.8236
			0.0370	0.5797	23.3112	38.1348
2	16	12	0.2535	1.4477	1.3624	1.3624
			0.1935	90.6350	0.0285	1.3909
			0.1630	7.2983	0.4203	1.8112
			0.1270	0.2296	17.1472	18.9584
			0.0965	0.0300	172.7116	191.6700
			0.0810	0.0170	363.1082	554.7782
			0.0370	0.2496	54.1407	608.9189
3	22	12	0.2535	1.1795	1.6722	1.6722
			0.1935	94.7921	0.0327	1.7049
			0.1630	3.6086	1.0201	2.7250
			0.1270	0.1999	28.1416	30.8666
			0.0965	0	0	30.8666
			0.0810	0	0	30.8666
			0.0370	0.3029	44.6138	75.4804
4	19	24	0.2535	0.830	2.3764	2.3764
			0.1935	15.780	0.1638	2.5402
			0.1630	37.630	0.0815	2.6217
			0.1270	21.170	0.1860	2.8077
			0.0965	11.290	0.4589	3.2666
			0.0810	12.600	0.4899	3.7565
			0.0370	0.700	19.3050	23.0615
5	19	24	0.2535	1.2094	1.6309	1.6309
			0.1935	95.1224	0.0272	1.6581
			0.1630	2.9985	1.0230	2.6811
			0.1270	0.1599	24.6217	27.3028
			0.0965	0	0	27.3028
			0.0810	0	0	27.3028
			0.0370	0.5097	26.5127	53.8155

Continua...

Apêndice 3, cont.

Expto			Diâmetro Médio (mm)	Retenção (g)	Área de Superfície Específica cm ² /g	Total coe. Área Sup. Específica cm ² /g
6	19	24	0.2535	1.3492	1.4619	1.4619
			0.1935	14.6212	0.1767	1.6386
			0.1630	34.3894	0.0892	1.7278
			0.1270	29.6522	0.1328	1.8606
			0.0965	13.4419	0.3855	2.2461
			0.0810	4.5473	1.3575	3.6036
			0.0370	0.9991	13.5216	17.1252
7	19	24	0.2535	0.9691	2.0353	2.0353
			0.1935	97.4723	0.0265	2.0618
			0.1630	1.2089	2.5374	4.5992
			0.1270	0.0695	56.3224	60.9226
			0.0965	0	0	60.9226
			0.0810	0	0	60.9226
			0.0370	0.2797	48.3143	109.2369
8	19	24	0.0370	0.2797	48.3143	109.2369
			0.2535	1.1990	1.6450	1.6450
			0.1935	96.9325	0.0267	1.6717
			0.1270	0.0789	49.2742	52.8064
			0.0965	0.0100	518.1347	570.9411
			0.0810	0	0	570.9411
			0.0370	0.1299	104.0301	674.9712
9	23.2	24	0.2535	0.6082	1.2265	1.2265
			0.1935	96.4339	0.0268	1.2533
			0.1630	1.0189	3.0106	4.2639
			0.1270	0.6693	5.8823	10.1462
			0.0965	0.0799	64.8479	74.9941
			0.0810	0	0	74.9941
			0.0370	0.1898	71.1987	146.1928
10	14.8	24	0.2535	1.5384	1.2821	1.2821
			0.1935	97.4531	0.0265	1.3086
			0.1630	0.7491	4.0949	5.4035
			0.1270	0.0400	98.4252	103.8287
			0.0965	0	0	103.8287
			0.0810	0	0	103.8287
			0.0370	0.3995	33.8261	137.6548

Continua...

Apendice 3, cont.

Expto			Diâmetro Médio (mm)	Retenção (g)	Área de Superfície Específica cm ² /g	Total com. Área Sup. Específica cm ² /g
11	16	36	0.2535	1.6089	1.2259	1.2259
			0.1935	96.7423	0.0267	1.2526
			0.1630	0.0999	30.7056	31.9582
			0.1270	0.9393	4.1914	36.1496
			0.0965	0.2099	24.6848	60.8344
			0.0810	0	0	60.8344
			0.0370	0.3997	33.8091	94.6435
12	22	36	0.2535	0.9594	2.0559	2.0559
			0.1935	97.7214	0.0264	2.0823
			0.1630	0.070	43.8212	45.9035
			0.1270	0.7396	5.3232	51.2267
			0.0965	0.0999	51.8653	103.0920
			0.0810	0	0	103.0920
			0.0370	0.4098	32.9759	136.0679
13	19	41	0.2535	1.0487	1.8808	1.8808
			0.1935	97.4031	0.0265	1.9073
			0.1630	0.0799	38.3915	40.2988
			0.1270	0.5993	6.5693	46.8681
			0.0965	0	0	46.8681
			0.0810	0	0	46.8681
			0.0370	0.8690	15.5506	62.4187

Apêndice 4 - Distribuição de Tamanho de Partículas de Farinha de Redução em Função de Unidade e Tempo de Condicionamento

Expto			Diâmetro Médio (mm)	Retenção (g)	Área de Superfície Específica cm ² /g	Total com. Área Sup. Específica cm ² /g
1	19	7	0.2535	4.1643	0.3819	0.3819
			0.1935	75.6568	0.0342	0.4161
			0.1630	18.4597	0.1662	0.5823
			0.1270	0.3796	10.3715	10.9538
			0.0965	0.030	172.7116	183.6654
			0.0810	0	0	183.6654
			0.0370	0.9090	14.8664	198.5318
2	16	12	0.2535	5.0790	0.3883	0.3883
			0.1935	89.6321	0.0288	0.4171
			0.1630	4.9290	0.6223	1.0394
			0.1270	0.2400	16.4042	17.4436
			0.0965	0	0	17.4436
			0.0810	0	0	17.4436
			0.0370	0.1100	21.2176	38.6612
3	22	12	0.2535	4.7886	0.4119	0.4119
			0.1935	91.2526	0.0283	0.4402
			0.1630	3.449	0.6394	1.0796
			0.1270	0.2999	13.1277	14.4273
			0.0965	0.010	518.1347	532.592
			0.0810	0	0	532.592
			0.0370	0.1999	67.6014	600.1934
4	19	24	0.2535	4.670	0.4224	0.4224
			0.1935	18.650	0.1386	0.5610
			0.1630	51.090	0.060	0.6210
			0.1270	14.390	0.2736	0.8946
			0.0965	4.660	1.1119	2.0065
			0.0810	4.820	1.2807	3.2872
			0.0370	1.720	7.8567	11.1439
5	19	24	0.2535	4.5459	0.4339	0.4339
			0.1935	93.3260	0.0277	0.4616
			0.1630	1.7684	1.7346	2.1962
			0.1270	0.1499	26.2642	26.4604
			0.0965	0	0	26.4604
			0.0810	0	0	26.4604
			0.0370	0.2098	64.4114	92.8718

Continua...

Apendice 4, Cont.

Expto		Médio (mm)	(g)	Superfície Específica cm ² /g	Área Sup. Específica cm ² /g
6	19 24	0.2535	5.2269	0.3774	0.3774
		0.1935	22.1567	0.1166	0.4940
		0.1630	58.345	0.0526	0.5466
		0.1270	9.8341	0.4003	0.9469
		0.0965	3.8477	1.3466	2.2935
		0.0810	0.0999	61.7902	64.0837
		0.0370	0.4897	27.5955	91.6792
7	19 24	0.2535	4.5459	0.4339	0.4339
		0.1935	93.3260	0.0277	0.4616
		0.1630	1.7649	0.0289	0.4905
		0.1270	0.1499	26.2642	26.7547
		0.0965	0	0	26.7547
		0.0810	0	0	26.7547
		0.0370	0.2098	64.4114	91.1661
8	19 24	0.2535	5.3641	64.4114	91.1661
		0.1935	92.9877	0.3677	0.3677
		0.1630	1.2187	2.5170	2.9125
		0.1270	0.1498	26.2818	29.1943
		0.0965	0	0	29.1943
		0.0810	0	0	29.1943
		0.0370	0.2797	48.3143	77.5086
9	23.2 24	0.2535	4.7081	0.4189	0.4189
		0.1935	93.9424	0.0275	0.4464
		0.1630	0.7891	3.8873	4.3337
		0.1270	0.1099	35.8235	40.1572
		0.0965	0	0	40.1572
		0.0810	0	0	40.1572
		0.0370	0.5194	26.0175	66.1747
10	14.0 24	0.2535	6.2843	0.3139	0.3139
		0.1935	92.5967	0.0279	0.3418
		0.1630	0.8193	3.7440	4.0858
		0.1270	0.0999	39.4095	43.4953
		0.0965	0	0	43.4953
		0.0810	0	0	43.4953
		0.0370	0.1998	81.1622	124.6575

Continua...

Apendice 4, Cont.

Explo			Diâmetro Médio (mm)	Retenção (g)	Área de Superfície Específica cm ² /g	Total com. Área Sup. Específica cm ² /g
11	16	36	0.2535	11.5019	0.1715	0.1715
			0.1935	87.0691	0.0297	0.2012
			0.1630	0.1299	23.6142	23.8154
			0.1270	0.8294	4.7468	28.5622
			0.0965	0.1399	37.0361	65.5983
			0.0810	0.020	308.6420	374.2403
			0.0370	0.3098	43.6201	417.8604
12	22	36	0.2535	7.0962	0.3234	0.3234
			0.1935	92.3423	0.2798	0.6032
			0.1630	0.110	27.8862	28.4894
			0.1270	0.8298	47.4453	75.9347
			0.0965	0	0	75.9347
			0.0810	0	0	75.9347
			0.0370	0.6198	21.8030	97.7377
13	19	41	0.2535	10.6668	0.1849	0.1849
			0.1935	87.9236	0.0294	0.2143
			0.1630	0.070	43.8212	44.0355
			0.1270	1.2396	3.1760	47.2115
			0.0965	0	0	47.2115
			0.0810	0	0	47.2115
			0.0370	0.7198	18.7740	65.9855

Apêndice 5 - Distribuição de Tamanho de Partículas de Fare-
linho em Função de Unidade e Tempo de Condicio-
namento

Expto	Variável Independente		Diâmetro Médio (mm)	Retenção (g)	Área de Superfície Específica cm^2/g	Total com. Área Sup. Específica cm^2/g
	X_1	X_2				
1	19	7	0.545	27.40	0.0383	0.0383
			0.46	17.60	0.0706	0.1089
			0.38	10.60	0.1419	0.2508
			0.175	44.00	0.0742	0.3250
2	16	12	0.545	29.55	0.0355	0.0355
			0.460	18.00	0.0690	0.1045
			0.380	10.55	0.1425	0.2470
			0.175	41.95	0.0778	0.3248
3	22	12	0.545	27.75	0.0378	0.0378
			0.460	18.05	0.0688	0.1066
			0.38	10.10	0.1439	0.2555
			0.175	45.15	0.0723	0.3278
4	19	24	0.545	30.835	0.0340	0.0340
			0.460	13.85	0.0897	0.1237
			0.380	12.35	0.1218	0.2455
			0.175	42.965	0.0760	0.3215
5	19	24	0.545	28.42	0.0369	0.0369
			0.460	14.620	0.0850	0.1219
			0.380	13.085	0.1154	0.2373
			0.175	44.02	0.0742	0.3115
6	19	24	0.545	29.44	0.0356	0.0356
			0.460	13.995	0.0888	0.1244
			0.380	12.435	0.1209	0.2453
			0.175	44.13	0.0740	0.3193
7	19	24	0.545	31.05	0.0338	0.0338
			0.460	14.28	0.0425	0.0763
			0.380	12.62	0.1192	0.1955
			0.175	42.05	0.0777	0.2732
8	19	24	0.545	33.34	0.0314	0.0314
			0.46	13.665	0.0909	0.1223
			0.38	11.86	0.1268	0.2491
			0.175	41.135	0.0794	0.3285

Continua...

Expto	Variável Independente		Diâmetro Médio (mm)	Retenção (g)	Área de Superfície Específica cm^2/g	Total com. Área Sup. Específica cm^2/g
	X_1	X_2				
9	23.2	24	0.545	26.52	0.0395	0.0395
			0.46	13.545	0.0917	0.1312
			0.38	11.86	0.1268	0.2580
			0.175	48.10	0.0679	0.3259
10	14.8	24	0.545	30.18	0.0347	0.0347
			0.46	12.805	0.0970	0.1317
			0.38	12.34	0.1219	0.2536
			0.175	44.675	0.0731	0.3267
11	16	36	0.545	37.47	0.0280	0.0280
			0.46	10.90	0.1140	0.1420
			0.38	9.62	0.1563	0.2983
			0.175	41.98	0.0778	0.3761
12	22	36	0.545	31.095	0.0337	0.0337
			0.46	13.77	0.0902	0.1239
			0.38	11.96	0.1257	0.2496
			0.175	43.175	0.0756	0.3252
13	19	41	0.545	29.50	0.0355	0.0355
			0.460	18.90	0.0657	0.1012
			0.38	10.60	0.1419	0.2431
			0.175	40.50	0.0806	0.3237

Apendice 6 - Teor de Cinza por Passagem de Produto em Função
de Unidade e Tempo de Condicionamento

Expto	Variável Independente		Passagem	Rendimento Farinha/ Passagem	Teor de Cinza	Rendimento Farinha	Total Cinza	Cinza Total	Teor de Cinza/ Unidade Farinha
	X_1	X_2		(X)(A)	(B)	(S ₁)		(S ₁)	
1	19	7	Q1	4.210	0.3362	4.210	1.4154	1.4154	0.3362
			Q2	3.260	0.2453	7.470	0.7997	2.2151	0.2965
			Q3	1.270	0.4276	8.740	0.5431	2.7582	0.3156
			R1	11.820	0.0797	20.560	0.9421	3.7003	0.1800
			R2	6.825	1.9778	27.385	13.4985	7.1955	0.6280
			R3	3.950	2.1300	31.335	8.4135	25.6123	0.8174
			F	18.31	4.9281	49.645	90.2335	115.8458	2.3335
			FR0	46.17	1.9956	95.815	92.1369	207.9827	2.1707
2	16	12	Q1	4.130	0.3459	4.130	1.4286	1.4286	0.3459
			Q2	3.350	0.4415	7.480	1.4790	2.9076	0.3887
			Q3	1.010	0.4944	8.490	0.4993	3.4069	0.4013
			R1	11.240	0.4626	19.730	5.1996	8.6065	0.4362
			R2	7.180	0.1743	226.910	11.2515	9.8580	0.3663
			R3	4.290	0.2600	31.200	1.1154	10.9734	0.3517
			F	14.88	2.0947	46.080	31.1691	42.4425	0.9211
			FR0	49.82	0.3359	95.900	16.7345	59.1770	0.6171
3	22	12	Q1	3.980	0.1940	3.980	0.7721	0.7721	0.1940
			Q2	3.220	0.2395	7.200	0.7712	1.5433	0.2143
			Q3	0.980	0.0122	8.180	0.0120	1.5553	0.1901
			R1	12.690	0.2617	20.870	3.3210	4.8763	0.2337
			R2	8.128	0.3465	28.990	2.8136	7.6899	0.2653
			R3	4.710	0.6875	33.700	3.2381	10.928	0.3243
			F	19.440	1.0646	53.140	20.6958	31.6238	0.5951
			FR0	38.900	1.1635	92.040	45.2602	76.884	0.8353
4	19	24	Q1	4.280	0.4669	4.280	1.9983	1.9983	0.4669
			Q2	2.930	0.5987	7.210	1.7542	3.7525	0.5205
			Q3	1.010	0.8990	8.220	0.9080	4.6605	0.5670
			R1	10.750	0.5417	18.970	5.8233	10.4838	0.5527
			R2	7.99	0.4440	26.960	3.5476	14.0314	0.5205
			R3	5.130	0.6160	32.090	3.1601	17.1915	0.5357
			F	17.230	3.470	49.320	59.7881	76.9796	1.5607
			FR0	47.810	0.6120	97.13	29.2597	106.2393	1.0938

Continua...

Expto	Variável Independente		Passagem	Rendimento Farinha/ Passagem (%) (A)	Teor de Cinza (B)	Rendimento Farinha (S ₁)	Total Cinza	Cinza Total (S ₁)	Teor de Cinza/ Unidade Farinha
	X ₁	X ₂							
5	19	24	Q1	3.820	1.0196	3.820	3.8949	3.8949	1.0196
			Q2	2.890	0.8921	6.710	1.7112	5.6061	0.8355
			Q3	0.990	0.0931	7.700	0.0922	5.6983	0.7400
			R1	9.910	0.3055	17.610	10.2155	15.9138	0.9037
			R2	6.550	0.4690	24.160	3.0720	18.9858	0.7858
			R3	4.210	0.1494	28.370	0.6290	19.6148	1.9161
			F	19.140	3.7315	47.510	71.4209	91.0357	1.2474
			FR0	46.42	0.5629	93.930	26.1298	117.1655	0.3011
6	19	24	Q1	4.010	0.3011	4.010	1.2074	1.2074	0.3231
			Q2	2.930	0.3532	6.940	1.0349	2.2423	0.3231
			Q3	0.930	0.8808	7.870	0.8191	3.0614	0.3890
			R1	11.050	0.3238	18.920	3.5780	6.6394	0.3509
			R2	6.990	0.3357	25.910	2.3465	8.9859	0.3468
			R3	4.640	0.5474	30.550	2.5404	11.5263	0.3773
			F	19.820	2.8396	50.370	56.2809	67.8072	1.3462
			FR0	45.610	0.4472	95.980	20.3968	88.2040	0.9190
7	19	24	Q1	3.880	0.5069	3.880	1.9668	1.9668	0.5069
			Q2	2.790	0.6693	6.670	1.8673	3.8341	0.5748
			Q3	0.930	1.0699	7.600	0.9950	4.8291	0.6354
			R1	11.420	0.3976	19.020	4.5406	9.3697	0.4926
			R2	5.910	0.4730	24.930	2.7954	12.1651	0.4880
			R3	4.120	0.4283	29.050	1.7646	13.9297	0.4795
			F	20.570	4.0237	49.620	82.7675	96.6972	1.9488
			FR0	44.410	0.6158	94.030	27.3477	124.0449	1.3192
8	19	24	Q1	3.900	0.2117	3.900	0.8256	0.8256	0.2117
			Q2	2.810	0.4469	6.710	1.2558	2.0814	0.3102
			Q3	0.950	1.8637	7.660	1.7705	3.8519	0.3102
			R1	10.670	0.3656	18.330	3.9010	7.7529	0.5029
			R2	6.300	0.1567	24.630	0.0872	8.7401	0.4230
			R3	3.940	0.3517	28.570	1.3057	10.1258	0.3549
			F	19.730	3.6595	48.300	75.2019	85.3277	0.3544
			FR0	45.480	0.3481	93.780	15.8316	101.1593	1.7666
9	23.2	24	Q1	3.510	0.7642	3.510	2.6823	2.6823	1.0787
			Q2	3.170	1.0062	6.630	3.1393	5.8216	0.7642
			Q3	1.120	1.3636	7.750	1.5272	7.3488	0.8781
			R1	13.58	0.8523	21.330	11.5742	18.9230	0.9482
			R2	7.520	1.0941	28.850	8.2276	27.1506	0.8871
			R3	5.360	1.1140	34.210	5.9710	33.1216	0.9682
			F	22.730	3.4292	56.940	77.9457	111.0673	1.9506
			FR0	36.20	1.2168	93.140	44.0482	155.1155	1.6654

Continua...

Apendice 6, Cont.

Expto	Variável Independente		Passagem	Rendimento Farinha/ Passagem (X)(A)	Teor de Cinza (B)	Rendimento Farinha (S ₁)	Total Cinza	Cinza Total (S ₁)	Teor de Cinza/ Unidade Farinha
	X ₁	X ₂							
10	14.8	24	Q1	4.250	0.4815	4.250	2.0464	2.0464	0.4815
			Q2	3.30	0.7482	7.640	2.5364	4.5828	0.5998
			Q3	0.88	1.6651	8.520	1.4653	6.0481	0.7099
			R1	12.24	0.3262	20.760	4.1151	10.1632	0.4896
			R2	7.74	1.1131	28.500	8.6154	18.7786	0.6589
			R3	5.09	1.2197	33.590	6.2083	24.9869	0.7439
			F	11.43	4.6930	45.020	53.6410	78.6279	1.7465
			FR0	52.46	1.3692	97.480	71.8282	150.4561	1.5435
			Q1	4.170	0.3091	4.170	1.2889	1.2889	0.3091
			Q2	2.75	0.5996	7.920	2.2485	3.5374	0.4466
11	16	36	Q3	1.01	1.5333	9.930	1.5658	5.1032	0.5139
			R1	11.68	0.5776	20.810	6.8618	11.9651	0.5758
			R2	6.68	1.3395	27.490	8.9479	20.9130	0.7607
			R3	6.45	0.8228	33.940	5.3071	26.2201	0.7725
			F	13.65	3.9872	47.590	54.4253	80.6454	1.6946
			FR0	45.66	0.9883	93.250	45.1258	125.7718	1.3488
			Q1	3.38	0.0352	3.380	0.1190	0.1190	0.0352
			Q2	3.05	0.2768	6.430	0.8442	0.9632	0.0352
			Q3	1.07	0.8295	7.500	0.8876	1.8508	0.1498
			R1	11.64	0.2264	19.140	2.6353	4.4861	0.2468
12	22	36	R2	7.23	0.4087	26.370	2.9549	7.4410	0.2344
			R3	5.37	0.3998	31.740	2.1469	9.5879	0.2822
			F	20.95	2.8985	52.690	60.7236	70.3115	0.3021
			FR0	40.67	0.5475	93.360	22.2668	92.5783	1.3344
			Q1	4.06	0.0541	4.060	0.2196	0.2196	0.9916
			Q2	3.11	0.2725	7.170	0.8475	1.0671	0.0541
			Q3	1.14	0.5601	8.310	0.6385	1.7056	0.1488
			R1	12.26	0.2523	20.570	3.0932	4.7988	0.2052
			R2	6.42	0.6452	26.990	4.1422	8.9410	0.2333
			R3	4.93	1.0569	31.920	5.2105	14.1515	0.3313
13	19	41	F	20.47	3.9767	52.390	81.4030	95.5545	0.4433
			FR0	43.45	0.7582	95.840	32.9438	120.4983	1.3841

Apendice 7 - Teor de Proteína por Fração de Produto de Moagem Obtido em Função de Unidade e Tempo de Condiçãoamento

Expto	Variável Independente		Passagem	Teor de Proteína	Teor com Proteína	Rendimento Farinha	Rend. Farinha	Total Proteína	Total Proteína	Teor de Proteína
	X ₁	X ₂	(% bs)	(%)	(S ₁)	(%)	(S ₁)	(S ₁)	(S ₁)	
1	19	7	01	6.08	6.08	4.21	4.21	25.5968	25.5968	6.0800
			02	6.73	12.81	3.26	7.47	21.9398	47.5366	6.3637
			03	8.32	21.13	1.27	8.74	10.5664	58.1030	6.6479
			R1	6.43	27.56	11.82	20.56	76.0026	134.1056	6.5226
			R2	6.79	34.46	6.823	27.385	46.3418	180.4474	6.5893
			R3	7.20	41.66	3.95	31.335	28.440	208.8874	6.6663
			F	14.64	56.30	18.31	49.645	268.0584	476.9458	9.6071
			FR0	7.91	64.21	46.17	95.615	265.2647	842.1505	8.7893
			01	6.82	6.82	4.13	4.130	28.1666	28.1666	6.820
			02	7.00	13.82	3.35	7.48	23.45	51.6166	6.9006
			03	7.06	20.88	1.01	8.49	7.1306	58.7472	6.9196
			R1	6.70	27.58	11.24	19.73	75.3086	134.0552	6.7945
			R2	6.64	34.22	7.18	26.91	47.6752	181.7304	6.7533
			R3	6.94	41.16	4.29	31.20	29.7726	211.5030	6.7789
2	16	12	F	10.17	10.17	14.88	46.08	151.3296	362.8326	7.8740
			FR0	8.02	18.19	49.82	95.90	399.5564	762.3890	7.9898
			01	6.42	6.42	3.98	3.980	25.5516	25.5516	6.420
			02	6.92	13.34	3.22	7.20	22.2824	47.8340	6.6436
			03	8.17	21.51	0.98	8.180	8.0066	55.8406	6.8265
			R1	6.48	27.99	12.69	20.87	82.2312	138.0718	6.6158
			R2	6.73	34.72	8.12	28.99	54.6476	192.7194	6.6754
			R3	7.11	41.83	4.71	33.70	53.4681	226.2075	6.7124
			F	14.76	56.59	19.44	53.140	286.9344	513.1419	9.6564
			FR0	8.23	64.82	38.90	92.04	320.147	833.2889	9.0536
			01	6.40	6.40	4.28	4.28	27.3920	27.3920	6.400
			02	6.70	13.10	2.93	7.21	19.651	47.0230	6.5219
			03	8.21	21.31	1.01	8.22	8.2921	55.3151	6.7293
			R1	6.22	27.53	10.75	18.97	66.8650	122.1801	6.4407
3	22	12	R2	6.40	33.93	7.99	26.96	51.136	173.3161	6.4286
			R3	6.70	40.63	5.13	32.09	34.371	207.6871	6.472
			F	14.85	55.48	17.23	49.32	255.8655	463.5526	9.989
			FR0	7.85	63.33	47.81	97.13	375.2005	838.8611	8.6365
4	19	24	01	6.40	6.40	4.28	4.28	27.3920	27.3920	6.400
			02	6.70	13.10	2.93	7.21	19.651	47.0230	6.5219
			03	8.21	21.31	1.01	8.22	8.2921	55.3151	6.7293
			R1	6.22	27.53	10.75	18.97	66.8650	122.1801	6.4407
			R2	6.40	33.93	7.99	26.96	51.136	173.3161	6.4286
			R3	6.70	40.63	5.13	32.09	34.371	207.6871	6.472
			F	14.85	55.48	17.23	49.32	255.8655	463.5526	9.989
			FR0	7.85	63.33	47.81	97.13	375.2005	838.8611	8.6365
			01	6.40	6.40	4.28	4.28	27.3920	27.3920	6.400
			02	6.70	13.10	2.93	7.21	19.651	47.0230	6.5219
			03	8.21	21.31	1.01	8.22	8.2921	55.3151	6.7293
			R1	6.22	27.53	10.75	18.97	66.8650	122.1801	6.4407
			R2	6.40	33.93	7.99	26.96	51.136	173.3161	6.4286
			R3	6.70	40.63	5.13	32.09	34.371	207.6871	6.472
			F	14.85	55.48	17.23	49.32	255.8655	463.5526	9.989
			FR0	7.85	63.33	47.81	97.13	375.2005	838.8611	8.6365

Continua...

Apendice 7, Cont.

Expto	Variável Independente		Passagem	Teor de Proteína	Teor com Proteína	Rendimento Farinha	Rend. Farinha	Total Proteína	Total Proteína	Teor de Proteína
	λ_1	λ_2	(% bs)	(%)	(%)	(S ₁)	(S ₁)	(S ₁)	(S ₁)	Proteína
5	19	24	01	6.37	6.37	3.82	3.82	24.3334	24.3334	6.3700
			02	6.67	13.04	2.89	6.71	19.2763	43.6097	6.4992
			03	7.93	20.97	0.99	7.70	7.8507	51.4604	6.6832
			R1	6.13	27.10	9.910	17.61	60.7483	112.2087	6.3219
			R2	6.91	34.01	6.55	24.16	45.2603	157.4692	6.5178
			R3	7.03	41.04	4.21	28.37	29.5963	187.0655	6.5938
			F	15.50	56.54	19.14	47.51	296.67	483.7355	10.1818
			FR0	7.81	64.35	46.42	93.93	362.5402	846.2757	9.0096
			01	5.97	5.97	4.01	4.01	23.9397	23.9397	5.9700
			02	6.45	12.42	2.93	6.94	18.8985	42.8382	6.1727
6	19	24	03	7.78	20.20	0.93	7.87	7.2354	50.0736	6.3626
			R1	6.21	26.41	11.05	18.92	68.6205	118.6941	6.2777
			R2	6.45	32.86	6.99	25.91	45.0855	163.7796	6.3211
			R3	6.87	39.73	4.64	30.55	31.8768	195.6564	6.4045
			F	15.13	54.86	19.82	50.37	299.8766	495.5330	9.8379
			FR0	7.90	62.76	45.61	95.98	360.319	855.8520	8.9170
			01	6.16	6.16	3.880	3.88	23.9008	23.9008	6.1600
			02	7.12	12.28	2.79	6.67	19.8648	43.7656	6.5616
			03	8.09	20.37	0.93	7.60	7.5237	51.2893	6.7486
			R1	6.52	26.89	11.42	19.02	74.4584	125.7477	6.6113
7	19	24	R2	6.10	32.99	5.91	24.93	36.0510	161.7987	6.4901
			R3	6.70	39.69	4.12	29.05	27.6040	189.4027	6.5199
			F	14.73	54.42	20.57	49.62	302.9961	492.3938	9.9232
			FR0	7.85	62.27	44.41	94.030	348.6185	841.0173	8.9441
			01	5.90	5.90	3.90	3.90	23.01	23.0100	5.9000
			02	6.68	12.58	2.81	6.710	18.7708	41.7808	6.2266
			03	8.00	20.58	0.95	7.66	7.600	49.3808	6.4466
			R1	6.08	26.66	10.67	18.33	64.8726	114.2544	6.2332
			R2	6.26	32.92	6.30	24.63	39.438	153.6924	6.240
			R3	6.62	39.54	3.94	28.57	26.0828	179.7752	6.2924
8	19	24	F	16.07	55.61	19.73	48.300	317.0611	496.8363	10.2865
			FR0	8.06	63.67	45.48	93.78	366.5688	863.4051	9.2067
			01	6.57	70.24	3.510	3.51	23.0607	23.0607	6.5700
			02	5.95	5.95	3.12	6.63	18.5640	41.6247	6.2782
			03	8.26	14.21	1.12	7.75	9.2512	50.8759	6.5246
			R1	6.32	20.53	13.58	21.33	85.8256	136.7015	6.4089
			R2	6.63	21.16	7.52	28.85	49.8576	186.5591	6.4665
			R3	6.82	33.98	5.36	34.21	36.5552	223.1143	6.5219
			F	13.64	47.62	22.73	56.94	310.0372	533.1515	9.3634
			FR0	8.32	55.94	36.20	93.14	301.1840	834.2355	8.9579
9	23.2	24	01	6.57	70.24	3.510	3.51	23.0607	23.0607	6.5700
			02	5.95	5.95	3.12	6.63	18.5640	41.6247	6.2782
			03	8.26	14.21	1.12	7.75	9.2512	50.8759	6.5246
			R1	6.32	20.53	13.58	21.33	85.8256	136.7015	6.4089
			R2	6.63	21.16	7.52	28.85	49.8576	186.5591	6.4665
			R3	6.82	33.98	5.36	34.21	36.5552	223.1143	6.5219
			F	13.64	47.62	22.73	56.94	310.0372	533.1515	9.3634
			FR0	8.32	55.94	36.20	93.14	301.1840	834.2355	8.9579
			01	6.57	70.24	3.510	3.51	23.0607	23.0607	6.5700
			02	5.95	5.95	3.12	6.63	18.5640	41.6247	6.2782

Continua...

Expto	Variável Independente		Passagem	Teor de Proteína	Teor com Proteína	Rendimento Farinha	Rend. Farinha	Total Proteína	Total Proteína	Teor de Proteína
	X_1	X_2	(% bs)	(%)	(%)	(S ₁)		(S ₁)		
10	14.8	24	Q1	6.57	6.57	4.25	4.25	27.9225	27.9225	6.5700
			Q2	7.73	14.30	3.39	7.64	26.2047	54.1272	7.0647
			Q3	9.65	23.95	0.88	8.52	1.4520	55.5792	6.5234
			R1	6.57	30.52	12.24	20.76	80.4168	135.9960	6.5509
			R2	6.57	37.09	7.74	28.50	50.8518	186.8478	6.5561
			R3	7.15	44.24	5.09	33.59	36.3935	223.2413	6.6461
			F	15.35	59.59	11.43	45.02	175.4505	395.6418	8.7892
			FR0	8.02	67.61	52.46	97.48	420.7292	816.4210	8.3753
11	16	36	Q1	6.67	6.67	4.17	4.17	27.8139	27.8139	6.6700
			Q2	7.19	13.86	3.75	7.92	26.9625	54.7764	6.9162
			Q3	9.34	23.20	1.01	9.93	9.4334	64.2078	6.4662
			R1	7.00	30.20	11.88	20.81	83.1668	147.3698	7.0817
			R2	7.13	37.33	6.68	27.49	47.6284	194.9982	7.0934
			R3	7.56	44.89	6.45	33.94	46.7620	243.7602	7.1821
			F	16.28	61.17	13.65	47.59	222.2220	465.9822	9.7916
			FR0	6.40	67.57	45.66	93.25	295.2240	761.2062	8.1631
12	22	36	Q1	5.73	5.73	3.38	3.38	19.3674	19.3674	5.7300
			Q2	6.89	12.62	3.05	6.43	11.8645	31.2319	4.8572
			Q3	8.05	20.67	1.07	7.50	8.6135	39.8454	5.3127
			R1	6.22	26.89	11.64	19.14	72.4008	112.2462	5.8645
			R2	6.71	33.60	7.23	26.37	48.5133	160.7595	6.0963
			R3	6.16	39.76	5.37	31.74	33.0792	193.8387	5.8598
			F	14.76	54.52	20.95	52.69	342.3012	536.1399	10.1754
			FR0	7.99	62.51	40.67	93.36	324.9533	861.0932	9.2234
13	19	41	Q1	6.72	6.72	4.06	4.060	27.2832	27.2832	6.7200
			Q2	6.84	13.56	3.11	7.170	21.2724	40.5556	6.7721
			Q3	7.88	21.44	1.14	8.31	8.9032	57.5388	6.9240
			R1	6.41	27.05	12.26	20.57	70.5868	136.1254	6.6177
			R2	6.41	34.26	6.42	26.99	41.1522	177.2776	6.5683
			R3	7.14	41.40	4.93	31.92	95.2002	272.4778	8.5363
			F	14.53	55.93	20.47	52.39	297.4291	569.9069	10.8782
			FR0	7.57	63.50	43.45	95.84	329.9165	899.8234	9.3888

Apêndice B - Quantidade de Amido por Passagem em Função de Umidade e Tempo de Condicionamento

Expto	Variável Independente		Produto (Passagem)	Quantidade Ferricianato (ml)	Quantidade Maltose (X)	Amido Danificado (F=1.64)
	X_1	X_2				
1	19	7	F01	0.91	2.27	3.72
			F02	0.86	2.15	3.53
			F03	1.04	2.60	4.27
			FR1	1.39	3.48	5.70
			FR2	1.52	3.90	6.24
			FR3	1.78	4.44	7.28
2	16	12	F01	0.78	1.96	3.22
			F02	0.70	1.76	2.89
			F03	0.88	2.20	3.61
			FR1	1.03	2.58	4.23
			FR2	1.43	3.57	5.85
			FR3	1.54	3.86	6.33
3	22	12	F01	0.86	2.14	3.51
			F02	0.84	2.09	3.43
			F03	0.96	2.39	3.92
			FR1	1.14	2.84	4.66
			FR2	1.31	3.27	5.37
			FR3	1.59	3.98	6.52
4	19	24	F01	0.86	2.16	3.55
			F02	0.90	2.24	3.68
			F03	1.08	2.70	4.42
			FR1	1.39	3.48	5.70
			FR2	1.46	3.66	6.01
			FR3	1.73	4.32	7.09
5	19	24	F01	0.81	2.02	3.32
			F02	0.94	2.35	3.85
			F03	0.56	2.40	3.94
			FR1	1.32	3.30	5.42
			FR2	1.56	3.89	6.38
			FR3	1.69	4.22	6.92
6	19	24	F01	0.76	1.89	3.10
			F02	0.91	2.27	3.72
			F03	0.86	2.16	3.55
			FR1	1.36	3.41	5.59
			FR2	1.42	3.62	5.93
			FR3	1.71	4.28	7.02

Continua...

Apendice B, cont.

Expto	Variável Independente		Produto (Passagem)	Quantidade Fernicianato (ml)	Quantidade Maltose (%)	Amido Danificado (F=1.64)
	X ₁	X ₂				
7	19	24	F01	0.84	2.10	3.45
			F02	0.71	1.77	2.91
			F03	0.93	2.33	3.82
			FR1	1.20	3.01	4.94
			FR2	1.40	3.49	5.73
			FR3	1.67	4.18	6.86
8	19	24	F01	0.72	1.79	2.94
			F02	0.86	2.16	3.55
			F03	0.94	2.36	3.87
			FR1	1.21	3.02	4.96
			FR2	1.35	3.37	5.52
			FR3	1.74	4.36	7.15
9	23.2	24	F01	0.57	1.42	2.33
			F02	0.78	1.96	3.21
			F03	0.80	2.01	3.30
			FR1	1.20	3.00	4.92
			FR2	1.27	3.18	5.22
			FR3	1.56	3.89	6.38
10	14.8	24	F01	0.77	1.92	3.15
			F02	0.93	2.33	3.82
			F03	1.04	2.61	4.20
			FR1	1.15	2.88	4.72
			FR2	1.20	3.01	4.93
			FR3	1.56	3.90	6.39
11	16	36	F01	0.83	2.07	3.39
			F02	0.77	1.92	3.15
			F03	0.98	2.45	4.01
			FR1	1.20	3.20	5.24
			FR2	1.42	3.55	5.82
			FR3	1.70	4.24	6.95
11	22	36	F01	0.62	1.55	2.55
			F02	0.71	1.77	2.90
			F03	0.94	2.34	3.84
			FR1	0.84	2.09	3.43
			FR2	1.14	2.85	4.67
			FR3	1.44	3.61	5.92

Continua...

Apêndice 8, cont.

Expto	Variável Independente		Produto (Passagem)	Quantidade Ferriicianato (ml)	Quantidade Maltose (X)	Amido Danificado (F=1.64)
	X ₁	X ₂				
13	19	41	F01	0.69	1.72	2.02
			F02	0.80	1.99	3.26
			F03	0.95	2.38	3.91
			FR1	1.15	2.88	4.73
			FR2	1.30	3.26	5.35
			FR3	1.57	3.92	6.43

Apêndice 7 - Avaliação da Cor de Farinha de Quebra (FQ1)

	X	Y	Z	L	a	b	BL	Ba	Bb	BE	C	BC
FQ1-1	80.02	82.83	98.57	91.04	-2.42	-0.47	77.77	-1.41	1.73	77.80	0.43	2.2318
FQ1-2	80.09	82.96	98.71	91.08	-2.44	-0.50	77.82	-1.42	1.70	77.85	0.44	2.2150
FQ1-3	80.74	83.61	99.25	91.44	-2.40	-0.35	78.17	-1.39	1.85	78.21	0.41	2.3140
FQ1-4	80.38	83.22	98.78	91.22	-2.36	-0.34	77.76	-1.35	1.85	77.99	0.41	2.2902
FQ1-5	80.72	83.59	99.23	91.43	-2.40	-0.35	78.60	-1.39	1.85	78.20	0.41	2.3140
FQ1-6	80.37	83.22	98.74	91.22	-2.38	-0.32	77.96	-1.37	1.88	77.90	0.41	2.3262
FQ1-7	80.69	83.56	99.24	91.41	-2.40	-0.38	78.14	-1.39	1.82	78.18	0.42	2.2901
FQ1-8	80.44	83.29	98.92	91.26	-2.38	-0.38	78.00	-1.36	1.82	78.03	0.41	2.2720
FQ1-9	80.43	83.29	98.93	91.26	-2.40	-0.39	78.05*	-1.38	1.81	78.03	0.42	2.2761
FQ1-10	80.93	83.88	101.06	91.59	-2.54	-1.31	78.70	-1.47	0.8	78.72	0.60	1.6736
FQ1-11	80.57	83.52	100.86	91.39	-2.56	-1.46	78.51	-1.49	0.66	78.52	0.63	1.6296
FQ1-12	80.66	83.58	100.83	91.42	-2.50	-1.40	78.54	-1.43	0.72	78.55	0.61	1.6010
FQ1-13	81.53	84.49	100.76	91.92	-2.53	-1.28	79.03	-1.48	0.63	79.05	0.59	1.6085

Apendice 10 - Avaliação da Cor de Farinha de Quebra 2 (FQ2)

	X	Y	Z	L	a	b	BL	Ba	Bb	BE	C	BC
FQ2-1	80.52	83.44	99.73	91.35	-2.51	-0.79	78.08	-1.49	1.36	78.11	0.50	2.0173
FQ2-2	80.37	83.30	99.73	91.27	-2.54	-0.90	78.00	-1.52	1.26	78.03	0.79	1.9743
FQ2-3	80.34	83.20	99.56	91.26	-2.56	-0.80	77.99	-1.54	1.33	78.02	0.51	2.0480
FQ2-4	80.70	83.62	99.95	91.44	-2.50	-0.79	78.18	-1.48	1.36	78.20	0.50	2.0100
FQ2-5	80.36	83.28	99.74	91.26	-2.52	-0.92	77.99	-1.50	1.23	78.02	0.53	1.9298
FQ2-6	81.36	84.32	101.04	91.83	-2.54	-0.96	78.56	-1.52	1.19	78.58	0.54	1.9304
FQ2-7	80.68	83.59	99.87	91.43	-2.48	-0.77	78.16	-1.47	1.39	78.19	0.49	2.0231
FQ2-8	80.26	83.18	99.53	91.20	-2.52	-0.86	77.94	-1.51	1.29	77.96	0.79	1.9860
FQ2-9	80.57	83.50	99.89	91.38	-2.52	-0.85	78.11	-1.50	1.30	78.14	0.58	1.9849
FQ2-10	81.00	83.85	98.62	91.57	-2.35	0.24	78.30	-1.47	2.40	78.35	0.35	2.8144
FQ2-11	81.01	83.86	98.67	91.58	-2.35	0.22	78.31	-1.47	2.37	78.36	0.35	2.7889
FQ2-12	81.12	83.97	98.78	91.64	-2.34	0.23	78.37	-1.46	2.39	78.42	0.35	2.8007
FQ2-13	81.06	83.91	98.72	91.60	-2.35	0.22	78.34	-1.47	2.38	78.39	0.35	2.7974

Apendice 11 - Avaliação da Cor de Farinha de Ouchra 2 (FQ3)

	X	Y	Z	L	a	b	BL	Ba	Bb	BE	C	BC
FQ3-1	72.26	74.80	85.29	86.49	-2.17	2.07	73.26	-1.15	4.24	73.59	0.36	4.3532
FQ3-2	72.85	75.39	86.00	86.83	-2.18	2.05	73.60	-1.16	4.22	73.73	0.36	4.3765
FQ3-3	72.46	74.99	85.47	86.60	-2.14	2.10	73.37	-1.12	4.27	73.50	0.36	4.4144
FQ3-4	72.47	74.98	85.26	86.59	-2.14	2.24	73.36	-1.12	4.40	73.50	0.37	4.5403
FQ3-5	71.65	74.18	84.56	86.13	-2.23	2.08	72.90	-1.21	4.25	73.03	0.37	4.4189
FQ3-6	72.68	75.22	85.62	86.73	-2.19	2.18	73.50	-1.17	4.35	73.64	0.37	4.5046
FQ3-7	72.30	74.81	85.33	86.49	-2.15	2.05	73.26	-1.13	4.22	73.39	0.36	4.3687
FQ3-8	72.83	75.41	85.72	86.84	-2.16	2.26	73.61	-1.14	4.43	73.75	0.37	4.5743
FQ3-9	72.45	74.97	85.41	86.59	-2.17	2.13	73.36	-1.15	4.30	73.49	0.36	4.4511
FQ3-10	72.15	74.72	86.21	86.44	-2.28	1.38	73.52	-1.35	3.57	73.62	0.35	3.8167
FQ3-11	72.34	74.91	86.36	86.55	-2.27	1.43	73.63	-1.34	3.62	73.33	0.35	3.8601
FQ3-12	71.74	74.31	85.91	86.20	-2.30	1.25	73.28	-1.38	3.45	73.37	0.35	3.7158
FQ3-13	72.60	75.18	86.66	86.71	-2.28	1.44	73.78	-1.35	3.63	73.89	0.35	3.8729