

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**ESTUDO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UMA
PLANTA DE PRODUÇÃO DE AMIDO DE MILHO**

Claudinéia Aparecida Queli Geraldi.
Eng.^a Química, M.Sc., UEM, 2006

Orientador: Prof. Dr. Nehemias Curvelo Pereira.

Tese de Doutorado submetida à Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Química, área de Desenvolvimento de Processos.

Maringá - PR - Brasil

Setembro / 2010

Catlogação na Publicação elaborada pela Biblioteca Universitária
UNIOESTE/Campus de Toledo – PR – Brasil.

G354e Geraldi, Claudinéia Aparecida Queli
 Estudo para a implementação de uma planta de produção
de amido de milho / Claudinéia Aparecida Queli Geraldi. --
Maringá, PR : [s. n.], 2010
 xx ; 182 f. : il., figs., tabs. (algumas color.)

 Orientador: Dr. Nehemias Curvelo Pereira
 Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade
Estadual de Maringá. Departamento de Engenharia Química,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

 1. Milho – Tecnologia de moagem 2. Moagem úmida 3.
Moagem seca 4. Tecnologia de alimentos 5. Amido de milho –
Estimativa de custo 6. Milho – Indústria 7. Milho - Análise
físico-química 8. Amido - Análise físico-química 9. Farelo -
Análise físico-química 10. Processamento de alimentos I.
Pereira, Nehemias Curvelo, Or. II.T

CDD 20. ed

664.725

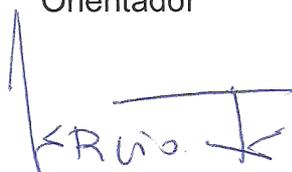
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Esta é a versão final da Tese de Doutorado apresentada por Claudinéia Aparecida Queli Geraldi perante a Comissão Julgadora do Curso de Doutorado em Engenharia Química em 27 de setembro de 2010.

COMISSÃO JULGADORA



Prof. Dr. Nehemias Curvelo Pereira
Orientador



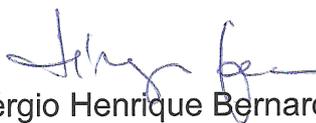
Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare
Membro



Prof. Dr. Edson Antonio da Silva
Membro



Prof. Dr. Oswaldo Curty da Motta Liam
Membro



Prof. Dr. Sérgio Henrique Bernardo de Faria
Membro



Profª Drª Sueli Teresa Davantel de Barros
Membro

Ao meu esposo Túlio
e ao meu filho Bruno.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

Ao professor Nehemias C. Pereira que mais uma vez atuou como orientador e amigo e que irei levar para sempre na memória os conselhos recebidos.

Ao professor, Laercio Mantovani Frare, que muito contribui para a realização deste trabalho.

A minha família, em especial ao meu esposo Túlio, pela dedicação, carinho e compreensão.

As minhas amigas Gianini Regina Luz e Leila Denise Fiorentini Ferrari, pela amizade, dedicação e colaboração indispensável na realização deste trabalho.

Aos acadêmicos de iniciação científica Daiane Aparecida Negrão de Oliveira, Djeine Cristina Schiavon, Francielle Midory Noda Gonçalves e Gustavo Tortola Heckert, que no seus caminhos de pesquisa puderam contribuir com este trabalho.

Aos funcionários do DEQ-UEM que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

ESTUDO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA DE PRODUÇÃO DE AMIDO DE MILHO

AUTORA: CLAUDINÉIA APARECIDA QUELI GERALDI

ORIENTADOR: PROF. DR. NEHEMIAS CURVELO PEREIRA

Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química; Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46 – 09, CEP: 887020-900 – Maringá – PR, Brasil, defendida em 27 de Setembro de 2010. 182 p.

RESUMO

Neste trabalho, foi desenvolvido um novo *layout* de processamento para a produção de amido de milho e seus subprodutos em substituição ao processo tradicional. Este desenvolvimento foi motivado pela diversidade de arranjos produtivos para produção de amido de milho encontrada na literatura e no setor industrial.

O *layout* levou em conta as peculiaridades do mercado brasileiro e apresentou inovação tecnológica, mesmo com a utilização de equipamentos tradicionalmente utilizados em fecularias para a produção de amido de milho, bem como a alteração no processo de maceração. O novo *layout* foi implementado em uma unidade industrial da região Oeste do Paraná.

Foram também realizadas análises físico-química dos grãos de milho híbrido, levemente dentado, safra 2007/2008, produzidos na região Oeste do Paraná, bem como do farelo de germe (produzido pelo processo de degerminação a seco), do amido e dos farelos de glúten 60 e glúten 21, obtidos pela moagem úmida do milho degerminado. As propriedades analisadas foram: percentuais de umidade, teor de amido, extrato etéreo, proteína total, cinzas, fibras, pH, granulometria, matéria estranha, impurezas, ardidos e brotados e grãos avariados.

Ainda neste trabalho, foi desenvolvida uma metodologia capaz de estimar os custos e investimentos envolvidos em um processo de produção de amido de milho e seus subprodutos. A metodologia aplicada utilizou uma estimativa de custos fundamentada em equipamentos nacionais e em correlações propostas por PERLINGEIRO (2005), permitindo avaliar, de maneira rápida e precisa, diferentes configurações de equipamentos durante a etapa de projeto do processo, determinando, assim, o custo final do quilograma de amido de milho.

O valor do quilograma de amido produzido com o novo *layout* mostrou-se extremamente competitivo quando comparado com os valores atuais praticado pelo mercado.

PLANT IMPLEMENTATION STUDIES FOR PRODUCTION OF CORN STARCH**AUTHOR: CLAUDINÉIA APARECIDA QUELI GERALDI****SUPERVISOR: PROF. DR. NEHEMIAS CURVELO PEREIRA**

Doctoral Thesis; Chemical Engineering Graduate Program; State University of Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46 – 09, CEP: 887020-900 – Maringá – PR, Brasil, presented on 27 th September 2010. 182 p.

ABSTRACT

In this work was developed a new layout processing for the production of corn starch and byproducts as compared to the traditional process. This development was motivated by the diversity of productive arrangements for the production of corn starch found in the literature and industry.

The layout took into account the peculiarities of the Brazilian market and introduced technological innovation by the use of equipment traditionally used in cassava starch manufacturers, for the production of corn starch, and by changes in the process of maceration. The new layout was implemented in an industrial unit in the West region of Parana.

Was performed the physical-chemical analysis of the grains of hybrid corn, slightly toothed, 2007/2008 crop produced in western of Parana state, and as germ bran (produced through dry degermination process), starch and bran of gluten 60 and gluten 21 obtained by wet milling of degerminated corn. The properties analyzed were percentage of moisture, starch content, ether extract, total protein, ash, fiber, pH, granulometry, foreign bodies, impurity, rot and sprouted, grains damaged.

Although this study was developed a methodology capable to estimate the costs and investments involved in a production process of corn starch and byproducts. The methodology used a cost estimate based on national equipment and correlations proposed by PERLINGEIRO (2005), allowing evaluation, quickly and accurately, different configurations

of equipment during the design stage of the process, thus determining the final cost of kilogram of corn starch.

By comparing the values of kilogram of starch produced with the market price and with cassava starch price, were observed that the starch simulated in this study presented values extremely competitive.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Classificação do milho quanto ao tipo de grão	8
2.2 O grão de milho - Estrutura anatômica e composição química.....	9
2.2.1 Proteínas do endosperma do milho	13
2.2.2 Teor de lisina e triptofano no grão de milho	14
2.2.3 Arranjo do amido e proteína e a textura do grão de milho.....	16
2.2.4 Germe	17
2.3 Industrialização do milho	18
2.4 Qualidade do grão de milho para a indústria de moagem úmida	21
2.4.1 Classificação do milho	23
2.5 Maceração do milho.....	24
2.5.1 Ação do ácido láctico.....	27
2.5.2 Ação do dióxido de enxofre	29
2.6 Hidratação dos grãos	31
2.7 Composição química do amido de milho	32
2.8 Composição química do farelo de glúten de milho (glúten 60).....	36
2.9 Composição química do farelo de glúten de milho (glúten 21).....	37
2.10 Composição química do gritz de milho (farelo de milho degerminado).....	38
2.11 Composição química do farelo de germe de milho	38
2.12 Introdução aos métodos de estimativas de custos e investimentos para processos..	39
2.12.1 Definições sobre custos.....	39
2.12.2 Definições sobre investimento	42
2.12.3 Receita e lucro	44
2.13 Métodos para estimativas de custos.....	45
2.14 Estimativa de custos das utilidades	47
2.15 Introdução à análise econômica de um processo.....	47
2.15.1 Valor presente líquido (VPL) e Taxa interna de retorno (TIR).....	48
2.15.2 Método do payback period (PBP)	49
3. LAYOUT DESENVOLVIDO	51
3.1 Determinação do Layout Produtivo	51

3.2 Layout Proposto	55
3.2.1 Transporte.....	56
3.2.2 Recepção e pesagem do milho	56
3.2.3 Silo de armazenagem	56
3.2.4 Pré-limpeza.....	56
3.2.5 Degerminadeira	56
3.2.6 Tanque de maceração	57
3.2.7 Cevadeira.....	57
3.2.8 Peneiras cônicas rotativas (GL).....	57
3.2.9 Centrífuga.....	57
3.2.10 Desidratador do farelo de glúten 60	58
3.2.11 Desidratador	58
3.2.12 Secagem	58
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
4.1 Materiais e Métodos.....	59
4.2 Metodologia para levantamento de custos da planta.....	63
5. BALANÇO DE MASSA E ENERGIA	64
5.1 Balanço energético nos tanques de maceração.....	64
5.2 Balanço energético nos secadores	66
5.3 Balanço energético no trocador de calor – Região A	67
5.3.1 Ar Ambiente	67
5.3.2 Vapor da Caldeira.....	67
5.3.3 Cálculo da vazão volumétrica de ar ambiente.....	67
5.3.4 Cálculo do volume específico do ar ambiente	67
5.3.5 Cálculo das vazões de ar seco e umidade (ar ambiente)	68
5.3.6 Cálculo da energia do ar ambiente	68
5.3.7 Cálculo da energia do ar na saída do trocador	69
5.3.8 Cálculo do calor trocado	69
5.3.9 Cálculo da vazão mássica de vapor necessário para a troca térmica.....	69
5.3.10 Cálculo da área de troca térmica	69
5.4 Balanço energético na região B – Secagem ideal.....	70
5.4.1 Balanço global no secador.....	71
5.4.2 Secagem do farelo de germe	71
5.4.3 Secagem do amido	74

5.4.4 Secagem do farelo de glúten 60	78
5.4.5 Secagem do farelo de glúten 21	81
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
6.1 Caracterizações dos produtos, milho, farelo de germe, farelo de glúten 60, farelo de glúten 21 e amido de milho.....	85
7. CUSTOS.....	94
7.1 Processo utilizado para estimar os custos	94
7.2 Equações utilizadas para estimar o custo do amido de milho.....	95
7.3 Estimativa de custos de acordo com correlações envolvendo equipamentos nacionais.	96
8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	108
ANEXOS	122

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Teores aproximados de amilose e amilopectina de amidos alimentícios.....	6
Tabela 2 – Maiores produtores mundiais de milho.....	6
Tabela 3 – Produção nacional de milho em mil toneladas.....	7
Tabela 4 – Percentagem do constituinte total indicado nas estruturas físicas específicas do grão de milho.	11
Tabela 5 – Apresenta as especificações do amido de milho. Resolução - CNNPA N.º 12, de 1978 do Ministério da Saúde.....	35
Tabela 6 – Especificações do farelo de glúten de milho 60.....	36
Tabela 7 – Especificações do farelo de glúten de milho 21.....	37
Tabela 8 – Especificações para o gritz (canjica) de milho.....	38
Tabela 9 – Especificações para o farelo de germe de milho.	38
Tabela 10 – Análises realizadas no grão de milho, amido e farelos.....	59
Tabela 11 – Modelos de distribuição granulométrica.....	61
Tabela 12 – Diâmetro médio de Sauter para cada modelo de distribuição de tamanhos.	62
Tabela 13 – Propriedades da água para o cálculo da massa de vapor requerida na maceração.	65
Tabela 14 – Propriedades do vapor saturado para o cálculo da massa de vapor requerida na maceração.	65
Tabela 15 – Resultado do balanço de energia no secador de farelo de germe.....	73
Tabela 16 – Resultado do balanço de energia no trocador de calor utilizado no secador de farelo de germe.	74
Tabela 17 – Resultado do balanço de energia no secador de amido.....	76
Tabela 18 – Resultado do balanço de energia no trocador de calor utilizado no secador do amido.....	77
Tabela 19 – Resultado do balanço de energia no secador de farelo de glúten 60.....	80
Tabela 20 – Resultado do balanço de energia no trocador de calor utilizado no secador de farelo de glúten 60.	81
Tabela 21 – Resultado do balanço de energia no secador de farelo de glúten 21.....	83
Tabela 22 – Resultado do balanço de energia no trocador de calor utilizado no secador de farelo de glúten 21.	84

Tabela 23 – Resultados médios da classificação realizada nas amostras de grão do milho.	85
Tabela 24 – Resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de grão de milho.	85
Tabela 25 – Resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de farelo de germe.	86
Tabela 26 – Resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de farelo de glúten 60.	87
Tabela 27 – Resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de farelo de glúten 21.	88
Tabela 28 – Resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de amido de milho.	88
Tabela 29 – Resultados dos cálculos para o Modelo Log Normal.	90
Tabela 30 – Resultado dos cálculos para modelo Gates Gaudin Shumann (GGS).	91
Tabela 31 – Resultados dos cálculos utilizando o modelo Rosin Rammler Bennet (RRB)	91
Tabela 32 – Resultado do teste F	93
Tabela 33 - Correlações obtidas para equipamentos nacionais em função do tipo e do intervalo de operação válido.	97
Tabela 34 - Descrição dos equipamentos, utilizados na simulação do processo de produção de amido de milho e dos farelos, para a estimativa de custos.	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Aspectos anatômicos da planta de milho.....	5
Figura 2 – Tipos de milho e as relativas proporções do endosperma farináceo e vítreo, PAES (2006).	8
Figura 3 - Anatomia do grão de milho e suas partes.....	10
Figura 4 - Fluxograma do processo tradicional de moagem de milho por via úmida (LOPES FILHO, 1997).	19
Figura 5 - Microscopia eletrônica mostrando o formato dos grânulos de amido das cultivares Bolívia-2 (A), CatetoL237/67(B), Opaco-2 (C) e QPM BR 451 (D), (PEREIRA, 2006).....	33
Figura 6 – (a) Seção da cadeia de amilose e (b) detalhes da ramificação da amilopectina.	34
Figura 7 – Elementos envolvidos nos custos totais anuais (adaptado de MUSSATTI e VATAVUK, 2002).	40
Figura 8 – Elementos do investimento de capital total (adaptado de MUSSATTI e VATAVUK, 2002).	43
Figura 9 – Precisão e custos para a realização de estimativas, de acordo com a quantidade de informações disponíveis para plantas industriais (adaptado de TURTON <i>et al.</i> 2003).....	45
Figura 10 – Variação dos valores do índice M&S em função do tempo.	47
Figura 11 – Ilustração de um fluxo de caixa para as estimativas de um novo projeto de processos (adaptado de TURTON <i>et al.</i> 2003).....	49
Figura 12 – Fluxograma do processo proposto para a produção de amido de milho e dos farelos.	53
Figura 13 – Fluxograma do processo tradicional para a produção de amido de milho e dos subprodutos.....	54
Figura 14 – Regiões de troca térmica do secador pneumático tipo Flash Dryer.....	66
Figura 15 – Fluxograma do balanço de massa e energia para obtenção do farelo de germe de milho seco.	72
Figura 16 – Fluxograma do balanço de massa e energia para obtenção do amido de milho.	75

Figura 17 – Fluxograma do balanço de massa e energia para obtenção do farelo de glúten 60.	79
Figura 18 – Fluxograma do balanço de massa e energia para obtenção do farelo de glúten 21.	82
Figura 19 – Foto das partículas de amido de milho.	89
Figura 20 – Distribuição de tamanhos das partículas versus frequência acumulada.....	89
Figura 21 – Distribuição granulométrica utilizando o modelo Log Normal.	90
Figura 22 – Distribuição granulométrica utilizando o modelo Gates Gaudin Shumann (GGS).....	91
Figura 23 – Distribuição granulométrica utilizando o modelo Rosin Rammler Bennet (RRB).....	92
Figura 24 – Ajuste do modelo de distribuição granulométrica Rosin Rammler Bennet (RRB).....	93
Figura 25 – Custo do amido de milho em função da capacidade de moagem, considerando o valor de equipamentos nacionais e o investimento total calculado de acordo com a metodologia de PERLINGEIRO (2005).	99
Figura 26 – Comparativo de custo da fécula de mandioca, amido de milho comercial e do processo em estudo.....	100
Figura 27 – Estimativa do ponto de equilíbrio em função da capacidade de moagem..	101
Figura 28 – Estimativa da composição do custo do amido de milho em função da capacidade de moagem.	101
Figura 29 – Fluxo de caixa para as estimativas de um projeto para produção amido de milho.	102
Figura 30 – Margem de lucro em função da capacidade de moagem.	102
Figura 31 – Volume dos tanques de maceração em função da capacidade de moagem.	103
Figura 32 – Volume individual dos tanques de maceração em função da capacidade de moagem.	104
Figura 33 – Consumo de água em função da capacidade de moagem.	104
Figura 34 – Consumo de vapor em função da capacidade de moagem.....	105
Figura 35 – Volume de efluente em função da capacidade de moagem.	106
Figura 36 – Carga indutiva total em função da capacidade de moagem.	106
Figura 37 – Custo total dos equipamentos em função da capacidade de moagem.....	107

NOMENCLATURA

A_a	Área da superfície de troca térmica	m^2
A, B, C, D e R	Parâmetros da Equação 25	-
bhp	Potência da bomba.	cv
b.s.	Base seca (massa de água por massa de sólido seco)	-
b.u.	Base úmida (massa de água por massa de sólido úmido)	-
b.c.	Igual a b.u.	-
CAE	Iniciais de Custo Equivalente Anual. Permite encontrar o custo anual (ou mensal) que equivale ao investimento inicial. Ou seja, mostra qual é a quantia uniforme que deve ser investida a cada ano (ou mês) durante a vida útil que iguale o investimento inicial.	US\$ ou R\$
C_a	Capacidade de armazenagem	toneladas
C_{bomba}	Custo da bomba	R\$
C_c	Capacidade de classificação	t/dia
C_{class}	Custo do classificador	R\$
$C_{ciclones}$	Custo do ciclone	R\$
C_d	Capacidade de degerminação	t/h
C_{deger}	Custo da degerminadeira	R\$
C_s	Capacidade de secagem	t/dia
C_{sp}	Capacidade de separação dos ciclones	t/dia
$C_{DIRETOS}$	Custos diretos	US\$ ou R\$
CEPCI	Índice de correção de inflação associado aos custos de equipamentos nas indústrias químicas. Iniciais de <i>Chemical Engineering Plant Cost Index</i> .	US\$ ou R\$
C_{FIXOS}	Custos fixos	US\$ ou R\$
C_{GERAIS}	Custos gerais	US\$ ou R\$
$C_{MANUTENÇÃO}$	Custo de manutenção	US\$ ou R\$
$C_{MATPRIMA}$	Custo de matéria-prima	US\$ ou R\$
C_{MOBRA}	Custo da mão-de-obra	US\$ ou R\$

C_p	Capacidade calorífica	kJ/(kg K)
$C_{\text{PRODUÇÃO}}$	Custos relativos à produção	US\$ ou R\$
C_{secador}	Custo do secador pneumático	R\$
C_{sreto}	Custo silo de fundo reto	R\$
$C_{\text{scônico}}$	Custo do silo de fundo reto	R\$
$C_{\text{tinóx}}$	Custo tanque aço inóx	R\$
C_{tpolip}	Custo tanque de polipropileno	R\$
C_{TOTAL}	Custo total	US\$ ou R\$
$C_{\text{UTILIDADES}}$	Custo das utilidades	US\$ ou R\$
CP_{antigo}	Custo original no ano base em que foi obtido os dados de custos dos equipamentos	US\$
CP_{atual}	Custo do equipamento para o ano de interesse	US\$
D	Diâmetro da tubulação do secador	m
D'	Parâmetro do Modelo RRB (Rosin Rammler Bennet)	-
D_s	Diâmetro médio de Sauter	m
D_p	Diâmetro da partícula	m
D_{50}	Parâmetro do Modelo Log Normal	-
$F.C_t$	Representa o fluxo de caixa no t-ésimo período	US\$ ou R\$
f_0	Número de horas anuais de operação da planta	h
GL	Conjunto de peneiras cônicas rotativas	-
$G_{\text{1água}}$	Vazão mássica de água na saída do secador	kg/h
$G_{\text{1ar seco}}$	Vazão mássica de ar na saída do secador	kg/h
H	Entalpia	kJ/h
H_{entrada}	Entalpia de entrada	kJ/h
$H_{\text{saída}}$	Entalpia de saída	kJ/h
I_{FIXO}	Investimento fixo	US\$ ou R\$
I_{GIRO}	Capital de giro	US\$ ou R\$
I_{INDIRETO}	Investimento indireto	US\$ ou R\$
$ISBL$	Iniciais de inside battery limits	US\$ ou R\$
I_{TOTAL}	Investimento total	US\$ ou R\$
j	Taxa de juros anuais	-
j^*	Taxa de juros anuais no cálculo da Taxa Interna de Retorno	-

K	Parâmetro do Modelo GGS (Gates Gaudin Shumann)	-
LB	Lucro bruto	US\$ ou R\$
OSBL	Iniciais de <i>outside battery limits</i> , e significa o investimento realizado em itens relacionados com o processo, porém localizados fora da área de processamento.	-
p_i	Preço da matéria-prima ou da utilidade	US\$ ou R\$
$prod_i$	Preço de venda de um produto	US\$ ou R\$
Q	Vazão volumétrica	m^3/s
Q_A	Calor cedido pelo ar quente que passa pelo trocador de calor.	kJ/h
Q_B	Calor cedido pela umidade presente no ambiente.	kJ/h
Q_C	Calor recebido pela água evaporada.	kJ/h
Q_D	Calor recebido pelo produto a ser seco.	kJ/h
Q_E	Calor recebido pela umidade final do produto	kJ/h
Q_P	Perdas de calor para o ambiente.	kJ/h
Q_q	Calor	kJ/h
q_i	É a taxa de consumo horário da matéria-prima ou da utilidade	lb/h
m	Parâmetro do modelo GGS (Gates Gaudin Shumann)	kg/h
$m_{ar\ seco}$	Vazão mássica de ar seco	kg/h
$m_{água}$	Vazão mássica de água	kg/h
$M_{água}$	Massa de água evaporada na corrente de alimentação	kg
MLDT	Média logarítmica da diferença de temperatura	$^{\circ}C$
M&S	Índice de correção de inflação associado aos custos de equipamentos nas indústrias químicas. Representam as iniciais Marshall e Swift.	-
n	Parâmetro do Modelo RRB (Rosin Rammler Bennet)	-
R	Receitas de um empreendimento	US\$ ou R\$
R^2	Coeficiente de correção	-
t	Tempo	ano
T	Temperatura	$^{\circ}C$

T_{en}	Temperatura de entrada do ar no secador	$^{\circ}\text{C}$
TIR	Iniciais de Taxa Interna de Retorno. É a taxa de retorno esperada do projeto de investimento	%
UA	Umidade absoluta	kg vapor/ kg ar seco
U_D	Coeficiente global de troca térmica	$\text{kJ/m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$
UR	Umidade relativa	%
v	Velocidade do ar	m/s
VE	Volume específico	m^3/kg
$VE_{\text{ar seco}}$	Volume específico do ar seco	m^3/kg
VE_{Sat}	Volume específico do ar saturado	m^3/kg
VI_{antigo}	Valor de um índice (CEPCI ou M&S) no ano base no qual foram obtidos os custos dos equipamentos	-
VI_{atual}	Valor de um índice de referência (CEPCI ou M&S) para o ano de interesse	-
V_i	É o volume do tanque de aço inóx	-
V_i	Volume do tanque de aço inóx	m^3
V_p	Volume do tanque de polipropileno	m^3
VPL	Iniciais de Valor Presente Líquido. É definido como a diferença entre o valor inicial investido no projeto (I_{TOTAL}) e o valor presente dos fluxos de caixa projetados.	R\$
ΔH	Diferença de entalpia	kJ/h
ΔT	Diferença de temperatura	$^{\circ}\text{C}$

Símbolos Gregos

λ	Calor latente de vaporização por massa de água	kJ/kg
σ	Parâmetro do Modelo Log Normal	-

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a indústria moageira de milho utiliza principalmente a “moagem seca”, enquanto que nos países mais desenvolvidos a principal forma de processamento do milho é a “moagem úmida”. A qualidade física e química dos grãos é, portanto, determinada pelo seu destino ou uso final.

O processo que permite a obtenção de vários produtos derivados do milho inicia-se pela moagem úmida, que separa o grão nos seus componentes básicos: germe, fibra, amido e proteína (glúten). O principal objetivo da moagem úmida é a máxima recuperação possível do amido, com alta qualidade para uso industrial em geral (têxtil, papel e celulose, adesivos) e na indústria de alimentos, normalmente usado como amido modificado, para melhorar propriedades de vários produtos.

O principal e mais importante estágio da moagem úmida é a maceração dos grãos em solução de dióxido de enxofre sob condições controladas. As mudanças físicas, químicas e bioquímicas induzidas durante este período, são responsáveis pela qualidade e pelo rendimento dos produtos obtidos pós-moagem. Na indústria, os grãos são macerados com solução de 0,1 – 0,2 % de SO₂ e na temperatura de 50 – 54 °C, por 48 horas. As condições do processo permitem o desenvolvimento de *Lactobacillus sp.*, que, a partir da utilização dos açúcares solúveis na água de maceração, produzem ácido lático, reduzindo o pH do meio e promovendo condições favoráveis para a separação dos componentes do grão. Outros fenômenos que ocorrem nesta etapa são o amolecimento dos grãos, a liberação dos grânulos de amido das matrizes de proteínas por meio da quebra das pontes de enxofre e a inibição do crescimento de microorganismos de deterioração (ECKHOFF, 1991). Esta operação requer grandes investimentos, elevados custos de manutenção, grandes espaços físicos de instalações, longos períodos, assim como um alto consumo de energia (ECKHOFF, 1991), que limitam a taxa de produção de amido.

Na tentativa de minimizar custos, reduzir o tempo necessário para a maceração e, portanto, melhorar o processo, estudos têm sido realizados por vários pesquisadores, podendo-se destacar os trabalhos de HASSANEN e ABDEL-WAHED (1986), ROUSHDI *et*

al. (1981), ECKHOFF e TSO (1991); LOPES-FILHO (1995) entre outros. Muitas das novas tecnologias propostas encontram resistência por parte das indústrias moageiras para se modificar os métodos tradicionais, em função, principalmente, da necessidade de grandes investimentos. LOPES-FILHO (1995) propôs que a etapa da maceração dinâmica e moagem intermitente dos grãos, de forma que, ao contrário do processo convencional, os grãos sejam macerados sob agitação e moídos em intervalos de tempo pré-estabelecidos, obtendo-se, ao final, uma mistura pronta para a etapa de separação dos germes. Desta forma, é possível reduzir drasticamente o tempo total de maceração em até cinco vezes (LOPES-FILHO, 1997), visto que a fase de difusão do SO_2 é a principal e a responsável pelo longo tempo de maceração necessário, devido as suas limitações difusionais.

Com o objetivo de minimizar custos e melhorar a etapa do processo de maceração de uma planta tradicional, foi proposta, neste trabalho, a maceração, aqui denominada de não convencional, que ocorre em temperatura e concentração de SO_2 controladas, mas a água utilizada não é trocada durante o período de maceração. Deste modo, quando do carregamento dos tanques, a água permanece durante 48 horas no mesmo tanque, sendo promovida sua circulação no próprio tanque.

O objetivo deste trabalho foi propor um novo *layout* e realizar uma análise econômica da implementação de uma planta para produção de amido de milho, permitindo assim um comparativo de custos de amido produzido (simulado neste trabalho) e o praticado pelo mercado. Além disso, foram verificadas as características físicas e químicas dos grãos de milho, do farelo de germe (obtido pelo processo de degerminação a seco), do amido, do farelo de glúten 60 e do farelo de glúten 21 pelo processo de moagem úmida. Para isto, foram utilizados grãos de milho produzidos na região Oeste do Paraná, da safra 2007/2008. Os rendimentos de farelo de germe foram determinados utilizando-se o processo de moagem seca, enquanto que o amido e os subprodutos foram obtidos a partir da moagem úmida utilizando o processo de maceração não convencional. Análises de proteína foram realizadas em todos os produtos obtidos nas moagens para verificar a pureza dos mesmos e a eficiência do processo.

Neste trabalho, é apresentado, durante a revisão bibliográfica, feita no capítulo 2, um estudos sobre os principais processos de produção de amido de milho e dos subprodutos, com destaque para o processo de moagem úmida. Neste mesmo capítulo, também são apresentados os principais métodos de análise econômica frequentemente utilizados em projeto de processos.

No capítulo 3, são apresentados os materiais e os métodos utilizados durante a fase experimental deste trabalho, permitindo determinar um conjunto de análises experimentais conforme os padrões industriais, e também os métodos utilizados nas análises de custo.

No capítulo 4, está apresentado o novo layout desenvolvido para a produção de farelo de germe pelo processo de moagem seca e de amido de milho, farelo de glúten 60 e 21 pelo processo de moagem úmida.

Balanços de massa e energia realizados no processo de produção de amido e dos farelos, com o objetivo de obter altos níveis de produção de amido e um menor consumo energético, estão inseridos no capítulo 5.

Os resultados dos testes realizados em uma planta industrial em operação, com o objetivo de determinar as características de cada produto, estão apresentados no capítulo 6. No capítulo 7, é apresentada uma análise econômica envolvendo modelos matemáticos para estimativas de custos para equipamentos nacionais, a fim de se determinar o investimento total necessário para se obter o amido de milho e os farelos.

Por fim, no capítulo 8, são apresentadas as principais conclusões sobre o trabalho desenvolvido, bem como sugestões para trabalhos futuros.

CAPITULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O milho é originário provavelmente do México, sendo o sítio arqueológico mais antigo que foi encontrado este cereal, situa-se no Vale de Tehuacan com cerca de 7.000 anos de idade. A inflorescência fêmea desde milho com mais de 5.000 anos antes de Cristo tinha um elevado grau de especialização, o que inclui a possibilidade de terem sido disseminadas suas sementes por via natural. Portanto, o milho mais antigo que se tem notícia/registo já dependia de humanos para sua sobrevivência (BENSON e PEARCE, 1984).

Segundo BENSON e PEARCE (1984), o milho é uma planta anual da família das gramíneas com sistema radicular fasciculado, caule ereto e com uma folha simples a cada nódulo. É uma planta monóica de polimerização cruzada, possui partes feminina (espiga) e masculina (pendão) separadas. Normalmente, o pendão localiza-se no topo da planta e a espiga no meio, conforme apresentado na Figura 1. Milhos comerciais possuem de 300 a 1000 grãos por espiga e cada planta possui de uma a duas espigas.

Em 1492, Cristóvão Colombo observou, pela primeira vez, a existência de milho na costa norte de Cuba. Embora possam ter havido contatos anteriores da Europa com o Novo Mundo e seja possível que o milho tenha alcançado o Velho Mundo em épocas anteriores, Colombo aparentemente levou grãos de milho ao regressar a Espanha, em sua viagem, na primavera de 1493. Nesta época o milho já era cultivado do sul do Canadá até o centro do Chile, embora fosse pouco cultivado nas planícies recobertas por gramíneas ou savanas, da parte central dos Estados Unidos e Norte da Argentina. Aquele tipo de agricultura, que consistia em derrubadas e queimadas, muito usadas pelos índios do Novo Mundo, era impróprio para as áreas recobertas com gramíneas (BENSON e PEARCE, 1984).

O milho adapta-se a diferentes condições de solo, clima e tecnologia. Dentre as culturas mais cultivadas no mundo, o milho é a que tem maior produção por área.

O milho é uma fonte de energia, proteína, gordura e fibras tanto para o consumo humano como animal. Em comparação com outras fontes de amido, ele apresenta variabilidade quanto ao tipo de amido produzido, sendo encontrados diferentes teores de

amilose e amilopectina, possibilitando propriedades funcionais diferentes, conforme apresentado na Tabela 1.

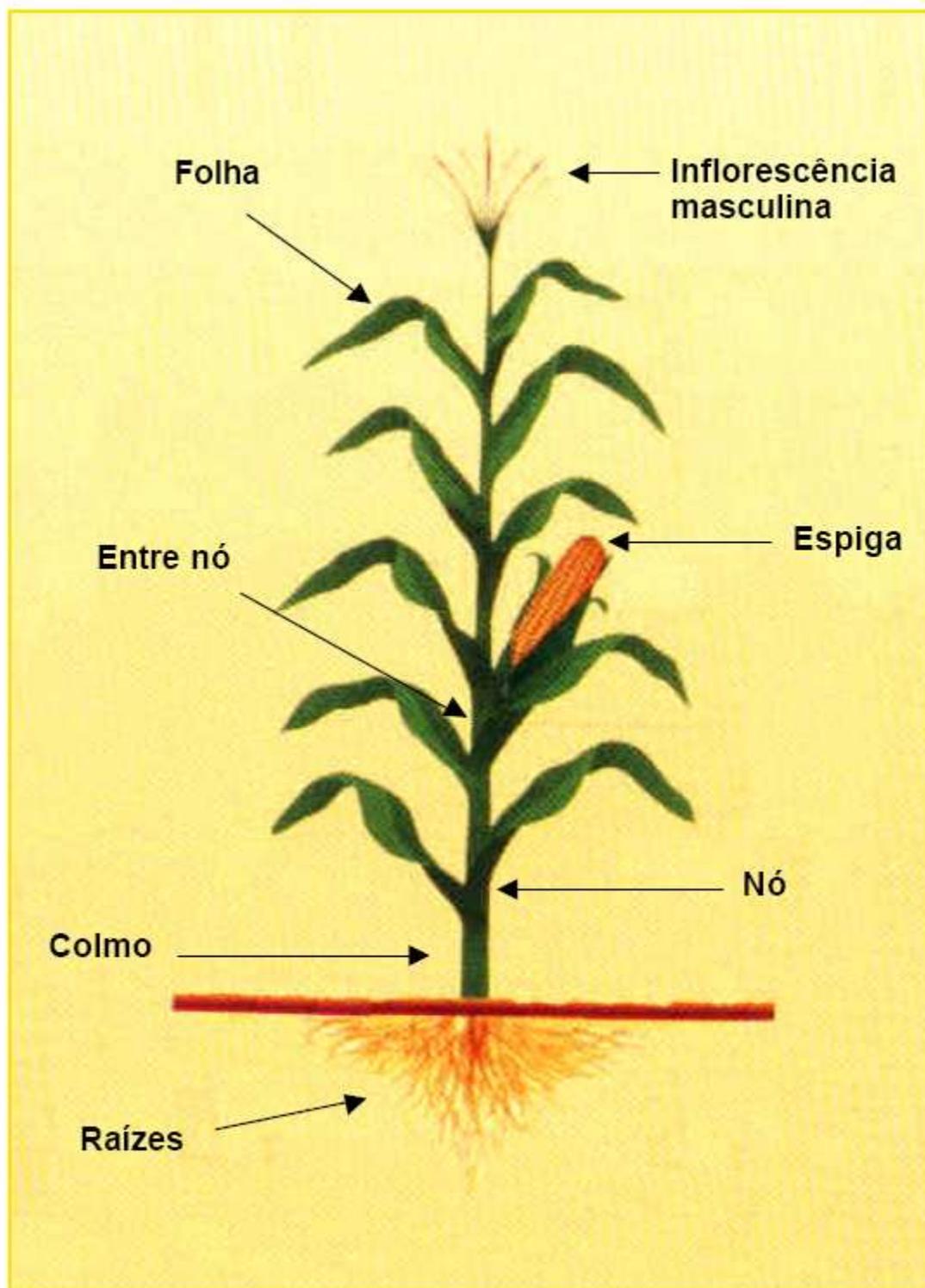


Figura 1 – Aspectos anatômicos da planta de milho.

(FANCELLI e LIMA, 1982)

Tabela 1 – Teores aproximados de amilose e amilopectina de amidos alimentícios.

Fonte de amido	Teor de amilose %	Teor de amilopectina %
Milho dentado	25	75
Milho ceroso	< 1	> 99
Milho alta amilose	55-70	45-30
Mandioca	17	83
Batata	20	80
Trigo	25	75
Arroz	19	81

Fonte: TOMAS e ATWEEL, 1997.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, depois dos Estados Unidos e da China (FAO 2009), conforme os dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Maiores produtores mundiais de milho.

País	2003	2004	2005	2006	2007/2008
	(1.000 t)				
Estados Unidos	256.278	299.914	282.311	267.598	332.092
China	116.001	130.438	139.502	151.600	151.830
Brasil	48.327	41.788	35.113	51.000	58.600
México	20.701	21.670	18.012	22.350	22.650
Índia	11.152	14.984	14.172	15.100	19.310
Argentina	15.045	14.951	20.483	22.500	20.500

Fonte: www.corn.org/estatistica (Acesso: 10/04/2010).

A Região Sul do país é a maior produtora de milho, destacando-se o Paraná como o maior produtor nacional. A Tabela 3 apresenta as produções das últimas safras e a estimativa de produção para a safra 2009/2010.

Tabela 3 – Produção nacional de milho em mil toneladas.

REGIÃO/UF	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09 Previsão (1)	2009/10 Estimativa (2)
NORTE	1.089,7	1.107,8	1.129,2	1.243,0	1.372,8	1.247,5	1.189,3
RR	43,3	26,0	24,4	24,4	12,8	12,8	13,0
RO	275,4	267,8	286,2	302,4	383,9	327,4	306,7
AC	52,0	63,3	53,4	56,2	42,0	44,2	43,3
AM	15,7	25,0	23,2	44,3	35,2	30,0	31,4
AP	1,2	1,3	1,2	1,8	2,4	3,0	2,9
PA	522,9	566,0	572,9	532,3	622,8	565,2	524
TO	179,2	158,4	167,9	281,6	273,7	264,9	268
NORDESTE	3.002,6	2.969,4	3.242,4	3.106,2	4.396,0	4.642,4	4.349,1
MA	430,4	405,1	424,4	447,1	490,4	504,1	583,5
PI	134,0	195,5	233,2	179,0	322,9	495,4	382,8
CE	372,8	257,1	740,4	335,6	752,5	554,9	730,7
RN	58,3	29,4	52,5	37,9	53,8	43,0	36,0
PB	135,3	90,2	168,8	70,8	128,5	166,3	81,6
PE	67,1	141,7	221,1	95,6	185,6	212,1	192,9
AL	21,7	48,6	52,7	46,0	44,4	46,6	44,9
SE	126,2	165,6	189,8	197,5	451,3	614,8	478,4
BA	1.656,8	1.636,2	1.159,5	1.696,7	1.966,6	2.005,2	1.818,3
CENTRO-OESTE	9.355,0	7.823,1	9.592,2	12.994,0	16.686,2	15.564,1	16.839,1
MT	3.446,4	3.384,4	4.028,3	5.864,9	7.806,8	8.081,7	9.284,0
MS	2.353,0	1.396,9	2.241,0	2.951,4	3.524,3	2.311,9	2.912,3
GO	3.372,3	2.814,8	3.088,8	3.887,5	5.031,1	4.898,9	4.420,0
DF	183,3	227,0	234,1	290,2	324,0	271,6	222,8
SUDESTE	10.649,1	10.302,8	9.651,9	10.353,2	11.417,6	10.935,0	10.385,0
MG	6.000,4	6.172,3	5.280,8	6.256,8	6.629,1	6.543,5	5.997,5
ES	125,2	119,6	83,6	90,7	95,3	96,9	94,3
RJ	23,9	26,4	26,6	23,5	19,8	20,4	17,7
SP	4.499,6	3.984,5	4.260,9	3.982,2	4.673,4	4.274,2	4.275,5
SUL	18.032,1	12.803,6	18.899,2	23.673,3	24.779,7	18.614,8	21.374,6
PR	11.192,1	8.414,3	11.173,0	13.851,3	15.368,3	11.100,8	12.294,1
SC	3.340,3	2.818,4	3.178,4	3.863,5	4.089,4	3.265,2	3.798,4
RS	3.499,7	1.570,9	4.547,8	5.958,5	5.322,0	4.248,8	5.282,1
NORTE/NORDESTE	4.092,3	4.077,2	4.371,6	4.349,2	5.768,8	5.889,9	5.538,4
CENTRO-SUL	38.036,2	30.929,5	38.143,3	47.020,5	52.883,5	45.113,9	48.598,7
BRASIL	42.128,5	35.006,7	42.514,9	51.369,7	58.652,3	51.003,8	54.137,1

8º levantamento - Maio de 2010

(1) Dados preliminares: sujeitos a mudança.

(2) Dados estimados: sujeitos a mudança.

Fonte: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/MilhoTotalSerieHist.xls> (Acesso: 10/04/2010).

2.1 Classificação do milho quanto ao tipo de grão

Baseadas nas características do grão, existem cinco classes ou tipos de milho: dentado, duro, farináceo, pipoca e doce. A maioria do milho comercial produzido nacionalmente é do tipo duro ou *flint*, enquanto, nos países de clima temperado, a predominância é do tipo dentado.

A principal diferença entre os tipos de milho é a forma e o tamanho dos grãos, definidos pela estrutura do endosperma e o tamanho do germe (Figura 2). Milhos duros diferem dos milhos farináceos e dentados na relação entre endosperma vítreo e endosperma farináceo. Nos milhos dentados, o endosperma farináceo concentra-se na região central do grão, entre a ponta e o extremo superior. Nas laterais dessa faixa e no verso do grão está localizado o endosperma vítreo. Durante a secagem do grão, o encolhimento do endosperma farináceo resulta na formação de uma indentação na parte superior do grão, caracterizando o milho como dentado. O milho duro possui um volume contínuo de endosperma vítreo, que resulta em grãos lisos e mais arredondados, com uma aparência dura e vítrea. Nos grãos do tipo farináceo, existe a mesma indentação do milho dentado, porém o endosperma é completamente farináceo, resultando em uma aparência opaca. Os grãos de milho-pipoca possuem o pericarpo mais espesso, com o endosperma predominantemente vítreo, porém os grãos possuem menor tamanho e formato mais arredondado. Já os grãos de milho doce, quando secos, possuem aparência enrugada, isto porque os genes *sugary* ou *brittle* previnem a conversão dos açúcares em amido e o grão passa a acumular fitoglicogênio, um polissacarídeo solúvel. HOSENEY (1994); JOHNSON (2000), citado por PAES (2006).

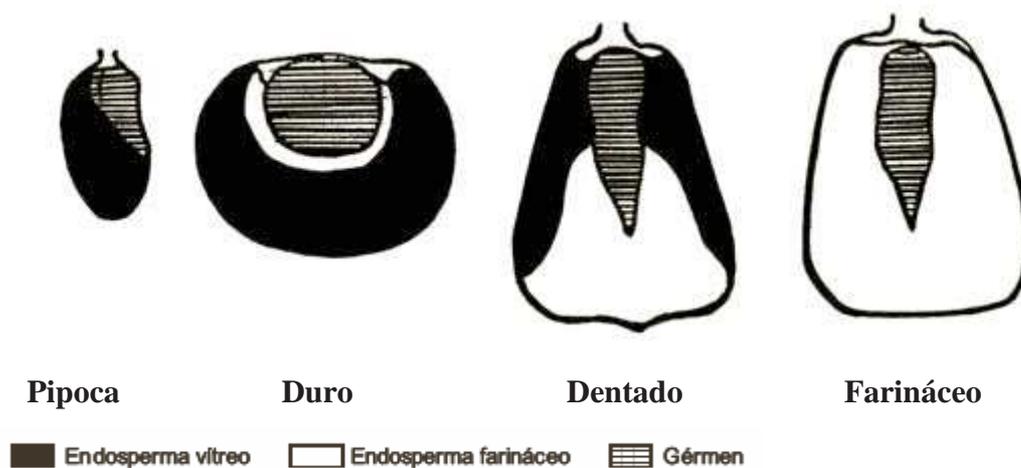


Figura 2 – Tipos de milho e as relativas proporções do endosperma farináceo e vítreo, PAES (2006).

Geralmente, a classificação do milho quanto ao tipo dos grãos procede quando os grãos já estão secos e ainda aderidos ao sabugo, uma vez que, numa mesma espiga, pode haver grãos com aparência de dois tipos, devendo ser classificado com base na predominância.

O milho não possui apenas aplicação alimentícia. Ao contrário, os usos dos seus derivados estendem-se às indústrias química, farmacêutica, de papéis, têxtil, entre outras de aplicações ainda mais nobres. Entretanto, são dois processos que dão origem aos produtos utilizados em outros processos industriais: a moagem seca e a moagem úmida. No Brasil, a principal indústria moageira de milho é a do tipo “moagem seca”, enquanto nos países mais desenvolvidos a principal forma de processamento do milho é a “moagem úmida”. A qualidade física e química dos grãos é, portanto, determinada pelo seu destino ou uso final.

Existem, hoje, no mercado: milhos com alto teor de óleo (6 a 7,5 % e alto teor de proteína (>12%), destinados à alimentação animal; alto teor de amilose, com propriedades importantes para a indústria alimentícia e de papel; alto teor de amilopectina (milho ceroso), para a indústria alimentícia e também de produção de adesivos; alto teor de ácido graxo oléico, para a produção de margarinas e também óleos de fritura especiais; alto teor de aminoácidos (lisina e triptofano), com melhor qualidade protéica; milhos com amido de fácil extração, destinados à indústria de produção de álcool a partir de milho. Novos conceitos de qualidade do milho têm surgido com as novas demandas e os resultados de pesquisas. Atualmente, o milho não pode mais ser considerado uma *commodity*, dada à importância de seus usos e a existência de cultivares com propriedades distintas.

2.2 O grão de milho - Estrutura anatômica e composição química

Os grãos do milho são, geralmente, amarelos ou brancos, podendo apresentar colorações variando desde o preto até o vermelho. O peso individual do grão varia, em média, de 250 a 300 mg e sua composição possui aproximadamente 70 a 73 % de amido, 9 a 10 % de proteínas, 4 a 5 % de óleo, 1 a 2 % de cinzas, 2% de açúcares e 9 a 10 % de fibras (SHANDERA *et. al.* 1995). Conhecido botanicamente como uma cariopse, o grão de milho é formado por quatro principais estruturas físicas: endosperma, germe, pericarpo (casca) e ponta (Figura 3), as quais diferem em composição química e, também, na organização dentro do grão.

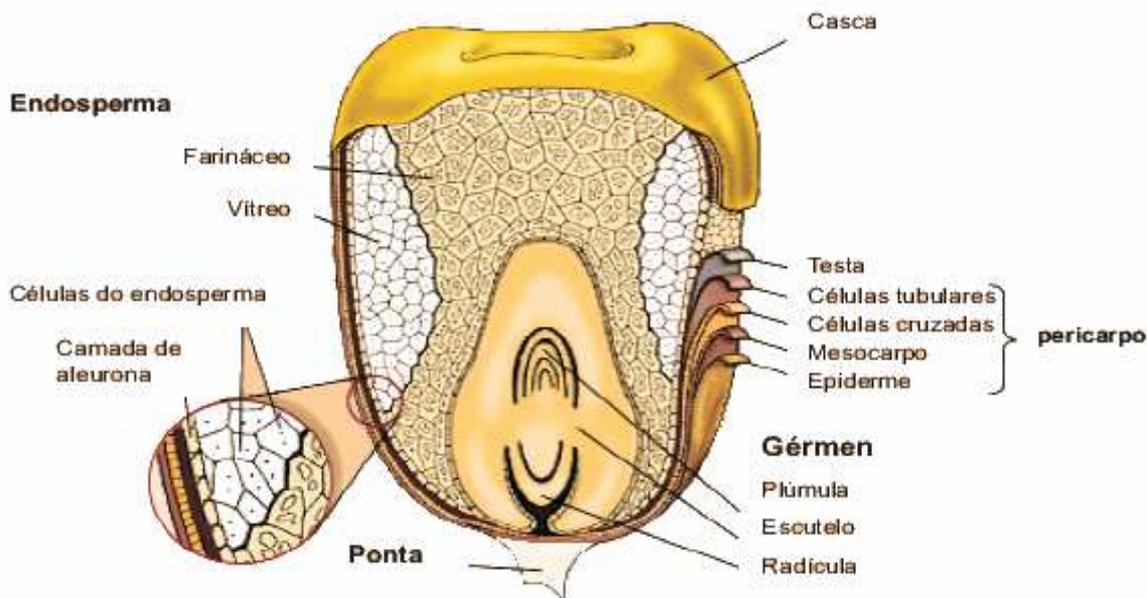


Figura 3 - Anatomia do grão de milho e suas partes.

Fonte: adaptado de PAES (2006).

O endosperma representa cerca de 83% do peso do grão, o embrião, em média, 11% e o pericarpo, 5% (MITTELMAN, 2001). O endosperma e o embrião resultam da dupla-fertilização (DUMAS e MOGESEN, 1993), sendo, tipicamente, o endosperma constituído de 90% de amido e 10% de proteína (GIBBON e LARKINS, 2005). Aproximadamente 70% das proteínas do endosperma são constituídas por várias classes de zeínas (GIBBON & LARKINS, 2005). Por apresentarem a maior parte do grão maduro, os componentes do endosperma são essenciais na definição das qualidades físicas e estruturais (GUIMARÃES, 1994).

O endosperma é constituído por grânulos de amido envolvidos por uma matriz protéica. A compactação é o fator mais importante da microestrutura relacionada à dureza dos grãos de milho, ou seja, quando os grãos são muito compactos tendem a ser duros, com altos valores de proteína e, no entanto, baixos valores de amido. A dureza de um grão apresenta dois significados. O primeiro, é com relação à composição física do grão relacionada à textura do endosperma, que varia de vítrea até farinácea, devido aos diferentes arranjos dos grânulos de amido. O segundo, é com relação à força requerida para quebrar o grão (susceptibilidade à quebra) (DUARTE, 2007).

No endosperma, estão também presentes as proteínas de reserva (8%) do tipo prolaminas, chamadas zeínas. Essas proteínas formam os corpos protéicos que compõem a matriz que envolve os grânulos de amido dentro das células no endosperma.

No endosperma, especificamente na camada de aleurona e no endosperma vítreo, estão presentes os carotenóides, substâncias lipídicas que conferem a cor aos grãos de milho. Zeaxantina, luteína, betacriptoxantina, alfa e beta caroteno são os principais carotenóides nos grãos de milho. O germe representa 11% do grão de milho e concentra quase a totalidade dos lipídeos (óleo e vitamina E, 83%) e dos minerais (78%) do grão, além de conter quantidades importantes de proteínas (26%) e açúcares (70%). Na Tabela 4, estão apresentadas as percentagens dos constituintes do grão de milho, em base seca.

Tabela 4 – Percentagem do constituinte total indicado nas estruturas físicas específicas do grão de milho.

% da parte (base seca)							
Fração	%grão	Amido	Lipídeos	Proteínas	Minerais	Açúcares	Fibras
Endosperma	82	98	15,4	74	17,9	28,9	-
Germe	11	1,3	82,6	26	78,4	69,3	12
Pericarpo	5	0,6	1,3	2,6	2,9	1,2	54
Ponta	2	0,1	0,8	0,9	1,0	0,8	7,0

Fonte: Adaptado de WALSON (2005), citado por PAES (2006).

O germe é a única fração viva do grão, estando presentes as proteínas do tipo albuminas, globulinas e glutelinas, que diferem significativamente, em composição e organização molecular, daquelas encontradas no endosperma e, por conseguinte, diferindo das primeiras em qualidade nutricional e propriedades tecnológicas. As proteínas de reserva, encontradas em maior abundância no grão de milho, são ricas nos aminoácidos metionina e cisteína, mas são pobres em lisina e triptofano, essenciais à nutrição humana e de alguns monogástricos. Por esse motivo, a qualidade da proteína, em milhos normais, é baixa, correspondente a 65% daquela presente no leite, considerada um padrão para a nutrição humana. Por outro lado, as proteínas de reserva possuem quantidades elevadas dos aminoácidos glutamina, leucina, alanina e prolina, que conferem alta hidrofobicidade ao resíduo protéico extraído do endosperma no processo de produção do amido de milho (SHOTWELL e LARKINS, 1989). Esse produto é considerado, nos países desenvolvidos, como de grande importância industrial, sendo utilizados como matéria-prima para a fabricação de filmes comestíveis destinados ao revestimento de frutas, verduras e grãos, a fim de estender a vida de prateleira desses produtos. Além desse uso, as zeínas são, utilizadas na fabricação de fibras para várias aplicações, no encapsulamento de sementes e ainda na

fabricação de embalagens biodegradáveis (LAWTON (2004)), citado por PAES (2006). A composição do óleo presente no germe do milho é distinta da dos outros óleos vegetais quanto aos percentuais de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e polinsaturados. Entretanto, o óleo de milho possui composição de ácidos graxos polinsaturados semelhante aos óleos de soja e girassol. Nesses óleos vegetais, o principal componente é o ácido graxo linoléico, contendo um pequeno percentual do ácido graxo linolênico, considerados essenciais à nutrição humana e a de alguns animais, dada a incapacidade de síntese dos mesmos pelo organismo.

O pericarpo representa, em média, 5% do grão, sendo a estrutura que protege as outras estruturas do grão da elevada umidade do ambiente, insetos e microrganismos. As camadas de células que compõem essa fração são constituídas de polissacarídeos do tipo hemicelulose (67%) e celulose (23%), embora também contenham lignina (0,1%). A ponta é a menor estrutura, 2% do grão, e é responsável pela conexão do grão ao sabugo, sendo a única área do grão não coberta pelo pericarpo. Sua composição é essencialmente de material lignocelulósico.

O amido do milho contém dois tipos de moléculas: amilose e amilopectina, na proporção de 27% e 73%, respectivamente, conferindo a esse ingrediente um alto valor energético, pois seu elevado conteúdo de amido encontra-se na forma facilmente digerível. Ainda como característica do milho, pode-se citar sua alta palatabilidade, riqueza em caroteno, alto teor de fósforo, porém baixo nível de cálcio.

A seleção de cultivares para a qualidade nutricional pode ser realizada a partir de simples avaliação do conteúdo de frações protéicas específicas (CARVALHO *et al.* 1996).

A velocidade de secagem de milho em espiga duplica ao elevar-se a temperatura de secagem de 15°C, sendo que existem acentuadas diferenças entre genótipos de milho quanto à sensibilidade à exposição à alta temperatura no processo de secagem (ROMANO, 1997).

A composição química das sementes e grãos varia com a espécie e entre cultivares por fatores genéticos e até mesmo, dentro das cultivares, influenciada por fatores ambientais (GUIMARÃES, 1999).

Na qualidade nutricional dos grãos, a herança genética é o principal fator, porém esta qualidade também se expressa como resultado de uma série de fatores externos, tais como a região de plantio, devido às diferenças edáficas e climáticas, técnicas de cultivo e métodos de processamento dos grãos.

2.2.1 Proteínas do endosperma do milho

O grão de milho contém de 8 a 11 % de proteína e o endosperma contribui com aproximadamente 70% (FAO, 1993; SHEWRY e HALFORD, 2002). A qualidade da proteína do milho depende da quantidade e do balanço de aminoácidos essenciais, portanto, a composição de aminoácidos do grão inteiro reflete a composição das proteínas do endosperma, embora as proteínas do embrião possuam um melhor balanço de aminoácidos (MITTELMANN, 2001).

A qualidade da proteína do milho é semelhante à maioria dos cereais, em geral deficientes em alguns aminoácidos essenciais (DIAZ, 2003; FAO, 1993). As proteínas do endosperma de milho podem ser separadas sequencialmente, de acordo com a sua solubilidade, em diferentes solventes em quatro frações: albuminas, globulinas, prolaminas e glutelinas (OSBORNE e MENDEL, 1914).

As albuminas são solúveis em água, as globulinas, em soluções salinas e as glutelinas, em soluções alcalinas. As prolaminas, chamadas de zeínas do milho, são solúveis em álcool e correspondem a aproximadamente 52% do nitrogênio dos grãos. As albuminas, globulinas e o nitrogênio não protéico representam aproximadamente 18% do nitrogênio total e as glutelinas, 25% (BOYER e HANNAH, 2001).

As quatro classes de proteínas do endosperma podem ser divididas nas frações zeínas (prolaminas) e não-zeínas (albuminas, globulinas e glutelinas), que apresentam, respectivamente, baixo e alto teor de lisina e triptofano. A fração não-zeína apresenta funções estruturais, inibidoras de proteases, enzimáticas, proteção da semente contra patógenos e predadores, e biossintética; as frações zeínas apresentam a função de reserva (LOPES e LARKINS, 1993).

As zeínas são sintetizadas no retículo endoplasmático rugoso (RER) e estão localizadas no endosperma do grão de milho na forma de corpos protéicos. Correspondem a aproximadamente 70% da proteína total do milho e o padrão de sua síntese é o típico para a maioria dos cereais (GIBBON e LARKINS, 2005). O início da síntese ocorre de 8 a 12 dias após a polinização (DAP), sua síntese é máxima entre 16 e 35 DAP e continua até 40 a 45 DAP (TSAI, 1979 a e b). As zeínas compreendem quatro grupos estruturalmente distintos: alfa, beta, gama e delta-zeínas, que podem ser separadas com base no padrão eletroforético e no peso molecular (COLEMAN *et al.* 1996; LEITE *et al.* 1999 citados por SHEWRY e HALFORD, 2002).

A distribuição das diferentes classes de zeínas dentro dos corpos protéicos foi sugerida por LENDING e LARKINS (1989), estudando o endosperma em desenvolvimento.

Observou-se que os corpos protéicos apresentam diferentes tamanhos e composição. De modo geral, eles apresentam diâmetro variando entre 1 a 2 μm , estando a maioria entre 0,3 a 1,3 μm . Nas células mais próximas da aleuroma, os corpos protéicos são pequenos e contêm somente beta e gama-zeínas. Eles representam os estágios iniciais do desenvolvimento de um corpo protéico com aproximadamente 0,2 μm de diâmetro.

Os corpos protéicos maiores contêm alfa-zeínas e são encontrados nas camadas de células mais centrais do endosperma. As alfas-zeínas começam a se acumular, como lóculos discretos, dentro de uma matriz de gama e beta-zeínas, nos corpos protéicos. Ocasionalmente, os lóculos de alfa-zeínas fundem-se e preenchem o centro do corpo protéico, expandindo este para um diâmetro de 1 a 2 μm (LENDING e LARKINS, 1989).

Beta e gama-zeínas formam uma camada mais ou menos contínua na periferia, mas manchas pequenas de beta e, mais comumente, de gama-zeínas permanecem no interior. As delta-zeínas são encontradas principalmente no centro dos corpos protéicos, junto com as alfa-zeínas, indicando que nem todas as zeínas ricas em enxofre estão na periferia (ESEN e STELLER, 1992).

Os polipeptídeos das diferentes classes de zeínas variam, em tamanho, de 10 a 27 kDa. As alfa-zeínas possuem pesos moleculares de 19 a 22 kDa, correspondendo a aproximadamente 70% da fração total de zeínas e apresentam deficiência em aminoácidos essenciais, como lisina e triptofano, alto teor de glutamina (25%), leucina (20%), alanina (15%) e prolina (11%) (LOPES, 1993; NELSON, 1969; SHOTWELL & LARKINS, 1989). As beta-zeínas são proteínas de 14kDa e correspondem a aproximadamente 15% da fração de zeína. A proteína madura tem 160 aminoácidos e apresenta menos glutamina (16%), leucina (10%) e prolina (9%) do que as alfas-zeínas, mas apresenta mais aminoácidos sulfurados, metionina (11%) e cisteína (4%) (PEDERSEN *et al.* 1986).

As gama-zeínas apresentam peso molecular de 16 a 27 kDa, correspondendo a 20% das zeínas totais podendo chegar até 50%. Elas apresentam alto teor de aminoácidos sulfurados, sendo 23% de metionina e 4% de cisteína (KIRIHARA *et al.* 1988; ORTEGA e BATES, 1983). A zeína de 10 kDa, delta-zeína, é uma proteína pequena que apresenta 130 aminoácidos de comprimento (KIRIHARA *et al.*, 1988).

2.2.2 Teor de lisina e triptofano no grão de milho

As proteínas do grão de milho apresentam deficiência de aminoácidos essenciais, especialmente lisina e triptofano (NELSON, 1969). Foi também detectada a deficiência de

treonina e isoleucina, atribuída aos elevados teores de leucina, que prejudicam a sua absorção (BENTON *et al.* 1955, 1956; ZARKADAS *et al.* 1995 citados por MITTELMANN, 2001). Os aminoácidos lisina e triptofano são essenciais para a alimentação de humanos e animais monogástricos. No entanto, para a dieta tornar-se adequada, há necessidade de uma suplementação (DIAZ, 2003). Na formulação de rações, é comum o milho ser misturado com farelo de soja, pois este é capaz de compensar as deficiências em lisina e triptofano (MITTELMANN, 2001).

A lisina é um aminoácido de grande importância no metabolismo do cálcio. Estudos mostraram que humanos e monogástricos, com dieta com níveis adequados de lisina, apresentam um aumento na absorção e assimilação do cálcio (CIVITELLI *et al.* 1992 citados por DIAZ, 2003). O cálcio também está envolvido na produção de colágeno, elastina e carnitina (FLODIN, 1997 citado por DIAZ, 2003).

O triptofano permite uma boa saúde física e mental do ser humano, uma vez que está relacionado com a produção da serotonina, que permite o funcionamento normal do sistema nervoso (DIAZ, 2003). Na década de 1960, foram descobertas mutações capazes de modificar a qualidade protéica dos grãos de milho, aumentando o teor de lisina e triptofano, conhecidas como opaco (MERTZ *et al.* 1964) e *floury* (NELSON *et al.* 1965). Esse aumento foi consequência da reduzida expressão da fração zeína, nutricionalmente pobre, e um aumento da fração glutelina, que tem um melhor balanço de aminoácidos.

Um aspecto positivo da utilização do gene opaco-2 é o aumento do teor de lisina e triptofano e, também, a razão leucina/isoleucina (MERTZ *et al.* 1964; BRESSANI, 1991). A lisina é o primeiro aminoácido limitante no milho e o triptofano o segundo (DIAZ, 2003).

Os mutantes para alta lisina afetam adversamente várias características agrônômicas importantes, incluindo características do grão, limitando seu uso. Estes mutantes apresentam baixo teor de zeínas, endosperma macio e farináceo, baixo acúmulo de matéria seca, refletido em menor produção, peso dos grãos e densidade dos grãos do que um grão normal. Outras características que são observadas nesses mutantes são uma maior susceptibilidade ao ataque de pragas e doenças, contaminação por aflatoxinas, pericarpo mais fino e uma baixa intensidade na coloração amarela (PAIVA *et al.* 1991; YAU *et al.* 1999).

Esses efeitos variam entre os mutantes e limitam a utilização comercial desses genótipos (ORTEGA e BATES, 1983; TORO, 2001; VASAL, 2001; VILLEGAS *et al.* 1992). Esse problema foi parcialmente solucionado por meio de melhoramento genético, em que, por meio de retrocruzamentos e seleção recorrente, desenvolveram-se genótipos com alta

qualidade protéica e textura favorável, denominados “Quality Protein Maize” ou QPM (PAIVA *et al.* (1991) e VASAL (2001) citados por DIAZ, 2003).

O milho normal tem sete vezes mais zeínas que o QPM, mas as frações não-zeínas, nos genótipos Opaco-2, *floury-2* e QPM, são maiores que no milho normal, o que reflete uma melhor qualidade protéica nesses genótipos (DIAZ, 2003). Embora já existam variedades de milho QPM sendo comercializadas, estas ainda apresentam problemas de instabilidade fenotípica do grão.

2.2.3 Arranjoamento do amido e proteína e a textura do grão de milho

A textura do grão de milho é um aspecto de fundamental para os produtores e beneficiadores de grãos, pois é uma característica que está relacionada com densidade, suscetibilidade ao ataque de pragas e doenças, digestibilidade e quebra durante os processos de beneficiamento e armazenamento (CORREA *et al.* 2002; JOHNSOM *et al.* 2002; POMERANZ *et al.* 1984). Dois termos são comumente utilizados para se referir à textura do grão de milho, vitreosidade e dureza, embora não designem a mesma propriedade.

A vitreosidade está relacionada com a aparência do grão, enquanto que a dureza refere-se a uma propriedade física (SHULL, 1988). O endosperma dos grãos de milho contém uma complexa mistura de grãos de amido e corpos protéicos e, segundo DUVICK (1961), sua estrutura física depende do tipo de interação entre estes componentes, tendo as proteínas de armazenamento um papel importante na estrutura física do grão maduro.

Variações na estrutura física do grão têm sido associadas a variações no grau de compactação de componentes celulares, espessura da parede celular, ao tamanho das células do parênquima de reserva do endosperma, à espessura da matriz protéica em contato com os grânulos de amido e à força de adesão entre a matriz protéica e os grânulos de amido (ABDELRAMAN e HOSENEY, 1984; KRIZ, 1987; SIMMONDS *et al.* 1973).

Em estudos realizados com trigo, foi observado que a substância cimentante entre os grânulos de amido é constituída por carboidratos e proteínas, sendo que o endosperma duro contém mais proteína de reserva do que o endosperma farináceo e menores espaços intercelulares (GLENN *et al.* 1991; SIMMONDS *et al.* 1973;).

Em grãos de sorgo, milho e milheto, as proteínas de reserva são as responsáveis pela ligação entre o amido e as proteínas da matriz do endosperma, influenciando, portanto, a dureza do grão (ABDELRAHMAN e HOSENEY, 1984 e HOSENEY, 1987). A composição

e o arrançamento das proteínas de reserva do endosperma alteram a sua textura e, conseqüentemente, sua estrutura física.

Estudos mostraram que as regiões de endosperma duro do grão de milho possuem maior conteúdo de alfa-zeínas e gama-zeínas (PAIVA *et al.* 1991). Também foi observado que a gama zeína de 27 kDa tem grande participação na formação do endosperma vítreo, uma vez que se observa o aumento dessa zeína nos genótipos QPM (vítreos) comparados aos farináceos Opaco-2 (WALLACE *et al.* 1990). Esse aumento das zeínas nos corpos protéicos leva a um aumento no diâmetro destes, o que, provavelmente, proporciona uma melhor compactação dos grânulos de amido no endosperma do QPM (DANNENHOFFER *et al.* 1995).

Foi também observado que grãos de milho de textura farinácea apresentam grânulos de amido maiores e corpos protéicos menores do que nos grãos vítreos (KRIZ, 1987). Esse padrão também é observado no sorgo, no qual verificou-se que há maior conteúdo de proteína no endosperma vítreo e os grânulos de amido são menores que os do endosperma farináceo (CAGAMPANG *et al.* 1985).

Em estudos de microscopia eletrônica com milho, constatou-se que os grânulos de amido do endosperma de milho normal duro apresentam um melhor empacotamento e forma poligonal e os do endosperma farináceo têm espaços intergranulares maiores e forma arredondada (ROBUTTI *et al.* 1974; WALL e BIETZ, 1987). GIBBON & LARKINS (2005) observaram que, em genótipos de QPM, os grânulos de amido apresentam um perfeito empacotamento com os espaços entre eles perfeitamente preenchidos, enquanto que, no mutante Opaco-2, não se observa esse comportamento. Considerando a importância da dureza do grão de milho, estudos que busquem esclarecer os fatores que afetam essa característica utilizando genótipos nacionais, são importantes para os programas de melhoramento que visam ao desenvolvimento de cultivares com grãos com alto valor protéico e textura favorável.

2.2.4 Germe

De forma geral, a composição química do germe também pode variar, mas em média, possui os seguintes teores: 8,3% de amido, 31,0 a 39,6 % de óleo, 18,4 % de proteína, 10,5% de cinzas e 10,8% de açúcar, segundo (WATSON, 1987). O tamanho do germe pode variar em função da posição do grão na espiga, pois grãos do meio da espiga possuem germes, conseqüentemente, maiores quantidades de óleo que os grãos localizados nas extremidades da

espiga (WATSON, 1987). Além de óleo, o germe armazena nutriente e hormônios que são mobilizados por enzimas elaboradoras nos estágios iniciais da germinação. Todas as células do embrião e escutelo são potencialmente ativas, metabolicamente, quando hidratadas.

O germe é dividido basicamente em embrião e escutelo que funciona como um órgão nutritivo do embrião. O óleo de milho ocorre quase exclusivamente no escutelo sendo depositado nos corpos oleosos. Estes reservatórios microscópicos, chamados corpos oleosos, são envolvidos por uma parede fina composta basicamente por três partes: proteína-lipídio-proteína, de modo que o lado lipofílico está voltado para dentro da matriz lipídica (WEBER, 1987).

Os lipídios do milho estão representados pelo extrato etéreo, palmítico (12%), esteárico (2%), oléico (27%), linoléico (55%) e linolênico (0,8%), sendo o ácido linoléico de suma importância na alimentação das aves e suínos.

2.3 Industrialização do milho

Os grãos de milho podem ser industrializados por duas vias: moagem úmida e moagem seca, gerando diversos subprodutos. Aqueles obtidos pelo processo de moagem úmida apresentam maior valor agregado do que os obtidos por moagem a seco.

O processamento a seco do milho é essencialmente realizado por meio de moagem. O milho, após ser seco, tem sua umidade elevada a 20%. O germe é removido para a extração do óleo, sendo o restante do milho separado por meio de peneiras. O processo industrial consiste, basicamente, em limpeza, degerminação, moagem e separação dos componentes do milho, que são o griz, também conhecido como farinha grosseira, e o germe. O griz representa 72% do volume de milho processado, sendo vendido no meio industrial e principalmente, no seguimento consumidor, na forma de fubá, creme de milho, farinha de milho ou canjica (FERNANDES, 1998).

O processo industrial do milho a partir da moagem úmida tem como objetivo a obtenção de amido e outros subprodutos como germe, proteína e fibra (RAMIREZ *et al.* 2008). A Figura 4 apresenta o Fluxograma do processo tradicional para produção de amido de milho, por meio da moagem úmida. Os componentes básicos do milho (amido, fibra, proteína e germe) são separados de maneira mais eficiente que no processo de moagem a seco. Os produtos resultantes são também de qualidade superior. Os principais produtos deste processo são matérias-primas para a produção de amidos alimentícios, amidos modificados, dextrinas,

xaropes de glucose, maltose, maltodextrina, dextrose, óleo, farinhas protéicas especiais, etc., cujo processamento industrial exige qualidade e pureza (ABIMILHO, 2010).

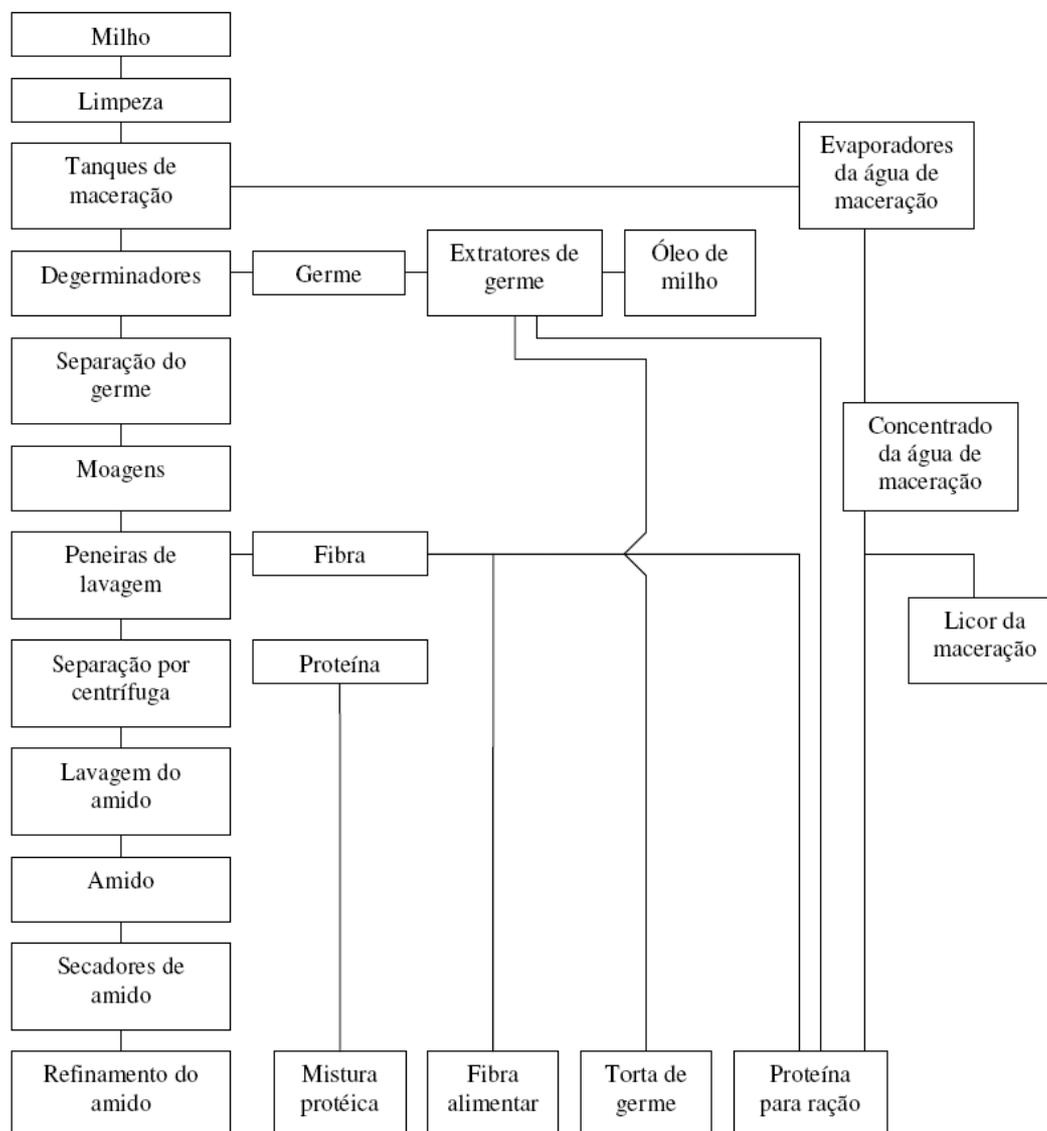


Figura 4 - Fluxograma do processo tradicional de moagem de milho por via úmida (LOPES FILHO, 1997).

A indústria de moagem de milho, no início, por volta de 1880, descartava a fibra, o germe e a proteína do milho. Estas indústrias se tornaram mais rentáveis quando descobriram o valor destes subprodutos na alimentação animal e extração de óleo. Estas extrações e o aproveitamento destes subprodutos não apenas reduziram o custo de extração do amido como também reduziram suas perdas e melhoraram sua qualidade (RAMIREZ *et al.* 2008).

O processo por via úmida inicia-se com a chegada do milho à indústria e sua limpeza, para retirada de impurezas, palhas e outros materiais, por meio de peneiras e ciclones ou por

sopradores pneumáticos, além de separadores magnéticos para retiradas de peças metálicas. Em seguida, os grãos vão para os tanques chamados maceradores, onde recebem água a 50 a 55 °C, em corrente contínua. Os tanques são conectados entre si por um sistema de tubos e bombas que movimentam a água de um tanque para o outro, passando através de trocadores de calor para aquecimento da solução.

Numa bateria em operação, os grãos com maior tempo de maceração estão em contato com a água mais recentemente introduzida ao sistema e que contém pequenas quantidades de sólidos solúveis e elevado teor de SO₂. O milho mais novo do sistema recebe a solução que já passou por todos os outros tanques, contendo, portanto, grandes quantidades de sólidos e baixos teores de SO₂. É, a partir deste momento, que, por cerca de oito horas, ocorre o desenvolvimento de fermentações lácticas.

O ácido láctico produzido diminui o pH da solução de maceração, limitando o crescimento de outros organismos, além de causar maciez nos grãos. Estas condições favorecem a difusão da água e do próprio ácido para o interior do grão. O milho macerado segue para o processo de extração do amido e de seus subprodutos (MONENTE, 2003).

A difusão do SO₂ é um fator limitante do processo devido a sua lentidão. Ele promove a assepsia no início do processo, além de evitar a germinação, e é responsável pela ruptura das matrizes protéicas no endosperma do grão, liberando os grânulos de amido e ativando enzimas proteolíticas que, por sua vez, aumentam a eficiência da liberação de amido. O grão fica por até 48 horas macerando e atinge cerca de 50% de umidade em base úmida (ECKHOFF *et. al.* 1993).

A água de maceração, que contém cerca de 6% de sólidos e é posteriormente evaporada até atingir concentrações de 45 a 50 % de matéria seca, pode ser comercializada para composição de rações, como meio de cultura para fermentações industriais ou iscas atrativas no combate a mosca das frutas em pomares cítricos (FERNANDES, 1998).

Os grãos que saem dos tanques de maceração são moídos em moinhos de discos e a massa obtida segue para os hidrociclones, nos quais ocorre a separação dos germes. Normalmente, os processos que propõem a quebra das sementes secas produzem excessiva danificação nos germes. Pedacos de germes são de difícil separação nos hidrociclones e o óleo por eles liberado é absorvido pela proteína e não pelo amido, segundo WATSON (1984). Uma vez separados, os germes sofrem a extração de óleo, via solvente, produzindo um subproduto denominado de germe desengordurado de milho (*corn germ meal*). O restante do material que passa pelos hidrociclones é constituído de amido, glúten e fibras, que, após uma segunda moagem em moinhos de disco, resulta em uma pasta que segue por uma série de

sarilhos e peneiras vibratórias ou por centrifugas verticais, separando a fibra, e deixando passar o amido e o glúten. A fibra é drenada por prensagem, misturada com água de maceração concentrada, e eventualmente com farelo de germe, originando outro subproduto denominado farelo protéico de milho (*corn gluten feed*) (FERNANDES, 1998).

O amido e o glúten, em suspensão aquosa, são separados em centrífugas verticais de alta rotação. O glúten na forma de pasta é seco e moído, transformando-se no subproduto denominado farelo ou farinha de glúten de milho (*corn gluten meal*), ou protenose. O amido é filtrado e seco, podendo ser usado em sua forma natural ou transformado em glucoses, maltoses, dextrinas e amidos modificados, como ingrediente na fabricação de inúmeros produtos industriais, alimentícios e não alimentícios (FERNANDES, 1998).

A moagem úmida envolve um alto investimento industrial, sendo fundamental uma otimização do processo para o sucesso do empreendimento. Dentre as fases mais importantes, destacamos a maceração como a mais onerosa. KROCHTA *et al.* (1981) afirmam que a maior parte da energia gasta na moagem, que se caracteriza por um processo de uso intensivo de energia, acontece durante a maceração para aquecer e manter a temperatura do processo e concentrar a água de maceração, e não para promover a secagem do germe, fibra, glúten e amido.

2.4 Qualidade do grão de milho para a indústria de moagem úmida

A qualidade do grão de milho para a indústria de moagem úmida é fundamental tanto no processo, como na qualidade dos produtos obtidos. Há fatores inerentes ao próprio grão como a textura, tamanho e cor, e fatores resultantes das condições climáticas do local de cultivo, dos processos de produção e colheita e dos procedimentos pós-colheita (FERNANDES, 1998).

WANG *et al.* (2000), usando híbridos comerciais cultivados em oito estados diferentes do cinturão do milho nos Estados Unidos, determinaram que a quantidade de amido recuperada era dependente do local de origem e do híbrido utilizado. Grãos do tipo duro exigem um tempo maior de maceração, reduzindo conseqüentemente a capacidade de moagem. Além disso, a mistura de grãos do tipo duro e dentado dificulta sua maceração uniforme, reduz a extração de amido, dificulta a separação amido/proteína, aumenta o teor de fibras no amido e provoca a produção de álcool durante a maceração.

Grãos miúdos geralmente são de milho do tipo duro, enquanto o milho do tipo dentado tem grãos graúdos. Dessa forma, além do fator textura do grão, a mistura de grãos de

diferentes tamanhos dificulta a regulação dos moinhos, ocasionando o rompimento do germe, impregnando óleo e fibras no amido e amido na casca (FERNANDES, 1998).

A cor amarela ou alaranjada do endosperma do milho está ligada às presenças de caroteno e xantofila. O caroteno está ligado à presença de vitamina A, enquanto que a xantofila influi na coloração da pele das aves e da gema de ovos. Como o glúten e o farelo são utilizados na produção de rações para aves, é imprescindível que o milho moído tenha cor amarela ou laranja (FERNANDES, 1998).

O teor de umidade do grão no momento da colheita também afeta a qualidade do grão e a qualidade da maceração. Umidade entre 20 e 25 % proporciona grãos mais íntegros e com maior rendimento de germe, enquanto que o milho que secou naturalmente no campo, colhido com umidade entre 14 e 15 %, proporciona maior quantidade de grãos quebrados ou trincados, implicando em menor vigor, ou seja, menor ação de enzimas que rompem as redes de proteína (COX *et al.* 1944) e menor rendimento de germe. Temperaturas altas de secagem (110°C) provocam maior dificuldade de separação amido/proteína, resultando numa menor recuperação de amido em milhos dos tipos duro e mole, segundo HAROS e SUAREZ (1997), provavelmente devido, em parte, à inativação de enzimas proteolíticas. Os fatores não inerentes ao milho, ou seja, aqueles resultantes dos processos de produção, colheita e, principalmente, pós-colheita são os que mais afetam a qualidade final dos produtos da moagem úmida. Os problemas principais na matéria-prima são: grãos ardidos, amido gelatinizado, grãos quebrados, impurezas, fragmentos e matérias estranhas (FERNANDES, 1998).

Em trabalho de WANG e ECKHOFF (2000), o teor de sólidos e proteína na água de maceração aumentou linearmente com o aumento da quantidade de grãos quebrados.

Segundo ECKHOFF *et al.* (1993), o aumento da exposição do endosperma ao SO₂, que ocorre em grãos quebrados, resulta numa diminuição da viscosidade aparente do amido produzido por este tipo de grão quando comparados ao de grãos inteiros.

Em algumas plantas industriais, grãos quebrados são macerados separadamente dos grãos inteiros e o amido produzido é utilizado para produção de xaropes. O milho ardido é aquele que está deteriorado ou em processo de deterioração pela ação de microorganismos diversos que, além da destruição física dos grãos, podem produzir micotoxinas como as aflatoxinas, zearalenonas, vomitoxina, fumosininas, etc. Essas micotoxinas podem causar danos à saúde e até a morte em homens e animais, razão pela quais os níveis de tolerância em produtos alimentícios são extremamente baixos (SANDERS *et al.* 2001; RYU *et al.* 2002;

PARK, 2002). Além disso, grãos ardidos causam acidez no óleo, pontos pretos no amido, problemas bacteriológicos e redução na viscosidade do amido (FERNANDES, 1998).

A gelatinização do amido, que ocorre quando o milho é submetido à secagem sob altas temperaturas (acima de 80°C), dificulta a separação amido/fibra e amido/proteína, reduz a proteína no farelo, altera a viscosidade do amido e provoca a formação de “grits” ou pequenos grânulos duros de amido (HAROS e SUAREZ, 1997; FERNANDES, 1998). Os grãos quebrados, resíduos e fragmentos de milho dificultam a maceração, entupindo os orifícios de entrada de água, propiciam a formação de caminhos preferenciais para a água dentro da massa de grãos, produzem pontos pretos e aumentam o teor de fibras no amido. Sementes de outras espécies, detritos vegetais, pedriscos, terra, restos de adubos, barbantes, plásticos, parafusos e outros corpos estranhos produzem corpos pretos no amido, problemas bacteriológicos, danos nos equipamentos e até faíscas e explosões (FERNANDES, 1998).

2.4.1 Classificação do milho

De acordo com o Artigo 13, da Portaria Nº. 845, de 8 de novembro de 1976, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, são apresentadas as bases ou normas e os termos usados nas presentes especificações, assim como as características relacionadas com a qualidade do milho. Sendo assim, deverão ser observadas e interpretadas da seguinte forma:

Matérias estranhas: são considerados os grãos ou sementes de outras espécies, bem como os detritos vegetais, sujidades e corpos estranhos de qualquer natureza, não oriundos do produto.

Impurezas: são consideradas as do próprio produto, bem como os grãos ou fragmentos de grãos que vazarem numa peneira de crivos circulares de 5 mm (cinco milímetros) de diâmetro ou 12/64.

Grãos ardidos: são os grãos ou pedaços de grãos que perderem a coloração ou cor característica, por ação do calor e umidade ou fermentação, em mais de ¼ (um quarto) do tamanho do grão.

Grãos brotados: são os grãos ou pedaços de grãos que apresentarem germinação visível.

Grãos avariados: são considerados os grãos ou pedaços de grãos chochos, imaturos, atacados por animais roedores e parasitas, os fermentados até $\frac{1}{4}$ (um quarto) do tamanho do grão, bem como os prejudicados por diferentes causas.

Grãos carunchados: são os grãos ou pedaços de grãos furados ou infestados por insetos vivos ou mortos.

Grãos chochos: são os grãos enrugados “por deficiência de desenvolvimento”.

Grãos quebrados: são os pedaços de grãos sadios, que fiquem retidos na peneira de crivos circulares de 5 mm (cinco milímetros) de diâmetro ou 12/64.

Grãos regulares: são os grãos normalmente desenvolvidos que apresentam boas condições de maturidade e conservação.

2.5 Maceração do milho

A maceração do milho consiste em submergir os grãos numa solução contendo ácido láctico e SO_2 por 36 a 48 horas em temperaturas de 50 a 55 °C durante a qual ocorre o fenômeno de transferência de massa dos componentes da solução para o interior do grão, produzindo mudanças nas propriedades físicas (densidade, volume, umidade, etc.), químicas (interações dos solutos com o complexo amido-proteína) e bioquímicas (ação enzimática) (MAY, 1987; WATSON, 1984 e ECKHOFF, 1989).

Devido a sua importância, a maceração é considerada o coração do processo da moagem úmida. Se não for adequada, as etapas seguintes serão dificultadas e o processo resultará em um aumento da porcentagem de proteína no amido e perda de parte do amido nos demais subprodutos (CABRALES, 2006).

Segundo ECKHOFF (1989), a maceração pode ser dividida basicamente em três fases com predominância de reações e mecanismos distintos: a) fase dominada pelo ácido láctico; b) fase de difusão do SO_2 ; e c) fase dominada pelo SO_2 . A primeira fase, dominada pelo ácido láctico inclui cerca de um terço de todo o processo de maceração. A massa de milho seco (12 a 15 %, em base úmida) é coberta pela água de maceração com aproximadamente 0,01% de SO_2 , ou menos, a uma alta concentração de ácido láctico (acima de 2%).

Segundo ROUSHDI *et al.* (1981), um terço dos sólidos solúveis da água de maceração extraída dos grãos de milho é composto por carboidratos de baixo peso molecular. Estas substâncias podem ser fermentadas por bactérias associadas ao grão durante o processo de maceração. O produto principal desta fermentação é o ácido láctico. A concentração de açúcar chega a um pico e cresce a atividade bacteriana. Assim que a concentração de açúcar diminui, aumenta a concentração de ácido láctico. Com a redução do pH pelo ácido, há interrupção do crescimento de microorganismos, sendo necessária menor quantidade de SO₂ no processo. Quando o suprimento de açúcar acaba, a atividade bacteriana decresce rapidamente. Cerca de um terço do ácido formado é neutralizado por bases lixiviadas do grão de milho e o sistema é tamponado a pH 3,9 - 4,1. A fase de domínio do ácido láctico caracteriza-se pela alta atividade bacteriana, baixos níveis de SO₂, grande absorção de água pelos grãos, absorção de ácido láctico e lixiviação de sólidos solúveis da massa de grãos (ROUSHDI *et al.* 1981).

A fase de difusão do SO₂ é a transição entre a fase dominada pelo ácido láctico e a fase dominada pelo SO₂, sendo responsável pelo longo período do processo de maceração, devido às limitações difusionais do SO₂. O sulfito penetra nos grãos e é responsável pelo rompimento da matriz protéica que envolve os grânulos de amido no endosperma. Neste segundo estágio, o aumento do nível de SO₂ cessa o crescimento bacteriano e o conteúdo do ácido láctico da água de maceração diminui, de maneira que o ácido no interior dos grãos se difunde no sentido inverso, para a água de maceração. Nesta fase, também ocorre lixiviação de sólidos solúveis. Em resumo, nesta fase ocorre significativa difusão de SO₂, maior remoção de sólidos e término da produção de ácido láctico (ECKHOFF, 1989).

Na fase dominada pelo SO₂, a atividade principal é a liberação do amido das redes de proteína no endosperma. Dentre as quatro principais proteínas presentes no milho (albumina, globulina, zeína e glutelina), a glutelina está presente em maior quantidade na matriz protéica do endosperma. Ela é altamente ligada por pontes dissulfeto, formando uma cadeia que envolve os grânulos de amido. As reações do sulfito com esta matriz e a quebra das pontes dissulfeto nas frações protéicas causam a liberação do amido do endosperma. Os sulfitos também ativam enzimas (proteases) que aumentam a eficiência de liberação do amido. Há, nesta fase, um excesso de SO₂, rompimento da matriz protéica, liberação de amido e remoção de solúveis (ECKHOFF, 1989). Segundo WATSON (1984), a massa de grãos, ao final da maceração, deve ter absorvido cerca de 45% de água (em base úmida), liberado cerca de 6,0 a 6,5,% de sólidos solúveis para a água de maceração, absorvido cerca de 0,2 a 0,4 g de SO₂ por kg e tornado-se suficientemente macia. BISS e COGAN (1988) afirmam que o principal objetivo da maceração é a solubilização de proteínas da matriz protéica do milho. Portanto, a

extensão da solubilização de proteínas insolúveis em água durante a maceração pode servir como um indicador do ponto final da maceração.

Segundo KROCHTA *et al.* (1981), a maceração também serve para separar substâncias solúveis (açúcares e minerais) que estão, na sua maioria, localizados no germe. A perda de substâncias solúveis abaixa a densidade do germe e proporciona sua melhor separação. Além disso, durante um longo período de maceração, as células do germe perdem viabilidade e este se torna de consistência mais plástica, o protegendo de danificações mecânicas durante a degerminação.

O processo de maceração dinâmica proposto por LOPES-FILHO *et al.* (1999) possui as seguintes etapas: primeiramente, o milho limpo era condicionado em solução de 0,2% SO₂ e 0,55% ácido láctico, por 2 horas, a 60°C, conforme recomendado por FERRATO *et al.* (1997), em estudo realizado sobre a hidratação do grão e seus componentes. A solução era recirculada no tanque com o material a uma velocidade de 300 ml/min, por meio de um sistema de bombeamento peristáltico. Este período de pré-hidratação promove condições favoráveis à quebra subsequente do pericarpo dos grãos, causando um mínimo de danificação aos germes. Após a pré-hidratação, a solução era drenada e guardada para a posterior determinação de sólidos. Os grãos foram submetidos à quebra do pericarpo passando duas vezes entre dois rolos cilíndricos paralelos, com rotação de 150 rpm. A abertura da primeira passagem foi fixada em 3,99 mm e, a da segunda, em 3,06 mm, de forma a garantir que a grande maioria dos grãos tivesse seus pericarpos abertos sem, contudo, causar maiores danificações ao germe. Uma nova solução era preparada para o passo seguinte, em que as sementes "quebradas" eram maceradas de forma dinâmica, seguindo os procedimentos de LOPES-FILHO *et al.* (1997). As concentrações usadas para a maceração foram 0,2% (SO₂) e 0,0% (ácido láctico); 0,2% (SO₂) e 0,55% (ácido láctico) e água destilada, sem a presença de SO₂ e ácido láctico.

O milho pré-hidratado submetido à ruptura do pericarpo e a solução foram colocados em um tanque plástico de tampa rosqueada pelo qual eram inseridos um termômetro e um agitador de baixa velocidade (150 rpm) para promover a movimentação da massa do material. A agitação constante, além de promover a redução contínua das partículas, proporciona o maior contato destas com os componentes da solução, causando maior rapidez na liberação dos grânulos de amido das redes de proteína. A temperatura foi mantida constante a 52°C, pela imersão do tanque num banho-maria. A cada duas horas, durante esta etapa, todo o material era colocado em um "blender" (liquidificador industrial) conectado a um variador de voltagem e operado por 2 min, com 60% de sua potência total, obtendo-se uma velocidade

que promovia redução e separação de partículas sem causar maiores danificações ao germe. Ao final da maceração dinâmica (em média, 6 horas), o germe era separado manualmente sem a necessidade da primeira moagem como no processo convencional, visto que, ao longo da maceração dinâmica, ele se separa do restante do grão. As etapas seguintes para a separação dos outros componentes do grão (fibra, amido e glúten) seguiram os procedimentos da moagem úmida por batelada em laboratório, de acordo com o método apresentado por ECKHOFF *et al.* (1993).

2.5.1 Ação do ácido láctico

A ação do ácido láctico não está bem esclarecida; enquanto alguns trabalhos evidenciam aspectos positivos durante a maceração do milho, outros apresentam resultados opostos. Segundo COX *et al.* (1944), ROUSHDI *et al.* (1981) e SHANDERA *et al.* (1995), o ácido láctico amolece as estruturas dos tecidos dos grãos facilitando sua hidratação e auxilia na prevenção do crescimento de microrganismos de deterioração. O ácido láctico também aumentou a recuperação de amido nos trabalhos realizados por ROUSHDI *et al.* (1981), ECKHOFF e TSO (1991) e SINGH *et al.* (1997), e aumentou a recuperação de proteína, segundo DAILEY (2002).

COX *et al.* (1944), analisando a ação do ácido láctico, concluíram que a recuperação do amido se devia principalmente à ação do SO₂ e que o ácido láctico teria pouco efeito nesta liberação, tendo pouca ação na desintegração da matriz protéica, mas grande influência no amaciamento do grão. ROUSHDI *et al.* (1979) observaram que um alto nível de ácido láctico provoca redução nos teores de amido e aumenta o teor de proteína no amido. SHANDERA *et al.* (1995), estudaram a interação do ácido láctico, SO₂ e da temperatura em soluções de maceração e reportaram que o ácido diminui as quantidades das frações de amido e proteína. SINGH *et al.* (1997), trabalhando com 18 híbridos comerciais em três níveis de ácido láctico, determinaram que o nível ótimo de concentração deste ácido para a recuperação de amido nos híbridos estudados está, em média, entre 0,55 e 1,67 %. Seus estudos mostram que, abaixo de 0,55% e acima de 1,67%, os rendimentos de amido decrescem. Mostram, também, que o efeito do ácido láctico é dependente do híbrido utilizado. Estes estudos indicam que deve haver um controle do teor de ácido láctico na água de maceração para que haja o maior efeito benéfico, uma vez que sua concentração pode chegar a 2% durante a maceração convencional.

O ácido láctico aumenta a solubilização da proteína e enfraquece as paredes das células do endosperma durante o processo de maceração (ROUSHDI *et al.* 1981). DU *et al.* (1996),

usando vários ácidos em alternativa ao ácido láctico durante a maceração de milho, observaram que todos eles facilitaram a separação do germe e aumentaram a taxa de filtração de glúten, quando comparados com a maceração sem ácido. Também houve um aumento na recuperação de amido de 4,6%, em média, para todos os ácidos, em relação ao tratamento que só usou 0,2% de SO₂ e nenhum ácido.

De acordo com MANSONI (2000): o ácido láctico aumentou significativamente a fração de amido; diminuiu o teor de fibra, indicando menos amido residual nesta porção; aumentou a recuperação do germe, por aumentar a densidade da solução após a primeira moagem; proporcionou menor recuperação de glúten e aumentou o total de sólidos na água de maceração, da mesma forma que o observado por DU *et al.* (1996) e LOPES FILHO *et al.* (1997).

DAILLEY (2002), usando diferentes híbridos e 4 soluções de maceração diferentes contendo ácido láctico, SO₂ e uma combinação de ácido láctico e SO₂ ou sem nenhum produto químico, determinou que a recuperação de amido e a solubilização de proteína aumentaram sempre que o ácido estava presente. Este estudo suporta a hipótese de que a dissolução direta da matriz protéica pelo ácido láctico aumenta a recuperação do amido. A recuperação de proteína também foi consistentemente mais alta quando o ácido foi adicionado à solução.

PÉREZ *et al.* (2001) usaram soluções de maceração contendo ácido láctico e SO₂ e somente SO₂, nos tempos de 8, 16, 24, 32 e 40 h, e determinaram que o ácido láctico sempre aumentou o teor de sólidos solúveis na solução de maceração, o que pode significar uma ação deste na atividade proteolítica. Na presença de ácido láctico, o teor de amido recuperado aumentou, enquanto que a recuperação de glúten foi sempre menor.

SHANDERA *et al.* (1995) investigaram as interações entre ácido láctico, SO₂ e temperatura e seus efeitos nas quantidades de produtos da moagem úmida em híbridos tipo duro e muito duro e chegaram as seguintes conclusões: o tipo de milho (sua dureza) tem o maior efeito nas quantidades recuperadas dos produtos da maceração, quando comparadas com os efeitos do SO₂ e do ácido láctico, e da temperatura usada na maceração. Um híbrido que absorveu mais SO₂, provavelmente devido ao seu maior teor protéico, foi mais duro de moer em função da dureza de sua estrutura e deixou mais sólidos na água de maceração que os outros híbridos. Isto fez com que este híbrido fosse menos degradado durante a maceração. A absorção da água de maceração não foi afetada pelo nível de SO₂ e de ácido láctico, sendo que a temperatura afetou positivamente, tendo-se uma maior hidratação para a maior temperatura. Os efeitos do ácido láctico foram o amaciamento dos componentes do grão e o favorecimento da absorção de SO₂. Os resultados indicaram não ser provável que o ácido

degrade diretamente o complexo protéico que envolve os grânulos de amido do endosperma. A absorção do ácido foi proporcional à absorção da água de maceração e não variou em função do híbrido considerado.

Portanto, segundo o estudo de SHANDERA *et al.* (1995), a concentração de ácido láctico, a temperatura de maceração e a morfologia do grão influenciam na absorção de SO₂, necessária para uma moagem úmida eficiente, uma vez que sua concentração no interior do grão afeta a eficiência da moagem. EARP *et al.* (1985) observaram vazios nas paredes celulares do endosperma quando se usava ácido láctico com SO₂ e estes vazios apareciam bem mais rapidamente quando o ácido estava presente.

2.5.2 Ação do dióxido de enxofre

O SO₂ dissolvido em água forma o ácido sulfuroso que, ao mesmo tempo em que evita o desenvolvimento de microorganismos e fermentações nocivas, age na solubilização e quebra das redes de proteína (pela quebra das pontes de enxofre) que envolvem os grânulos de amido, liberando-os no endosperma e facilitando a completa hidratação, com o conseqüente amaciamento do grão (NOVAES, 1966; KROCHTA *et al.* 1981; HAROS e SUAREZ, 1999). Além disso, segundo COX *et al.* (1944), o SO₂ também ativa proteases que aumentam a eficiência de liberação do amido. BIIS e COGAN (1996), usando solução de maceração contendo ácido cítrico, observaram maior penetração do SO₂ no grão em meio mais ácido (pH 3,0-3,5). Ocorre um gradiente de pH à medida que a solução penetra no grão e vai encontrando proteína a ser degradada. Em pH mais baixo, as formas mais ativas do SO₂ estão presentes, proporcionando uma degradação mais rápida da matriz glutelina. A solubilização da proteína insolúvel da matriz protéica do endosperma aumentou significativamente com o abaixamento do pH da solução de maceração de 5,0 para 3,0. Como a produção de ácido láctico na maceração convencional só ocorre após o abaixamento do nível de SO₂, o efeito na solubilização protéica pelo abaixamento do pH não ocorre, a não ser que se controle o pH para estar ácido durante a fase de penetração do SO₂ nos grãos.

Segundo ECKHOFF *et al.* (1993), quando “grits” de milho são usados na moagem úmida, o tempo de maceração pode ser reduzido para 6 horas e a concentração de SO₂ pode ser reduzida para 0,1% sem uma redução significativa no teor de amido recuperado ou um aumento no teor de proteína residual no amido, quando comparado com o controle (48h, 0,2% SO₂, grãos inteiros). Mas, devido ao aumento da exposição do endosperma ao SO₂ e também porque os componentes dos grãos estão mais prontamente expostos ao pH mais baixo da água

de maceração, a viscosidade aparente do amido obtido a partir dos “grits” de milho foi significativamente menor do que aquela obtida da moagem úmida de grãos inteiros.

KROCHTA *et al.* (1981) reduziram a água de maceração em relação ao volume de milho macerado, mantendo a mesma quantidade absoluta de SO₂ como agente de maceração. Aumentando a concentração de SO₂, ou removendo as barreiras à transferência de massa entre solução de maceração e endosperma pela degerminação entre dois períodos de maceração, houve um aumento da quantidade de amido recuperado. Observaram também que o SO₂ dissolvido na água de maceração é indispensável para separar o amido da proteína no endosperma. O ácido sulfuroso aparentemente é capaz de desintegrar as matrizes protéicas para recuperar o amido e, conseqüentemente, facilitar a completa separação do amido da proteína. No entanto, concentrações acima de 0,2% de SO₂, além de impossibilitar o crescimento de *lactobacillus* sp. e a produção de ácido láctico, promovem a diminuição da viscosidade da pasta de amido. Houve também uma redução da quantidade de sólidos solúveis extraídos do milho quando se reduziu o volume da solução indicando uma possível dificuldade para a separação do germe.

SINGH *et al.* (1999) verificaram os efeitos da aplicação de SO₂ e ácido láctico em tempos diferentes, durante a maceração. Verificaram que a adição de SO₂ na solução de maceração (ácido láctico e água) mostrou um efeito significativamente maior na recuperação de amido em cinco híbridos, quando adicionado entre 5 e 15 horas, comparada à adição no início. Não houve aumento do resíduo de proteína no amido quando se adicionou SO₂ mais tarde, e não foi observado nenhum efeito do tempo de adição do ácido láctico (0 - 15 horas) na recuperação de amido para os cinco híbridos testados. ROUSHDI *et al.* (1981), mostraram que, usando soluções com concentrações de SO₂ de 122 e 61 ppm, houve inibição na formação de ácido láctico e, nestas condições, se consegue maior recuperação de amido com menor teor de proteína aderida.

Resultados obtidos por MANZONI *et al.* (2002) mostraram que o aumento do teor de SO₂ resultou no acréscimo do teor de amido e de glúten e na redução de fibras. ECKHOFF e OKOS (1989), trabalhando com SO₂ gasoso à temperatura ambiente observaram que ele penetra pelo pedúnculo, se difunde por todo o grão na área entre o pericarpo e a camada de células que cobre a semente e, daí, para dentro do endosperma. Aparentemente, o SO₂ também penetra pelo pedúnculo indo ao germe e, a partir daí, penetra no endosperma, indo na direção ao pericarpo. O SO₂ se difunde rapidamente pela área externa do endosperma, conforme relatou COX *et al.* (1944), e encontra maior resistência no pericarpo do que no endosperma. A camada de células que cobre o grão em contato com o pericarpo oferece

resistência à difusão do SO_2 para o endosperma. Grãos com fissuras no pericarpo apresentaram maior absorção de SO_2 . Essa absorção é mais rápida e completa no germe, o que tem efeito benéfico, pois muitas infecções fúngicas ocorrem principalmente, e primariamente no germe. Os autores verificaram também que o SO_2 penetrou em todas as áreas no grão.

2.6 Hidratação dos grãos

RUAN *et al.* (1992) observaram que a água de maceração se move dentro do grão de milho através do pedúnculo para o espaço entre o germe e o endosperma e atravessa as células tubulares das paredes do pericarpo. A água de maceração se difunde rapidamente no germe e vagorosamente no endosperma. Este fenômeno é similar ao da difusão de SO_2 gasoso reportado por ECKHOFF e OKOS (1989). Observaram, também, que o teor de umidade não era uniforme dentro do grão, apresentando áreas menos úmidas no endosperma próximo ao germe e mais úmidas no germe. O período de maior velocidade de absorção da água foram as primeiras 2,5-3,5 horas, o que foi confirmado também por MCKINNEY (1994).

FAN *et al.* (1965) observaram um retardamento na taxa de absorção de solução pelos grãos de milho nas primeiras duas horas de maceração, quando se adicionou o SO_2 , e uma aceleração, após este tempo. Num primeiro instante, devido ao tamanho maior das moléculas de SO_2 , há dificuldade de penetração da solução nos grãos; depois de certo tempo, com a dissolução da matriz protéica, a difusão aumenta e o processo de liberação envolve o movimento de proteína nos espaços onde a água de maceração deve passar. Liberado este espaço, há um rearranjo dos grânulos de amido, aumentando novamente a difusão da solução. A desintegração da matriz protéica é mais rápida quanto menor for o teor de proteína do milho, e a taxa de hidratação também pode variar segundo o tipo de milho.

Segundo COX *et al.* (1944), o tipo de matriz protéica existente no grão e a relação quantitativa entre endosperma duro e farináceo, podem explicar, em parte, porque, para o milho pipoca, no qual o endosperma duro é muito presente, há maior dificuldade de difusão da solução, enquanto que, no milho dentado, menos duro, a dificuldade é muito menor. HAROS *et al.* (1995) também observaram que, no início da maceração, o SO_2 parece retardar a hidratação. Porém, analisando os efeitos da temperatura e do SO_2 nas taxas de absorção de água durante todo o período de maceração, observaram que, em todas as temperaturas, a absorção com o SO_2 presente era maior do que com água pura.

RAMOS (2001) realizou a maceração de grãos de milho em solução com 0,2% de SO_2 e 0,55% de ácido láctico em tubos de ensaio sob temperaturas de 45, 55 e 65 °C, durante 12 horas. Verificou que as umidades alcançadas no final da maceração para as três temperaturas,

foram, respectivamente, 39,1%, 40,4% e 41,2% (b.u.), e que o incremento de umidade foi diretamente proporcional ao aumento da temperatura e foi maior nas primeiras 4-5 horas de maceração.

Como já foi comentada, a obtenção do germe sem danificação é de importância estratégica para todo o processo de moagem úmida, sendo a hidratação um fator preponderante que influencia no nível de danificação. MCKINNEY (1994) realizou estudo de hidratação do germe e do endosperma em solução de maceração contendo 2000 ppm de SO₂ e 0,5% de ácido láctico (v/v), a 52°C, em nove tempos, de 30 minutos até 48 horas. Constatou que o germe se hidrata numa taxa três vezes mais rápida que o endosperma e que, após 4h de maceração, a taxa diminuía, atingindo a saturação entre 12 e 18 horas. FERRATO *et al.* (1997) estudaram a hidratação do germe e do endosperma em soluções de hidratação sob três temperaturas diferentes, nos tempos de 10 a 120 minutos. Encontraram efeitos estatisticamente significativos (P-valor < 0,05) da temperatura para todos os tratamentos (0,0 e 0,55 % de ácido láctico; 0,1 e 0,2 % de SO₂), da interação SO₂ - ácido láctico, para o germe, e da interação temperatura - SO₂, para o germe e o grão inteiro.

DAILEY (2000) também observou a hidratação do germe e do endosperma para 4 soluções diferentes, em tempos de 5 min até 48 h, para soluções de água destilada e ácido láctico, e 15 min a 36 h, para soluções com SO₂. Não encontrou diferenças significativas na taxa de hidratação do germe ou do endosperma em nenhum dos tempos para todos os tratamentos (água destilada; 0,5% ácido láctico; 0,2% SO₂; 0,5% ác. láctico + 0,2% SO₂). FERRATO *et al.* (1998) não observaram diferenças estatísticas significativas (P-valor < 0,05) do rendimento do germe para as concentrações 0,1 e 0,2 % de SO₂ e 0,0; 0,55 e 1,0 % de ácido láctico. Para o teor de óleo, o melhor resultado foi obtido na ausência de ácido láctico e a menor danificação do germe foi observada com 1,0% de ácido láctico, não havendo, neste caso, influência do SO₂. O baixo nível de umidade inicial aumenta a penetração de água nos grãos. A combinação de ácido láctico e SO₂ provocou um efeito complexo na taxa de difusão da água dentro do grão, ou seja, o efeito sinérgico do ácido láctico com o SO₂, quando adicionados seqüencialmente, acelera a taxa de hidratação (ECKHOFF *et al.*, 1992).

2.7 Composição química do amido de milho

O amido é o carboidrato de reserva da maioria dos vegetais superiores, ocorrendo como grânulos insolúveis em água, cujo tamanho e forma variam de acordo com a espécie e a maturidade da planta (FRANCO, 1993). Essa macromolécula é depositada na forma de grânulos cristalinos em amiloplastos, os quais se encontram imersos em uma matriz amorfa.

Os cereais, as raízes e os tubérculos armazenam energia principalmente na forma de grânulos de amido. A quantidade de amido contido nos cereais varia de 60 a 75 % da massa dos grãos.

Além do valor nutritivo, o amido é importante devido ao seu efeito nas propriedades físico-químicas ou funcionais em muitos alimentos. Como exemplos, pode-se citar pudins, molhos, sopas e cremes viscosos. O amido apresenta importância industrial em outras áreas além da alimentícia, como nas indústrias de papel e celulose, têxtil e química.

Os grânulos de amido podem ser ovais, lenticulares ou esféricos, e apresentam diâmetros que variam desde 0,2 até 150 μm . (APOSTILA CERAT, 1998). A Figura 5 apresenta a microscopia eletrônica de varredura de alguns grânulos de amido. As cultivares de endosperma duro, Cateto L237/67 e QPM BR 451, apresentaram formas poligonais, Figuras 5B e 5D, enquanto nas cultivares de endosperma farináceo, Bolívia-2 e Opaco-2, as formas foram mais arredondadas, conforme 5A e 5C.

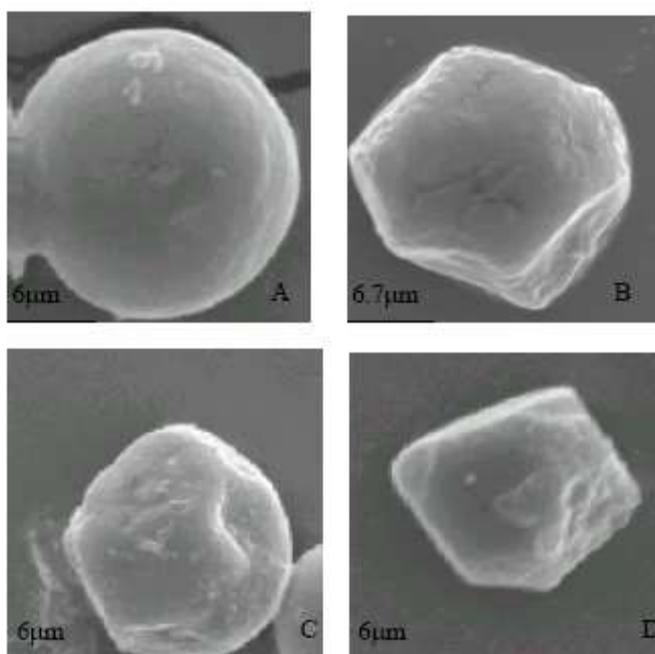


Figura 5 - Microscopia eletrônica mostrando o formato dos grânulos de amido das cultivares Bolívia-2 (A), CatetoL_{237/67}(B), Opaco-2 (C) e QPM BR 451 (D), (PEREIRA, 2006).

O amido compreende dois homopolímeros de D-glicose: a amilose e a amilopectina, conforme mostra a Figura 6 (CEREDA, 2001). A amilose, Figura 6 (a), é uma molécula essencialmente linear, constituída de unidades de D-glicose conectadas por ligações (α - 1,4). A amilopectina, Figura 6 (b), é o polímero mais abundante do amido e contém cadeias lineares de vários comprimentos apresentando ramificações. As ligações glicosídicas que

unem os resíduos de glicose nas cadeias de amilopectina são (α -1,4) e os pontos de ramificação (α -1,6). Ela apresenta um alto grau de organização estrutural, que pode ser exemplificada pela distribuição não casual das cadeias lineares e pela disposição das ramificações. As regiões ramificadas são alternadas com as regiões livres de ramificações, formando uma estrutura semelhante a uma dupla hélice (JAMES *et al.* 2003). Esta arquitetura da amilopectina é responsável pela semicristalinidade dos grânulos de amido. O alto grau de organização da amilopectina confere dois tipos de estrutura cristalina, tipo-A e tipo-B, que diferem de acordo com o grau de empacotamento de suas cadeias (GALLANT *et al.* 1997; IMBERTY *et al.* 1991).

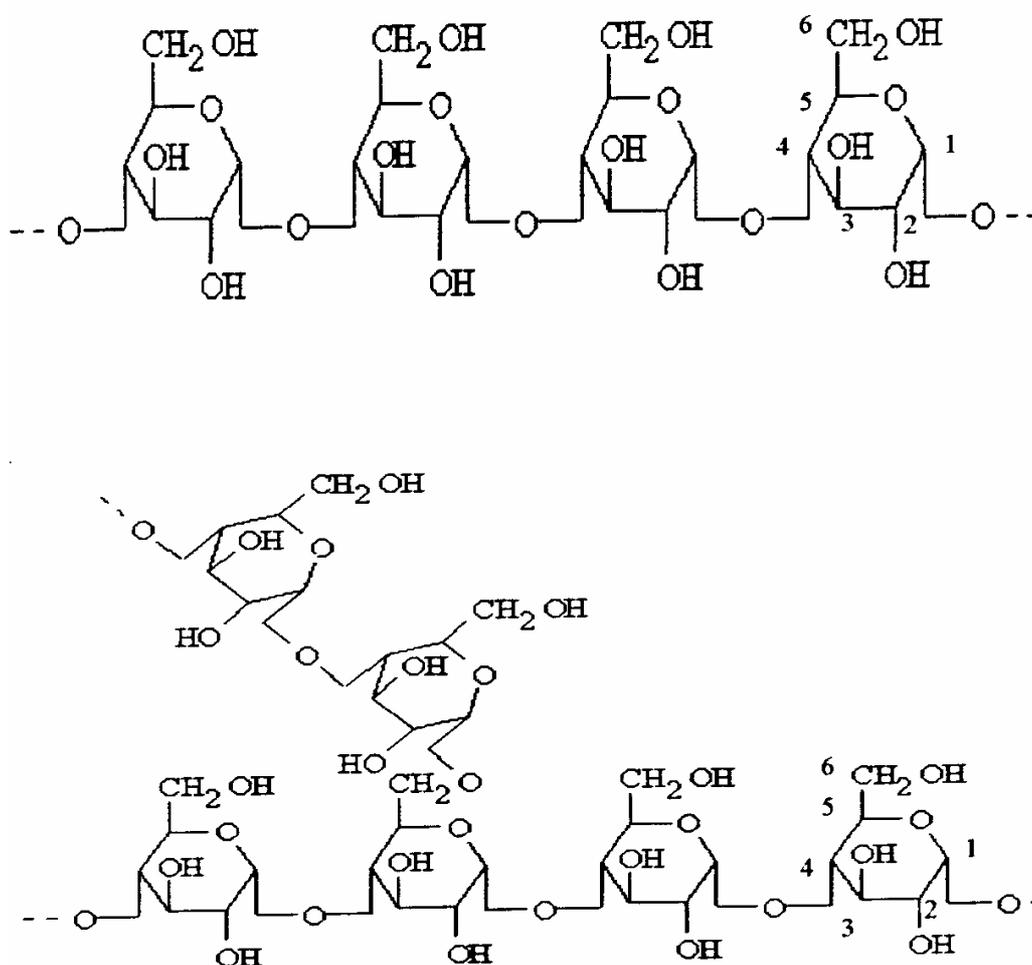


Figura 6 – (a) Seção da cadeia de amilose e (b) detalhes da ramificação da amilopectina.

Fonte: CEREDA (2001).

Em amido de cereais selvagens, a amilopectina é 100% do tipo A, na qual o arranjo da dupla hélice é melhor. A maioria das moléculas de amido de diferentes espécies contém de 15 a 30 % de amilose. No milho normal, essa quantidade é de 25 a 30 %

de amilose e 70 a 75 % de amilopectina. Contudo, a presença de mutações altera a qualidade e a quantidade de amido no endosperma de milho e, conseqüentemente, afeta a textura do grão (BANKS e GREENWOOD, 1975; STRISSEL e STIEFEL, 2002; WANG *et al.* 1993).

Em genótipos de milho denominados *ae* (amylose-extender), por exemplo, a maior parte do amido é amilose (50 a 80 %); já em certas variedades de milho, sorgo, cevada e arroz, conhecidos como cerosos, o amido é constituído exclusivamente por amilopectina (FRANCO, 1993; WANG *et al.* 1993). Além disso, verificou-se que, quando se promove um aumento de 1 a 2% em proteínas no grão, essa relação passa a ser 50% amilose e 50% amilopectina (STRISSEL & STIEFEL, 2002). GIBBON *et al.* (2003), estudando a mudança da textura farinácea do endosperma do mutante *o-2* em QPM BR 451, observou que a supressão do fenótipo farináceo no QPM BR 451 está relacionada com as propriedades dos grânulos de amido, tendo a estrutura vítrea do QPM BR 451 grande associação com o tipo de arrançamento das cadeias da amilopectina.

Portanto, a composição química dos grânulos de amido, bem como a organização estrutural de seus componentes, está relacionada com a cristalinidade do grânulo de amido (GIBBON *et al.* 2003; GIDLEY e BOCCIEK, 1985; FRENCH, 1984; JAMES *et al.* 2003; LINEBACK, 1984) e, conseqüentemente, com a vitreosidade e ou dureza do grão.

Os amidos de cereais contêm pequenas quantidades de lipídios. Estes lipídios são, geralmente, lipídios polares, que necessitam de solventes polares, tais como metanol-água, para sua extração. Geralmente os lipídios estão presentes nos amidos de cereais em concentrações de 0,5 a 1 %. As féculas não têm lipídios ou apresentam teores muito baixos. Na Tabela 5, estão apresentadas as especificações para o amido de milho *in natura*.

Tabela 5 – Apresenta as especificações do amido de milho. Resolução - CNNPA N.º 12, de 1978 do Ministério da Saúde.

Especificações físico-químicas	Mínimo	Maximo
Umidade	-	14,0%
Proteína	-	0,4%
Extrato etéreo	-	0,20%
Matéria Mineral	-	0,20%
Índice de acidez	-	2,5 ml
Amido	84%	-

2.8 Composição química do farelo de glúten de milho (glúten 60)

O farelo de glúten de milho 60 é o resíduo seco de milho obtido após a remoção da maior parte do amido, do germe e da separação do farelo pelo processo empregado na fabricação de amido de milho ou xarope, via úmida, pelo tratamento enzimático do endosperma.

O farelo de glúten de milho apresenta alto teor de proteína, alto nível de energia metabolizável, alto teor de xantofila (em média, 10 vezes superior ao milho em grão), alto teor de metionina (1,9%), e é rico em beta caroteno (45,5 micro-grama/grama). A Tabela 6 apresenta as especificações físico-químicas do farelo de glúten de milho, conforme Portaria Nº. 07, de 9 de novembro de 1988, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

Tabela 6 – Especificações do farelo de glúten de milho 60.

Especificações físico-químicas	Mínimo	Maximo
Umidade (%)	-	10,0
Proteína (%)	60	-
Extrato etéreo (%)	1,0	-
Matéria Fibrosa (%)	-	3,0
Matéria Mineral (%)	-	4,0
Aflatoxinas (ppb)	-	50

O ingrediente protéico de milho, protenose, é obtido a partir da separação e concentração do glúten extraído do milho pelo processo de moagem úmida. É denominado nas tabelas de nutrição animal, como “corn gluten meal”. O produto é utilizado como importante ingrediente para rações avícolas e, em especial, nos últimos anos, em rações de “pet food” (cães e gatos).

O produto apresenta-se sob a forma de pó amarelado, com odor característico, alto valor de proteína, superior a maioria dos suplementos protéicos de origem vegetal, com alta digestibilidade, o que torna o produto interessante na composição de rações para diversas categorias de animais, em especial, para as vacas em lactação de alto potencial produtivo. Além disso, a proteína do glúten é considerada de boa qualidade, com altos teores de metionina, aminoácidos limitantes em diversos tipos de ração e é também rico em ácidos graxos insaturados. Em geral, o produto substitui o farelo de soja e, em função das diferenças de composição de aminoácidos destes dois farelos, não se recomenda substituí-lo na dieta apenas em função dos teores de proteínas. Sendo assim, as pesquisas indicaram um nível de

substituição de parte do farelo de soja da ordem de 3 a 6 % na dieta, dependendo do balanceamento efetuado com os demais ingredientes da ração. Assim, este produto é indicado para rações avícolas de corte e postura, possuindo uma vida útil de 6 meses, e comercializada nas formas de farelo a granel e em sacos de papel de 25 kg.

2.9 Composição química do farelo de glúten de milho (glúten 21)

O farelo de glúten de milho 21 é um subproduto obtido a partir do processamento do milho por via úmida. É composto por fibras digestíveis do grão de milho e parte do glúten, além de parte do amido e frações protéicas não extraídas no processo primário de separação e enriquecidas com água de maceração concentrada. Nas tabelas de nutrição animal, é também denominado como “corn gluten feed”. O produto é largamente utilizado nos EUA, maior produtor mundial, e exportado para a Europa. É produzido no Brasil desde a década de 30 pela empresa Corn Products Brasil Ltda., sendo largamente utilizado pelas fábricas de rações e cooperativas leiteiras, e também vem crescendo seu uso pelos produtores rurais que preparam suas próprias rações pelo processo de mistura. A Tabela 7 apresenta as especificações físico-químicas, do farelo de glúten de milho 21, conforme Portaria Nº. 07, de 9 de novembro de 1988, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

Tabela 7 – Especificações do farelo de glúten de milho 21.

Especificações físico-químicas	Mínimo	Maximo
Umidade (%)	-	12,0
Proteína (%)	21	-
Extrato etéreo (%)	1,0	-
Matéria Fibrosa (%)	-	9,0
Matéria Mineral (%)	-	8,0
Aflatoxinas (ppb)	-	50

O glúten 21 apresenta níveis de inclusão para frangos de corte de 5%. No entanto, tem altos teores de fibra, o que limita um pouco sua utilização em rações para aves de forma geral. Para suínos, a aceitação dele não é muito boa, devido a problemas de palatabilidade, rejeitando o produto quando em excesso. É necessária a suplementação de aminoácidos, mesmos apresentando nível protéico alto. Possui vida útil de 6 meses, sendo comercializado na forma de farelo a granel, politizado a granel e em sacos de papel multifoliados de 25 kg.

2.10 Composição química do gritz de milho (farelo de milho degerminado)

É o subproduto do milho, resultante do processo industrial de degerminação do milho integral, que consiste na remoção do germe (degerminação do grão de milho) e do tegumento. Deve ser isento de matérias estranhas à sua composição. A Tabela 8 apresenta as especificações para o gritz de milho, conforme Portaria N°. 07, de 9 de novembro de 1988, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

Tabela 8 – Especificações para o gritz (canjica) de milho.

Especificações físico-químicas	Mínimo	Maximo
Umidade (%)	-	12,0
Proteína (%)	8	-
Extrato etéreo (%)	1,0	-
Matéria Fibrosa (%)	-	1,0
Matéria Mineral (%)	-	1,0
Aflatoxinas (ppb)	-	50

2.11 Composição química do farelo de germe de milho

Consiste do germe, tegumento e pequenas partículas amiláceas resultantes do processamento industrial do milho integral, empregado no preparo da farinha de milho para consumo humano ou animal. Deve ser isento de matérias estranhas à sua composição. A Tabela 9 apresenta as especificações para o farelo de germe, conforme Portaria N°. 07, de 9 de novembro de 1988, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

Tabela 9 – Especificações para o farelo de germe de milho.

Especificações físico-químicas	Mínimo	Maximo
Umidade (%)	-	12,0
Proteína (%)	10,0	-
Extrato etéreo (%)	9,0	-
Matéria Fibrosa (%)	-	7,0
Matéria Mineral (%)	-	4,0
Aflatoxinas (ppb)	-	50

2.12 Introdução aos métodos de estimativas de custos e investimentos para processos

O custo estimado de um processo é um valor aproximado do seu custo real. A concordância do custo estimado com o custo real dependerá da qualidade da estimativa e de uso de métodos precisos para uma correta visualização do processo.

De acordo com PERLINGEIRO (2005), o desempenho previsto de um processo, ainda que se encontre em fase de projeto, e o desempenho de um processo que já está em fase de operação, podem ser medidos a partir de critérios econômicos expressos por funções do tipo lucro ou custo. Frequentemente, diferentes estudos econômicos são gerados e analisados para processos alternativos. Dessa forma, a melhor estrutura econômica dos processos é encontrada (GUTHRIE, 1969).

Ainda segundo GUTHRIE (1969), uma etapa importante no estágio do projeto de um novo processo é ter estimativas de investimentos e custos tão precisas quanto possível. Para tal, devem-se utilizar técnicas de estimativas consistentes com as alternativas a serem consideradas na concepção do processo, podendo-se realizar comparações entre projetos.

Em problemas de desenvolvimento/projeto de plantas de processo, faz-se necessário o conhecimento de princípios de engenharia econômica e de técnicas de estimativa de custos para projetos preliminares. Investimento de capital é requerido para qualquer processo industrial e a determinação do investimento necessário é uma parte importante durante o projeto de uma planta de processo (PETERS e TIMMERHAUS, 1991).

2.12.1 Definições sobre custos

Antes que uma planta industrial possa ser colocada em operação, deve-se dispor de capital para comprar e instalar as máquinas e equipamentos necessários. Terreno e facilidades devem ser obtidos e a planta deve ser completamente estabelecida, com todas as tubulações, controles e serviços associados. Além disso, é também necessário dispor de capital para o pagamento das despesas envolvidas na operação da planta durante o período inicial após sua partida (PETERS e TIMMERHAUS, 1991).

De acordo com PERLINGEIRO (2005), o custo total é a soma dos custos diversos que compõem o empreendimento. Na Figura 7, é apresentada uma especificação esquemática para o cálculo dos custos totais anuais. Os custos diretos são aqueles diretamente proporcionais (custos variáveis) ou parcialmente proporcionais (custos semivariáveis) para alguma medida de produtividade. Os custos diretos incluem os custos de matérias-primas, utilidades, tratamento de resíduos, disposição dos resíduos, materiais de manutenção e materiais a serem

repostos. Um exemplo de custo semivariável poderia ser um aquecedor produzindo vapor durante 16 horas. Durante o tempo que o aquecedor está em operação, ele custa menos sendo mantido em funcionamento do que deixando-o desligado e reaquecendo-o no começo de uma nova operação. Conseqüentemente, este nível de operação não pode ser atribuído à operação, devendo ser considerado como um componente do custo semivariável do aquecedor (MUSSATTI e VATAVUK, 2002).

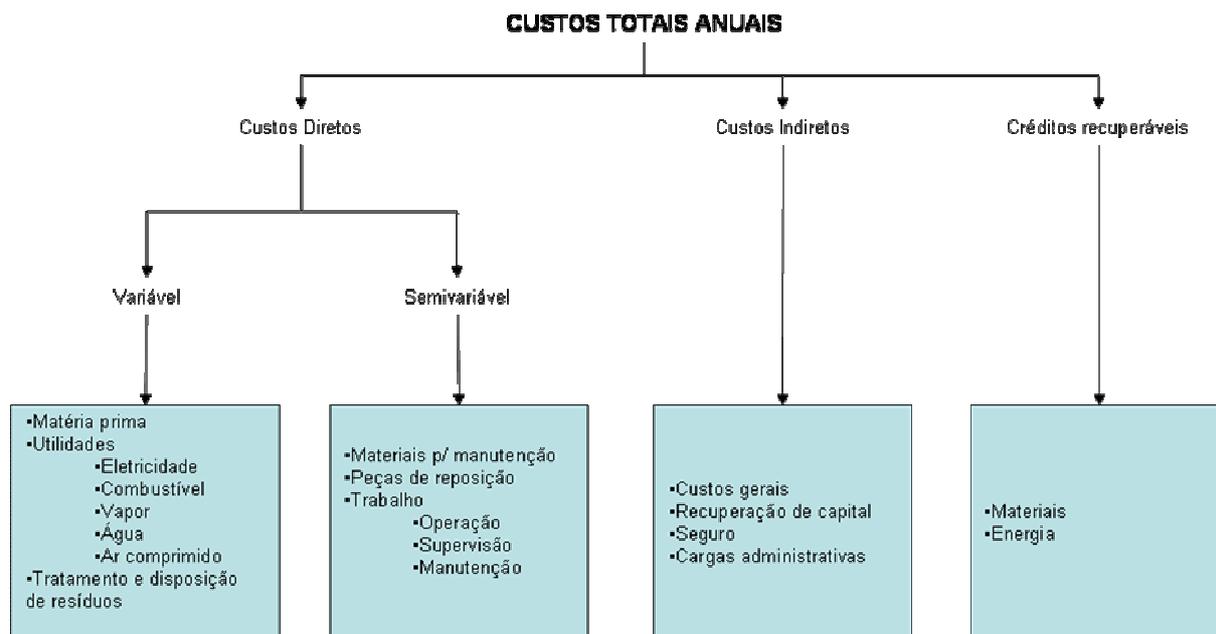


Figura 7 – Elementos envolvidos nos custos totais anuais (adaptado de MUSSATTI e VATAVUK, 2002).

Os custos anuais diretos e indiretos podem ser desmembrados da recuperação de créditos, obtida pela recuperação de materiais ou energia devido ao sistema de controle, os quais podem ser vendidos, reciclados ao processo ou reutilizados em outra parte da planta (MUSSATI e VATAVUK, 2002).

O capital variável para uma planta industrial consiste da quantia total de dinheiro investido nos seguintes itens:

- matéria-prima e suprimentos em estoque;
- produtos finalizados e semifinalizados no processo sendo manufaturados;
- pagamento mensal de gastos operacionais, tais como salários, compras de matéria-prima;
- contas e impostos a serem pagos;
- contas a receber.

O custo de equipamentos é base de vários métodos para estimativas de investimento de capital em projetos preliminares. Daí a importância de relações/correlações que considerem os dados de custo ao longo do tempo e de relações/correlações que permitam estimar o custo de um equipamento quando não há dados disponíveis para um caso particular.

O custo total (C_{TOTAL}) é entendido como sendo a soma dos diversos custos necessários ao funcionamento do empreendimento. Esses custos podem ser divididos em custos relativos à produção ($C_{PRODUÇÃO}$) e os chamados custos gerais (C_{GERAIS}). Dessa forma, PERLINGEIRO (2005) equaciona esses conceitos de acordo com o apresentado na equação (01).

$$C_{TOTAL} = C_{PRODUÇÃO} + C_{GERAIS} \quad (01)$$

Os custos envolvidos na produção incluem os custos diretos ($C_{DIRETOS}$) e os custos fixos (C_{FIXOS}). Os custos diretos são aqueles proporcionais à produção. Os principais custos envolvidos são: custo de matéria-prima ($C_{MATPRIMA}$), custo das utilidades ($C_{UTILIDADES}$), custos com manutenção do processo ($C_{MANUTENÇÃO}$) e custo da mão-de-obra (C_{MOBRA}). Para o cálculo dos custos envolvidos na utilização da matéria-prima e das utilidades necessárias, pode ser utilizada a equação (02).

$$C_{MATPRIMA} + C_{UTILIDADES} = \left(\sum_1^k p_i \cdot q_i \right) f_0 \quad (02)$$

Na equação (02), a variável p_i é o preço da matéria-prima ou da utilidade envolvida em determinada etapa do processo, q_i é a taxa de consumo horário da matéria-prima ou da utilidade e f_0 é o número de horas anuais de operação da planta.

Os custos fixos são aqueles independentes da produção, tais como os custos com impostos ($C_{IMPOSTOS}$), com seguros ($C_{SEGUROS}$) e com aluguéis ($C_{ALUGUEL}$). Admitindo um terreno próprio, os custos com impostos e com seguros podem ser correlacionados de acordo com o investimento feito no empreendimento.

Os custos gerais correspondem às despesas administrativas do empreendimento e podem ser calculados de acordo com a sua receita (R).

2.12.2 Definições sobre investimento

Para PERLINGEIRO (2005), o investimento total corresponde ao total de recursos aplicados e arriscados no empreendimento. Parte dos recursos é representada pelo investimento fixo, correspondente aos recursos necessários à construção da planta de processamento, incluindo os investimentos direto (I_{DIRETO}) e indireto (I_{INDIRETO}). O investimento direto inclui os recursos para a montagem das instalações dentro e fora dos “limites de bateria”.

Este investimento dentro dos “limites de bateria”, ISBL (*inside battery limits*, referentes à bateria de destiladores dos primórdios da indústria química), é aquele realizado na aquisição, no transporte e na instalação de equipamentos que participam diretamente no processamento. Inclui, por exemplo, suportes estruturais, isolamento, pintura, instrumentação, tubulações, válvulas e material elétrico. O investimento fora dos “limites de bateria”, OSBL (*outside battery limits*), é o investimento realizado em itens relacionados com o processo, porém localizados fora da área de processamento. Inclui, por exemplo, edificações para abrigar os equipamentos (estrutura, escadas, elevadores, etc.), edificações auxiliares (refeitório, administração, etc.), melhorias da área da planta, facilidades (incineração, poços, tratamento de água) e o investimento no terreno onde é construída a planta.

A Figura 8 apresenta os elementos do investimento total de capital. De acordo com a Figura 8, o capital depreciável está indicando que, como o capital é utilizado, ele perde valor o qual não pode ser recuperado.

O investimento total (I_{TOTAL}) corresponde ao montante de recursos necessários para construir o processo, conhecido como investimento fixo (I_{FIXO}), e para iniciar as suas atividades de produção e mantê-lo em funcionamento, ou seja, o capital de giro (I_{GIRO}). O investimento total pode ser calculado de acordo com a equação (03).

$$I_{\text{TOTAL}} = I_{\text{FIXO}} + I_{\text{GIRO}} \quad (03)$$

O valor da variável OSBL pode ser estimado como sendo uma fração do valor da variável ISBL. Segundo PERLINGEIRO (2005), OSBL representa 45% do valor de ISBL.

Dessa forma, têm-se as equações (04), (05) e (06).

$$I_{\text{DIRETO}} = \text{ISBL} + \text{OSBL} \quad (04)$$

$$I_{\text{DIRETO}} = \text{ISBL} + 0,45 \cdot \text{ISBL} \quad (05)$$

$$I_{\text{DIRETO}} = 1,45 \cdot \text{ISBL} \quad (06)$$

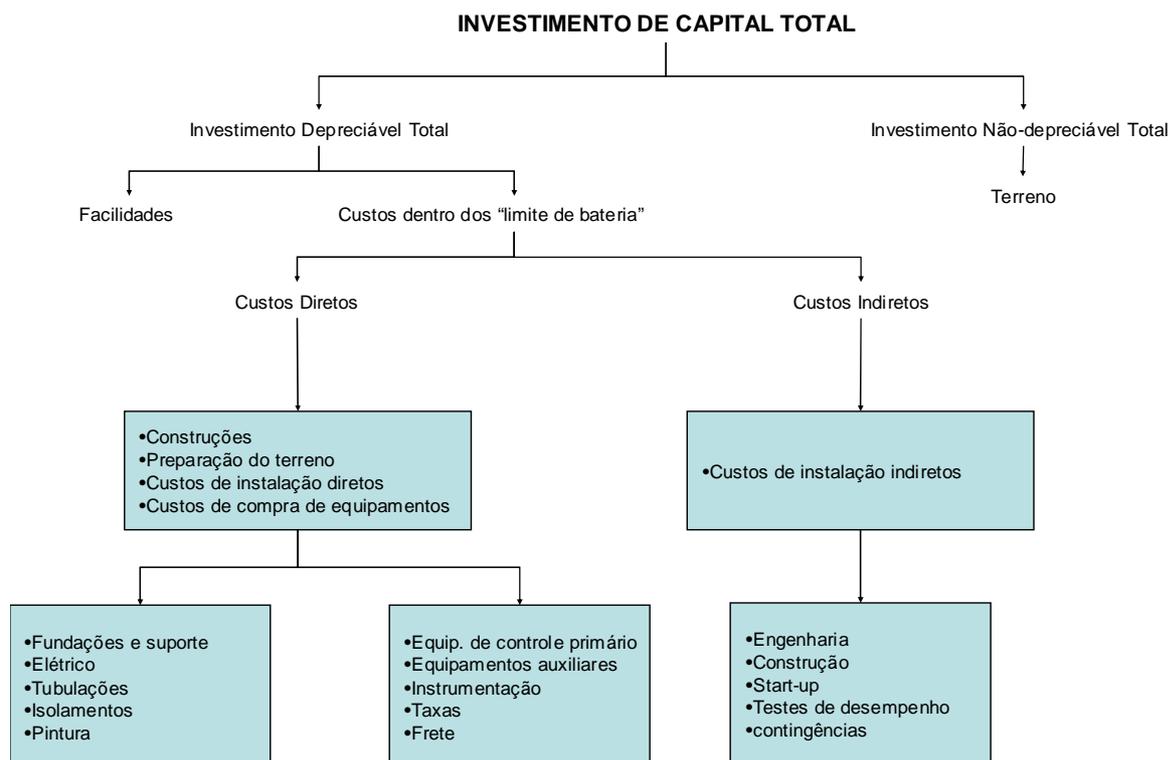


Figura 8 – Elementos do investimento de capital total (adaptado de MUSSATTI e VATAVUK, 2002).

O investimento indireto, que inclui custos próprios e eventuais, também pode ser estimado como sendo correspondente a uma fração do investimento direto. Segundo PERLINGEIRO (2005), representa 25% do investimento direto. Dessa forma:

$$I_{\text{INDIRETO}} = 0,25 \cdot I_{\text{DIRETO}} \quad (07)$$

$$I_{\text{INDIRETO}} = 0,3625 \cdot \text{ISBL} \quad (08)$$

O investimento fixo fica sendo igual a:

$$I_{\text{FIXO}} = 1,8125 \cdot \text{ISBL} \quad (09)$$

O capital de giro é o montante de recursos requeridos para o início da operação da planta e para modificações eventuais do processo. Isto inclui o estoque de matérias-primas, o estoque de produtos, contas a pagar, contas a receber e impostos devidos, etc. Esse montante pode ser estimado como sendo uma fração do investimento total no processo. Segundo PERLINGEIRO (2005) e TURTON *et al.* (2003), essa fração situa-se entre 0,15 e 0,20 do investimento total do empreendimento. Sendo assim, o capital de giro pode ser calculado por:

$$I_{GIRO} = 0,15 \cdot I_{TOTAL} \quad (10)$$

Finalmente, o investimento total fica estabelecido em função de ISBL, de acordo com o apresentado pela equação (11).

$$I_{TOTAL} = 2,1323 \cdot ISBL \quad (11)$$

2.12.3 Receita e lucro

As receitas (R) de um empreendimento são os resultados da multiplicação das capacidades de produção previstas para cada produto do processo (q_i) pelo preço de venda de cada produto ($prod_i$) (equação 12).

$$R = \sum_{i=1}^k prod_i \cdot q_i \quad (12)$$

Assim sendo, a diferença entre as receitas e os custos das diversas despesas do empreendimento resulta no lucro bruto (LB) (equação 13).

$$LB = R - C_{TOTAL} \quad (13)$$

Entretanto, o lucro bruto não pode ser usado como parâmetro para avaliar o desempenho de um empreendimento. Isso se deve ao fato de que este montante não retorna integralmente para o caixa da empresa, pois ainda se deve fazer a depreciação do processo, pagar o imposto de renda referente ao lucro tributável e considerar o retorno sobre quanto o investimento total lucraria se aplicado a uma taxa conhecida. Só depois dessas deduções é que se tem o verdadeiro lucro do empreendimento. Sendo assim, o parâmetro para avaliar o desempenho de um processo deve ser o lucro sobre o empreendimento.

Para estimar os custos envolvidos em um processo, é necessária a utilização de métodos e equações que permitam calcular, de forma rápida e precisa, os valores dos equipamentos que serão utilizados.

2.13 Métodos para estimativas de custos

A estimativa de custos na análise e síntese de processos é uma atividade imprescindível. Isto porque a decisão final sobre qual alternativa de projeto escolher, após satisfeitas as restrições técnicas, ambientais, logísticas, etc., será sempre tomada a partir de uma análise econômica (TURTON *et al.* 2003).

A Figura 9 ilustra o custo para a realização de estimativas em função da precisão esperada para a estimativa, ou seja, quanto maior a quantidade de informações, melhor será a precisão da estimativa e, conseqüentemente, maior o custo para realizá-la. Por exemplo, as correlações para estimativas de custos geralmente são utilizadas nas estimativas denominadas preliminares e possuem uma precisão que se situa na faixa de -15 a + 30 %. Dessa forma, para se obter o menor e o maior valor esperado, após a estimativa do custo de um determinado equipamento, deve-se multiplicar o custo por 0,85 e 1,30, respectivamente. Já as estimativas chamadas de definitivas são realizadas quando se dispõe de uma maior quantidade de informações específicas do projeto e possuem uma precisão entre -5 a +15 % (TURTON *et al.* 2003).

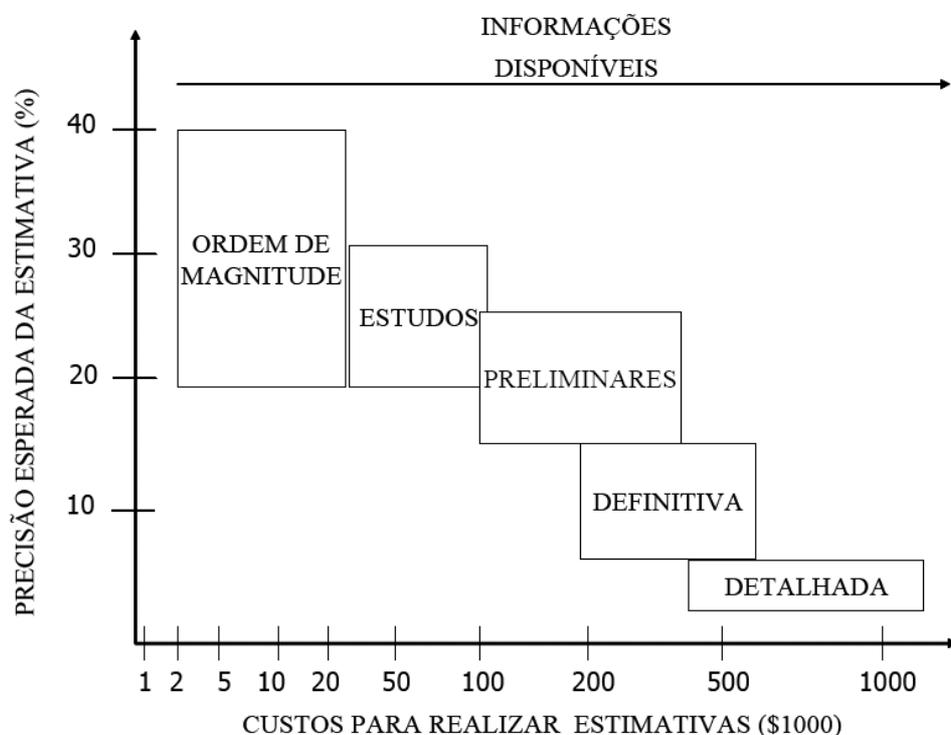


Figura 9 – Precisão e custos para a realização de estimativas, de acordo com a quantidade de informações disponíveis para plantas industriais (adaptado de TURTON *et al.* 2003).

As correlações para estimativa de custos apresentam como característica geral serem fornecidas pelo produto entre um índice de correção de inflação, um valor de custo básico e um fator de correção. A equação (14) apresenta o conceito utilizado por GUTHRIE (1969) e TURTON *et al.* (2003), no desenvolvimento de suas correlações.

$$\text{Custo do equipamento} = (\text{índice}) \cdot (\text{custo base}) \cdot (\text{fator de correção}) \quad (14)$$

O valor do índice de correção de inflação deve ser utilizado, uma vez que os preços dos equipamentos são obtidos pelos autores, a partir de fornecedores, em um determinado período. Um índice é, meramente, um valor para um dado instante, em relação a uma base de tempo. Se o custo em qualquer tempo no passado é conhecido, o custo equivalente no presente pode ser determinado de acordo com a seguinte equação.

$$CP_{\text{atual}} = CP_{\text{antigo}} \cdot \left(\frac{VI_{\text{atual}}}{VI_{\text{antigo}}} \right) \quad (15)$$

Nesta equação, as variáveis representam o custo do equipamento para o ano de interesse (CP_{atual}), o custo original no ano base em que foram obtidos os dados de custos dos equipamentos (CP_{antigo}), o valor de um índice de referência para o ano de interesse (VI_{atual}) e o valor do mesmo índice, no ano base no qual foram obtidos os custos dos equipamentos (VI_{antigo}). Segundo PETERS e TIMMERHAUS (1991), PERLINGEIRO (2005) e DOUGLAS (1988), os índices mais utilizados são o M&S (Marshall and Swift Equipment Cost Index) e o CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index). Na Figura 10, pode-se verificar a variação do índice M&S, desde 1963 até 2009. No Anexo N, podem ser encontrados os valores do índice M&S referentes a esta figura.

O outro fator que compõe a equação (14) é o custo base. Este fator representa o valor de compra do equipamento construído, no material mais comum, e em condições de temperatura e pressão próximas da ambiente. O último termo da equação (14) é um fator de correção que permite adequar a correlação de custo ao tipo de material de construção, à pressão de operação e ao tipo do equipamento.

WARD (1984) cita que as estimativas de custos fazem parte da análise econômica de idéias propostas muito antes que o trabalho de projeto tenha sido feito. Nesse estágio, é preciso um método de estimativa que não necessite de uma relação detalhada de materiais e

nem de balanços de energia ou do dimensionamento de equipamentos, mas que seja suficientemente preciso.

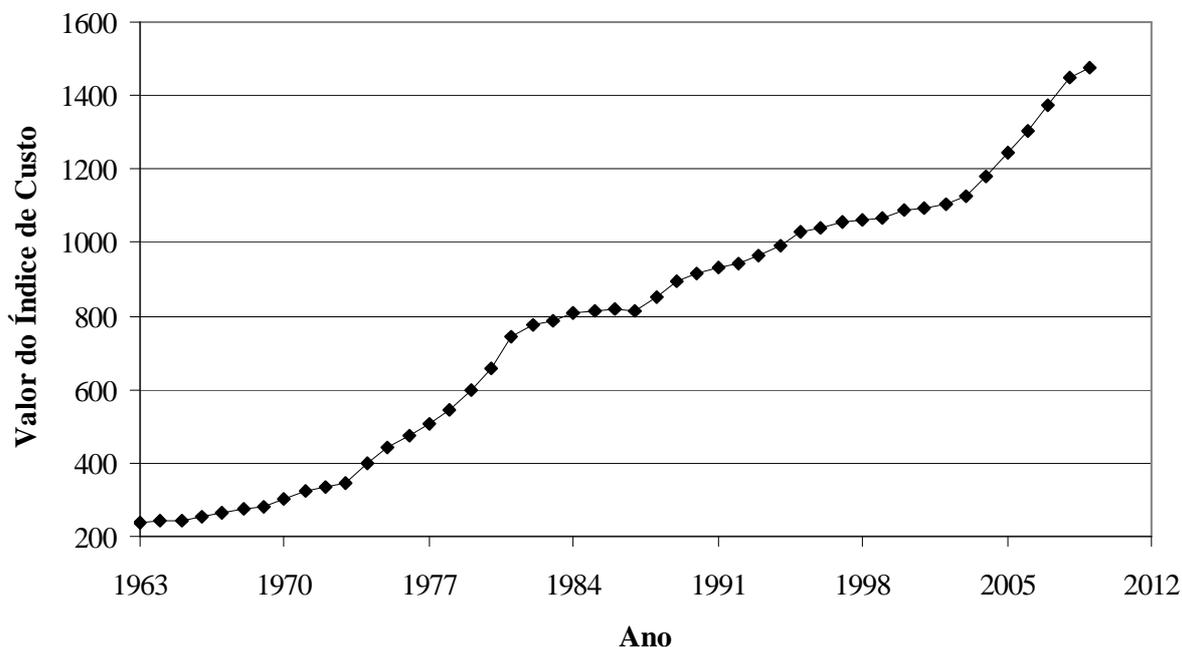


Figura 10 – Variação dos valores do índice M&S em função do tempo.

2.14 Estimativa de custos das utilidades

Para ULRICH (1984), durante os estágios de um projeto de uma nova planta, é importante ser capaz de obter uma boa estimativa do capital investido, da mão-de-obra e dos custos das utilidades. MUSSATTI e VATAVUK (2002) comentam que esta última categoria de custos abrange diferentes itens, desde energia elétrica até ar comprimido.

2.15 Introdução à análise econômica de um processo

O desenvolvimento ou o projeto de um processo só se justifica, em termos financeiros, quando este for mais atrativo que outras formas de investimento, como, por exemplo, aplicações no mercado financeiro. Para realizar esta avaliação, existem várias técnicas. Dentre os métodos mais conhecidos, estão os que consideram atualizações ou descontos do fluxo de caixa, tais como, o de Valor Presente Líquido (VPL) e o da Taxa Interna de Retorno (TIR). Entretanto, algumas vezes, é necessário determinar o tempo de recuperação do investimento em um processo. Para este caso, tem-se o Período de Retorno de Investimento, do inglês,

Payback Period (PBP) e Retorno do Investimento (ROI), (EDGAR e HIMMELBLAU, 1988). Nos itens a seguir, esses conceitos são apresentados.

2.15.1 Valor presente líquido (VPL) e Taxa interna de retorno (TIR)

São as medidas de rentabilidade mais usadas, pois classificam com mais precisão projetos alternativos (PETERS e TIMMERHAUS, 1991). O Valor Presente Líquido (VPL) de um projeto, com fluxo de caixa (F) uniforme e investimento total inicial (I_{TOTAL}) é definido conforme a equação (16).

$$VPL = -I_{TOTAL} + \sum_{t=1}^N \frac{F.C_t}{(1+j)^t} \quad (16)$$

Na equação (16), o termo $F.C_t$ representa o fluxo de caixa no t-ésimo período, j é o custo de capital e o símbolo de somatório indica que deve ser realizada a soma da data 1 até a data n . Usado na análise de investimentos, o VPL é calculado como sendo a diferença entre o valor inicial investido no projeto (I_{TOTAL}) e o valor presente dos fluxos de caixa projetados deste mesmo projeto. Um projeto cujo VPL é negativo normalmente deve ser rejeitado. O critério de decisão utilizado é o de $VPL > 0$, ou seja, para valores de VPL positivos o projeto é economicamente viável (SAMANEZ, 2002).

O outro critério que pode ser utilizado é o da Taxa Interna de Retorno (TIR). Por definição, a TIR é a taxa de retorno esperada do projeto de investimento, ou seja, seu objetivo é encontrar uma taxa intrínseca de rendimento que anule o VPL. A equação (17) ilustra esse conceito.

$$-I_{TOTAL} + \sum_{t=1}^N \frac{F.C_t}{(1+j^*)^t} = 0 \quad (17)$$

O método VPL difere do TIR porque, neste, a taxa de atratividade j^* não é especificada inicialmente, mas calculada para o caso em que VPL for igual a zero. Neste caso, j^* é denominada de Taxa Interna de Retorno. Assim, a TIR calculada (j^*) é tal que o fluxo de caixa a valores presentes é igual ao investimento inicial total (I_{TOTAL}), de forma que a equação (17) se iguale a zero. O método da TIR requer o cálculo da taxa que zera o valor presente dos fluxos de caixa das alternativas de investimento em diferentes processos (PETERS e

TIMMERHAUS, 1991). O uso deste método dá-se normalmente em projetos de implantação ou expansão industrial, em comparação com os índices normais do setor a que o projeto se referir. Ou seja, a TIR é empregada para análise da rentabilidade que o empreendimento deverá oferecer (SAMANEZ, 2002).

A vantagem de se trabalhar com o critério da TIR que este método não requer assumir nenhuma taxa de juros para o capital, já que a mesma é calculada. Este método apresenta um inconveniente: é necessário fazer hipóteses acerca do tempo de vida dos equipamentos e cálculos iterativos podem ser requeridos na determinação de j^* .

2.15.2 Método do payback period (PBP)

Muitas vezes, é necessário determinar o tempo que irá transcorrer até ser recuperado o investimento que foi feito (TURTON *et al.* 2003). Ou seja, procura-se estabelecer o tempo necessário para que os fundos gerados pelo investimento sejam iguais aos gastos inicialmente feitos. SAMANEZ (2002) apresenta a equação (18) utilizada para o cálculo do PBP.

$$I_{\text{FIXO}} = \sum_{t=1}^N \frac{F.C_t}{(1+j^*)^t} \quad (18)$$

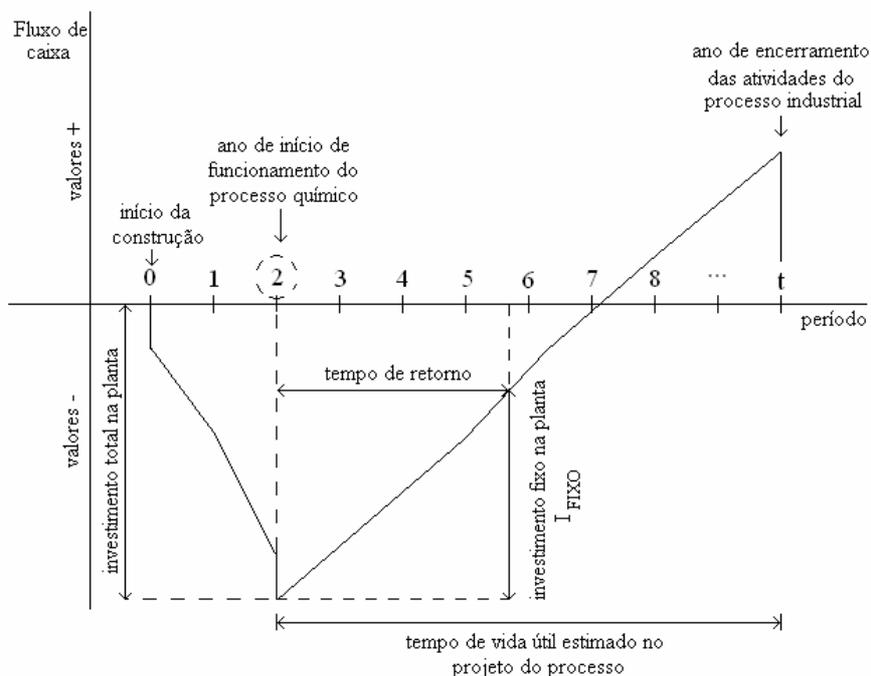


Figura 11 – Ilustração de um fluxo de caixa para as estimativas de um novo projeto de processos (adaptado de TURTON *et al.* 2003).

A Figura 11 ilustra como o tempo de retorno de um investimento pode ser calculado. Considere os investimentos na planta de um novo processo químico até o segundo ano, quando de fato o empreendimento começa a operar. Todo o investimento realizado até esse momento é definido como sendo o investimento total (I_{TOTAL}). A partir deste momento, o tempo necessário até a recuperação do I_{FIXO} é denominado de *payback period*. Uma outra comparação importante é a do tempo de vida útil estimado no projeto, já que o tempo total de recuperação do capital investido deve ser menor que o tempo de vida útil do projeto.

A recuperação de capital investido pode ser calculado pela equação (19).

$$PBP = \frac{\text{Investimento inicial feito na planta (U\$\$ ou R\$)}}{\text{Fluxo de caixa anual (U\$\$ ou R\$/ano)}} \quad (19)$$

2.15.3 Método do custo anual equivalente

De acordo com SAMANEZ (2002), o método do Custo Anual Equivalente (CAE) permite encontrar o custo anual (ou mensal) que equivale ao investimento inicial. Ou seja, mostra qual é a quantia uniforme que deve ser investida a cada ano (ou mês) durante a vida útil, de modo a igualar o investimento inicial. Para calcular o valor do CAE, é necessário a determinação do investimento no processo e a vida útil do projeto. A equação (20) ilustra como efetuar o cálculo do valor do CAE.

$$CAE = I_{TOTAL} \cdot \sum_{t=1}^N \frac{F.C_t}{(1 + j^*)^t} \quad (20)$$

Em que: I_{TOTAL} é o investimento total inicial para implementar o processo; CAE representa o custo anual equivalente; t é a vida útil média dos equipamentos e j^* equivale aos juros anuais praticados no mercado financeiro. O tempo de vida útil de um projeto é uma decisão voluntária, baseada na identificação do possível resultado econômico-financeiro do negócio. Mesmo que se imagine uma vida útil infinita, para fins de estudo, é necessário fixar um horizonte temporal, não muito distante, que permitirá efetuar as análises desejadas e verificar se os empreendimentos são economicamente viáveis. Normalmente, este período pode coincidir com o tempo de vida útil dos principais equipamentos a serem utilizados. SAMANEZ (2002) apresenta, para máquinas e equipamentos, uma taxa de depreciação e uma vida útil estimada de 10% e 10 anos, respectivamente.

CAPITULO III

3. LAYOUT DESENVOLVIDO

Neste trabalho, foi proposta uma alteração no processo de produção de amido de milho em relação ao tradicional. Deste modo, para a modelagem e simulação do processo, foi necessário desenvolver um fluxograma próprio que permitisse a identificação de parâmetros para a otimização operacional.

Portanto, estudou-se e desenvolveu-se um layout próprio, que permitisse flexibilidade operacional e redução, tanto dos custos dos equipamentos quanto de processamento, e que viabilizasse a simulação, proporcionando condições de avaliação e otimização operacional.

Além disso, este layout deveria estar em conformidade com dados de plantas industriais em operação.

Para tanto, o layout conta com uma inovação tecnológica no processo, advinda dos processos tradicionais, caracterizada pela alteração no processo de maceração na substituição dos tradicionais equipamentos utilizados na moagem de milho, pelos utilizados convencionalmente em fecularia. Ressaltamos ainda que, neste layout proposto, a maceração é realizada com o milho já degerminado, ao invés do grão de milho inteiro como nos processos tradicionais.

A utilização destes equipamentos minimiza os custos de instalação das plantas industriais para moagem de milho, possibilitando assim instalações de pequenas plantas industriais para processamento de milho pelo processo via úmida.

3.1 Determinação do Layout Produtivo

Na busca de um layout base para a simulação, alguns pontos se mostraram primordiais para que este se mostrasse capaz de ser simulado.

Uma das grandes diferenças entre os processos de produção de amido é que, no processo tradicional, o milho é macerado inteiro e os tanques de maceração são conectados entre si por um sistema de tubos e bombas que movimentam a água de um tanque para o outro, passando através de trocadores de calor para aquecimento da solução. Neste tipo de

operação, os grãos com maior tempo de maceração estão em contato com a água mais recentemente introduzida no sistema, que contém pequenas quantidades de sólidos solúveis e elevado teor de SO_2 . O milho mais novo do sistema recebe a solução que já passou por todos os outros tanques, contendo, portanto, grandes quantidades de sólidos e baixos teores de SO_2 . É a partir deste momento que, por cerca de oito horas, ocorre o desenvolvimento de fermentações lácticas.

No processo de produção proposto neste trabalho, o grão de milho é degerminado e, depois, bombeado para os tanques de maceração, nos quais a solução de maceração permanece no mesmo tanque do início ao fim, sem a necessidade de troca entre os tanques, sendo a circulação da água promovida no próprio tanque. O aquecimento da solução de maceração é promovido pela adição direta de vapor no tanque de maceração.

O fluxograma do processo proposto de produção do amido de milho e dos subprodutos está apresentado na Figura 12, e na Figura 13 está apresentado o fluxograma do processo tradicional.

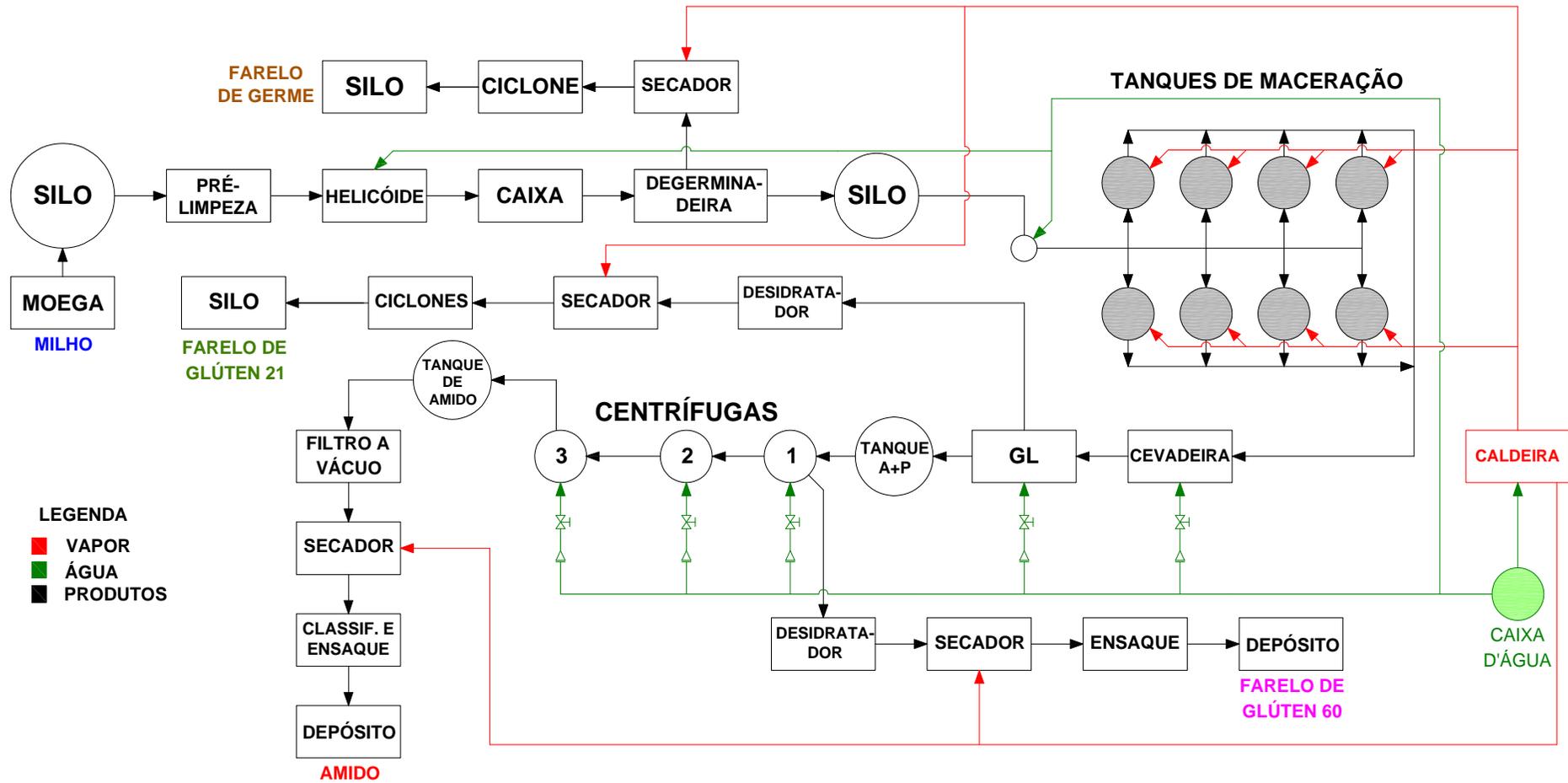


Figura 12 – Fluxograma do processo proposto para a produção de amido de milho e dos farelos.

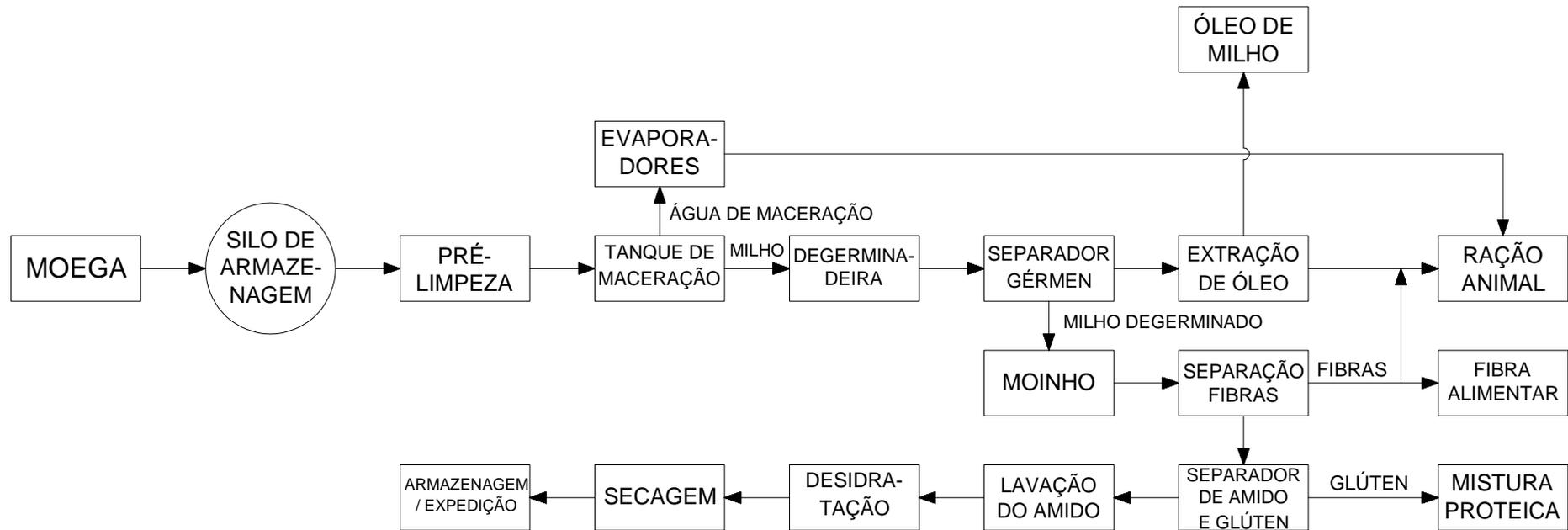


Figura 13 – Fluxograma do processo tradicional para a produção de amido de milho e dos subprodutos.

3.2 Layout Proposto

O layout proposto apresenta um diferencial tecnológico quando comparado com as plantas industriais tradicionais, bem como os apresentados na literatura.

Para tanto, o layout conta com uma inovação no processo advinda do mercado moegueiro, caracterizada pela adaptação de uma fecularia a uma amidonaria.

As principais diferenças existentes entre o processo tradicional e o proposto neste trabalho.

- Os equipamentos usados nos processos tradicionais requerem altos investimentos, equipamentos específicos, sendo atualmente utilizados no Brasil por grandes empresas multinacionais.

- No layout proposto, a maioria dos equipamentos utilizados são aqueles tradicionalmente usados em fecularias (na obtenção da fécula de mandioca), o que minimiza os custos para uma planta industrial de pequeno porte.

- Neste trabalho, a operação é lucrativa para pequenas plantas, visto que, para plantas de grande porte, seria necessário um espaço físico muito grande e um número elevado de equipamentos, o que não justificaria a instalação, pois, os equipamentos disponíveis no mercado para fecularias não possuem uma capacidade de processamento elevada, principalmente quando utilizados na moagem de milho.

- O layout proposto é interessante para pequenas instalações que processam raiz de mandioca e que, na entre safra, deixa de operar por falta de matéria-prima. Como a disponibilidade de milho não depende exclusivamente da safra, a produção de amido de milho e seus subprodutos passam ser uma alternativa economicamente viável.

- No layout proposto, a maceração é realizada com o milho degerminado, uma vez que a moagem se torna mais eficiente quando se utiliza as cevadeiras e, também, para um melhor reaproveitamento do óleo presente no grão de milho, que sai no início do processo agregado com o farelo de germe.

- Com o objetivo de minimizar os custos na operação de maceração, foi proposta neste trabalho, a alteração do processo de maceração em relação ao convencional, isto é, a água de maceração permanece no mesmo tanque do início ao final do processo, não sendo realizada a troca de água entre os tanques. O aquecimento da água de maceração é realizado através da injeção direta de vapor, não sendo necessária a utilização de trocadores de calor.

3.2.1 Transporte

O milho é transportado até a planta industrial por meio de caminhões graneleiros.

3.2.2 Recepção e pesagem do milho

O processo se inicia com a recepção e pesagem das cargas de milho. Após a identificação dos caminhões e da análise do produto, o milho segue para a moega em concreto, onde é descarregado. Os grãos de milho são então transportados por meio de elevadores de canecos para o silo de armazenagem.

3.2.3 Silo de armazenagem

Os grãos de milhos são estocados em silos de armazenagem com umidade máxima de 14% (conforme contratos assinados com os fornecedores), para evitar o desenvolvimento de aflatoxinas.

3.2.4 Pré-limpeza

O milho recebido é limpo, para remover materiais estranhos como pedaços de sabugo, partículas metálicas e pó. Esta operação é feita com peneiras e eletroímãs.

3.2.5 Degerminadeira

A degerminadeira é utilizada para fracionar o grão de milho em canjica (milho sem germe e sem pericarpo) e farelo de germe. Neste equipamento, o milho entra previamente umedecido com água (umidade média de 18 a 20 %), e a caixa alimentadora da degerminadeira funciona como um silo pulmão. O farelo de germe proveniente da degerminadeira é seco em secador pneumático de corrente contínua tipo *Flash Dryer*,

armazenado em silo e comercializado a granel como ingrediente para ração animal. A canjica resultante é macerada, para a produção de amido e do farelo de glúten 60 e 21.

3.2.6 Tanque de maceração

Nos tanques de maceração ou maceradores, a canjica ficará por um período médio de 48 horas, em água aquecida de 48 a 52 °C, contendo pequenas quantidades de SO₂ dissolvido, em torno de 0,1 a 0,2 %. O aquecimento da água de maceração é realizado através da injeção direta de vapor.

O ácido sulfuroso diluído, formado pela interação do dióxido de enxofre e da água, controla a fermentação, evitando excessivo crescimento bacteriológico, e ajuda na separação do amido. Durante a maceração, os componentes solúveis são extraídos do grão. Ao se concluir a fase de maceração, a água é drenada e armazenada em tanques, para ser utilizado no próximo tanque de canjica a ser macerada, a utilização desta água é contínua, só é descartada parte da mesma quando esta atinge uma concentração em torno de 10 graus Baumé.

3.2.7 Cevadeira

O milho degerminado e macerado é bombeado através de bombas centrífugas para a cevadeira (uma espécie de moinho), onde é moído até se obter uma massa homogênea.

3.2.8 Peneiras cônicas rotativas (GL)

A massa homogênea proveniente da cevadeira é bombeada para um conjunto de peneiras cônicas (GL), onde é lavada com água (sob pressão), proporcionando a separação do amido e da proteína da massa resultante (bagaço). Após a lavagem, a suspensão de amido e proteína (farelo de glúten 60) é bombeada para uma centrífuga, e o bagaço resultante é comercializado como ingrediente para ração animal (farelo de glúten 21).

3.2.9 Centrífuga

Os componentes da suspensão formada pela água, amido e farelo de glúten 60 são separados por centrifugação. Como o amido difere em densidade, uma separação quase completa é obtida imediatamente. O amido ainda tem cerca de 2% de proteína, sendo então

diluído e lavado até que seja removida quase totalmente a proteína, chegando a um amido com alta qualidade, tipicamente 99,7% de pureza, e uma concentração final de leite de amido de 18 a 20 Bé. A suspensão de farelo de glúten 60 é bombeada para um desidratador.

3.2.10 Desidratador do farelo de glúten 60

Por diferença de densidade, ocorre a separação do excesso de água da proteína (farelo de glúten), seguida da secagem em secador pneumático de corrente contínua tipo *Flash Dryer*, sendo o farelo comercializado como ingrediente para ração animal.

3.2.11 Desidratador

O amido concentrado nas centrífugas é bombeado do tanque de amido leite para um desidratador a vácuo, conhecido como filtro a vácuo, que, na prática, trata-se de uma tela cilíndrica perfurada, coberta por um tecido removível que em média deve ser substituído a cada oito horas. No desidratador, o amido concentrado é despejado, filtrado e desidratado a uma umidade média de 42%, para, posteriormente, ser secado. Neste caso, também se pode usar um desidratador tipo *pillar* que desidrata o amido a até 35% de umidade.

3.2.12 Secagem

O amido desidratado, proveniente do filtro a vácuo, segue por uma rosca sem fim a uma válvula rotativa que alimenta um secador pneumático de corrente contínua tipo *Flash Dryer*. Neste equipamento, o produto é conduzido e seco por uma corrente de ar quente, previamente aquecida em um trocador de calor que utiliza vapor de água como fluido de aquecimento.

CAPITULO IV

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O layout proposto neste trabalho foi avaliado e implementado em uma unidade industrial, que tradicionalmente operava na moagem de raiz de mandioca, esta planta industrial esta localizada na Região Oeste do Paraná.

4.1 Materiais e Métodos

O milho utilizado nas corridas experimentais deste trabalho é do tipo híbrido simples, semiduro, levemente dentado, alaranjado, safra 2007/2008, produzido na região Oeste do Estado do Paraná.

Para a caracterização, foram utilizados produtos provenientes do processo industrial.

Na Tabela 10, estão apresentadas as análises realizadas no grão de milho, farelo de germe, farelo de glúten 60, farelo de glúten 21 e no amido.

Tabela 10 – Análises realizadas no grão de milho, amido e farelos.

Análises	Produtos				
	Milho	Farelo germe	Farelo glúten 60	Farelo glúten 21	Amido
Teor umidade (estufa)	X	X	X	X	X
Teor de amido (ácido)	X	X	X	X	X
Extrato etéreo (Soxhlet)	X	X	X	X	X
Teor Proteína (Kjeldahl)	X	X	X	X	X
Teor de cinzas (mufla)	X	X	X	X	X
Teor de fibras (enzimático)	X	X	X	X	-
pH (Potenciométrico)	-	-	-	-	X
Granulometria	-	-	-	-	X
Matéria estranha, impurezas, ardidos e brotados, grãos avariados.	X	-	-	-	-

A planta do processo de extração de amido, farelo de glúten 60, farelo de glúten 21, farelo de germe a ser utilizada, está localizada na região oeste do Paraná. Foram realizados teste de análise de impurezas e fragmentos, avariados, ardidos/brotados, teor de amido, teor de umidade, teor de proteína, extrato etéreo, teor de fibras e cinzas.

Teor de umidade: determinou-se pesando 3g de amostra em placa de Petri previamente tarada e seca, em estufa com circulação de ar a 105°C até peso constante, conforme AOAC, (1995).

Teor de amido: determinou-se o teor de amido segundo o método enzimático descrito em Rickard e Behn (1987) e a dosagem dos açúcares redutores por Somogy-Nelson (NELSON, 1944 e SOMOGY, 1945).

Extrato etéreo: conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985), utilizando extrator Soxhlet com éter de petróleo como solvente (método 4.10).

Teor de proteínas: determinou-se o teor de proteína utilizando o método Kjeldahl, conforme método nº 46-12 da AACC (AMERICAN ASSOCIATION...,1995). O fator 6,25 foi empregado para a conversão do nitrogênio detectado em proteína bruta.

Teor de cinzas: determinou-se o teor de cinzas após incineração da amostra em mufla a 550°C, Segundo o método nº 08-01 da AACC (1995).

Teor de fibras: determinou-se o teor de fibras pelo método enzimático descrito na Portaria nº. 108, de 4 de setembro de 1991, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

pH: determinou-se o pH, segundo o método descrito pela AOAC, (1995), por meio de pHmetro Digimed DM 20.

Granulometria das partículas de amido de milho

A caracterização tecnológica de materiais engloba, principalmente, a determinação de propriedades físicas. Entre estas estão a determinação do tamanho das partículas e a distribuição granulométrica. As partículas podem ter várias formas, que influenciam

determinadas propriedade, tais como fluidez, empacotamento, interação com fluidos e poder de cobertura de pigmentos.

A análise granulométrica das partículas foi realizada a partir de dados experimentais obtidos em laboratório. O tamanho das partículas foi determinado a partir de análises microscópicas, realizadas no laboratório de processos de separação do Departamento de Engenharia Química / UEM, (utilizou-se o microscópio Olympus B x 50 biocular, câmara digital, Pró – CCD 3 séries, Programa Image – Pro Plus, versão 4.5.1.22). A análise foi realizada com uma gota de solução de hexametáfosfato de sódio e algumas partículas de amido de milho, em uma lâmina de microscópio, cobrindo-se esta suspensão com uma lamínula. Colocou-se este conjunto (lamina/lamínula) no microscópio eletrônico e este forneceu os dados dos diâmetros das partículas.

As análises granulométricas de sólidos podem ser representadas por modelos de distribuição. Entre estes, os modelos a dois parâmetros de Gates-Gaudin-Schumann (GGS), Rosin-Rammler-Bennet (RRB) e Log-Normal (LN), cujas equações são apresentadas na Tabela 11. Em geral estes modelos descrevem satisfatoriamente a maioria dos casos de interesse tecnológico.

Tabela 11 – Modelos de distribuição granulométrica

Modelo	Equação
Gates-Gaudin-Schumann	$X = \left(\frac{D}{k}\right)^m \quad (21)$
Rosin-Rammler-Bennet	$X = 1 - e^{-\left(\frac{D}{D^1}\right)^n} \quad (22)$
	$X = (1 + \operatorname{erf}(z))/2 \quad (23)$
Log-Normal	$z = \ln(D/D_{50}) / (\sqrt{2} \cdot \ln\sigma) \quad (24)$
	$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^z e^{-z^2} \cdot dz \quad (25)$

Em que:

X é a fração das partículas com diâmetro menor do que D.

As propriedades de um conjunto de partículas sólidas, como por exemplo, a superfície específica, é influenciada pela análise granulométrica. Considerando que as partículas de um dado material apresentem os fatores de forma a e b, e a densidade constante independentes do

tamanho destas partículas. Os fatores a e b são tais que $a \cdot D^2$ e $b \cdot D^3$ fornecem a superfície e o volume, respectivamente, da partícula de diâmetro D. Então, a superfície específica da partícula (S_w) pode ser calculada pela seguinte equação:

$$S_w = \frac{\int_0^{\infty} a \cdot \frac{dN}{dD} \cdot dD}{m} \quad (26)$$

Em que: N é o número de partículas de diâmetro D e m a massa do conjunto de partículas.

$$\frac{dN}{dD} = \frac{m}{\rho \cdot b \cdot D^3} \cdot \frac{dX}{dD} \quad (27)$$

Resulta:

$$S_w = \frac{a}{\rho \cdot b} \cdot \int_0^{\infty} \frac{1}{D} \cdot \frac{dX}{dD} \cdot dD = \frac{a}{b \cdot D_s \cdot \rho} \quad (28)$$

Onde: D_s é o diâmetro médio de Sauter.

$$D_s = 1 / \int_0^{\infty} \frac{1}{D} \cdot \frac{dX}{dD} \cdot dD \quad (29)$$

Conhecido o modelo de distribuição, o diâmetro médio de Sauter pode ser calculado por meio das expressões apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Diâmetro médio de Sauter para cada modelo de distribuição de tamanhos.

Modelo	D_s	
GGs	$(m - 1) \cdot k / m, m > 1$	(30)
RRB	$D^1 / \Gamma\left(1 - \frac{1}{n}\right), n > 1$	(31)
LN	$D_{50} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \ln^2 \sigma\right)$	(32)

Matérias estranhas, impurezas e fragmentos: uma amostra de 250,0 gramas de milho foi separada para ser classificada, previamente homogeneizada. Peneirou-se a amostra, utilizando as peneiras de crivo circular de 5,0 e 3,0 mm de diâmetro para a separação das impurezas. Colocou-se na ordem indicada (peneira mais aberta em cima e peneira mais fechada em baixo). Pesou-se as impurezas que passaram na malha 3 mm e somou-se aos materiais estranhos retidos na peneira 5,0 mm.

Grãos Ardidos e brotados: determinou-se utilizando a amostra restante, retida na peneira de 5,0 mm, utilizada para determinar as impurezas, realizando-se a contagem dos grãos ardidos e brotados e, em seguida, efetuou-se à pesagem. Com esse valor, determinou-se o percentual de grãos ardidos.

Grãos avariados: determinou-se usando o restante da amostra utilizada para determinar os ardidos e brotados classificando-se cada grupo de grãos com defeitos (avariados, quebrados, chochos, imaturos e carunchados). Pesou-se individualmente cada grupo de grãos com defeito e calculou-se o percentual individual.

4.2 Metodologia para levantamento de custos da planta

Na parte referente aos custos de planta, foram estimados os custos dos equipamentos envolvidos (silos, tanques de maceração em polipropileno, tanques em aço inóx, cevadeira, conjunto de peneiras cônicas rotativas, centrífugas, bombas, filtro a vácuo, secador flash dryer, etc.), ou seja, toda a parte referente à estimativa do custo fixo da planta. Adicionalmente, também foram calculados os custos variáveis envolvidos na operação da planta, no qual entram as utilidades, mão-de-obra, taxas, etc.

Para calcular o custo total da planta, foram utilizados os métodos e as correlações apresentadas no capítulo 3, com o uso de planilhas de cálculo.

Por fim, determinou-se a vazão mássica de milho, os custos fixos e variáveis para a implementação da planta (estimativa de todos os custos envolvidos). A última etapa foi a simulação computacional, por meio de planilhas de cálculo, para analisar a viabilidade do processo para diferentes condições.

CAPITULO V

5. BALANÇO DE MASSA E ENERGIA

O grão de milho pode ser dividido em quatro partes: ponta, pericarpo, germe e endosperma, sendo que este último representa aproximadamente 83% da massa do grão (MITTELMAN, 2001). O endosperma é composto por 90% de amido e 10% de proteína (GIBBON e LARKINS, 2005). Portanto, no processo industrial em estudo, é possível extrair 78% de amido presente no endosperma, 8% de proteína e 14% de griz (massa resultante do processo de extração de amido). Tanto o pericarpo, quanto o germe, também possuem quantidades de amido e proteína em suas composições. No entanto, como essa quantidade é pequena e difícil de ser extraída, ela será desprezada nos balanços.

O balanço energético foi realizado na etapa da maceração e nos equipamentos responsáveis pela secagem do amido, do farelo de glúten 60, do farelo de glúten 21 e do farelo de germe, ou seja, nos secadores pneumáticos de corrente contínua do tipo *Flash Dryer*. Seu princípio de funcionamento se baseia na transferência de massa e energia entre duas correntes: a primeira, uma corrente de ar aquecido por meio de um trocador de calor e, a segunda, uma corrente do produto a ser seco.

5.1 Balanço energético nos tanques de maceração

Os tanques de maceração devem ser mantidos a uma temperatura em torno de 52°C, sendo injetado vapor a 180°C proveniente da caldeira para o controle dessa temperatura.

Os cálculos foram realizados com o uso de planilhas do Excel, e os resultados estão apresentados nas tabelas 13 e 14.

Tabela 13 – Propriedades da água para o cálculo da massa de vapor requerida na maceração.

TANQUES DE MACERAÇÃO		
Constantes para o cálculo do cp		
	Água	
A	8,712	
B	0,00125	
C	-0,00000018	
D	0	
Rg	0,462	kJ/(kg.K)
Água		
Vazão volumétrica	7,77	m ³ /h
Vazão mássica	7766	kg/h
Temperatura no início da maceração	23	°C
Temperatura no final da maceração	52	°C
Diferença de temperatura	29	°C
Temperatura média	37,5	°C
Cp médio da água	4,195	kJ/(kg.K)
Calor necessário	944827	kJ

Tabela 14 – Propriedades do vapor saturado para o cálculo da massa de vapor requerida na maceração.

Vapor Saturado		
Pressão	10,2	kgf/cm ²
Temperatura no início	180	°C
Temperatura no final	52	°C
Calor latente (λ)	2013,1	kJ/kg
Temperatura média	116	°C
cp médio	4,236	kJ/(kg.K)
Diferença de temperatura	128	°C
Calor (Qq)	944827	kJ/h

Logo, a vazão mássica de vapor requerida para macerar 46,80 toneladas de canjica por dia (o equivalente a 60 toneladas de milho por dia), é de 0,37 toneladas de vapor por hora.

Foi escolhida neste trabalho apresentar a capacidade de moagem de 60 toneladas de milho por dia, visto que, é a capacidade que a maioria das feculares de pequeno porte (as que

trabalham com 200 toneladas de moagem de raiz por dia), poderiam estar adaptando para moer milho.

5.2 Balanço energético nos secadores

O balanço energético foi realizado nos equipamentos responsáveis pela secagem do farelo de germe, amido, do farelo de glúten 60 e do farelo de glúten 21. O balanço foi dividido em duas regiões, **A** e **B**. A região **A** é onde ocorre a troca de calor entre o ar ambiente e o vapor proveniente da caldeira. A Figura 14 ilustra as regiões de análise para o balanço energético. O Balanço detalhado do secador pneumático pode ser encontrado no trabalho desenvolvido por GERALDI (2006), quando trabalhou com a secagem da fécula de mandioca em secador pneumático.

Já a região **B**, compreende o espaço do secador no qual o ar aquecido pelo trocador de calor transfere energia a um dos produtos citados, que estão com umidade maior que a desejada, transferindo parte dessa umidade para o ar aquecido, aumentando assim sua umidade. O produto é arrastado pelo secador e coletado na forma de pó, com umidade desejada, numa bateria de ciclones que têm por finalidade a separação do produto da corrente de ar.

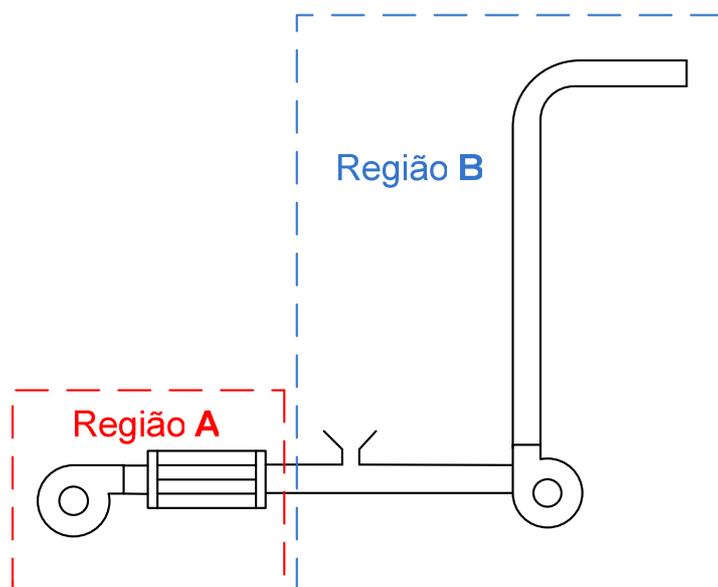


Figura 14 – Regiões de troca térmica do secador pneumático tipo Flash Dryer.

5.3 Balanço energético no trocador de calor – Região A

Nesta região, ocorre a troca térmica entre o ar ambiente a uma determinada umidade e o vapor saturado proveniente da caldeira, que opera a uma pressão de 10,2 kgf/cm² (aproximadamente 9,9 atmosferas).

São quatro secadores pneumáticos destinados ao produto (amido) e subprodutos (farelo de germe, farelo de glúten 60 e farelo de glúten 21) do processo. Esses materiais entram no secador a diferentes umidades, porém o ar aquecido é inserido no processo de secagem possui as mesmas propriedades de entrada, variando apenas a temperatura de saída. A seguir estão citadas as considerações necessárias para a realização dos cálculos.

5.3.1 Ar Ambiente

As condições de entrada do ar ambiente foram fornecidas pela Estação Climatológica Principal de Maringá, localizada na UEM (Universidade Estadual de Maringá), considerando as temperatura e umidade relativa médias durante o ano de 2008. Além disso, esse fluido foi considerado como gás ideal, para efeito de cálculo.

5.3.2 Vapor da Caldeira

A caldeira opera a uma pressão de 10,2 kgf/cm², gerando vapor saturado a uma temperatura de 180°C (SMITH *et al.* 2000). Esse vapor entra saturado e troca calor latente com ar ambiente, condensa e sai na forma de líquido saturado.

5.3.3 Cálculo da vazão volumétrica de ar ambiente

Com a velocidade (*v*) de passagem do ar pelos trocadores e secadores sendo 23 m/s (dado fornecido pelo fabricantes do equipamento), e com o diâmetro da tubulação do secador (*D*), calcula-se a vazão volumétrica pela seguinte equação.

$$Q = v \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \quad (33)$$

5.3.4 Cálculo do volume específico do ar ambiente

Com base nas condições de entrada do ar ($T_{ent} = 23 \text{ °C}$ e $UR = 68\%$), encontra-se sua umidade absoluta (UA) do ar, por meio de uma carta psicrométrica (PERRY, 1980):

$$UA = 0,012 \text{ kg de vapor / kg ar seco}$$

Ainda por meio da carta psicrométrica, encontrou-se o volume específico do ar seco ($VE_{\text{ar seco}}$) e ar saturado (VE_{sat}) nas condições de entrada.

Por meio da equação (34), calculou-se o volume específico da massa de ar, já que esse ar é constituído de ar seco e umidade.

$$VE = VE_{\text{ar seco}} + UR \cdot (VE_{\text{sat}} - VE_{\text{ar seco}}) \quad (34)$$

5.3.5 Cálculo das vazões de ar seco e umidade (ar ambiente)

Com o valor do volume específico é possível calcular as vazões mássicas de ar seco ($m_{\text{ar seco}}$) e de umidade, ou seja, água ($m_{\text{água}}$), presentes na corrente de entrada, através das equações (35) e (36) respectivamente:

$$m_{\text{ar seco}} = \frac{Q}{VE} \quad (35)$$

$$m_{\text{água}} = UA \cdot m_{\text{ar seco}} \quad (36)$$

5.3.6 Cálculo da energia do ar ambiente

Para o cálculo da energia do ar na entrada do trocador, calculou-se as capacidades caloríficas (C_p) do ar seco e da água na temperatura de 23 °C, por meio da equação (37):

$$c_p = (A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^{-2}) \cdot R \quad (37)$$

Os parâmetros A, B, C, D e R (estão apresentados nos anexos A, B, C, D), foram obtidos de SMITH *et al.* (2000), para ar seco e água na condição de gás ideal.

O cálculo do calor para o ar seco e para a água foi realizado a partir da equação (38):

$$Q = c_p \cdot T \cdot m \quad (38)$$

Sendo T a temperatura de entrada e m, a vazão mássica de ar seco ou água. Somando esses valores, encontra-se o calor total

5.3.7 Cálculo da energia do ar na saída do trocador

Após a passagem pelo trocador de calor, o ar ambiente, aquecido pela troca térmica com o vapor, atinge uma determinada temperatura, mantendo constante a quantidades de ar seco e sua umidade absoluta. As capacidades caloríficas (cp) do ar seco e da água foram calculadas nessa temperatura por meio da equação (37), e as energias foram determinadas pela equação (38), a soma desses valores resulta no calor total.

5.3.8 Cálculo do calor trocado

Pela diferença entre as energias de saída e de entrada do trocador de calor, é possível obter a quantidade de calor trocado entre o ar ambiente e o vapor saturado produzido pela caldeira. Esse valor é calculado pela equação (39):

$$\Delta Q = Q_{saída} - Q_{entrada} \quad (39)$$

5.3.9 Cálculo da vazão mássica de vapor necessário para a troca térmica

Para a pressão de 10,2 kgf/cm², o vapor saturado se encontra a 180°C e tem como calor latente de vaporização:

$$\lambda = 2013,10 \text{ kJ/kg (SMITH } et al. 2000)$$

Por meio da equação (40), calcula-se então, a vazão mássica de vapor (m_{vapor}).

$$m_{vapor} = \frac{\Delta Q}{\lambda} \quad (40)$$

Como serão utilizados quatro trocadores de calor, a vazão mássica total necessária de vapor, será a soma das vazões mássicas de cada trocador.

5.3.10 Cálculo da área de troca térmica

A equação geral do trocador de calor é dada por:

$$A = \frac{Qq}{U_D \cdot MLDT} \quad (41)$$

Sendo:

Qq = a quantidade de calor trocado

$MLDT$ = a média logarítmica das diferenças de temperatura

U_D = o coeficiente global de troca térmica fornecido por KERN (1982), para vapor como fluido quente, e ar como fluido frio, considerando um fator de incrustação de 0,003

A média logarítmica é calculada pela equação (42), considerando-se fluxo contracorrente, no qual, o vapor da caldeira entra e sai a $T=T_1=T_2= 180^\circ\text{C}$.

$$MLDT = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} \quad (42)$$

5.4 Balanço energético na região B – Secagem ideal

Nessa etapa, é necessário o balanço em cada um dos três secadores separadamente, pois as umidades de entrada e saída de cada produto são diferentes.

Portanto, a umidade absoluta (UA) na saída do secador, pode ser calculada pela equação (43):

$$UA = \frac{G_{1 \text{ água}}}{G_{1 \text{ ar-seco}}} \quad (43)$$

Por meio da equação (44), calcula-se a quantidade de calor recebida pela água a ser evaporada, e que será denominado de Q_C :

$$Q_C = (M_{\text{água}} \cdot c_p \cdot \Delta T) + (M_{\text{água}} \cdot \lambda) \quad (44)$$

λ = o calor latente de vaporização (SMITH *et al.* 2000);

c_p = a capacidade calorífica da água (SMITH *et al.* 2000);

5.4.1 Balanço global no secador

O balanço das quantidades de energias cedidas (Q_A e Q_B), recebidas (Q_C , Q_D e Q_E) e desprezando as perdas de calor para o ambiente ($Q_P = 0$) é dado por:

$$Q_A + Q_B + Q_C + Q_D + Q_E + Q_P = 0 \quad (45)$$

Em que:

Q_A = calor cedido pelo ar úmido que passa pelo trocador de calor

Q_B = calor cedido pela umidade presente no ambiente

Q_C = calor recebido pela água evaporada

Q_D = calor recebido pelo produto a ser seco

Q_E = calor recebido pela umidade final do produto

Q_P = perdas de calor para o ambiente

5.4.2 Secagem do farelo de germe

Nessa etapa, uma corrente de farelo de germe com 20% de umidade, proveniente da degerminadeira, é secada até umidade máxima de 11%. Para efeito de cálculo, será considerado que, dentro do secador, existem duas correntes distintas: a corrente de farelo de germe úmido, que perde água, e a corrente de ar ambiente aquecido, que ganha umidade. A secagem é considerada ideal nesta etapa, ou seja, sem perdas térmicas para o ambiente.

A Figura 15 apresenta o fluxograma da etapa de obtenção do farelo de germe.

Neste fluxograma são apresentados as correntes e fluxos de massa, o teor de umidade do milho recebido é de no máximo 14%, isto requer que os silos sem sistema de ventilação e secagem acoplados. Para que não ocorra desenvolvimento de aflatoxinas no milho foi limitado o teor de umidade no recebimento.

Água é adicionada no helicóide que transporta o milho até a degerminadeira, sendo utilizada para facilitar a degerminação, sem quebra excessiva do endosperma.

Na degerminadeira, o milho é separado em canjica (milho degerminado) e em farelo de germe. O farelo é seco em secador flash, para redução do teor de umidade até 11%, separado da corrente de ar através de uma bateria de ciclones, armazenado em silos cônicos, e posteriormente, comercializado como ingrediente para ração animal ou para extração de óleo.

Para promover o aquecimento do ar usado na secagem do farelo de germe, utilizou-se um trocador de calor com área de troca térmica de $15,6 \text{ m}^2$ e uma vazão de vapor de $0,38 \text{ t/h}$. Isso para um secador com capacidade de secagem de 10 toneladas de farelo de germe por dia, tubulação de $0,26 \text{ m}$ de diâmetro.

O Anexo A apresenta as tabelas com as especificações e resultado dos cálculos do balanço de massa e energia para o farelo de germe.

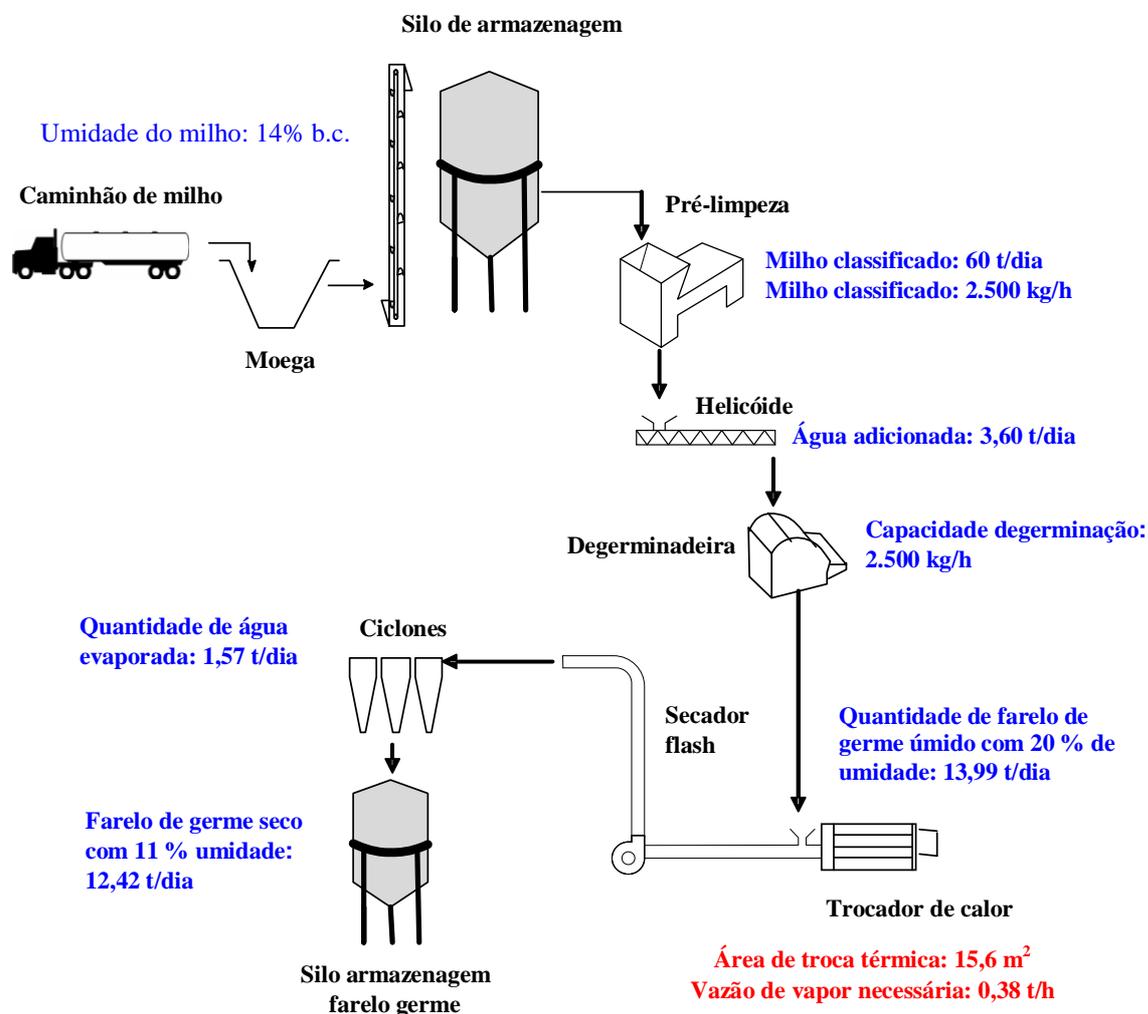


Figura 15 – Fluxograma do balanço de massa e energia para obtenção do farelo de germe de milho seco.

A Tabela 15 apresenta o resultado do balanço de energia para o secador de farelo de germe com capacidade de secagem de 10 t/dia e diâmetro da tubulação de 0,26 m. Todas as propriedades foram obtidas de PERRY, 1980 e SMITH *et al.* 2000.

Tabela 15 – Resultado do balanço de energia no secador de farelo de germe.

Calor cedido pelo ar		
Calor cedido pelo ar seco (Q_A)	-112532,71	kJ/h
Calor cedido pela umidade do ar (Q_B)	-2520,84	kJ/h
Calor recebido pela água evaporada		
Calor recebido (Q_C)	106781,25	kJ/h
Calor recebido pelo farelo de germe		
Calor recebido Q_D	5963,00	kJ/h
Calor recebido pela umidade presente no farelo de germe		
Calor recebido Q_E	2309,30	kJ/h
Balanço global de troca térmica		
$Q_A + Q_B + Q_C + Q_D + Q_E = 0$		
Temperatura do farelo de germe na saída do secador		35 °C

Observa-se que a temperatura do farelo de germe na saída do secador representa a realidade da planta industrial em operação. Na planta industrial utilizada como base para a realização deste trabalho, a temperatura do farelo de germe na saída do secador ficava em torno de 40°C.

A Tabela 16 apresenta o resultado do balanço de energia para o trocador de calor usado para aquecer o ar para a secagem do farelo de germe com área de troca térmica de cada secador de 7,78 m². Todas as propriedades foram obtidas de PERRY, 1980 e SMITH *et al.* 2000.

Tabela 16 – Resultado do balanço de energia no trocador de calor utilizado no secador de farelo de germe.

BALANÇO NO TROCADOR DE CALOR - FARELO DE GERME		
Capacidade caloríficas entrada (Cp)		
Ar	1,011	kJ/(kg.K)
Água	1,865	kJ/(kg.K)
Calor de entrada		
Ar	1548474,66	kJ/h
Água	34274,15	kJ/h
Total	11118650,19	kJ/h
Capacidades caloríficas de saída (Cp)		
Ar	1,024	kJ/(kg.K)
Água	1,888	kJ/(kg.K)
Calor de saída		
Ar	1922963,22	kJ/h
Água	42558,48	kJ/h
Total	1965521,70	kJ/h
Variação de calor	382772,90	kJ/h
Vazão de vapor necessária	190,14	kg/h
Cáculo da área de troca térmica		
Calor trocado	382772,90	kJ/h
Coefficiente global de troca térmica	408,8	kJ/(m ² .h.°C)
Média Logarítmica (MLDT)	120,4	°C
Área de troca térmica	7,78	m ²

5.4.3 Secagem do amido

Nessa etapa, uma corrente de amido a 42% de umidade, proveniente do filtro a vácuo, é secada até umidade de 14%. Para efeito de cálculo, será considerado que, dentro do secador, existem duas correntes distintas: a corrente de amido úmido, que perde água, e a corrente de ar ambiente aquecido, que ganha umidade. A secagem, nesta etapa, é considerada ideal, ou seja, sem perdas térmicas para o ambiente.

A Figura 16 apresenta o fluxograma do balanço de massa e energia para a obtenção do amido de milho.

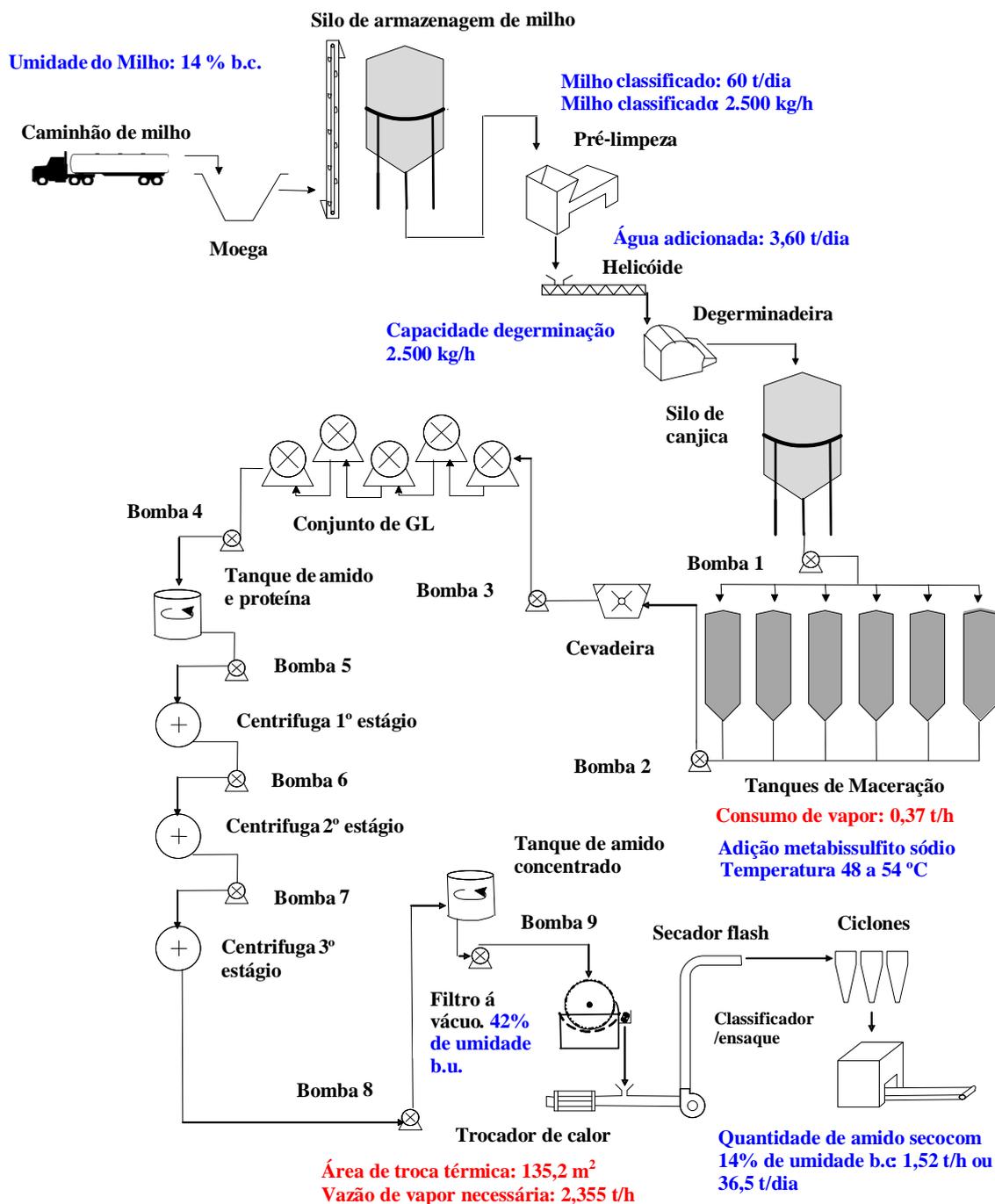


Figura 16 – Fluxograma do balanço de massa e energia para obtenção do amido de milho.

Observa-se pela Figura 16, que, para manter os tanques de maceração aquecidos na temperatura de 48 a 52 °C, o consumo de vapor é de 0,37 t/h. Na etapa da maceração, é adicionado metabissulfito de sódio, que contribui para inibir o crescimento de microorganismos indesejados, ajuda a promover o amolecimento do endosperma (milho degerminado) e a quebra do complexo amido e proteína, facilitando, assim, a liberação do

grânulo de amido. A maceração ocorre em um período médio de 48 horas, sendo que não há troca de água durante esta operação, a solução de maceração é circulada no próprio tanque, para manter a temperatura uniforme.

Após a maceração do milho degerminado, a água é drenada e a moagem é realizada em cevadeiras (equipamento tradicionalmente utilizado na moagem da raiz de mandioca). Nesta etapa, o grão de milho degerminado é transformado em uma massa bombeada para as peneiras cônicas rotativas (GL), onde ocorre a separação da suspensão de amido e proteína do farelo resultante do processo.

A suspensão de amido e proteína são separada por meio de centrífugas e a corrente de suspensão de amido concentrada é desidratada em um filtro a vácuo atingindo um teor de umidade de 42% (b.u). Em seguida, é secada em secador flash, atingindo um teor de umidade de 14%. Após a secagem, o amido é separado da corrente de ar através de uma bateria de ciclones e, em seguida, é classificado em peneiras com malha 100 mesh e embalado em sacaria de 25 kg ou em big bag, sendo comercializado para diversos seguimentos de indústrias (alimentos, papel, têxtil, etc.).

A Tabela 17 apresenta o resultado do balanço de energia para o secador de amido, com capacidade de secagem de 40 t/dia, e diâmetro da tubulação de 0,69 m.

Tabela 17 – Resultado do balanço de energia no secador de amido

Calor cedido pelo ar	
Calor cedido pelo ar seco (Q_A)	-2075522,39 kJ/h
Calor cedido pela umidade do ar (Q_B)	-47242,53 kJ/h
Calor recebido pela água evaporada	
Calor recebido (Q_C)	2061480,28 kJ/h
Calor recebido pelo amido	
Calor recebido Q_D	39738,47 kJ/h
Calor recebido pela umidade presente no amido	
Calor recebido Q_E	21546,17 kJ/h
Balanço global de troca térmica	
$Q_A + Q_B + Q_C + Q_D + Q_E = 0$	
Temperatura do amido na saída do secador	45 °C

Todas as propriedades foram obtidas de PERRY, 1980 e SMITH *et al.* 2000.

O Anexo B apresenta as tabelas com as especificações e o resultado dos cálculos do balanço de massa e energia para o amido de milho.

Observa-se que a temperatura do amido na saída do secador representa a realidade de uma planta industrial em operação: na planta industrial utilizada como base para a realização deste trabalho, a temperatura do amido na saída do secador ficava em torno de 45°C.

A Tabela 18 apresenta o resultado do balanço de energia para o trocador de calor usado para aquecer o ar para a secagem do amido com área de troca térmica de cada secador de 135,24 m².

Tabela 18 – Resultado do balanço de energia no trocador de calor utilizado no secador do amido.

BALANÇO NO TROCADOR DE CALOR - AMIDO		
Capacidade caloríficas entrada (Cp)		
Ar	1,011	kJ/(kg.K)
Água	1,865	kJ/(kg.K)
Calor de entrada		
Ar	10877877,79	kJ/h
Água	240772,40	kJ/h
Total	11118650,19	kJ/h
Capacidades caloríficas de saída (Cp)		
Ar	1,033	kJ/(kg.K)
Água	1,912	kJ/(kg.K)
Calor de saída		
Ar	15504887,97	kJ/h
Água	344428,20	kJ/h
Total	15849316,17	kJ/h
Variação de calor	4730665,97	kJ/h
Vazão de vapor necessária	2349,94	kg/h
Cáculo da área de troca térmica		
Calor trocado	4730665,97	kJ/h
Coefficiente global de troca térmica	408,8	kJ/(m ² .h.°C)
Média Logaritmica (MLDT)	85,6	°C
Área de troca térmica	135,24	m ²

Para promover o aquecimento do ar usado na secagem do amido, utiliza-se um trocador de calor com área de troca térmica de $135,2 \text{ m}^2$ e uma vazão de vapor de $2,355 \text{ t/h}$. Isso para um secador com capacidade de secagem de 40 toneladas de amido por dia e tubulação de $0,69 \text{ m}$ diâmetro.

5.4.4 Secagem do farelo de glúten 60

Nessa etapa, uma corrente de farelo de glúten 60 a 40% de umidade, proveniente do desidratador, é secada até umidade de 10%. Para efeito de cálculo, será considerado que, dentro do secador, existem duas correntes distintas: a corrente de farelo de glúten 60 úmida, que perde água, e a corrente de ar ambiente aquecido, que ganha umidade. A secagem nesta etapa é considerada ideal, ou seja, sem perdas térmicas para o ambiente.

A Figura 17 apresenta o fluxograma do balanço de massa e energia para a obtenção do farelo de glúten 60.

Observa-se, pela Figura 17, que o farelo de glúten 60 é separado no primeiro estágio da centrifugação. Até nesta etapa, o processo é o mesmo para a obtenção do amido.

Após a centrifugação, a suspensão de proteína, que, após seca, será denominada de farelo de glúten 60, é desidratada, atingindo um teor de umidade 40% (b.u). Em seguida, é secada em secador flash, atingindo um teor de umidade máximo de 10%. Após a secagem, o farelo de glúten 60 é separado da corrente de ar através de uma bateria de ciclones. Em seguida, é embalado em sacaria de 25 kg ou em big bag, sendo comercializado como ingrediente para ração animal.

Para promover o aquecimento do ar usado na secagem do farelo de glúten 60, utiliza-se um trocador de calor com área de troca térmica de $8,20 \text{ m}^2$ e vazão de vapor de $0,18 \text{ t/h}$. Isso para um secador com capacidade de secagem de 4 toneladas de farelo de glúten 60 por dia e tubulação de $0,22 \text{ m}$ diâmetro.

O Anexo C apresenta as tabelas com as especificações e o resultado dos cálculos do balanço de massa e energia, para o farelo de glúten 60.

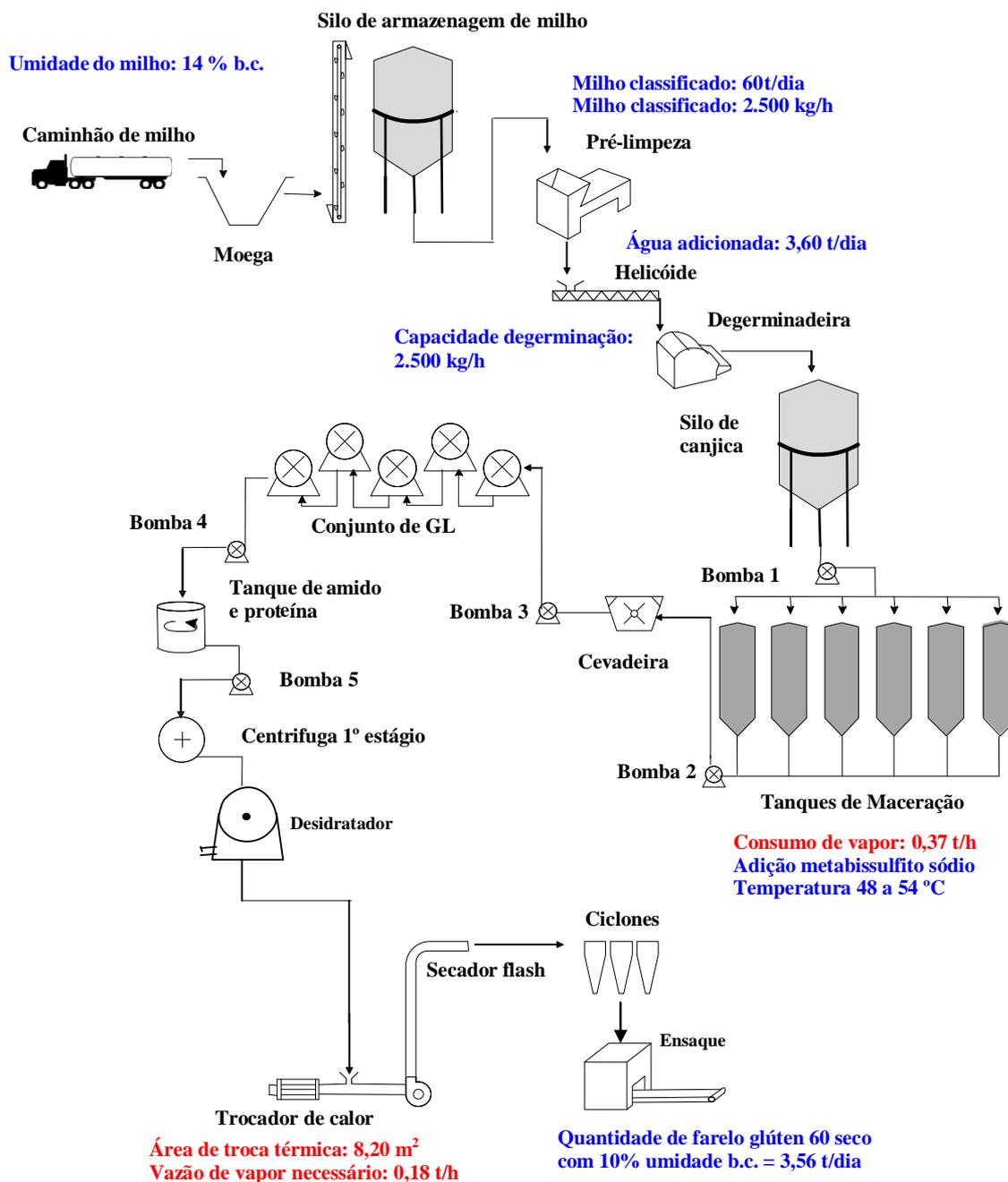


Figura 17 – Fluxograma do balanço de massa e energia para obtenção do farelo de glúten 60.

A Tabela 19 apresenta o resultado do balanço de energia para o secador de farelo de glúten 60, com capacidade de secagem de 4 t/dia, e diâmetro da tubulação de 0,22 m. Todas as propriedades foram obtidas de PERRY, 1980 e SMITH *et al.* 2000.

Verifica-se que a temperatura do farelo de glúten 60 na saída do secador representa a realidade de uma planta industrial em operação: na planta industrial utilizada como base para a realização deste trabalho, a temperatura do farelo de glúten 60 na saída do secador ficava em torno de 44°C.

Tabela 19 – Resultado do balanço de energia no secador de farelo de glúten 60.

Calor cedido pelo ar		
Calor cedido pelo ar seco (Q_A)	-204971,44	kJ/h
Calor cedido pela umidade do ar (Q_B)	-4602,46	kJ/h
Calor recebido pela água evaporada		
Calor recebido (Q_C)	202775,35	kJ/h
Calor recebido pelo farelo de glúten 60		
Calor recebido Q_D	5044,17	kJ/h
Calor recebido pela umidade presente no farelo de glúten 60		
Calor recebido Q_E	1754,38	kJ/h
Balanço global de troca térmica		
$Q_A + Q_B + Q_C + Q_D + Q_E = 0$		
Temperatura do farelo de glúten 60 na saída do secador	48	°C

A Tabela 20 apresenta o resultado do balanço de energia para o trocador de calor usado para aquecer o ar para a secagem do farelo de glúten 60 com área de troca térmica de cada secador de $8,24 \text{ m}^2$. Todas as propriedades foram obtidas de PERRY, 1980 e SMITH *et al.* 2000.

Tabela 20 – Resultado do balanço de energia no trocador de calor utilizado no secador de farelo de glúten 60.

BALANÇO NO TROCADOR DE CALOR - FARELO DE GLÚTEN 60		
Capacidade caloríficas entrada (Cp)		
Ar	1,011	kJ/(kg.K)
Água	1,865	kJ/(kg.K)
Calor de entrada		
Ar	1126555,34	kJ/h
Água	24935,33	kJ/h
Total	1151490,67	kJ/h
Capacidades caloríficas de saída (Cp)		
Ar	1,028	kJ/(kg.K)
Água	1,897	kJ/(kg.K)
Calor de saída		
Ar	1481345,77	kJ/h
Água	32824,79	kJ/h
Total	1514170,56	kJ/h
Variação de calor	362679,90	kJ/h
Vazão de vapor necessária	180,16	kg/h
Cáculo da área de troca térmica		
Calor trocado	362679,90	kJ/h
Coefficiente global de troca térmica	408,8	kJ/(m ² .h.°C)
Média Logarítmica (MLDT)	107,7	°C
Área de troca térmica	8,24	m ²

5.4.5 Secagem do farelo de glúten 21

Nessa etapa, uma corrente de farelo de glúten 21 a 45% de umidade, proveniente do desidratador, é secada até umidade de 12%. Para efeito de cálculo, será considerado que dentro do secador, existem duas correntes distintas: a corrente de amido, que perde água, e a corrente de ar ambiente aquecido, que ganha umidade. A secagem, nesta etapa, é considerada ideal, ou seja, sem perdas térmicas para o ambiente.

A Figura 18 apresenta o fluxograma com os dos balanços de massa e energia para a obtenção do farelo de glúten 21.

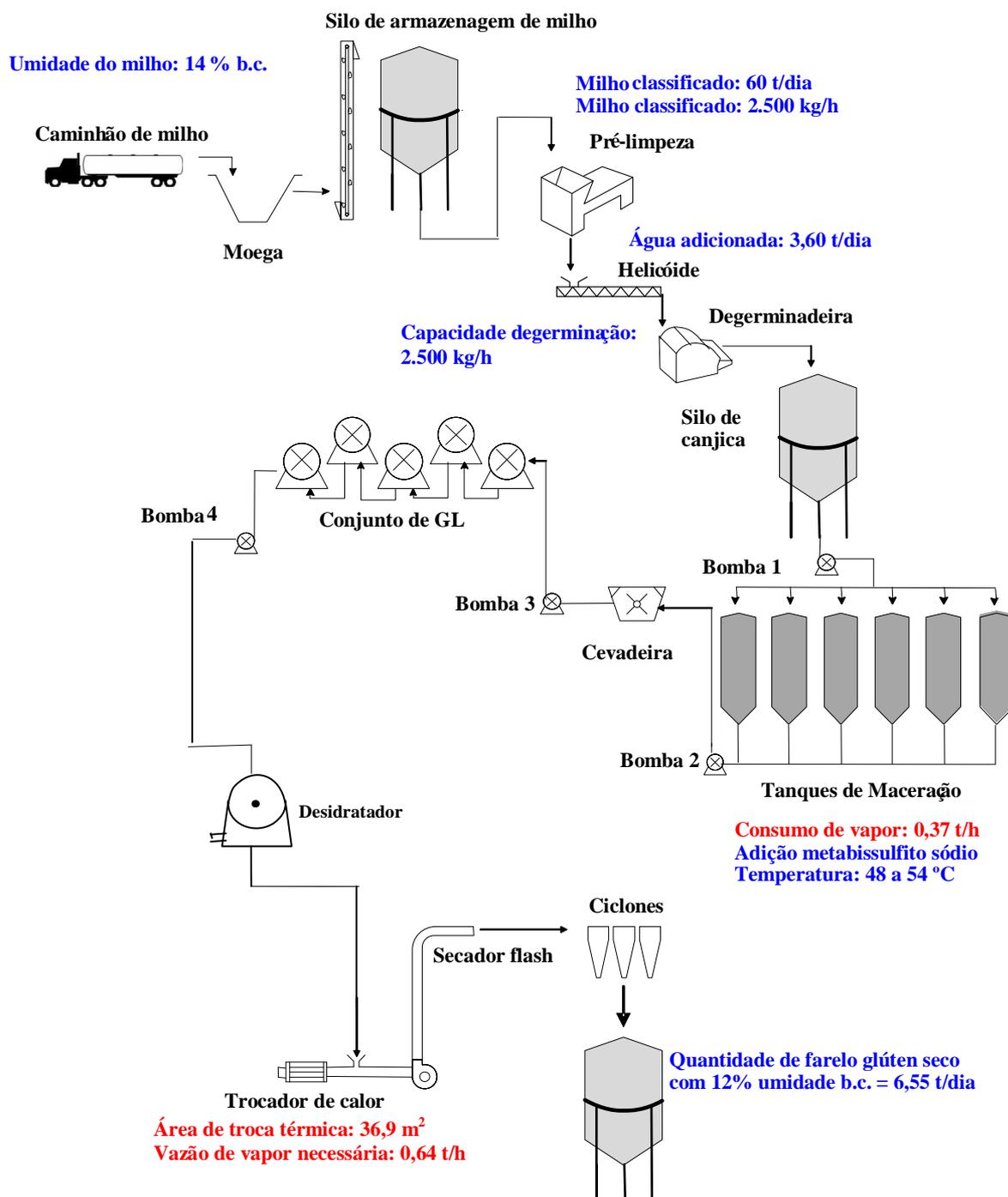


Figura 18 – Fluxograma do balanço de massa e energia para obtenção do farelo de glúten 21.

Pode-se observar, pela Figura 18, que a separação do farelo de glúten 21 ocorre nas peneiras cônicas rotativas (GL). Até nesta etapa, o processo é o mesmo para a obtenção do amido. Em seguida a massa resultante dos GL é desidratada, atingindo um teor de umidade 45

% (b.u), sendo secada posteriormente em secador flash, atingindo um teor de umidade de 12%.

Após a secagem, o farelo de glúten 21 é separado da corrente de ar através de uma bateria de ciclones, sendo o farelo armazenado em silos cônicos e, posteriormente, comercializado a granel como ingrediente para ração animal.

Para promover o aquecimento do ar usado na secagem do farelo de glúten 21, utiliza-se um trocador de calor com área de troca térmica de 36,9 m² e vazão de vapor de 0,64 t/h. Isso para um secador com capacidade de secagem de 10 toneladas de farelo de glúten 21 por dia e tubulação de 0,36 m diâmetro.

O Anexo D apresenta as tabelas com as especificações e o resultado dos cálculos do balanço de massa e energia.

A Tabela 21 apresenta o resultado do balanço de energia para o secador de farelo de glúten 21, com capacidade de secagem de 10 t/dia e diâmetro da tubulação de 0,36 m. Todas as propriedades foram obtidas de PERRY, 1980 e SMITH *et al.* 2000.

Tabela 21 – Resultado do balanço de energia no secador de farelo de glúten 21.

Calor cedido pelo ar	
Calor cedido pelo ar seco (Q_A)	-653229,89 kJ/h
Calor cedido pela umidade do ar (Q_B)	-14841,34 kJ/h
Calor recebido pela água evaporada	
Calor recebido (Q_C)	643706,39 kJ/h
Calor recebido pelo farelo de glúten 21	
Calor recebido Q_D	17075,96 kJ/h
Calor recebido pela umidade presente no farelo de glúten 21	
Calor recebido Q_E	7288,89 kJ/h
Balanço global de troca térmica	
$Q_A + Q_B + Q_C + Q_D + Q_E = 0$	
Temperatura do farelo de glúten 21 na saída do secador	56 °C

Observa-se que a temperatura do farelo de glúten 21 na saída do secador representa a realidade de uma planta industrial em operação: na planta industrial utilizada como base para

a realização deste trabalho, a temperatura do farelo de glúten 21 na saída do secador ficava em torno de 50°C.

A Tabela 22 apresenta o resultado do balanço de energia para o trocador de calor usado para aquecer o ar para a secagem do farelo de glúten 21 com área de troca térmica de cada secador de 36,93 m².

Tabela 22 – Resultado do balanço de energia no trocador de calor utilizado no secador de farelo de glúten 21.

BALANÇO NO TROCADOR DE CALOR - FARELO DE GLÚTEN 21		
Capacidade caloríficas entrada (Cp)		
Ar	1,011	kJ/(kg.K)
Água	1,865	kJ/(kg.K)
Calor de entrada		
Ar	2970514,72	kJ/h
Água	65749,77	kJ/h
Total	3036264,49	kJ/h
Capacidades caloríficas de saída (Cp)		
Ar	1,033	kJ/(kg.K)
Água	1,912	kJ/(kg.K)
Calor de saída		
Ar	4234051,79	kJ/h
Água	94055,94	kJ/h
Total	4328107,73	kJ/h
Variação de calor	1291843,24	kJ/h
Vazão de vapor necessária	641,71	kg/h
Cáculo da área de troca térmica		
Calor trocado	1291843,24	kJ/h
Coeficiente global de troca térmica	408,8	kJ/(m ² .h.°C)
Média Logarítmica (MLDT)	85,6	°C
Área de troca térmica	36,93	m ²

CAPITULO VI

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Caracterizações dos produtos, milho, farelo de germe, farelo de glúten 60, farelo de glúten 21 e amido de milho.

A Tabela 23 apresenta os resultados médios da classificação realizada nas amostras de grãos milho, a tabela completa esta apresentada no Anexo E.

Tabela 23 – Resultados médios da classificação realizada nas amostras de grão do milho.

Propriedade	Média (% em base úmida)	Desvio Padrão
Matérias estranhas e impurezas	0,89	0,18
Grãos ardidos e brotados	2,05	0,44
Grãos avariados	5,22	0,78

Observa-se, pela Tabela 23, que os valores médios encontrados estão conforme os dados apresentados na Portaria N° 07 de 09 de Novembro 1988.

A Tabela 24 apresenta os resultados médios da caracterização química do grão de milho, a tabela completa está apresentada no Anexo E.

Tabela 24 – Resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de grão de milho.

Propriedade	Média (% em base úmida)	Desvio Padrão	MUSSOLINE (2009)
Umidade	12,50	0,34	10,80 ± 0,27
Amido	71,86	0,62	74,41 ± 1,53
Extrato etéreo	3,97	0,16	3,23 ± 0,12
Proteína	8,43	0,36	9,06 ± 0,08
Cinzas	1,21	0,05	1,26 ± 0,05
Fibras	2,04	0,12	1,25 ± 1,01

Verifica-se, pela Tabela 24, que os valores encontrados nas análises realizadas no grão de milho são similares aos obtidos por MUSSOLINE (2009), para quatro tipos de híbridos, por GONÇALVES *et al.* (2003) e por PARAMAN *et al.* (2010).

A Tabela 25 apresenta os resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de farelo de germe. A tabela completa está no Anexo F.

Tabela 25 – Resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de farelo de germe.

Propriedade	Média (% em base úmida)	Desvio Padrão	Portaria nº. 07 MAPA	
			Mínimo	Máximo
Umidade	11,08	0,53	-	12,0
Amido	58,05	1,11	-	-
Extrato Etéreo	12,35	0,48	9,0	-
Proteína	11,82	0,62	10,0	-
Cinzas	2,21	0,22	-	4,0
Fibras	4,48	0,19	-	7,0

Verifica-se que os resultados encontrados para o farelo de germe, são similares aos encontrados na literatura, exceto para a análise de extrato etéreo, visto que a maioria dos trabalhos se refere ao farelo de germe desengordurado. Os resultados obtidos estão de acordo com a Portaria Nº 07 do MAPA.

A Tabela 26 apresenta os resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de farelo de glúten 60. A tabela completa está no Anexo G.

Tabela 26 – Resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de farelo de glúten 60.

Propriedade	Média (% em base úmida)	Desvio Padrão	Portaria nº. 07 MAPA	
			Mínimo	Máximo
Umidade	9,26	0,35	-	10,0
Amido	12,57	1,07	-	-
Extrato Etéreo	5,39	0,50	1,0	-
Proteína	67,68	0,57	60,0	-
Cinzas	2,75	0,41	-	4,0
Fibras	2,35	0,37	-	3,0

Observa-se, pela Tabela 26, que teor de proteína obtido é superior ao encontrado na literatura, já que, neste trabalho, o farelo de glúten 60 foi obtido pelo processo de moagem úmida do milho degerminado (canjica), enquanto que, na maioria dos trabalhos, o farelo é obtido da moagem úmida do milho integral. Resultados similares foram obtidos por THOMPSON *et al.* (2006), RAUSCH *et al.* (2003a) e RAUSCH *et al.* (2003b).

A Tabela 27 apresenta os resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de farelo de glúten 21. A tabela completa está no Anexo J.

Verifica-se, pela Tabela 27, que o teor de proteína obtido é inferior ao encontrado na literatura, isto porque, neste trabalho, o farelo de glúten 21 foi obtido pelo processo de moagem úmida do milho degerminado (canjica), enquanto que, na maioria dos trabalhos, o farelo é obtido da moagem úmida do milho integral e, também, ocorre a adição da água de maceração concentrada, o que eleva o teor protéico.

Tabela 27 – Resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de farelo de glúten 21.

Propriedade	Média (% em base úmida)	Desvio Padrão	Portaria n°. 07 MAPA	
			Mínimo	Máximo
Umidade	11,04	0,53	-	12,0
Amido	59,44	1,40	-	-
Extrato Etéreo	4,24	0,64	1,0	-
Proteína	15,60	0,45	21,0	-
Cinzas	4,20	0,56	-	8,0
Fibras	5,48	0,48	-	9,0

A Tabela 28 apresenta os resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de amido de milho. A tabela completa está no Anexo H.

Tabela 28 – Resultados médios da caracterização química realizadas nas amostras de amido de milho.

Propriedade	Média (% em base úmida)	Desvio Padrão	Resolução CNNPA n°. 12 (%)
Umidade	13,03	0,44	14,00
Amido	86,52	0,44	Mínimo 84,0
Extrato Etéreo	0,09	0,01	0,20
Proteína	0,26	0,04	0,40
Cinzas	0,10	0,02	0,20
pH	5,85	0,31	-

Para as indústrias, níveis de 0,35 a 0,50 % de proteína residual no amido são aceitáveis (ECKHOFF *et al.* 1993). De acordo com SINGH *et al.* (1997), embora a indústria de moagem úmida tenha por objetivo obter um amido com residual de 0,30% de proteína, valores de até 0,50% são aceitáveis para híbridos dentados. Assim sendo, o resultado médio do teor protéico no amido, mostrado na Tabela 28, apresentou-se abaixo do especificado pela literatura, enquadrando-se facilmente nos padrões industriais.

Na Figura 19, apresenta-se uma foto das partículas de amido de milho obtida a partir do microscópio eletrônico para um aumento de 100 vezes.

Na Tabela I.1, do Anexo I, estão apresentados os dados experimentais obtidos junto com a fração acumulada de cada diâmetro das partículas de amido de milho, sendo D_p o diâmetro da partícula de amido de milho e n , número de partículas de mesmo diâmetro.

A partir deste conjunto de dados experimentais, foi construída a curva de distribuição de tamanhos das partículas versus fração acumulada, conforme apresentada na Figura 20.

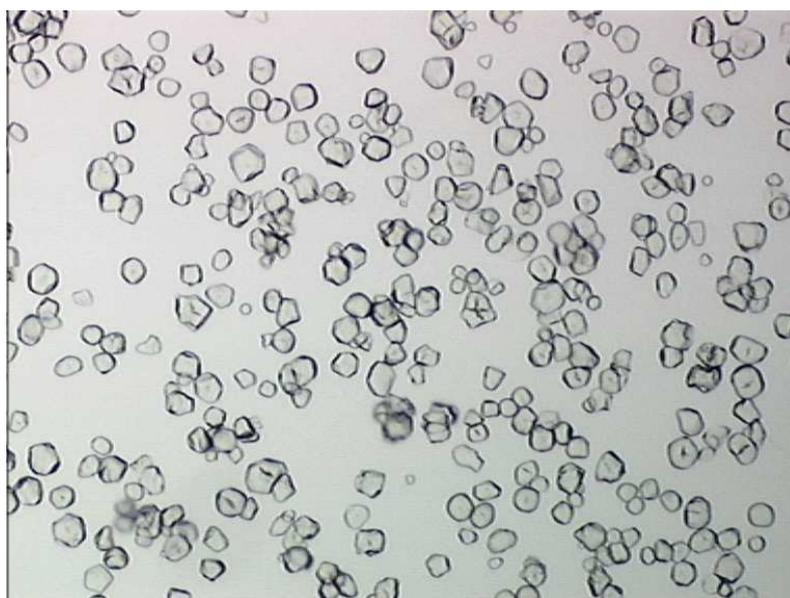


Figura 19 – Foto das partículas de amido de milho.

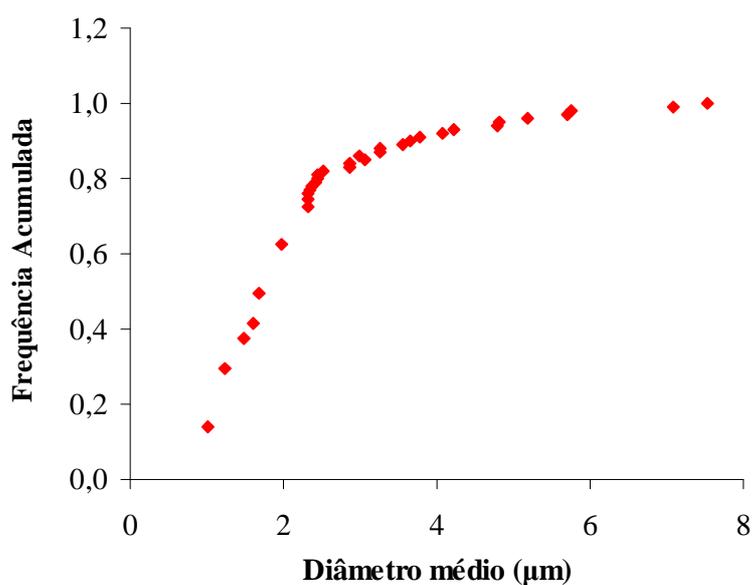


Figura 20 – Distribuição de tamanhos das partículas versus frequência acumulada.

Observa-se da análise microscópica, que o amido de milho possui a forma poliédrica e variabilidade de diâmetros, este comportamento também foi verificado por (TEIXEIRA *et. al*, 1998) e (PEREIRA, 2006).

Na Tabela I.2, Anexo I, são apresentados os dados para os cálculos do Modelo Log Normal, e na Tabela 29, os resultados dos cálculos para o modelo Log Normal.

Tabela 29 – Resultados dos cálculos para o Modelo Log Normal.

R^2	0,9534
Coefficiente angular	-1.462
Coefficiente linear	0,774
D_{50}	2,1684
σ	0,2317

Na Figura 21, mostra-se o gráfico de distribuição do Modelo Log Normal

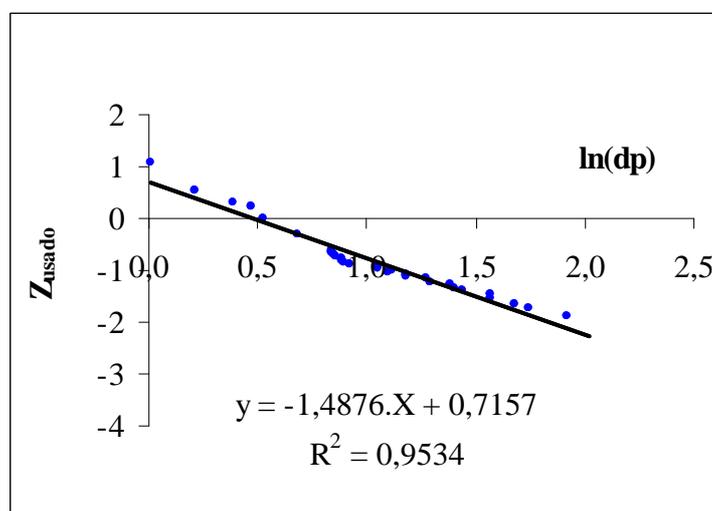


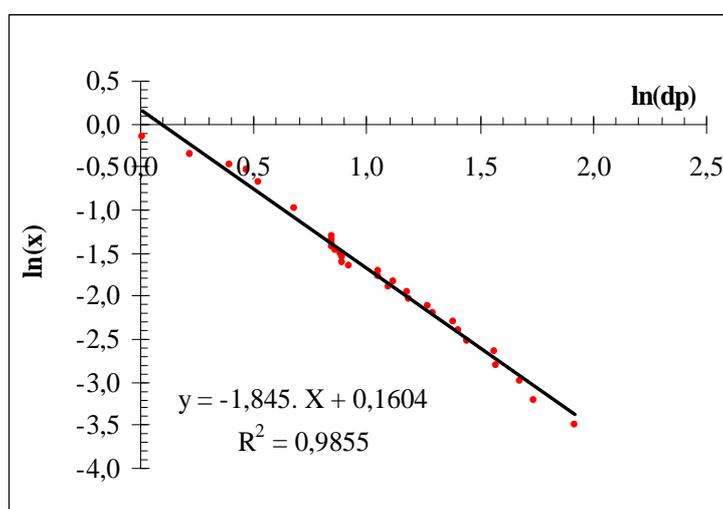
Figura 21 – Distribuição granulométrica utilizando o modelo Log Normal.

Na Tabela I.3, Anexo I, são apresentados os dados para os cálculos do Modelo Gates Gaudin Shumann (GGS), e os parâmetros deste modelo são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 – Resultado dos cálculos para modelo Gates Gaudin Shumann (GGS).

R^2	0,9855
Coeficiente angular	-1,845
Coeficiente linear	0,1604
m	-1,845
k	1,0908

Na Figura 22 mostra-se o gráfico de distribuição do Modelo Gates Gaudin Shumann (GGS).

**Figura 22** – Distribuição granulométrica utilizando o modelo Gates Gaudin Shumann (GGS).

Na Tabela I.4, Anexo I, são apresentados os dados para os cálculos do Modelo Rosin Rammler Bennet (RRB). E na Tabela 31, estão apresentados os dados utilizando o Modelo de Rosin Rammler Benet.

Tabela 31 – Resultados dos cálculos utilizando o modelo Rosin Rammler Bennet (RRB)

R^2	0,9891
Coeficiente angular	-2,228
Coeficiente linear	0,7051
n	-2,228
D'	1,3723

A Figura 23 mostra o gráfico de distribuição do Modelo Rosin Rammler Bennet (RRB).

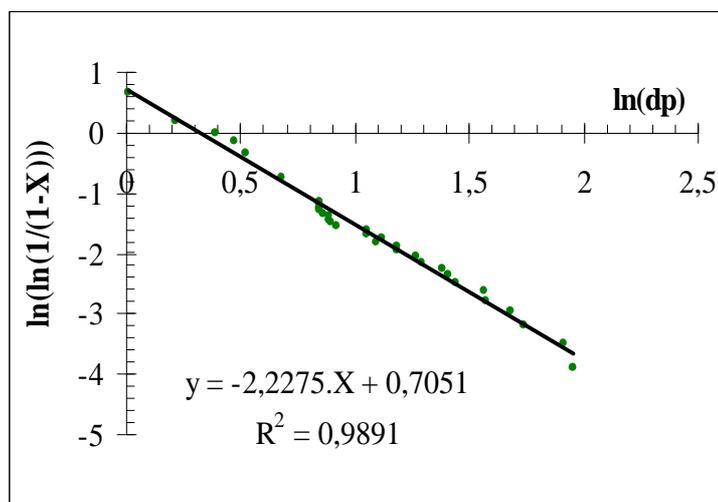


Figura 23 – Distribuição granulométrica utilizando o modelo Rosin Rammler Bennet (RRB).

Observa-se que o modelo que melhor ajustou os dados experimentais foi o modelo Rosin Rammler Bennet, pois apresentou um coeficiente de correlação mais próximo de um, 0,9891.

A equação (46) descreve o modelo Rosin Rammler Bennet (RRB) obtido para as partículas de amido.

$$X = 1 - \exp[-(dp/1,3723)^{-2,23}] \quad (46)$$

Em que:

dp é o diâmetro médio da partícula, em μm , e X é a fração acumulativa da partícula com diâmetro menor do que dp .

Por meio da equação (31), foi determinado o diâmetro médio de Sauter é de $5,0 \mu\text{m}$.

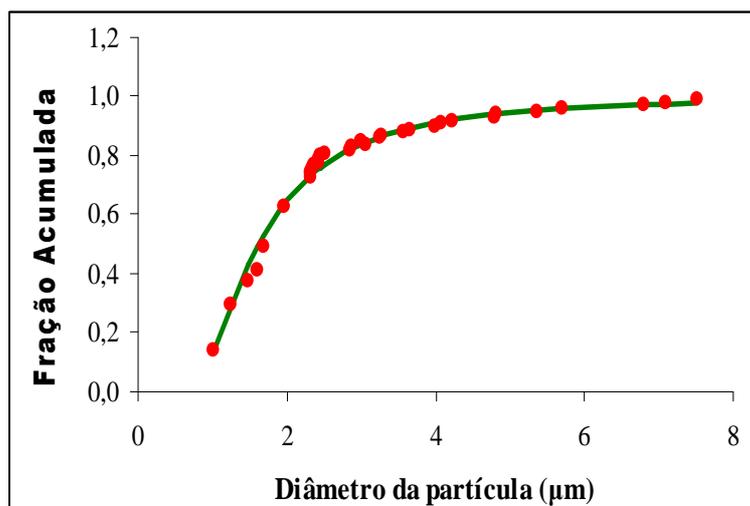
Verifica-se ainda que, pelo teste F, o modelo de distribuição que melhor se ajustou realmente foi o Rosin Rammler Bennet (RRB), conforme os dados apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 – Resultado do teste F.

	Modelo Rosin Rammler Bennet	Modelo Gates Gaudin Shumann
	1,070115	0,769794
P(F<=f) uni-caudal	0,424591	0,231714
F crítico uni-caudal	1,804482	0,554176

A Figura 24 mostra o gráfico do ajuste do Modelo de distribuição granulométrica Rosin Rammler Bennet (RRB)

Observa-se pela Figura 24, que o modelo se ajustou bem aos dados de distribuição granulométrica para o amido de milho.

**Figura 24** – Ajuste do modelo de distribuição granulométrica Rosin Rammler Bennet (RRB).

CAPITULO VII

7. CUSTOS

A partir dos resultados obtidos em uma planta industrial para a obtenção de farelo de germe, amido, farelo de glúten 60 e farelo de glúten 21, determinou-se os custos associados à implementação deste sistema.

Neste capítulo será apresentada uma análise introdutória sobre os custos associados na avaliação do desempenho do processo de produção do amido de milho e dos farelos, de acordo com critérios econômicos. Para isso, foram utilizadas correlações de custos elaboradas a partir dos custos obtidos junto a fornecedores de equipamentos nacionais.

7.1 Processo utilizado para estimar os custos

Durante a etapa de análise das estimativas de custos de uma planta para a produção de amido de milho, do farelo de germe e dos farelos de glúten 60 e 21, foi utilizado um modelo de disposição dos equipamentos principais. Dentre eles podemos destacar os silos de armazenagem, degerminadeiras, tanques de maceração, filtros a vácuo, cevadeiras, peneiras cônicas rotativas, tanques pulmões, centrífugas, secadores pneumáticos, ciclones e classificadores. Entretanto, para fins de análise de custos, serão considerados, neste trabalho, apenas os silos de armazenagem (fundo reto e fundo cônico), degerminadeiras, tanques de maceração, filtros a vácuo, tanques pulmões, secadores pneumáticos, classificadores e ciclones.

Em relação ao silo de armazenagem de milho e canjica, estes podem ser construídos em aço carbono, que as condições de operação e que o produto não serem corrosivas.

Para os tanques de maceração, sugere-se que sejam construídos em polipropileno ou aço inox, para evitar problemas de corrosão, devido à presença de ácido sulfuroso na água da maceração, proveniente da reação entre o dióxido de enxofre e água.

As bombas devem ser do tipo centrífuga, construídas em aço inox, devido à presença de ácido sulfuroso e ácido láctico provenientes do processo de maceração.

Os demais equipamentos, peneiras cônicas rotativas, tanques pulmões, centrífugas, filtro a vácuo e os secadores pneumáticos, devem ser construídos em aço inox, para evitar problemas de corrosão.

7.2 Equações utilizadas para estimar o custo do amido de milho.

Para realizar a estimativa de custo por quilograma de amido de milho, foi utilizada a equação 47.

$$\text{Custo do amido} = \frac{\text{CAE} + C_{\text{operacional por ano}}}{\text{Quantidade de amido produzido anualmente em toneladas}} \quad (47)$$

Em que:

CAE é o custo anual equivalente, $C_{\text{operacional por ano}}$, representa o custo operacional por ano.

O custo do amido refere-se ao amido pronto para ser comercializado. Este valor representa, de acordo SAMANEZ (2002), o custo anual uniforme equivalente (CAE) para o processo que está sendo investigado. A variável CAE contém, além da estimativa dos custos associados aos equipamentos, também o custo associado ao insumo (metabissulfito de sódio), Ou seja, o valor do investimento a ser realizado no processo compreende o custo de todos os equipamentos e o do insumo (metabissulfito de sódio), obtido junto às empresas de produtos químicos

Para SAMANEZ (2002), durante uma análise econômica de projetos de processos industriais, é mais adequado avaliar o projeto em termos de saídas de caixa. Ou seja, o custo do quilograma de amido de milho produzido.

Os cálculos para realizar a estimativa de custos foram completamente desenvolvidos em planilhas de cálculo (Excel). Estas planilhas contêm informações sobre as condições operacionais adequadas obtidas de uma planta industrial em operação. O intervalo de massa, utilizado para a estimativa de custos para uma planta de produção de amido de milho, situou-se entre 1 e 8 t moagem/h, devido às limitações operacionais dos equipamentos. Algumas destas planilhas são apresentadas no Anexo L.

As principais hipóteses assumidas na simulação da planta de produção de são as seguintes:

- horas de operação da planta = 24 horas por dia

- dias de operação = 300 dias por ano
- taxa de juros = 10% ao ano
- tempo de vida útil dos equipamentos = 10 anos
- reagente químico – metabissulfito de sódio em pó
- Valor da matéria-prima, 301,00 reais/toneladas de milho.

A seqüência de cálculos para obter o custo do quilograma de amido de milho produzido, utilizada nas planilhas para a simulação, pode ser exemplificada da seguinte forma:

1. Estima-se um valor para a massa de milho a ser processada.
2. Determina-se o valor do investimento total a ser feito no processo (equação 11).
3. Determina-se o valor de CAE (equação 20).
4. Calcula-se o valor do amido de milho produzido (equação 47).

7.3 Estimativa de custos de acordo com correlações envolvendo equipamentos nacionais.

Neste item, são apresentadas as estimativas de custos fundamentadas em correlações elaboradas a partir de dados de preços de compra de equipamentos nacionais. Ou seja, foram levantados os preços dos equipamentos disponíveis no mercado, nas dimensões ou potências necessárias para que o sistema de extração fosse operacionalizado de acordo com o porte do processo de extração de amido e, por regressão, determinou a melhor correlação para cada conjunto de valores, gerando equações de custo de aquisição em função de uma dimensão do equipamento (FRARE, 2006).

A Tabela 33 contém as correlações determinadas a partir de valores de compra para os equipamentos nacionais, o procedimento completo utilizado está descrito em detalhes no Anexo K.

Tabela 33 - Correlações obtidas para equipamentos nacionais em função do tipo e do intervalo de operação válido.

Equipamentos	Correlação	Intervalo Válido
Bombas	$C_{\text{bomba}} = 3702,98 + (263,58) \cdot \text{bhp} + (2,269) \cdot \text{bhp}^2$ (48)	$5 \leq \text{bhp} \leq 20$ (cv)
Tanques de aço inoxidável	$C_{\text{tinóx}} = (7910,96) \cdot V_i^{0,6499}$ (49)	$2 \leq V_i \leq 20$ (m ³)
Tanques de polipropileno	$C_{\text{tprolip}} = (4841,50) \cdot V_p^{0,852}$ (50)	$25 \leq V_p \leq 100$ (m ³)
Secador pneumático	$C_{\text{secador}} = (11332,72) \cdot C_s^{0,8889}$ (51)	$4 \leq C_s \leq 80$ (t/dia)
Classificador	$C_{\text{class}} = -13075 + (2752,75) \cdot C_c - (6,562) \cdot C_c^2$ (52)	$20 \leq C_c \leq 80$ (t/dia)
Degerminadeira	$C_{\text{deger}} = (34256,50) \cdot C_d^{0,656}$ (53)	$2 \leq C_d \leq 5$ (t/h)
Ciclones	$C_{\text{ciclones}} = -1329,217 + (1811,16) \cdot C_{sp}^{0,8747}$ (54)	$4 \leq C_{sp} \leq 80$ (t/dia)
Silo fundo reto	$C_{\text{sreto}} = 41440,089 + (28,951) \cdot C_{Asr}^{1,2461}$ (55)	$100 \leq C_A \leq 800$ (t)
Silo fundo cônico	$C_{\text{scônico}} = -3517,009 + (3435,367) \cdot C_{Asc}^{0,6122}$ (56)	$1 \leq C_A \leq 100$ (t)

Na Tabela 34, são apresentadas as principais características dos equipamentos utilizados para compor os cálculos dos custos envolvidos na etapa de simulação, assim como o intervalo operacional válido.

Tabela 34 - Descrição dos equipamentos, utilizados na simulação do processo de produção de amido de milho e dos farelos, para a estimativa de custos.

Equipamentos	Principais características dos equipamentos	Intervalo Operacional
Bombas	Construída em aço inóx (AISI 304L). Resistentes a variações de pH.	$5 \leq \text{bhp} \leq 20$ (cv)
Tanques aço inoxidável	A relação entre o diâmetro (D) e a Altura (H) é dada por $H = 2,5 D$. Construído em aço inóx (AISI 304L). Possuem fundo inclinado.	$2 \leq V_i \leq 20$ (m ³)
Tanques polipropileno	Construído em polipropileno. Composto de uma parte cilíndrica e uma parte cônica. Estes tanques possuem uma estrutura metálica, para dar sustentação.	$25 \leq V_p \leq 100$ (m ³)
Secador pneumático	Construído aço inóx (AISI 304L). Possui exaustor.	$4 \leq C_s \leq 80$ (t/dia)
Classificador/ ensaque	Construído em aço inóx (AISI 304L). Possui ensacadeiras acopladas, em aço inóx (AISI 304L).	$20 \leq C_c \leq 80$ (t/dia)
Degerminadeira	Construída aço inóx (AISI 304L).	$2 \leq C_d \leq 5$ (t/h)
Ciclones	Construído aço inóx (AISI 304L).	$4 \leq C_{sp} \leq 80$ (t/dia)
Silo fundo reto	Construído em aço carbono SAE 1010. Possuem 2 portas de inspeção. Não possuem sistema de ventilação forçada, e nem secadores acoplados.	$100 \leq C_A \leq 800$ (t)
Silo fundo cônico	Construído em aço carbono SAE 1010. Possuem 1 porta de inspeção. Possuem fundo cônico.	$1 \leq C_A \leq 100$ (t)

No Anexo L, são apresentados os resultados utilizados para elaborar as principais figuras deste capítulo.

Observa-se, na Figura 25, a estimativa do custo do amido de milho em função do seu volume de produção, conforme a disposição dos equipamentos.

Para o cálculo do quilograma de amido, foi utilizado como referência o custo do milho de R\$ 301,00/ por tonelada, dados do CEPEA em 26/04/2010.

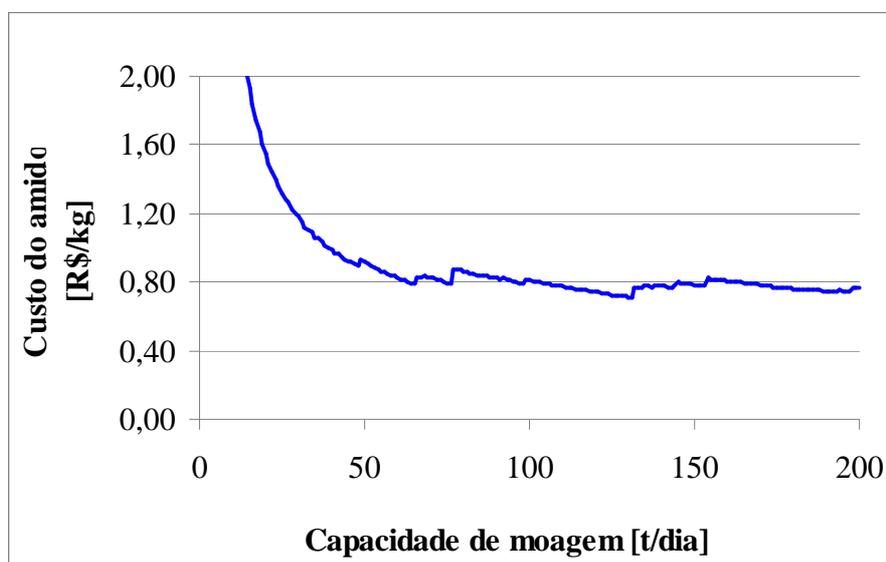


Figura 25 – Custo do amido de milho em função da capacidade de moagem, considerando o valor de equipamentos nacionais e o investimento total calculado de acordo com a metodologia de PERLINGEIRO (2005).

Na Figura 25, pode-se observar descontinuidades dos valores ao longo da curva. Essas mudanças de valores têm como justificativa as dimensões dos equipamentos que integram o processo de produção de amido, ou seja, ocorre uma mudança nos custos devido às faixas de operação fornecidas pelos fabricantes.

Numa indústria com capacidade de moagem de 60 toneladas por dia, o custo médio do amido de milho, foi de aproximadamente 0,83 reais por quilograma, conforme resultados apresentados na Figura 25.

A partir destes resultados com os equipamentos nacionais, pode-se realizar uma estimativa para o custo do amido de milho quando comparado com o praticado pelo mercado e com a fécula de mandioca, a Figura 26 apresenta esta comparação.

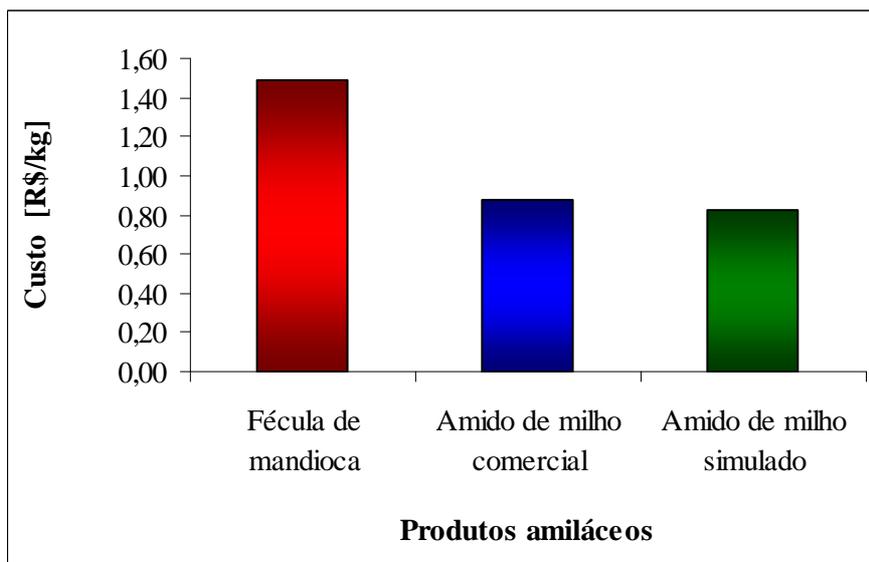


Figura 26 – Comparativo de custo da fécula de mandioca, amido de milho comercial e do processo em estudo.

O método do custo anualizado equivalente mostrou-se adequado para a estimativa do custo do quilograma de amido de milho produzido. Para tanto, foram utilizados valores indicados por autores brasileiros como sendo os mais comuns nos projetos de novos processos. Ao comparar os valores do quilograma de amido produzido com o praticado pelo mercado, (AFNEWS, 2010) e com a fécula de mandioca (CEPEA, 2010), observou-se que o amido proposto, neste trabalho, apresentou valores extremamente competitivos.

Na Figura 27, é apresentada a estimativa do ponto de equilíbrio em função da capacidade de moagem em tonelada.

Pode-se observar desta figura que o ponto de equilíbrio, ou seja, a capacidade de moagem necessária para que a receita iguale ao custo, foi atingido para uma vazão de, aproximadamente, 40 toneladas por dia.

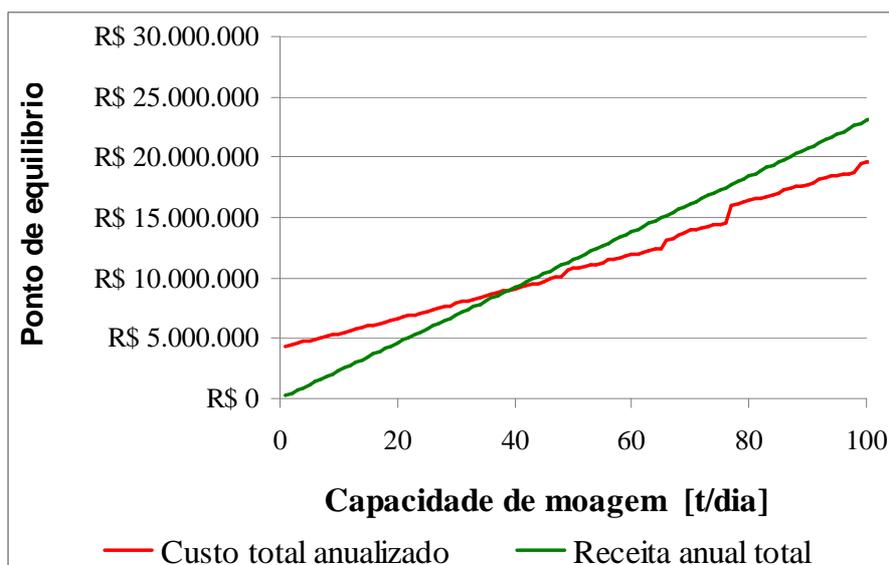


Figura 27 – Estimativa do ponto de equilíbrio em função da capacidade de moagem.

A Figura 28 ilustra os resultados obtidos na estimativa da composição de custo do amido de milho em função da capacidade de moagem.

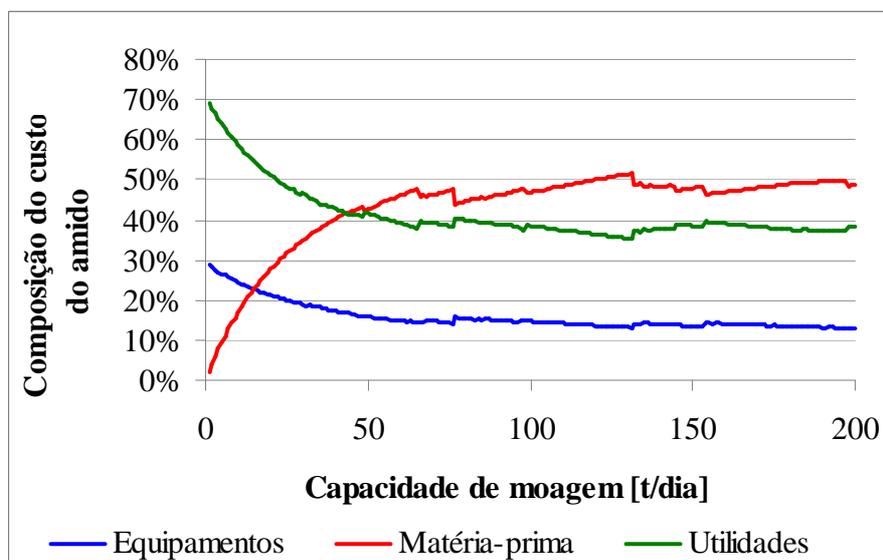


Figura 28 – Estimativa da composição do custo do amido de milho em função da capacidade de moagem.

Observa-se, pela Figura 28, que, para uma capacidade de moagem de 60 toneladas por dia, os custos dos equipamentos representam 14,80%, os das utilidades 39,10% e o custo com a matéria-prima 46,10%.

A Figura 29 Apresenta os resultados obtidos na estimativa do fluxo de caixa em função do tempo.

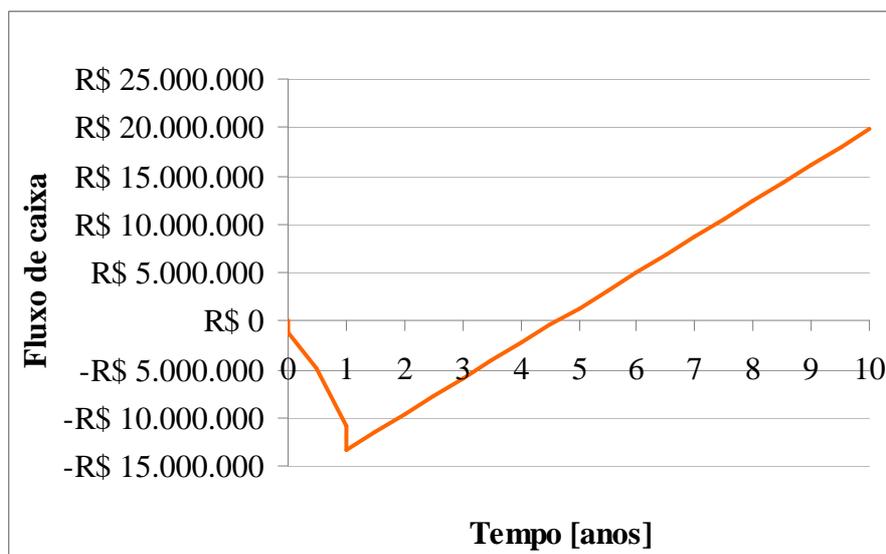


Figura 29 – Fluxo de caixa para as estimativas de um projeto para produção amido de milho.

Observa-se desta figura que o tempo de vida útil do projeto é de dez anos, e para uma capacidade de moagem de 60 toneladas dia, o tempo total de recuperação do capital investido é de, aproximadamente, quatro anos e meio, o que torna o investimento economicamente viável.

Na Figura 30, é apresentada a margem de lucro em função da capacidade de moagem.

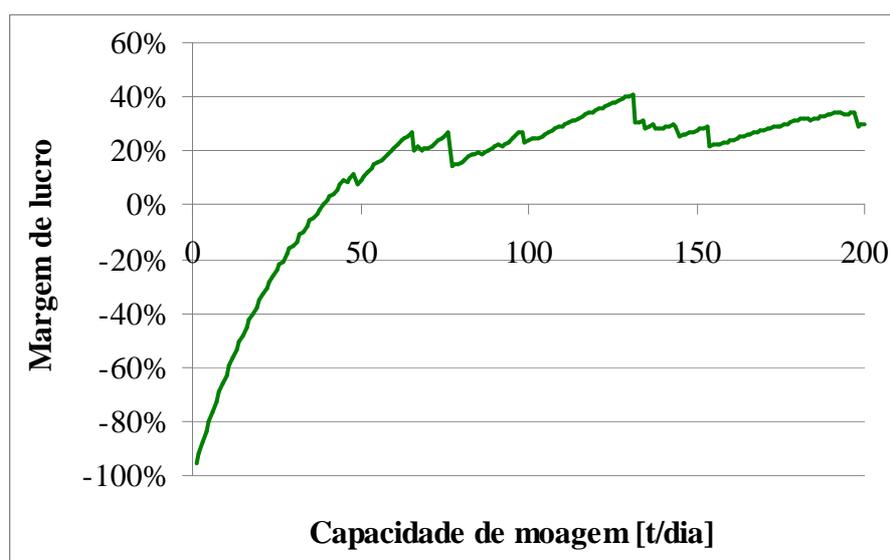


Figura 30 – Margem de lucro em função da capacidade de moagem.

Os resultados apresentados na Figura 30 mostram que uma capacidade de moagem de 60 t/dia, a margem de lucro é de aproximadamente 21%. Observa-se, ainda, descontinuidades na curva causadas pelas trocas de equipamentos, visto que cada equipamento trabalha ocioso até atingir a capacidade total, fazendo com que a margem de lucro diminua. Isto ocorre também com as utilidades (água e energia), visto que o consumo de água e energia é o mesmo que se o equipamento estivesse trabalhando com a capacidade total.

Na Figura 31, é apresentado o número de tanques de maceração em função da capacidade de moagem.

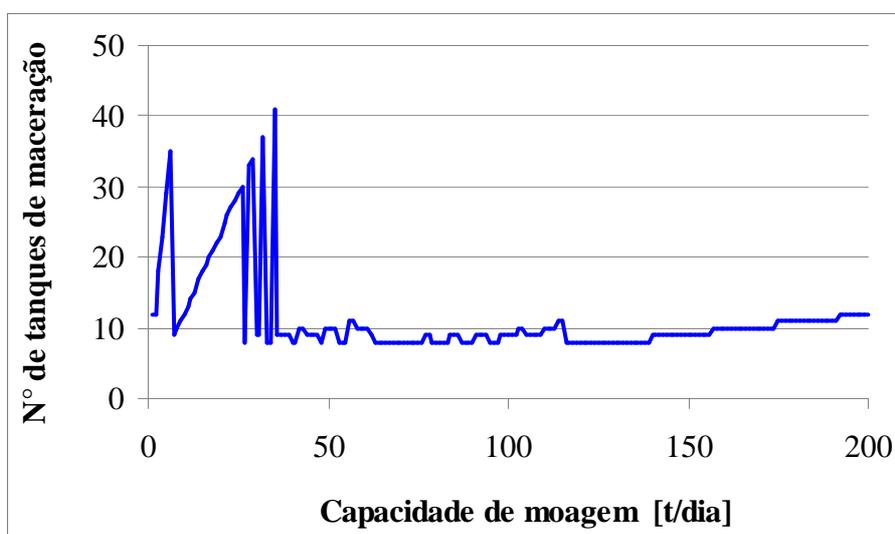


Figura 31 – Volume dos tanques de maceração em função da capacidade de moagem.

Observa-se, pela Figura 32, o volume individual dos tanques de maceração em função da capacidade de moagem.

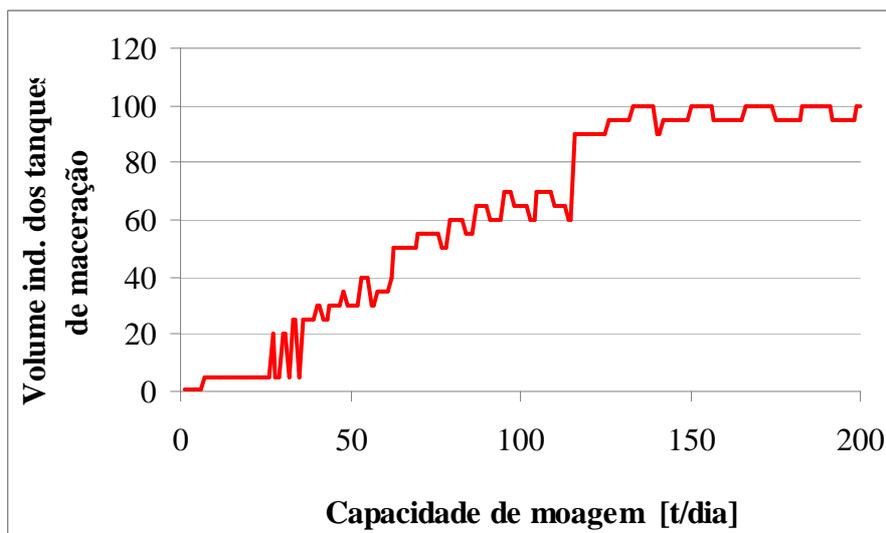


Figura 32 – Volume individual dos tanques de maceração em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pelas Figuras 31 e 32, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, são necessários 10 tanques com 35 m³ cada. O número de tanques e o volume de cada tanque são escolhidos sempre observando o menor custo, e que, o tempo de moagem de cada tanque não ultrapasse 12 horas. Isto porque em um tempo superior a este, o milho degerminado e macerado perde muita temperatura, dificultando o processo de separação da proteína (glúten).

Observa-se, pela Figura 33, o consumo de água em função da capacidade de moagem.

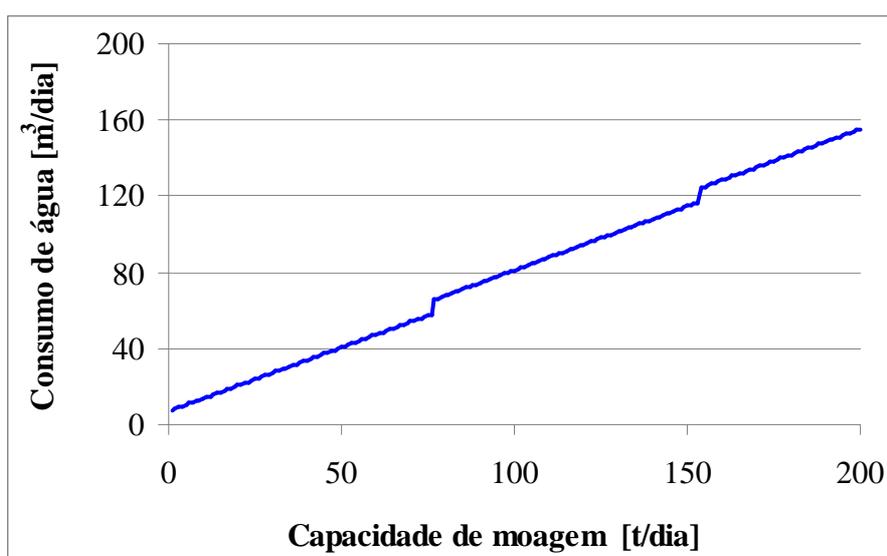


Figura 33 – Consumo de água em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pela Figura 33, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, são consumidos aproximadamente 48 m³/dia de água. Observa-se, ainda, duas descontinuidades na curva, para as capacidades de moagem de 77 e 154 t/dia. Isto ocorre, porque nestas capacidades, é necessária a troca da maioria dos equipamentos, principalmente dos que utilizam água em sua operação.

Observa-se, pela Figura 34, o consumo de vapor em função da capacidade de moagem.

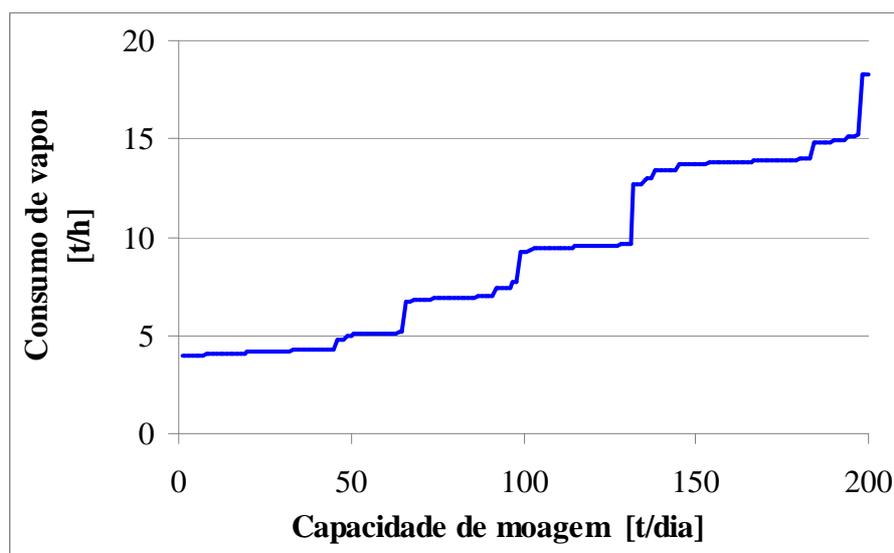


Figura 34 – Consumo de vapor em função da capacidade de moagem.

Verifica-se pela Figura 34, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, são consumidos aproximadamente 5 t/h de vapor. Observa-se, ainda, descontinuidades ao longo da curva, isto ocorre porque esta se trabalhando com vários secadores com capacidades de secagem diferentes. Logo, a troca de dois ou três secadores ou de todos, para a mesma capacidade de moagem, ao mesmo tempo, eleva drasticamente o consumo de vapor.

Observa-se, pela Figura 35, o volume de efluente gerado em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pela Figura 35, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, são gerado, aproximadamente 66 m³/dia de efluente. Observa-se, ainda, duas descontinuidades na curva, para as capacidades de moagem de 77 e 154 t/dia. Isto ocorre porque, nestas capacidades, é necessária a troca da maioria dos equipamentos, principalmente dos que utilizam água em sua operação, o mesmo acontece para o gráfico de consumo de água (Figura 33).

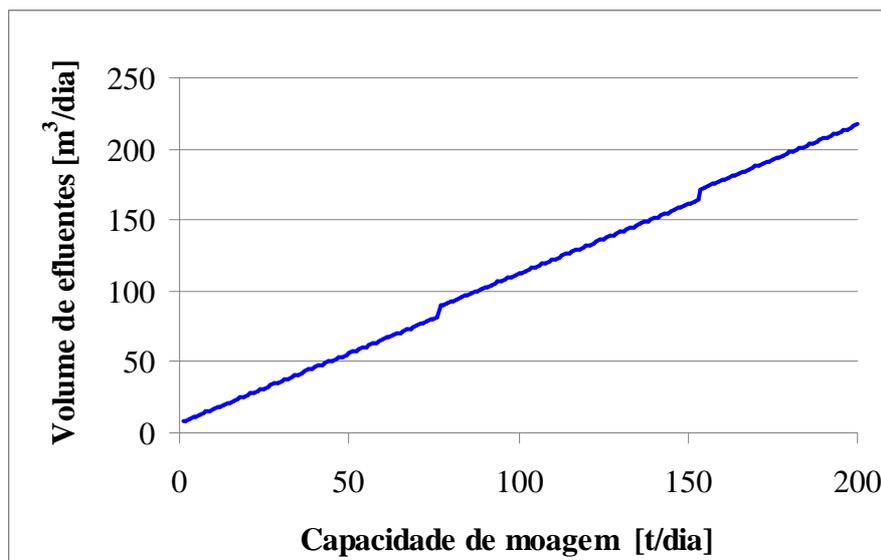


Figura 35 – Volume de efluente em função da capacidade de moagem.

Observa-se, pela Figura 36, a carga indutiva total requerida em função da capacidade de moagem de moagem.

Verifica-se, pela Figura 36, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, a carga indutiva necessária é de 1324 cv. Observa-se, ainda, descontinuidades na curva. Isto ocorre porque se esta trabalhando com equipamentos de diversas capacidades, e a escolha do equipamento é feita em função do menor custo.

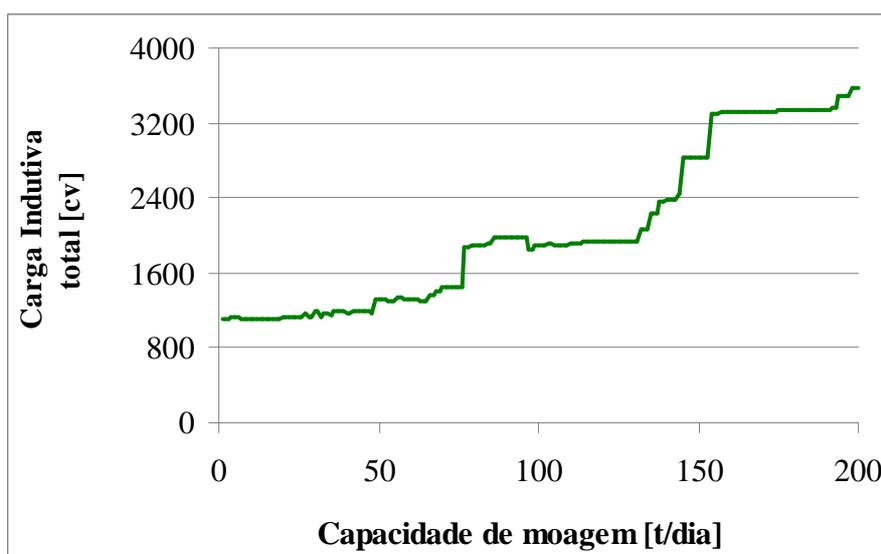


Figura 36 – Carga indutiva total em função da capacidade de moagem.

Observa-se, pela Figura 37, o custo total dos equipamentos em função da capacidade de moagem.

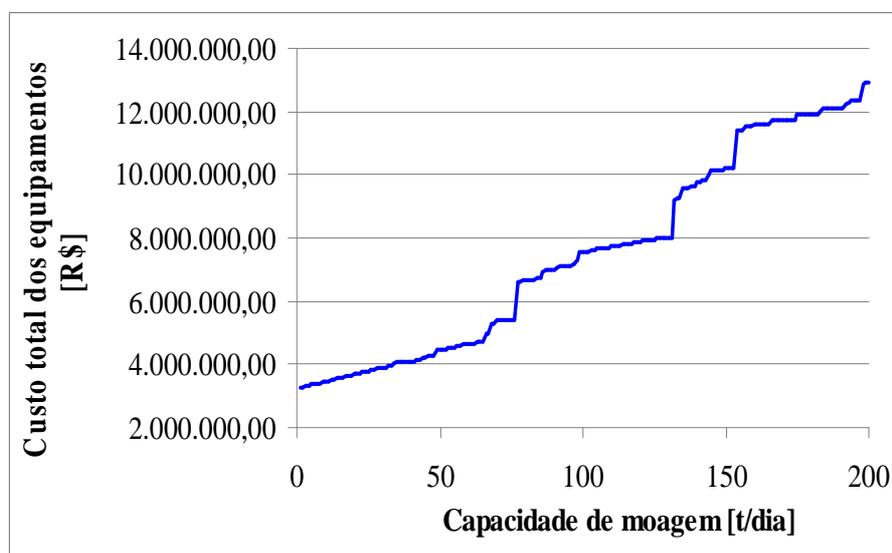


Figura 37 – Custo total dos equipamentos em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pela Figura 37, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, o custo total dos equipamentos é de R\$ 4.632.126,77. Observa-se, ainda, descontinuidades na curva. Isto também ocorre por se estar trabalhando com equipamentos de diversas capacidades, e a escolha do equipamento é feita em função do menor custo.

Os demais gráficos em relação aos equipamentos (degerminadeira, secadores, cevadeiras, conjunto de GL, centrifugas, filtro a vácuo, ciclones e classificadores), estão apresentados no Anexo M.

CAPITULO VIII

8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Conclusões

O Layout desenvolvido é aplicável para capacidades de produção de até 200 toneladas de moagem de grãos por dia. Acima deste valor, o investimento passa a ser desvantajoso em função do grande espaço físico e do grande número de equipamentos.

O processo de produção do amido neste trabalho apresentou valores extremamente competitivos, em comparação com o proposto pelo mercado.

O valor do quilograma de amido produzido diminuiu de acordo com o incremento da produção até um determinado ponto, visto que as capacidades dos equipamentos são limitadas. Isto ocorre porque foram utilizados os equipamentos tradicionalmente usados na moagem da raiz da mandioca para moer milho. Verificou-se que com o aumento da produção requer um aumento na quantidade de equipamentos e o custo de produção praticamente fica constante. E as descontinuidades apresentadas na curva de custo do amido, ocorrem porque, mesmo com o aumento da vazão, não são trocados todos os equipamentos, podendo alguns deles ser utilizados em diferentes intervalos de capacidades.

O uso de tabelas de valores ou correlações determinadas a partir de equipamentos nacionais permitiu encontrar o custo real para a implementação do processo. O incremento no lucro a ser obtido por uma planta de produção de amido de milho advém da venda dos subprodutos proveniente do processo de produção de amido. Entre eles estão o farelo de germe, farelo de glúten 60 e o farelo de glúten 21.

Os resultados obtidos na caracterização realizada nas amostras utilizando o novo layout foram similares aos encontrados na literatura utilizando o processo tradicional. Desta forma, os produtos podem ser comercializados normalmente.

Sugestões

Realizar um levantamento de custo dos equipamentos tradicionalmente utilizados no processo de moagem úmida do milho, para obter as correlações de custos e simular o custo total da planta, e comparar com os resultados obtidos neste trabalho.

Degerminar o grão de milho após ser macerado, usando a maceração não convencional e avaliar o rendimento de amido.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**, 9th ed. St. Paul, 1995, v. 2.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 16.ed. Arlington, 1995. 2v.
- ABDELRAHMAN, A. A.; HOSENEY, R. C. Basics for hardness in pearl millet, grain sorghum and corn. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 61, n. 3, p. 232-235, May/June 1984.
- APOSTILA CERAT (Centro de Raízes Tropicais), Propriedades Gerais dos Amidos, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS MOEGEIRAS DE MILHO. Disponível em: <http://www.abimilho.com.br>. Acesso em: Abril 2010.
- AF NEWS – www.afnews.com.br; acesso 26/04/2010.
- BANKS, W.; GREENWOOD, C. T. Studies on starches of high amylase content. **Starch**, Deerfield Beach, v. 26, p. 289, 1975.
- BOYER, C. D.; HANNAH, L. C. Kernel mutants of corn. In: HALLAUER, A. (Ed.). **Specialty corns**. 2. ed. Boca Raton, FL: CRC, 2001. p. 1-32.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento. Portaria nº 108, de 04 de Setembro de 1991. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em 15 de Fevereiro de 2008.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento. Portaria nº 845, de 08 de Novembro de 1976 – Artigo 13. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em 15 de Fevereiro de 2008.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento. Portaria nº 07, de 09 de Novembro de 1988. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em 15 de Fevereiro de 2008.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento. Resolução CNNPA nº 12, de 1978. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em 15 de Fevereiro de 2008.
- BENSON, G. O., PEARCE, R. B. Corn Perspective and Culture. Page 3 in: **Corn chemistry and technology**. 2. ed. Stanley^a Watson and Paul E. Ramstad, eds. AACC: St Paul, MN. 1984.

- BISS R. COGAN U. The significance of insoluble protein solubilization in corn steeping. **Cereal Chemistry** vol. 65(4), p. 281-284, 1988.
- BRESSANI, R. Protein quality of high-lysine maize for humans. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 36, n. 9, p. 806-811, Sept. 1991.
- CABRALES, L.; NIU, Y. X.; BURIK, P.; ECKHOFF, S. R. Effect of laboratory batch steeping pH on starch yield and pasting properties of selected corn hybrids. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 83, n. 1, p. 22-24, 2006.
- CAGAMPANG, G. B.; GREEK, M. I. B.; KIRLEIS, A. W. Properties of starches isolated from Sorghum floury and corneous endosperm. **Starch**, Deerfield Beach, v. 37, n. 8, p. 253-257, Aug. 1985.
- CARVALHO, M.E.; GUIMARÃES, P.E.O.; BARDUCHÉ, D.; PAIVA, E.; VASCONCELOS, M.J.V. & LOPES, M.A. "SCREENING" de linhagens de milho de alta qualidade nutricional através da avaliação de frações protéicas acumuladas no endosperma. Londrina, ABMS/IAPAR, 1996.
- CEREDA, M. P. S, (2001), Cultura de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. Propriedades Gerais do Amido, Fundação Cargill, SP.
- CIVITELLI, R.; VILLAREAL, D. T.; AGNUSDEI, D.; NARDI, P.; AVIOLI, L. V.; GENNARI, C. Dietary L-Lysine and calcium metabolism in humans. **Nutrition**, London, v. 8, n. 6, p. 400-405, Nov./Dec. 1992.
- COLEMAN, C. E.; HERMAN, E. M.; TAKASAKI, K.; LARKINS, B. A.; The maize γ -zeins sequester α -zeins and stabilizes its accumulation in protein bodies of transgenic tobacco endosperm. **The Plant Cell**, Rockville, v. 8, n. 12, p. 2335-2345, Dec. 1996.
- CORREA, C. E. S.; SHAVER, R. D.; PEREIRA, M. N.; LAUER, J. G.; KOHN. Relationship between corn vitrouness and ruminal in situ starch degradability. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, n. 11, p. 3008-3012, Nov. 2002.
- COX J. M.; MaCMASTERS, M. M.; HILBERT, G. E. Effect of the sulfurous acid steep in corn wet milling. **Cereal Chemistry**, v. 21, p.447-465, 1944.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra 2008/2009. Nono levantamento – junho/2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: junho 2009.
- CORN (www.corn.org/estatistica, acesso maio 2009).
- DAILEY, O. Jr. Variability in water absorption of germ and endosperm during laboratory steeping of a yellow corn hybrid. **Cereal Chemistry** vol. 77(6), p. 721-723, 2000.

- DAILEY, O. Jr. Effect of lactic acid on protein solubilization and starch yield in corn wet-mill steeping: a study of hybrid effects. **Cereal Chemistry** vol. 79(2), p. 257-260, 2002.
- DANNENHOFFER, J. M.; BOSTWICK, D. E.; OR, E.; LARKINS, B. A. Opaque-15, maize mutation with properties of defective opaque-2 modifier. **Proceedings of the National Academy Science of the United State America**, Washington, v. 92, n. 6, p. 1931-1935, Mar. 1995.
- DIAZ, A. M. L. **Food quality and properties of quality protein maize**. Monterrey, México: Texas A & M University, 2003. 150 p.
- DOUGLAS, J. M. Conceptual design of chemical process. New York: McGraw Hill, 1988.
- DU, I.; LI, B.; LOPES-FILHO, J. F.; DANIELS, R. C.; ECKHOFF, S. R. Effect of selected organic and inorganic acids on corn wet-Milling yields. **Cereal Chemistry** vol. 73(1), p. 96-98, 1996.
- DUARTE, A. P. A aparência engana. **Revista Cultivar**, p. 10-12, mar. de 2007.
- DUMAS, C.; MOGESEN, H. L. Gametes and fertilization: maize as a model system for experimental embryogenesis in flowering plants. **The plant Cell**, Rockville, v. 5, n. 10, p. 1337-1348, Oct. 1993.
- DUVICK, D. N. Protein granules of maize endosperm cells. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 38, n. 4, p. 374-384, July/Aug. 1961.
- EARP, C.F.; McSONOUGH, C.M.; ROONEY, L.W. Changes in the microstructure of the corn kernel during the wet milling steeping process. Washington, DC: **Progress report to the corn refiners association**. 1985.
- ECKHOFF, S.R. **Corn wet milling manual**. A. E. Staley Manufacturing Company: Decatur, IL., 1989.
- ECKHOFF S. R.; OKOS M. R. Diffusion of gaseous sulfur dioxide into corn grain. **Cereal Chemistry** v. 66(1), p. 30-33, 1989.
- ECKHOFF, S. R. and TSO, C.C. Wet milling of corn using gaseous SO₂ addition before steeping and the effect of lactic acid on steeping. **Cereal Chemistry** v. 68 n. 3, p. 248-251, 1991.
- ECKHOFF, S. R. Improving corn milling technology. Wet milling notes N. 5 Food and Process Engineering Group. Agricultural Engineering Department, Iniversity of Illinois, Urbana, IL. 1991.
- ECKHOFF S. R.; XUTIAN WU.; XINSHENG ZHU. Effect of lactic acid in steeping process: Water and sulfur dioxide diffusion into corn kernels. **The University of Illinois at Champaign-Urbana**,1992.

ECKHOFF, S. R., RAUSCH, K. D., FOX, E. J., TSO, C. C., WU, X., PAN, Z. And BURIK, P. A laboratory wet milling procedure to increase reproducibility and accuracy of product yields. **Cereal Chemistry** v. 70, n. 5, p. 723-727, 1993.

EDGAR, T. F.; HIMMELBLAU, D. M. Optimization of chemical processes. New York: McGraw Hill, 1988.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), www.cnpms.embrapa.br. Acesso em: novembro 2006.

ESEN, A.; STETLER, D. A. Immunocytochemical localization of delta-zein in the protein bodies of maize endosperm cells. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 79, n. 3, p. 243-248, Mar. 1992.

FAO, **El maiz em la nutrición humana**. Roma, 1993. 110 p. (Estudio de alimentacion y nutrición, 35/1).

FAO – Food and Agriculture Organization. Disponível em: <<http://www.fao.org>> . Acesso em: em junho 2009.

FAN, L. et al. Comparison of the rates of absorption of water by corn kernels with and without dissolved sulfur dioxide. **Cereal Chemistry**, v. 42, p. 385-396, 1965.

FANCELLI, A. L.; LIMA, U. A. Milho: Produção, pré-processamento, e transformação agroindustrial. São Paulo, SP (Série extensão agroindustrial, v. 5). Secretaria da Indústria, Comércio e Ciência do Estado de São Paulo. p. 8, 1982.

FERNANDES, V.G. Co-produtos de Comercialização do Milho. Mogi Guaçu, SP. 1998.

FERRATO, F. H. S., JUNQUEIRA, T. C. e LOPES-FILHO, J. F. Hidratação do germe, endosperma e grão do milho em função da temperatura e concentrações de ácido láctico e SO₂ na água de maceração. **Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Campina Grande, PB. 1997.

FERRATO, F.H.S.; JUNQUEIRA, T.C.J.; LOPES FILHO, J.F. Avaliação do rendimento, danificação e teor de óleo do germe de milho em função das concentrações de ácido láctico e SO₂ na água de maceração. In: ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, XVI, 1998, Rio de Janeiro, RJ.

FLODIN, N. The metabolic roles, pharmacology, and toxicology of lysine. **Journal of the American College of Nutrition**, New York, v. 16, n. 1, p. 7-21, Feb. 1997.

FRANCO, C. M. L. **Contribuição ao estudo da estrutura do grânulo de amido de milho: tratamento térmico, hidrólise enzimática e permeação em gel**. Campinas, 1993. 137 p.

- FRARE, L.M. Estudos de custos para implementar um planta para remoção de H₂S de processos de produção de biogás. 2006. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.
- FRENCH, D. Organization of starch granule. In: WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHAL, E. F. **Starch: chemistry and Tecnology**. 2. ed. London: Academic Press, 1984. cap. 7, p. 183-247.
- GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; BALDWIN, P. M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 32, n. 3-4, p. 177-191, Apr. 1997.
- Geraldi, C.A.Q. Estudo da secagem da fécula de mandioca em secador pneumático – Flash Dryer. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.
- GIBBON, B.; LARKINS, B. A. Molecular genetic approaches to developing quality protein maize. **Trends in Genetics**, London, v. 21, n. 4, p. 227-233, Apr. 2005.
- GIBBON, B. C.; WANG, X.; LARKINS, B. Altered starch structure is associated with endosperm modification. **Proceedings of the National Academy of Science United States of America**, Washington, n. 26, p. 15329- 15334, Dec. 2003.
- GIDLEY, M. J.; BOCIEK, S. M. Molecular organization in starches. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 107, n. 24, p. 7044, Dec. 1985.
- GONÇALVES R.A.; SANTOS J.P.; TOMÉ P. H. F.; PEREIRA ROSEMARY G. F. A.; ASCHERI J.L.R.; ABREUS C.M.P. Rendimento e composição química de cultivares de milho em moagem a seco e produção de *grits*. *Ciênc. agrotec.*, Lavras. V.27, n.3, p.643-650, maio/jun., 2003
- GLENN, G. M.; YOUNCE, F. L.; PITTS, M. J. Fundamental physical properties characterizing the hardness of wheat endosperm. **Journal Cereal Science**, London, v. 13, n. 2, p. 179-194, Mar./Apr. 1991.
- GUIMARÃES, C. T. **Caracterização de populações de milho indígenas que apresentam grãos opacos**. 1994. 69 p. 1994 (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de viçosa, viçosa, MG.
- GUIMARÃES, R.M. Fisiologia de Sementes. Lavras, UFLA/FAEPE, 1999. p.6, 15, 16, 55 e 56.
- GUTHRIE, K. M. Data and techniques for preliminary capital cost estimation. *Chem. Eng.* v. 76, n. 6, p.114-142, Mar. 24, 1969.
- HAROS, M; VIOLAZ, P. E; SUAREZ, C. Effect of temperature and SO₂ on the rates of water absorption of three maize hybrids. **Journal of Food Engineering** v.25 p. 473-482, 1995.

HAROS, M; SUAREZ, C. Effect of drying, initial moisture and variety in corn wet milling. **Journal of Food Engineering** v.34 p. 473-481, 1997.

HAROS, M.; SUÁREZ, C. Effect of chemical pretreatments and lactic acid on the rate of water absorption and starch yield in corn wet-milling. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.76, n.5, p.783-787, 1999.

HASSANEAN, A. and ABDEL-WAHED, A. A new method to shorten the steeping period of corn grains. **Starch/Ataek** v. 38, p. 417-419, 1996.

HOSENEY, R. C. Wheat hardness. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 32, n. 4, p. 320-322, July/Aug. 1987.

HOSENEY, R. C. Structure of cereals. In: **Principles of Cereal: Science and Technology**. 2 ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, p. 12. 1994.

IMBERTY, A.; BULEON, A.; TRAN, V.; PERZ, S. Recent advances in knowledge of starch structure. **Starch**, Deerfield Beach, v. 43, n. 10, p. 375-384, Oct. 1991.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 3. ed. São Paulo, 1985. v.1.

JAMES, M. G.; DENYER, K.; MYERS, A. M. Starch synthesis in the cereal endosperm. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 6, n. 3, p. 215-222, June 2003.

JOHNSON, L. M.; HARRISON, J. H.; DAVIDSON, D.; ROBUCCI, J. L.; SWIFT, M. Corn silage management I: effects of hybrid, maturity and mechanical processing on chemical and physical characteristics. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, n. 4, p. 833-853, Apr. 2002.

KERN, Donald. **Processos de transmissão de calor**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.

KIRIHARA, J. A.; HUNSPERGER, J. P.; MAHONY, W. C.; MESSING, J. W. Differential expression of a gene for a methionine-rich storage protein in maize. **Molecular General Genetics**, New York, v. 211, n. 3, p. 477-487, Mar. 1988.

KRIZ, A. L. **Evaluation of genetic factors that affect kernel hardness in maize**. Urbana-Champaign: University of Illinois, 1987. 12 p.

KROCHTA, J. M.; LOOK, K. T.; WONG, L.G. Modification of corn wetmilling steeping conditions to reduce energy consumption. **Journal of food processing and preservation**, v 5, p. 39-47. 1981.

LEITE, A.; NETO, G. C.; VETTORRE, A. L.; YUNES, J. A.; ARRUDA, P. The prolamins of sorghum, *Coix* and millets. In: SHEWRY, P. R.; CASEY, R. (Ed.) **Seed protein**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 141-157.

LENDING, C. R.; LARKINS, B. A. Changes in the zein composition of protein bodies during of maize development. **The plant cell**, Rockville, v. 1, n. 10, p. 1011-1023, Oct. 1989.

LINEBACK, D. R. The starch granule: organization and properties. **Bakers Digest**, Chicago, v. 58, n. 2, p. 16-21, 1984

LENDING, C. R.; LARKINS, B. A. Changes in the zein composition of protein bodies during of maize development. **The plant cell**, Rockville, v. 1, n. 10, p. 1011-1023, Oct. 1989.

LINEBACK, D. R. The starch granule: organization and properties. **Bakers Digest**, Chicago, v. 58, n. 2, p. 16-21, 1984

LOPES FILHO, J. F.; BURIK, P.; TUMBLESON, M. E. & ECKHOFF, S. R. Avaliação da maceração dinâmica do milho após um curto período de hidratação e subsequente quebra do pericarpo do grão. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.19., n. 3, 1999.

LOPES FILHO J.F. The intermittent milling and dynamic steeping process for corn starch recovery. Urbana/E.U.A., 1995. 104p. (Tese de Doutorado University of Illinois).

LOPES FILHO J.F. Moagem úmida do milho para produção de amido e subprodutos. *Boletim SBCTA*, v. 31, p.42-47, 1997.

LOPES FILHO, J. F.; BURIK, P.; TUMBLESON, M. E. & ECKHOFF, S.R. The intermittent milling and dynamic steeping (IMDS) process for corn starch recovery. *Cereal Chemistry* v. 74, n. 5, p. 633-638, 1997.

LOPES, M. A. LARKINS, B. Endosperm Origin, development, and function. **The plant Cell**, Rockville, v. 5, n. 10, p. 1383-1399, Oct. 1993.

MANSONI, J. M. S. Influência da temperatura, níveis de dióxido de enxofre e ácido láctico durante a maceração dinâmica e moagem intermitente para a obtenção de subprodutos de milho, 2000. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Departamento de Engenharia e Ciências de Alimentos, Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociência. Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto.

MAY, J.B. Wet milling: Process and Products. Page 381 in: **Corn chemistry and technology**. 2. ed. Stanley^a Watson and Paul E. Ramstad, eds. AACC: St Paul, MN. 1987.

MERTZ, E. T.; BATES, L. S.; NELSON, O. E. Mutant genes that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. **Science**, Washington, v. 145, n. 3629, p. 279-280, July 1964.

MITTELMAN, A. **Variação genética para qualidade nutricional em milho com endosperma normal**. 2001. 93 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MONENTE, J. C. P. P. Efeito do dióxido de enxofre e do ácido láctico na hidratação, rendimento e qualidade do germe de milho, 2003. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Departamento de Engenharia e Ciências de Alimentos, Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociência. Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto.

MCKINNEY, J.C. Moisture Content in the endosperm and germ of corn during steeping. Trabalho apresentado em aula da disciplina Ag E 396 do Departamento de Engenharia Agrícola da The University of Illinois at Champaign-Urbana, 1994.

MUSSATTI, D. C.; VATAVUK, W. M. EPA air pollution control cost manual. 6. ed. Air Quality Strategies and Standards Division of the Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency. Jan., 2002.

MUSSOLINI, R. C. Caracterização físico-química e rendimento da moagem úmida de quatro híbridos de milho. 2009. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho.

NELSON, O. E. Genetic modificatin of protein quality in plants. *Advance in Agronomy*, London, v.21, p. 171-194, 1969.

NELSON, O. E.; MERTZ, E. T.; BATES, L. S. Second mutant gene affecting the amino acid pattern of maize endosperm proteins. **Science**, Washington, v. 150, n. 3702, p. 1469-1470, 1965.

NELSON, N.A. Photometric adaptation of the Somogy method for the determination of glucose. **Journal Biological Chemistry**, v. 153, p.375-380, 1944.

NOVAES, R. F. O Milho como Matéria Prima, p. 472-505 em: **Cultura e Adubação do Milho**. Editor: Instituto Brasileiro de Potassa, São Paulo, 1966.

ORTEGA, E. I.; BATES, L. S. Biochemical and agronomic studies of two modified hard endosperm opaque-2 maize (*Zea mays*) populations. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 60, n. 2, p. 107-111, Mar./Apr. 1983.

OSBORNE, T. B.; MENDEL, L. B. Nutritive properties of protein of maize kernel. **The Journal of Biology Chemistry**, Baltimore, v. 18, n. 1, p. 1-16, 1914.

PAES M.C.D.; *Nutrição Humana e Ciência dos Alimentos*, Embrapa Milho e Sorgo – Circular Técnica Nº. 75, 2006.

PAIVA, E.; KRIZ, A.; PEIXOTO, M. J. V. V. D.; WALLACE, J. C.; and LARKINS, B. A Quantitation and distribution of γ -zein in the endosperm of maize kernels. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 68, n. 3, p. 276-279, May/June 1991.

- PARAMAN I., FOX, S. R., ASPELUND, M. T., GLATZ, C. E., JOHNSON, L. A., 2010. Recovering corn germ enriched in recombinant protein by wet-fractionation. *Biores Technol.* 101, 239-244.
- PARK, D. L. Effect of processing on aflatoxin, ***Mycotoxins and food safety advances in experimental medicine and biology***, vol. 504, p. 173-179, 2002.
- PEDERSEN, K.; ARGOS, P.; NARAYANA, S. L. V.; LARKINS, B. A. Sequence analysis and characterization of a maize gene encoding a high sulphur zein protein of Mr 15,000. ***The Journal of Biological Chemistry***, Baltimore, v. 261, n. 14, p. 62779-6284, Oct. 1986.
- PEREIRA, R. C.; Relação entre características bioquímicas e estruturais e a textura do grão de milho; UFLA, 2006. - Tese (Doutorado em Agronomia) – UFLA - Universidade Federal de Lavras.
- PÉREZ, O.E.; M. HAROS, C. SUAREZ Corn Steeping: influence of time and lactic acid on isolation and thermal properties of starch. ***Journal of Food Engineering*** v.48; p. 251-256; 2001.
- PERRY, R. H. e CHILTON, C. H., (1980), Manual de Engenharia Química, Seções 12 a 20, 5ª Edição, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, BR.
- PERLINGEIRO, C. A. G. Engenharia de processos – análise, simulação, otimização e síntese de processos químicos. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- PETERS, M. S.; TIMMERHAUS, K. D. Plant design and economics for chemical engineers. 4. ed. New York: McGraw Hill, 1991.
- POMERANZ, Y.; MARTIN, C. R.; TRAYLOR, D. D.; LAI, F. S. Corn hardness determination. ***Cereal Chemistry***, St. Paul, v. 61, n. 2, p. 147-150, Mar./Apr. 1984.
- Pesquisas Aplicadas em Agronegócios, Economia Social e Ambiental; www.cepea.org.br; acesso em 26/04/2010.
- RAUSCH, K. D., THOMPSON, C. I., BELYEA, R. L., CLEVINGER, T. E., TUMBLESON, M. E, 2003a. Characterization of gluten processing streams. *Biores Technol.* 89, 163-167.
- RAUSCH, K. D., THOMPSON, C. I., BELYEA, R. L., TUMBLESON, M. E, 2003b. Characterization of light gluten and light steep water from a corn wet milling plant. *Biores Technol.* 90, 49-54.
- RAMIREZ, E. C.; JOHNSTON, D. B.; MCALOON, A. J.; YEE, W.; SINGH, V. Engineering process and cost model for a conventional corn wet milling facility. ***Industrial Crops and Products***, v. 27, p. 91-97, 2008.
- RAMOS, A. P. Influência da Temperatura na absorção de água, dióxido de enxofre e ácido láctico durante a maceração do milho no processo de moagem úmida, 2001. 92 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Departamento de Engenharia e Ciências de Alimentos, Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociência. Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto.

RICKARD, J. E.; BEHN, K. R. J. Evolution of acid and enzyme hydrolytic methods for determination of cassava starch. *Journal of Science and Food Agriculture*, v.41, p.373-379, 1987.

ROBUTTI, J. L.; HOSENEY, R. C.; WASSOM, C. E. Modified *opaque-2* corn endosperms. II Structure viewed with a scanning electron microscope. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 51, n. 2, p. 173-179, Mar./Apr. 1974.

ROMANO F^a, M.L. **Alta temperatura de secagem na qualidade de sementes de milho (*Zea mays* L.)**. Pelotas, UFP, 1997. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 1997.

RUAN, R.; LITCHFIELD, B. J.; ECKHOFF S. R. Simultaneous and nondestructive measurement of transient moisture profiles and structural changes in corn kernels during steeping using microscopic nuclear magnetic resonance imaging. **Cereal Chemistry** vol. 69(6), p. 600-606, 1992.

ROUSHDI, M.; GHALI, Y.; HASSANEAN, A. Factors improving steeping process of corn grains, part I. Effect of steeping process, artificial drying and scratching in storage. **Starch/Starke**, v.31, p. 80-81, 1979.

ROUSHDI, M., GHALI, Y. and HASSANEAN, A. Factors improving steeping process of corn grains. Part II. Effect of enzyme addition. *Starch/Starke* v. 33, p. 7-9, 1981.

ROUSHDI, M.; GHALI, Y.; HASSANEAN, A. Factors improving steeping process of corn grains, part III. Conditions favoring lactic acid formation during corn stepping and its effect. **Starch/Starke**, v. 33, p. 49-52, 1981.

RYU, D.; JACKSON L.S., BULLERMAN L.B. Effects of processing on zearalenone, **Mycotoxins and food safety advances in experimental medicine and biology**, vol. 504, p. 205-216, 2002

SAMANEZ, C. P. Matemática financeira – aplicações à análise de investimentos. 3. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

SAUNDERS, D.S.; MEREDITH, F.I.; VOSS, K.A. Control of fumonisin: Effects of processing, **Environmental health perspectives**, vol.109: p333- 336 suppl. 2001.

SINGH, V.; HAKEN, A. E.; NIU, Y. X., ZOU, S. H., ECKHOFF, S. R. Hybrid dependent effect of lactic acid on corn starch yields. **Cereal Chemistry** vol. 74 (3), p. 249-253, 1997.

- SINGH, V. Batch steeping of corn: effects of adding lactic acid and sulfur dioxide at different times on starch yields, protein contents, and starch pasting properties. **Cereal Chemistry** vol. 76, p. 600-605, 1999.
- SHANDERA D.L.; PARKHURST A. M.; JACKSON D. S.. Interactions on sulfur dioxide, lactic acid, and temperature during simulated corn wet milling. **Cereal Chemistry** vol. 72(4), p. 373-378, 1995.
- SHEWRY, P. R.; HALFORD, N. G. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 370, p. 947-958, Apr. 2002.
- SHOTWELL, M. A.; LARKINS, B. A. The biochemistry and molecular biology of seed storage proteins. In: MARCUS, A. (Ed.). **The biochemistry of plant: a comprehensive treatise**. San Diego: Academic, 1989. v. 15, p. 296-345.
- SHULL, J. M. **Developmental study of a hard, intermediate and soft variety of sorghum**. 1988. 85 p. Dissertation (Masters) - West Laffayette, Purdue University.
- SIMMONDS, D. H.; BARLOW, K. K.; WRIGLEY, C. W. The biochemical basis of grain hardness in wheat. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 50, n. 5, p. 553-562, Sept./Oct. 1973.
- SMITH, J.M./ VAN NESS, H.C./ ABBOTT, M.M., *Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química – 3ª Edição*, Editora LTC 2000
- SOMOGY, M. Determination of blood sugar. **Journal Biological Chemistry**, v. 160, p. 69-73, 1945.
- STRISSEL J. F.; STIEFEL, M. Potential benefits of using a white corn hybrid in tortilla and chip application. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 47, n. 2, p. 56-69, Mar./Apr. 2002.
- TSAI, C. Y. Tissue-specific zein synthesis in maize kernel. **Biochemical Genetics**, New York, v. 17, n. 11, p. 1109-1119, 1979b.
- TORO, A. A. **Quantificação de aminoácidos solúveis em mutantes de endosperma de milho**. 2001. 88 p. 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- TURTON, R.; BAILIE, R.C.; WHITING, W.B.; SHAEIWITZ, J.A. Analysis, synthesis, and design of chemical processes. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003.
- THOMPSON, C. I., RAUSCH, K. D., BELYEA, R. L., TUMBLESÓN, M. E, 2006. Microfiltration of gluten processing streams from corn wet milling. *Biores Technol.* 97, 348-354.
- ULRICH, G. D. A guide to chemical engineering process design and economics. New York: John Wiley and Sons, 1984.

VASAL, S. K. High quality protein corn. In: HALLAUER, A. (Ed.). **Specialty corns**. 2. ed. Boca Raton, FL: CRC, 2001. p. 85-129.

VILLEGAS, E.; VASAL, S. K.; BJARNASON, M. Quality protein maize: What is it and how was it developed. In: MERTZ, E. T. (Ed.). **Quality protein maize**. American Association of Cereal Chemists, 1992. p. 27-48.

WALL, J. S.; BIETZ, J. A. Differences in corn endosperm proteins in developing seeds of normal and *opaque-2* corn. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 64, n. 4, p. 275-280, July/Aug. 1987.

WALLACE, J. C.; LOPES, M. A.; PAIVA, E.; LARKINS, B. A. New methods for extraction and quantification of zeins reveal a high content of gamma zein in modified *opaque-2* maize. **Plant Physiology**, Rockville, v. 92, n. 1, p. 191-196, Jan. 1990.

WANG, Y. J.; WHITE, P.; POLLAK, L.; JANE, J. Characterization of structures of 17 maize endosperm mutant genotype with oh 43 inbred line background. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 70, n. 2, p. 171-179, Mar./Apr. 1993.

WANG D.; ECKHOFF, S. R. Effect of broken corn levels on water absorption and steepwater characteristics. **Cereal Chemistry** vol. 77 (5), p. 525-528, 2000.

WARD, T. J. Predesign estimating of plant capital costs. *Chemical Engineering*. p.121-124, Sept.17, 1984.

WATSON, S. A. Corn and sorghum starches: production. In: WHISTLER, R.L., BEMILLE, J.L., PASCHALL, E.F. *Starch: chemistry and technology*. 2. ed. Orlando: Academic Press, 1984. Cap. XII, p.417- 468.

WATSON, S. A. Structure and Composition Page 53-65 in: **Corn chemistry and technology**. 2. Ed. Stanley A. Watson and Paul E. Ramstad, eds. AACC: St Paul, MN, 1987.

WEBER, E. J. Lipids of the Kernel page 311-316 in: **Corn chemistry and technology**. 2. Ed. Stanley A. Watson and Paul E. Ramstad, eds. AACC: St Paul, MN, 1987.

YAU, J. C.; BOCKHOLT, A. J.; SMITH, J. D.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Maize endosperm proteins that contribute to endosperm lysine content. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 76, n. 5, p. 668-672, Sept.Oct. 1999.

ZARKADAS, C. G.; YU, Z.; HAMILTON, R. I.; PATTISON, P. L.; ROSE, N. G. W. Comparison between the protein quality of normal adapted cultivars of common maize and quality protein maize. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 43, n. 1, p. 84-93, Jan. 1995.

ANEXOS

ANEXO A

Neste anexo, são apresentadas as condições de secagem do farelo de germe, bem como as propriedades do ar, água, vapor e farelo de germe.

Tabela A.1 – Propriedades do ar e do vapor saturado, utilizadas na realização do balanço de energia no secador.

Capacidade de cada secador	10	t/dia
Diâmetro do secador	0,26	m
Ar		
Temperatura de entrada	23	°C
Temperatura de saída	90	°C
Umidade relativa	0,68	
Velocidade	23	m/s
Vazão volumétrica	4414,60	m ³ /h
Umidade absoluta	0,012	kg vapor/kg ar seco
Volume específico do ar seco	0,84	m ³ /kg ar seco
Volume específico do ar saturado	0,86	m ³ /kg ar seco
Volume específico total	0,8536	m ³ /kg ar seco
Vazão mássica do ar seco	5171,74	kg ar seco/h
Vazão mássica de umidade (água)	62,06	kg vapor/h
Vapor saturado		
Pressão	10,20	kgf/cm ²
Temperatura de entrada	180	°C
Temperatura de saída	180	°C
Calor latente (λ)	2013,10	kJ/kg

Tabela A.2 – Constantes para o cálculo dos Cp (ar, água e vapor).

Constantes para cálculo dos Cp			
	Ar	Água	Vapor
A	3,355	8,712	3,470
B	0,000575	0,00125	0,00145
C	0	-0,00000018	0
D	-1600	0	12100
R (kJ/(kg.K))	0,288	0,462	0,462

Tabela A.3 – Condições de entrada e na saída do farelo de germe no secador.

Farelo de germe		
Temperatura de entrada	23	°C
Temperatura de saída	35	°C
Umidade de entrada	20%	
Umidade de saída	11%	
Capacidade calorífica	1,34	kJ/(kg.°C)
Vazão de entrada	463,54	kg/h
Farelo de germe	80%	370,83 kg/h
Água	20%	92,71 kg/h
Vazão de saída	416,67	kg/h
Farelo de germe	89%	370,83 kg/h
Água	11%	45,83 kg/h
Água evaporada		46,88 kg/h

Tabela A.4 – Condições do ar na entrada e na saída do secador de farelo de germe.

Ar		
Vazão de entrada	5233,80	kg/h
Ar Seco	5171,74	kg ar seco/h
Vapor	62,06	kg vapor/h
Umidade absoluta	0,012	kg vapor/kg ar seco
Temperatura de entrada	90	°C
Cp do ar seco de entrada	1,024	kJ/(kg.K)
Entalpia de entrada do ar seco	1922963,22	kJ/h
Cp do vapor de entrada	1,888	kJ/(kg.K)
Entalpia de entrada de vapor	42558,48	kJ/h
Vazão de saída	5280,67	kg/h
Ar seco	5171,74	kg ar seco/h
Vapor	108,94	kg vapor/h
Umidade absoluta	0,021	kg vapor/kg ar seco
Temperatura de entrada	70	°C
Cp do ar seco de saída	1,020	kJ/(kg.K)
Entalpia de saída do ar seco	1810430,51	kJ/h
Cp do vapor de saída	1,880	kJ/(kg.K)
Entalpia do vapor de saída	40037,64	kJ/h

ANEXO B

Neste anexo, são apresentadas as condições de secagem do amido de milho, bem como as propriedades do ar, água, vapor e amido.

Tabela B.1 – Propriedades do ar e do vapor saturado, utilizadas na realização do balanço de energia no secador.

Capacidade de cada secador	40	t/dia
Diâmetro do secador	0,69	m
Ar		
Temperatura de entrada	23	°C
Temperatura de saída	140	°C
Umidade relativa	0,68	-
Velocidade	23	m/s
Vazão volumétrica	31012,08	m ³ /h
Umidade Absoluta	0,012	kg vapor/kg ar seco
Volume específico do ar seco	0,84	m ³ /kg ar seco
Volume específico do ar saturado	0,86	m ³ /kg ar seco
Volume específico total	0,8536	m ³ /kg ar seco
Vazão mássica de ar seco	36330,93	kg ar seco/h
Vazão mássica de umidade (água)	435,97	kg vapor/h
Vapor saturado		
Pressão	10,2	kgf/cm ²
Temperatura de entrada	180	°C
Temperatura de saída	180	°C
Calor latente (λ)	2013,1	kJ/kg

Tabela B.2 – Constantes para o cálculo dos Cp (ar, água e vapor).

Constantes para cálculo dos Cp			
	Ar	Água	Vapor
A	3,355	8,712	3,47
B	0,000575	0,00125	0,00145
C	0	-0,00000018	0
D	-1600	0	12100
R (kJ/(kg.K))	0,288280166	0,461888889	0,461889

Tabela B.3 – Condições de entrada e na saída do amido no secador.

Amido		
Temperatura de entrada	23	°C
Temperatura de saída	45	°C
Umidade de entrada	42%	
Umidade de saída	14%	
Capacidade calorífica	1,26	kJ/(kg.°C)
Vazão de entrada	2471,67	kg/h
Amido 58%	1433,57	kg/h
Água 42%	1038,10	kg/h
Vazão de saída	1666,94	kg/h
Amido 86%	1433,57	kg/h
Água 14%	233,37	kg/h
Água evaporada	804,73	kg/h

Tabela B.4 – Condições do ar na entrada e na saída do secador de amido.

Ar		
Vazão de entrada	36766,90	kg/h
Ar seco	36330,93	kg ar seco/h
Vapor	435,97	kg vapor/h
Umidade absoluta	0,012	kg vapor/kg ar seco
Temperatura de entrada	140	°C
Cp ar seco na entrada	1,03	kJ/(kg.K)
Entalpia de entrada do ar seco	15504887,97	kJ/h
Cp do vapor de entrada	1,91	kJ/(kg.K)
Entalpia do vapor de entrada	344428,20	kJ/h
Vazão de saída	37571,63	kg/h
Ar seco	36330,93	kg ar seco/h
Vapor	1240,70	kg vapor/h
Umidade absoluta	0,03	kg vapor/kg ar seco
Temperatura de saída	88	°C
Cp ar seco de saída	1,02	kJ/(kg.K)
Entalpia de saída do ar seco	13429365,58	kJ/h
Cp vapor de saída	1,89	kJ/(kg.K)
Entalpia de saída do vapor	297185,66	kJ/h

ANEXO C

Neste anexo, são apresentadas as condições de secagem do farelo de glúten 60, bem como as propriedades do ar, água, vapor e do farelo de glúten 60.

Tabela C.1 – Propriedades do ar e do vapor saturado, utilizadas na realização do balanço de energia no secador.

Capacidade de cada secador	4	t/dia
Diâmetro do secador	0,22	m
Ar		
Temperatura de entrada	23	°C
Temperatura de saída	110	°C
Umidade relativa	68%	
Velocidade	23	m/s
Vazão volumétrica	3211,73	m ³ /h
Umidade absoluta	0,012	kg vapor/kg ar seco
Volume específico do ar seco	0,840	m ³ /kg ar seco
Volume específico do ar saturado	0,860	m ³ /kg ar seco
Volume específico total	0,854	m ³ /kg ar seco
Vazão mássica do ar seco	3762,57	kg ar seco/h
Vazão mássica de umidade (água)	45,15	kg vapor/h
Vapor saturado		
Pressão	10,2	kgf/cm ²
Temperatura de entrada	180	°C
Temperatura de saída	180	°C
Calor latente (λ)	2013,1	kJ/kg

Tabela C.2 – Constantes para o cálculo dos Cp (ar, água e vapor).

Constantes para cálculo dos Cp			
	Ar	Água	Vapor
A	3,355	8,712	3,470
B	0,000575	0,00125	0,00145
C	0	-0,00000018	0
D	-1600	0	12100
R (kJ/(kg.K))	0,288	0,462	0,462

Tabela C.3 – Condições de entrada e na saída do farelo de glúten 60 no secador.

Farelo de glúten 60			
Temperatura de entrada		23	°C
Temperatura de saída		48	°C
Umidade de entrada		40%	
Umidade de saída		10%	
Capacidade calorífica		1,34	kJ/(kg.°C)
Vazão de entrada		250,00	kg/h
Farelo de glúten 60	60%	150,00	kg/h
Água	40%	100,00	kg/h
Vazão de saída		166,67	kg/h
Farelo de glúten 60	90%	150,00	kg/h
Água	10%	16,67	kg/h
Água evaporada		83,33	kg/h

Tabela C.4 – Condições do ar na entrada e na saída do secador de farelo de glúten 60.

Ar		
Vazão de entrada	3807,72	kg/h
Ar seco	3762,57	kg ar seco/h
Vapor	45,15	kg vapor/h
Umidade absoluta	0,012	kg vapor/kg ar seco
Temperatura de entrada	110	°C
Cp do ar seco de entrada	1,028	kJ/(kg.K)
Entalpia de entrada do ar seco	1481345,77	kJ/h
Cp do vapor de entrada	1,897	kJ/(kg.K)
Entalpia de entrada de vapor	32824,79	kJ/h
Vazão de saída	3891,06	kg/h
Ar seco	3762,57	kg ar seco/h
Vapor	128,48	kg vapor/h
Umidade absoluta	0,034	kg vapor/kg ar seco
Temperatura de saída	60	°C
Cp ar seco de saída	1,018	kJ/(kg.K)
Entalpia de saída do ar seco	1276374,33	kJ/h
Cp do vapor de saída	1,876	kJ/(kg.K)
Entalpia do vapor de saída	28222,32	kJ/h

ANEXO D

Neste anexo, são apresentadas as condições de secagem do farelo de glúten 21, bem como as propriedades do ar, água, vapor e do farelo de glúten 21.

Tabela D.1 – Propriedades do ar e do vapor saturado, utilizadas na realização do balanço de energia no secador.

Capacidade de cada secador	10	t/dia
Diâmetro do secador	0,36	m
Ar		
Temperatura de entrada	23	°C
Temperatura de saída	140	°C
Umidade relativa	68%	
Velocidade	23	m/s
Vazão volumétrica	8468,73	m ³ /h
Umidade absoluta	0,012	kg vapor/kg ar seco
Volume específico do ar seco	0,840	m ³ /kg ar seco
Volume específico do ar saturado	0,860	m ³ /kg ar seco
Volume específico total	0,854	m ³ /kg ar seco
Vazão mássica de ar seco	9921,20	kg ar seco/h
Vazão mássica de umidade (água)	119,05	kg vapor/h
Vapor saturado		
Pressão	10,2	kgf/cm ²
Temperatura de entrada	180	°C
Temperatura de saída	180	°C
Calor latente (λ)	2013,1	kJ/kg

Tabela D.2 – Constantes para o cálculo dos Cp (ar, água e vapor).

Constantes para cálculo dos Cp			
	Ar	Água	Vapor
A	3,355	8,712	3,470
B	0,000575	0,00125	0,00145
C	0	-0,00000018	0
D	-1600	0	12100
R (kJ/kg.K)	0,288	0,462	0,462

Tabela D.3 – Condições de entrada e na saída do farelo de glúten 21 no secador.

Farelo de glúten 21		
Temperatura de entrada	23	°C
Temperatura de saída	57	°C
Umidade de entrada	45%	
Umidade de saída	12%	
Capacidade calorífica	1,34	kJ/(kg.°C)
Vazão de entrada	681,83	kg/h
Farelo de glúten 21	55%	375,01 kg/h
Água	45%	306,83 kg/h
Vazão de saída	426,15	kg/h
Farelo de glúten 21	88%	375,01 kg/h
Água	12%	51,14 kg/h
Água evaporada		255,69 kg/h

Tabela D.4 – Condições do ar na entrada e na saída do secador de farelo de glúten 21.

AR		
Vazão de entrada	10040,25	kg/h
Ar seco	9921,20	kg ar seco/h
Vapor	119,05	kg vapor/h
Umidade absoluta	0,012	kg vapor/kg ar seco
Temperatura de entrada	140	°C
Cp do ar seco de entrada	1,033	kJ/(kg.K)
Entalpia de entrada do ar seco	4234051,79	kJ/h
Cp Vapor de entrada	1,912	kJ/(kg.K)
Entalpia de entrada de vapor	94055,94	kJ/h
Vazão de saída	10295,94	kg/h
Ar seco	9921,20	kg ar seco/h
Vapor	374,74	kg vapor/h
Umidade absoluta	0,038	kg vapor/kg ar seco
Temperatura de saída	80	°C
Cp ar seco de saída	1,022	kJ/(kg.K)
Entalpia de saída do ar seco	3580821,90	kJ/h
Cp do vapor de saída	1,884	kJ/(kg.K)
Entalpia de saída do vapor	79214,60	kJ/h

ANEXO E

Neste anexo, são apresentados os resultados das análises experimentais realizadas nas amostras de grão de milho.

Tabela E.1 – Resultado da classificação realizada nas amostras de grão do milho (% em base úmida).

Nº análises	Matérias estranhas e impurezas (%)	Grãos ardidos e brotados (%)	Grãos avariados (%)
01	0,80	1,90	4,20
02	0,70	1,96	3,90
03	0,90	2,10	5,20
04	1,00	2,50	6,10
05	1,20	1,79	3,98
06	0,65	2,80	4,50
07	0,72	2,75	6,30
08	0,79	2,63	5,90
09	0,83	2,40	6,10
10	0,90	1,09	5,80
11	0,92	1,40	4,70
12	0,93	1,62	6,00
14	1,30	2,70	5,80
15	0,76	1,83	5,40
16	0,82	1,78	5,62
17	0,91	1,95	3,97
18	0,74	2,10	4,80
19	0,89	2,30	4,52
20	0,68	2,15	4,92
21	1,32	2,10	5,10
22	1,00	1,60	5,30
23	0,98	1,84	5,90
24	0,79	1,79	6,10
25	0,72	1,59	6,15

Tabela E.2 – Resultados das análises realizadas no milho (% em base úmida).

Nº análises	% umidade	% de amidos	% extrato etéreo	% proteína	% cinzas	% de fibras
01	12,50	73,04	3,86	7,40	1,20	2,00
02	12,00	73,27	3,78	7,90	1,15	1,90
03	12,50	71,89	3,81	8,50	1,20	2,10
04	13,10	71,03	3,94	8,60	1,13	2,20
05	12,10	72,53	3,75	8,50	1,14	1,98
06	12,80	72,01	3,95	7,90	1,19	2,15
07	12,70	71,69	4,00	8,40	1,25	1,96
08	12,50	71,61	3,79	8,70	1,30	2,10
09	12,60	71,35	3,85	8,90	1,30	2,00
10	12,90	71,21	3,94	8,80	1,18	1,97
11	12,70	71,63	3,78	8,70	1,19	2,00
12	12,00	72,55	4,01	8,20	1,14	2,10
13	12,70	71,88	4,10	8,30	1,12	1,90
14	12,40	71,72	3,82	8,80	1,16	2,10
15	12,90	71,12	4,00	8,60	1,18	2,20
16	12,80	71,45	4,30	8,40	1,17	1,88
17	12,20	71,50	4,20	8,80	1,20	2,10
18	12,50	71,74	4,00	8,60	1,26	1,90
19	12,70	71,65	3,98	8,50	1,28	1,89
20	12,00	72,53	3,85	8,30	1,22	2,10
21	12,60	71,17	4,20	8,50	1,23	2,30
22	12,00	71,66	4,30	8,60	1,24	2,20
23	12,70	71,54	4,10	8,50	1,26	1,90
24	12,00	72,83	3,90	7,90	1,27	2,10
25	12,80	71,41	4,00	8,40	1,19	2,20

ANEXO F

Neste anexo, são apresentados os resultados das análises experimentais realizadas nas amostras de farelo de germe.

Tabela F.1 – Resultado das análises realizadas no farelo de germe (% em base úmida).

Nº análises	% umidade	% extrato etéreo	% proteína	% cinzas	% de fibras	% de amidos
01	11,80	12,10	10,90	2,00	4,50	58,70
02	11,50	11,80	11,20	2,10	4,30	59,10
03	11,20	12,30	11,30	2,50	4,30	58,40
04	10,80	12,50	11,00	2,60	4,50	58,60
05	10,50	12,70	11,80	2,40	4,80	57,80
06	11,60	13,90	10,70	2,00	4,20	57,60
07	11,80	12,50	11,20	2,60	4,50	57,40
08	10,90	12,00	11,60	2,30	4,50	58,70
09	11,00	12,30	12,90	2,10	4,80	56,90
10	11,70	13,00	12,00	2,50	4,70	56,10
11	10,80	12,10	11,90	2,40	4,40	58,40
12	11,60	12,70	12,40	2,20	4,40	56,70
13	11,50	12,60	12,10	2,00	4,60	57,20
14	11,50	11,90	12,30	2,20	4,80	57,30
15	11,00	12,50	12,00	1,90	4,10	58,50
16	10,20	12,40	12,00	2,00	4,60	58,80
17	10,80	12,30	12,20	2,40	4,30	58,00
18	10,90	12,30	12,40	2,30	4,50	57,60
19	11,00	12,00	11,90	2,00	4,50	58,60
20	11,70	12,50	12,30	2,30	4,60	56,60
21	10,20	11,50	10,90	2,00	4,20	61,20
22	10,10	11,90	12,10	1,90	4,50	59,50
23	10,80	12,30	12,80	2,10	4,50	57,50
24	11,20	12,40	11,80	2,40	4,80	57,40
25	11,80	12,00	12,00	2,30	4,70	57,20

ANEXO G

Neste anexo, são apresentados os resultados das análises experimentais realizadas nas amostras de farelo de glúten 60.

Tabela G.1 – Resultado das análises realizadas no farelo de glúten 60 (% em base úmida).

Nº análises	% umidade	% extrato etéreo	% proteína	% cinzas	% de Fibras	% de Amidos
01	9,80	4,80	68,50	2,50	2,30	12,10
02	9,20	5,00	68,10	2,30	2,80	12,60
03	8,90	4,50	67,90	2,50	1,90	14,30
04	9,70	4,70	67,40	2,00	1,70	14,50
05	9,50	5,30	66,90	2,30	2,50	13,50
06	8,80	5,40	66,70	2,10	2,90	14,10
07	9,00	5,80	67,50	2,60	2,70	12,40
08	9,20	6,10	67,80	3,00	1,90	12,00
09	9,50	5,80	67,20	2,90	1,80	12,80
10	9,40	5,20	67,00	2,50	2,10	13,80
11	8,80	5,40	67,90	2,60	2,60	12,70
12	8,70	5,10	68,50	2,20	2,70	12,80
13	9,30	5,80	67,90	2,80	2,60	11,60
14	9,10	5,70	68,00	3,10	1,90	12,20
15	9,00	6,10	68,60	3,00	1,90	11,40
16	9,00	6,20	68,20	3,40	2,60	10,60
17	9,90	4,90	68,20	2,90	2,40	11,70
18	9,80	5,00	67,90	3,50	2,40	11,40
19	9,20	6,00	67,70	3,40	2,90	10,80
20	9,20	5,80	67,60	3,00	2,00	12,40
21	9,50	4,70	66,90	2,80	2,40	13,70
22	9,60	5,30	66,80	3,00	2,60	12,70
23	8,90	5,40	67,40	2,90	2,40	13,00
24	8,80	5,80	67,10	2,40	2,10	13,80
25	9,00	6,10	68,20	2,60	1,90	12,20

ANEXO H

Neste anexo, são apresentados os resultados das análises experimentais realizadas nas amostras de amido de milho.

Tabela H.1 – Resultado das análises realizadas no amido de milho (% em base úmida).

Nº análises	% umidade	pH	% extrato etéreo	% proteína	% cinzas	% de Amidos
1	12,10	5,50	0,10	0,23	0,11	87,46
2	12,40	5,80	0,09	0,26	0,10	87,15
3	12,90	5,60	0,07	0,23	0,08	86,72
4	12,70	5,70	0,11	0,23	0,13	86,83
5	13,30	6,10	0,08	0,26	0,09	86,27
6	13,00	6,30	0,07	0,29	0,08	86,56
7	13,50	5,90	0,09	0,26	0,10	86,05
8	12,80	5,80	0,10	0,26	0,11	86,73
9	12,50	5,50	0,12	0,32	0,12	86,94
10	13,50	6,30	0,09	0,29	0,09	86,03
11	12,90	6,20	0,08	0,23	0,08	86,71
12	13,80	6,00	0,09	0,26	0,10	85,75
13	13,50	5,40	0,07	0,23	0,09	86,11
14	13,20	5,60	0,10	0,29	0,11	86,30
15	13,00	5,80	0,10	0,29	0,10	86,51
16	12,80	5,30	0,08	0,23	0,10	86,79
17	12,30	5,70	0,07	0,26	0,09	87,28
18	12,90	6,10	0,09	0,26	0,11	86,64
19	13,60	6,30	0,10	0,29	0,14	85,87
20	13,10	5,60	0,11	0,26	0,10	86,43
21	13,50	5,70	0,08	0,23	0,09	86,10
22	13,30	6,10	0,07	0,23	0,12	86,28
23	13,00	6,30	0,10	0,26	0,13	86,51
24	12,90	6,00	0,12	0,29	0,11	86,58
25	12,80	5,40	0,12	0,23	0,10	86,75

ANEXO I

Neste anexo, são apresentados os dados experimentais realizados com a amostra de amido de milho na corrida experimental, para determinar a distribuição de tamanhos e o modelo granulométrico que melhor se ajusta aos dados.

Tabela I.1 - Dados experimentais e fração acumulada de cada diâmetro das partículas, de amido de milho, referente à Figura 20.

Diâmetro médio da partícula (μm)	Fração acumulada
1,005010	0,141414
1,240200	0,292929
1,479651	0,373737
1,600431	0,414141
1,685470	0,494949
1,972658	0,626263
2,323070	0,727273
2,323070	0,747475
2,325460	0,757576
2,336089	0,767677
2,368627	0,777778
2,420347	0,787879
2,433809	0,797980
2,446376	0,808081
2,515617	0,818182
2,855762	0,828283
2,867445	0,838384
3,056561	0,848485
2,987647	0,858586
3,259890	0,868687
3,266700	0,878788
3,558380	0,888889
3,649771	0,898990

3,987450	0,909091
4,075914	0,919192
4,225649	0,939394
4,790380	0,949495
4,819484	0,969697
5,365700	0,979798
5,697810	0,989899
6,789540	1,000000

Tabela I.2 – Dados experimentais e calculados do modelo Log Normal, referente à Figura 21.

Diâmetro médio da partícula (µm)	ln(dp)	Zusado
1,005010	0,004997	1,074004
1,240200	0,215273	0,544445
1,479651	0,391806	0,321515
1,600431	0,470273	0,216500
1,685470	0,522044	0,012606
1,972658	0,679382	-0,321515
2,323070	0,842890	-0,604221
2,323070	0,842890	-0,634926
2,325460	0,843918	-0,666244
2,336089	0,848478	-0,698230
2,368627	0,862310	-0,730948
2,420347	0,883911	-0,764468
2,433809	0,889458	-0,798870
2,446376	0,894608	-0,834244
2,515617	0,922518	-0,870693
2,855762	1,049339	-0,908338
2,867445	1,053421	-0,947314
3,056561	1,117290	-0,987784
2,987647	1,094486	-1,029938
3,259890	1,181693	-1,074004
3,266700	1,183780	-1,120258
3,558380	1,269305	-1,169038
3,649771	1,294664	-1,220766
3,987450	1,383152	-1,275980
4,075914	1,405095	-1,335378
4,225649	1,441173	-1,399894
4,790380	1,566610	-1,470820
4,819484	1,572667	-1,550017
5,697810	1,740082	-1,746397
6,789540	1,915383	-1,876768

Tabela I.3 – Dados experimentais e calculados do Modelo GGS, referente à Figura 22.

Diâmetro médio da partícula (µm)	ln(dp)	ln(X)
1,005010	0,004997	-0,152469
1,240200	0,215273	-0,346625
1,479651	0,391806	-0,467985
1,600431	0,470273	-0,534677
1,685470	0,522044	-0,683097
1,972658	0,679382	-0,984202
2,323070	0,842890	-1,299283
2,323070	0,842890	-1,337023
2,325460	0,843918	-1,376244
2,336089	0,848478	-1,417066
2,368627	0,862310	-1,459626
2,420347	0,883911	-1,504077
2,433809	0,889458	-1,550597
2,446376	0,894608	-1,599388
2,515617	0,922518	-1,650681
2,855762	1,049339	-1,704748
2,867445	1,053421	-1,761907
3,056561	1,117290	-1,822531
2,987647	1,094486	-1,887070
3,259890	1,181693	-1,956063
3,266700	1,183780	-2,030170
3,558380	1,269305	-2,110213
3,649771	1,294664	-2,197225
3,987450	1,383152	-2,292535
4,075914	1,405095	-2,397895
4,225649	1,441173	-2,515678
4,790380	1,566610	-2,649210
4,819484	1,572667	-2,803360
5,697810	1,740082	-3,208825
6,789540	1,915383	-3,496508

Tabela I.4 – Dados experimentais e calculados pelo uso do Modelo RRB, referente à Figura 23.

Diâmetro médio da partícula (µm)	ln(dp)	ln(ln(1/(1-X)))
1,005010	0,004997	0,670934
1,240200	0,215273	0,205244
1,479651	0,391806	-0,015924
1,600431	0,470273	-0,126076
1,685470	0,522044	-0,351972
1,972658	0,679382	-0,759318
2,323070	0,842890	-1,144278
2,323070	0,842890	-1,188558
2,325460	0,843918	-1,234244
2,336089	0,848478	-1,281460
2,368627	0,862310	-1,330343
2,420347	0,883911	-1,381050
2,433809	0,889458	-1,433759
2,446376	0,894608	-1,488673
2,515617	0,922518	-1,546026
2,855762	1,049339	-1,606090
2,867445	1,053421	-1,669185
3,056561	1,117290	-1,735686
2,987647	1,094486	-1,806043
3,259890	1,181693	-1,880797
3,266700	1,183780	-1,960610
3,558380	1,269305	-2,046303
3,649771	1,294664	-2,138911
3,987450	1,383152	-2,239765
4,075914	1,405095	-2,350619
4,225649	1,441173	-2,473844
4,790380	1,566610	-2,612768
5,697810	1,740082	-3,188275
6,789540	1,915383	-3,481161

Tabela I.5 - Dados experimentais e fração acumulada utilizando o ajuste pelo modelo de distribuição granulométrica RRB, referente à Figura 24.

Diâmetro médio da partícula (μm)	Fração acumulada Modelo RRB
1,005010	0,135124
1,240200	0,285649
1,479651	0,429295
1,600431	0,491642
1,685470	0,531171
1,972658	0,640424
2,323070	0,733745
2,323070	0,733745
2,325460	0,734265
2,336089	0,736561
2,368627	0,743426
2,420347	0,753853
2,433809	0,756473
2,446376	0,758885
2,515617	0,771611
2,855762	0,822450
2,867445	0,823907
3,056561	0,845345
2,987647	0,837976
3,259890	0,864540
3,266700	0,865124
3,558380	0,887142
3,649771	0,892996
3,987450	0,911260
4,075914	0,915308
4,225649	0,921585
4,790380	0,940114
5,697810	0,958907
6,789540	0,972003

ANEXO J

Neste anexo, são apresentados os resultados das análises experimentais realizadas nas amostras de farelo de glúten 21.

Tabela J.1 – Resultado das análises realizadas no farelo de glúten 21 (% em base úmida).

Nº análises	% umidade	% extrato etéreo	% proteína	% cinzas	% fibras	% de Amidos
1	10,20	3,20	15,90	3,10	4,90	62,70
2	10,10	3,50	16,10	3,20	5,20	61,90
3	10,80	3,80	14,90	3,50	5,50	61,50
4	11,20	4,30	15,85	3,30	6,00	59,35
5	11,80	4,80	14,98	4,10	4,80	59,52
6	11,40	5,00	15,30	4,50	4,90	58,90
7	11,30	2,90	15,20	5,00	5,30	60,30
8	10,90	3,50	15,00	4,20	5,80	60,60
9	10,70	3,60	14,80	4,30	6,20	60,40
10	10,30	3,50	16,20	4,60	6,10	59,30
11	10,80	4,30	15,40	3,90	4,90	60,70
12	11,50	4,60	15,60	3,80	5,80	58,70
13	11,60	4,70	16,00	3,80	5,70	58,20
14	10,80	5,00	15,80	4,30	6,40	57,70
15	10,50	4,20	15,70	4,60	5,80	59,20
16	11,80	4,30	16,20	4,70	5,70	57,30
17	11,50	5,00	14,90	5,00	5,20	58,40
18	11,20	4,70	15,80	4,70	4,80	58,80
19	10,80	4,60	15,70	4,60	5,90	58,40
20	10,50	4,30	15,50	4,60	5,40	59,70
21	11,60	5,00	16,10	4,30	5,60	57,40
22	11,80	3,90	15,85	4,70	5,20	58,55
23	10,90	4,80	16,00	3,90	4,90	59,50
24	11,00	3,20	15,30	3,80	6,10	60,60
25	11,70	4,20	15,20	4,00	6,20	58,70

ANEXO K

Correlações para estimativas de custos de equipamentos nacionais.

Neste anexo, são apresentadas as correlações que foram elaboradas a partir de preços de equipamentos obtidos junto a fornecedores no Brasil, para o ano de 2009.

K.1 - Correlação para Bombas Centrifugas

A Tabela K.1 apresenta os valores para a compra de bombas centrifugas trifásicas.

Tabela K.1 – Valores de custos de compra em função da potência, para bombas centrífugas.

Potência da bomba [cv]	Custo da bomba centrífuga [R\$]
5,0	5.100
7,5	5.700
10	6.700
15	8.100
20	9.900

Na Figura K.1, são apresentados os custos para a compra de bombas centrífugas em função da potência para o transporte dos produtos obtidos do milho. Essas bombas centrífugas possuem as seguintes características.

- Construída em aço inóx (AISI 304L).
- Resistentes a variações de pH.

De acordo com os valores apresentados na Tabela K.1, realizou-se um ajuste por regressão simples, utilizando-se a equação [K.1] como modelo.

$$y = a + bx + cx^2$$

[K.1]

Na equação (K.1), a variável x representa a potência da bomba (bhp), em cv e a variável y , o custo de compra associado para a bomba centrífuga de motor trifásico. A equação (K.2) representa o ajuste o modelo para a bombas centrífuga, com coeficiente de correlação igual a 0,9977.

$$\text{Custo da bomba (R\$)} = 3702,98 + 263,58 \cdot (\text{bhp}) + 2,269 \cdot (\text{bhp})^2 \quad [\text{K.2}]$$

A curva apresentada pela equação [K.2] pode ser visualizada na Figura K.1.

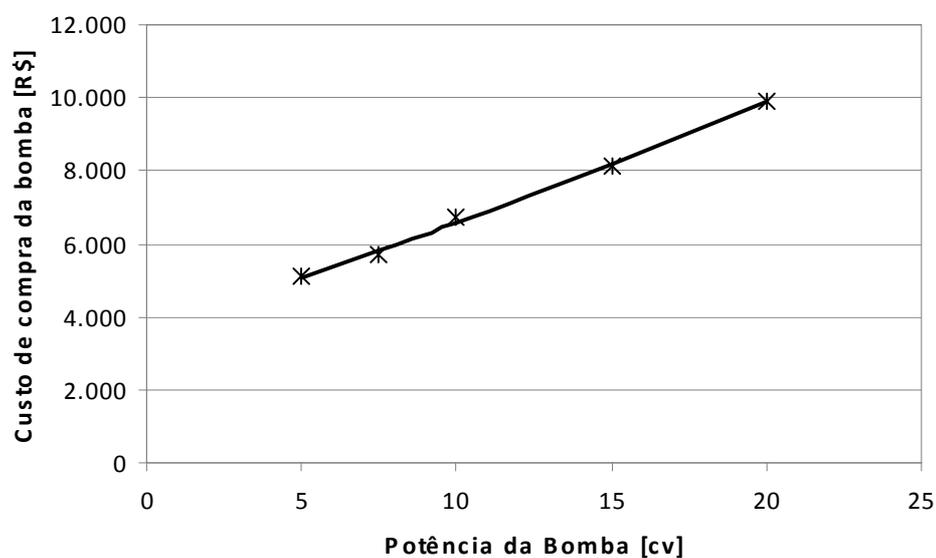


Figura G.1 – Custos para a compra de bombas centrífugas em função da potência.

Deve-se ressaltar que a equação [K.4] é válida no seguinte intervalo:

$$5 \text{ cv} \leq \text{potência} \leq 20 \text{ cv}$$

K.2 – Correlações para Tanques em aço inox.

A Tabela K.2 contém os custos de compra para tanques de aço inox, de acordo com o volume total.

Tabela K.2 – Valores de custo de compra em função do volume, para tanques em aço inox.

Volume do tanque [m ³]	Custo de um tanque de aço inox [R\$]
2	12.800
4	17.600
6	26.000
9	35.300
15	43.500
20	56.400

Estes tanques possuem as seguintes características:

- A relação entre o diâmetro (D) e a Altura (H) é dada por $H = 2,5 D$.
- Construído em aço inox (AISI 304L).
- Possuem fundo inclinado.

De acordo com os valores apresentados na Tabela K.2, realizou-se um ajuste por regressão simples, utilizando-se a equação [K.3] como modelo.

$$y = a \cdot x^b \quad [\text{K.3}]$$

Na equação [K.3], a variável x representa o volume do tanque (V_i), em m³ e a variável y, o custo de compra para o tanque de aço inox. A equação [G.4] representa o ajuste ao modelo para o tanque de aço inox com coeficiente de correlação igual a 0,9878.

$$\text{Custo de compra de tanques (R\$)} = (7910,96) \cdot V_i^{0,6499} \quad [\text{K.4}]$$

A curva apresentada pela equação [K.4] pode ser visualizada na Figura K.2.

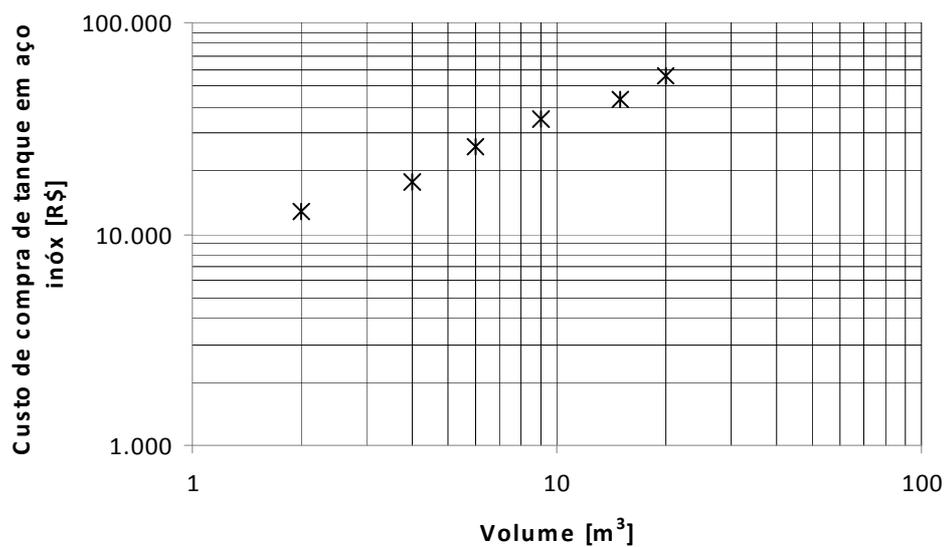


Figura G.2 – Custos para compra de tanques de aço inóx em função do volume.

Deve-se ressaltar que a equação [K.4] é válida no seguinte intervalo:

$$2 \text{ m}^3 \leq \text{volume do tanque} \leq 20 \text{ m}^3$$

K.3 – Correlações para Tanques em Polipropileno.

A Tabela K.3 contém os custos de compra para tanques em polipropileno, de acordo com o volume útil.

Tabela K.3 – Valores de custo de compra em função do volume, para tanques em polipropileno.

Volume do tanque [m³]	Custo de um tanque de polipropileno [R\$]
25	82.000
30	92.000
35	105.900
40	117.200
45	131.000
50	138.700
55	153.000
60	160.000
65	167.000
70	175.000
75	189.000
80	196.000
85	207.000
90	217.000
95	225.500
100	235.000

Estes tanques possuem as seguintes características:

- Construído em polipropileno.
- Composto de uma parte cilíndrica e uma parte cônica.
- Estes tanques possuem uma estrutura metálica, para dar sustentação.
- A altura do cilindro varia de 6,0 a 10,0 m e o diâmetro do cilindro de 2,5 a 3,50 m, sendo constante a altura do cone em 1,8 m.

De acordo com os valores apresentados na Tabela K.3, realizou-se um ajuste por regressão simples, utilizando-se a equação [K.5] como modelo.

$$y = a \cdot x^b \quad [\text{K.5}]$$

Na equação [K.6], a variável x representa o volume do tanque (V_p), em m^3 e a variável y , o custo de compra para o tanque de polipropileno. A equação [K.6] representa o ajuste ao modelo para o tanque de polipropileno, com coeficiente de correlação igual a 0,999.

$$\text{Custo de compra dos tanques maceração (R\$)} = (4841,5) \cdot V_p^{0,852} \quad [\text{K.6}]$$

A curva apresentada pela equação [K.6] pode ser visualizada na Figura K.3.

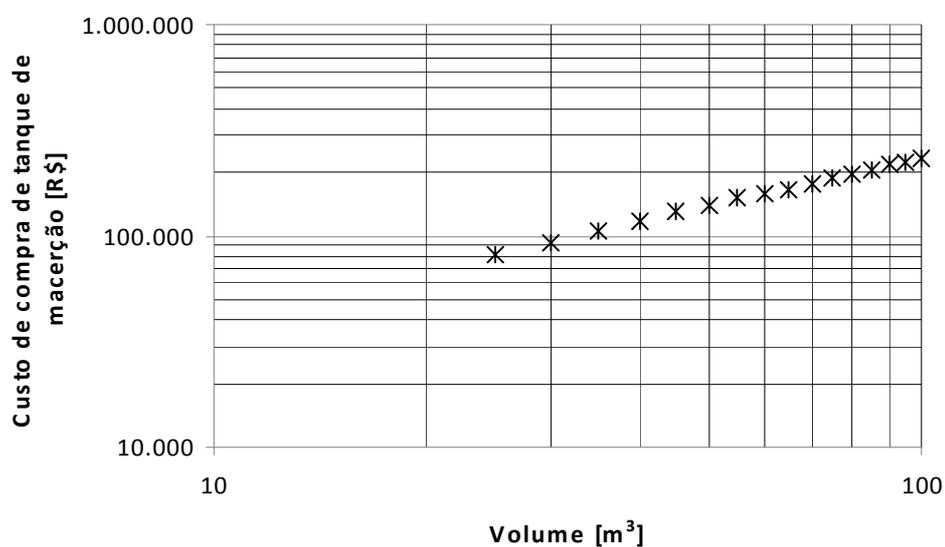


Figura K.3 – Custos para compra de tanques de polipropileno em função do volume.

Deve-se ressaltar que a equação [K.6] é válida no seguinte intervalo:

$$25 \text{ m}^3 \leq \text{volume do tanque} \leq 100 \text{ m}^3$$

K.4 – Correlações para Secadores Pneumáticos.

A Tabela K.4 contém os custos de compra para os secadores pneumáticos, em função da capacidade de secagem.

Tabela K4 – Valores de custo de compra em função da capacidade de secagem, para secadores pneumáticos.

Capacidade de secagem [t/dia]	Custo de um secador pneumático [R\$]
4	45.000
5	50.000
6	53.000
8	70.000
10	85.000
15	118.000
20	180.000
30	240.000
40	316.000
60	450.000
80	580.000

Estes secadores possuem as seguintes características:

- Construído aço inóx (AISI 3041).
- Possui exaustor.

De acordo com os valores apresentados na Tabela K.4, realizou-se um ajuste por regressão simples, utilizando-se a equação [K.7] como modelo.

$$y = a \cdot x^b \quad [K.7]$$

Na equação [K.7], a variável x representa a capacidade de secagem (Cs), em t/dia e a variável y, o custo de compra para secador pneumático. A equação [K.8] representa o ajuste ao modelo para secador pneumático com coeficiente de correlação igual a 0,9989.

$$\text{Custo de compra do secador (R\$)} = (11332,72) \cdot Cs^{0,8889} \quad [K.8]$$

A curva apresentada pela equação [K.8] pode ser visualizada na Figura K.4.

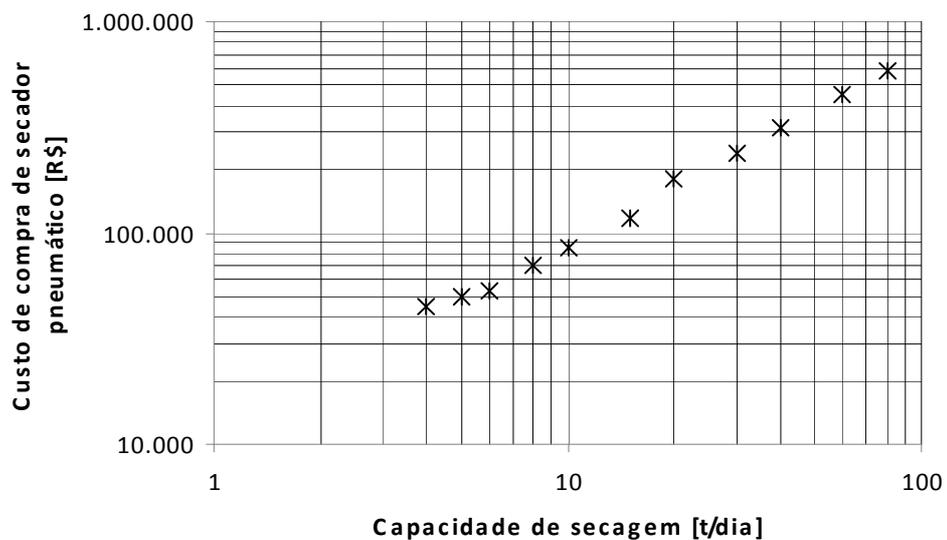


Figura K.4 – Custos para compra de secadores pneumáticos em função da capacidade de secagem.

Deve-se ressaltar que a equação [K.8] é válida no seguinte intervalo:

$$4 \text{ t/dia} \leq \text{capacidade de secagem} \leq 80 \text{ t/dia}$$

K.5 - Correlação para classificadores

A Tabela K.5 apresenta os valores para a compra de classificadores para amido.

Tabela K.5 – Valores de custos de compra em função da capacidade de secagem.

Capacidade classificação [t/dia]	Custo do classificador em [R\$]
20	41.200
40	81.000
60	134.000
80	163.300

Na Figura K.5 são apresentados os custos para a compra de classificadores em função da capacidade de secagem de amido. Esses classificadores possuem as seguintes características.

- Construído em aço inóx (AISI 304L).
- Possui ensacadeiras acopladas, em aço inóx (AISI 304L).

De acordo com os valores apresentados na Tabela K.5, realizou-se um ajuste por regressão simples utilizando-se a equação [K.9] como sendo o melhor modelo.

$$y = a + bx + cx^2 \quad [K.9]$$

Na equação (K.9), a variável x representa a capacidade de classificação (Cc) em t/dia e a variável y o custo de compra associado para o classificador trifásico. A equação (K.10) representa o ajuste ao modelo para os classificadores com coeficiente de correlação igual a 0,9923.

$$\text{Custo de compra do classificador (R\$)} = -13075 + 2752,75 \cdot (Cc) - 6,562 \cdot (Cc)^2 \quad [K.10]$$

A curva apresentada pela equação [K.10] pode ser visualizada na Figura K.6.

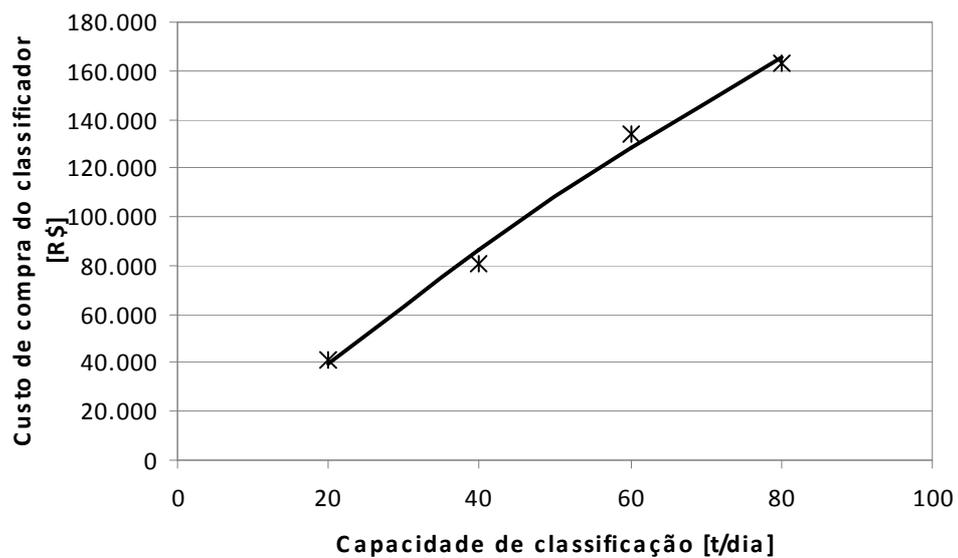


Figura K.5 – Custos para a compra de classificador em função da capacidade de secagem.

Deve-se ressaltar que a equação [K.10] é válida no seguinte intervalo:

$$20 \text{ t/dia} \leq \text{capacidade de classificação} \leq 80 \text{ t/dia}$$

K.6 – Correlações para Degerminadeira.

A Tabela K.6 contém os custos de compra para as degerminadeiras em função da capacidade de degerminação.

Tabela K.6 – Valores de custo de compra em função da capacidade de degerminação, para as degerminadeiras.

Capacidade de degerminação [t/h]	Custo da degerminadeira [R\$]
2	54.000
4	85.000
5	98.500

Estas degerminadeiras possuem a seguinte característica:

- Construída em aço inóx.

De acordo com os valores apresentados na Tabela K.6, realizou-se um ajuste por regressão simples, utilizando-se a equação [K.11] como modelo.

$$y = a \cdot x^b \quad [K.11]$$

Na equação [K.11], a variável x representa a capacidade degerminação (C_d), em t/h e a variável y , o custo de compra para a degerminadeira. A equação [G.12] representa o ajuste ao modelo para a degerminadeira com coeficiente de correlação igual a 1.

$$\text{Custo de compra da degerminadeira (R\$)} = (34256,50) \cdot C_d^{0,656} \quad [K.12]$$

A curva apresentada pela equação [K.12] pode ser visualizada na Figura K.6.

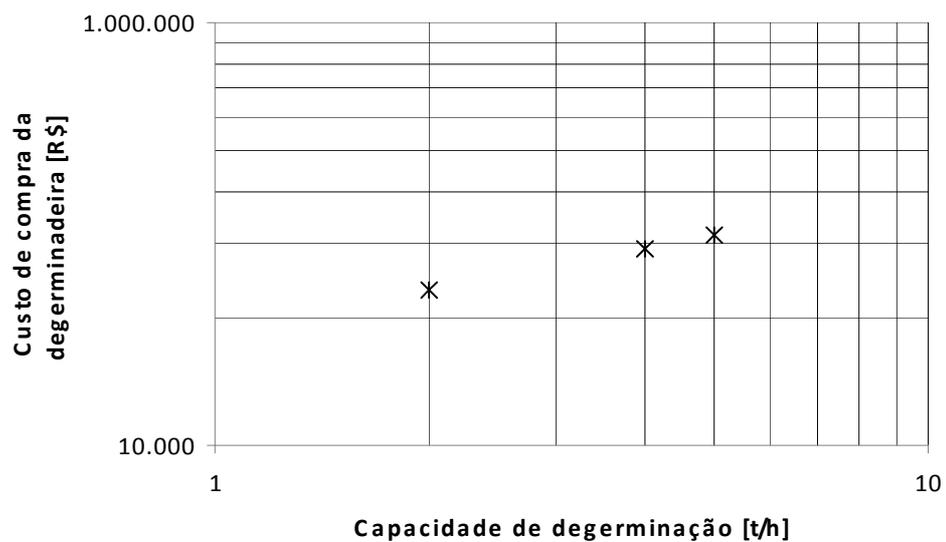


Figura K.6 – Custos para compra de degerminadeiras em função da capacidade de degerminação.

Deve-se ressaltar que a equação [K.12] é válida no seguinte intervalo:

$$2 \text{ t/h} \leq \text{capacidade de degerminação} \leq 5 \text{ t/h}$$

K.7 – Correlações para Ciclones.

A Tabela K.7 contém os custos de compra para os ciclones em função da capacidade de secagem.

Tabela K.7 – Valores de custo de compra em função da capacidade de separação, para ciclones.

Capacidade de secagem [t/dia]	Custo de um ciclone [R\$]
4	5.500
5	6.100
6	7.000
8	9.500
10	12.000
15	18.000
20	22.400
30	35.900
40	45.000
60	62.000
80	83.000

Estes ciclones possuem as seguintes características:

- Construído em aço inóx (AISI 3041).

De acordo com os valores apresentados na Tabela K.7, realizou-se um ajuste por regressão simples, utilizando-se a equação [K.13] como modelo.

$$y = a + b.x^c \quad [K.13]$$

Na equação [K.13], a variável x representa a capacidade de separação (Csp), em t/dia e a variável y, o custo de compra para ciclone. A equação [K.14] representa o ajuste ao modelo para ciclone com coeficiente de correlação igual a 0,9986.

$$\text{Custo de compra ciclones (R\$)} = -1329,217 + (1811,16) \cdot Csp^{0,8747} \quad [K.14]$$

A curva apresentada pela equação [K.14] pode ser visualizada na Figura K.7.

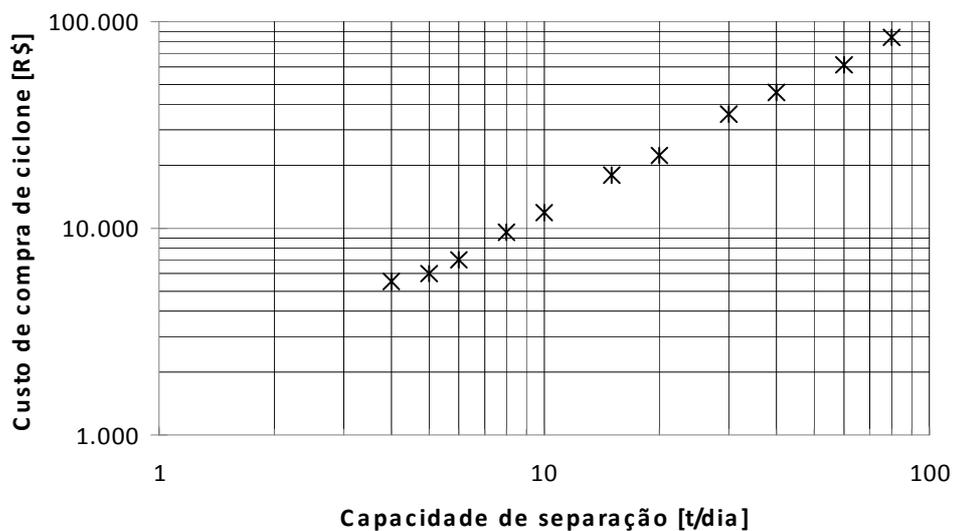


Figura K.7 – Custos para compra de ciclones em função da capacidade de Separação.

Deve-se ressaltar que a equação [K.14] é válida no seguinte intervalo:

$$4 \text{ t/dia} \leq \text{capacidade de separação} \leq 80 \text{ t/dia}$$

K.8 - Correlação para silo de armazenagem fundo reto

A Tabela K.8 apresenta os valores para a compra de silos de armazenagem de fundo cônico.

Tabela K.8 – Valores de custos de compra em função da capacidade de armazenagem.

Capacidade armazenagem [toneladas]	Custo do silo [R\$]
100	50.000
200	65.000
300	75.000
400	90.000
500	110.000
600	125.000
700	145.000
800	160.000

Na Figura K.8 são apresentados os custos para a compra de silos em função da capacidade de armazenagem para o milho. Esses silos possuem as seguintes características.

- Construído em aço carbono SAE 1010.
- Possuem 2 portas de inspeção.
- Não possuem sistema de ventilação forçada e nem secadores acoplados.

De acordo com os valores apresentados na Tabela K.8, realizou-se um ajuste por regressão simples utilizando-se a equação [K.15] como sendo o melhor modelo.

$$y = a + b \cdot x^c \quad [K.15]$$

Na equação [K.15], a variável x representa a capacidade de armazenagem (CA_{sr}), em toneladas e a variável y , o custo de compra para silos de fundo reto. A equação [K.16] representa o ajuste ao modelo para silos com coeficiente de correlação igual a 0,998.

$$\text{Custo de compra do silo fundo reto (R\$)} = 41.440,089 + (28,951) \cdot \text{CA}_{sr}^{1,2461} \quad [K.16]$$

A curva apresentada pela equação [K.16] pode ser visualizada na Figura K.8.

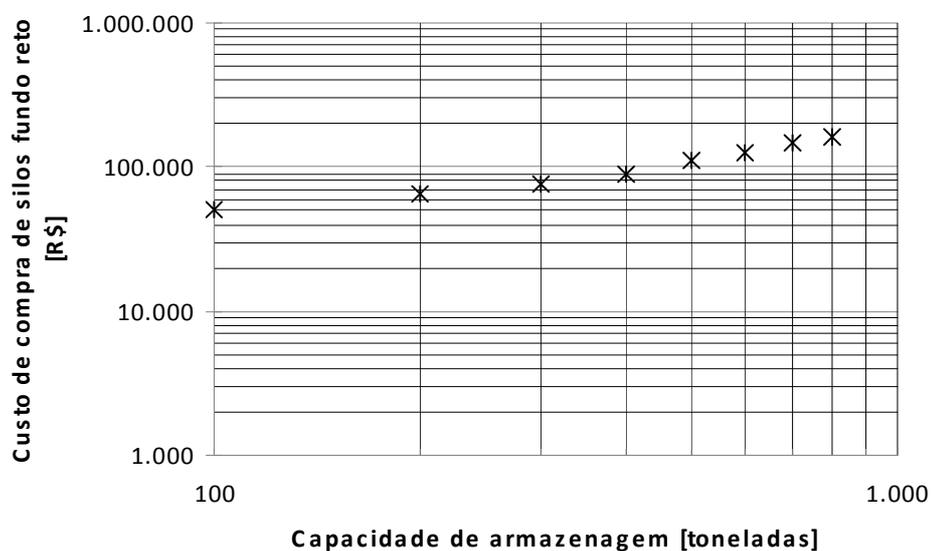


Figura K.8 – Custos para a compra de silos de fundo reto em função da capacidade de armazenagem.

Deve-se ressaltar que a equação [K.16] é válida no seguinte intervalo:

$$100 \text{ toneladas} \leq \text{capacidade de armazenagem} \leq 800 \text{ toneladas}$$

K.9 - Correlação para silo de armazenagem fundo cônico

A Tabela K.9 apresenta os valores para a compra de silos de armazenagem de fundo cônico

Tabela K.9 – Valores de custos de compra em função da capacidade de armazenagem.

Capacidade armazenagem [toneladas]	Custo do silo [R\$]
1	700
10	8.000
20	18.000
30	26.000
40	31.000
60	37.000
80	46.000
90	50.000
100	55.000

Na Figura K.9 são apresentados os custos para a compra de silos em função da capacidade de armazenagem para o milho. Esses silos possuem as seguintes características.

- Construído em aço carbono SAE 1010.
- Possuem 1 porta de inspeção.
- Possuem fundo cônico.

De acordo com os valores apresentados na Tabela K.9, realizou-se um ajuste por regressão simples, utilizando-se a equação [K.17] como sendo o melhor modelo.

$$y = a + b.x^c \quad [K.17]$$

Na equação [K.17], a variável x representa a capacidade de armazenagem (CA_{sc}), em toneladas e a variável y, o custo de compra para silos de fundo cônico. A equação [K.18] representa o ajuste ao modelo para silos, com coeficiente de correlação igual a 0,9937.

$$\text{Custo de compra do silo fundo cônico (R\$)} = -3.517,009 + (3.435,367) \cdot \text{CAsc}^{0,6122} \quad [\text{K.18}]$$

A curva apresentada pela equação [K.18] pode ser visualizada na Figura K.9.

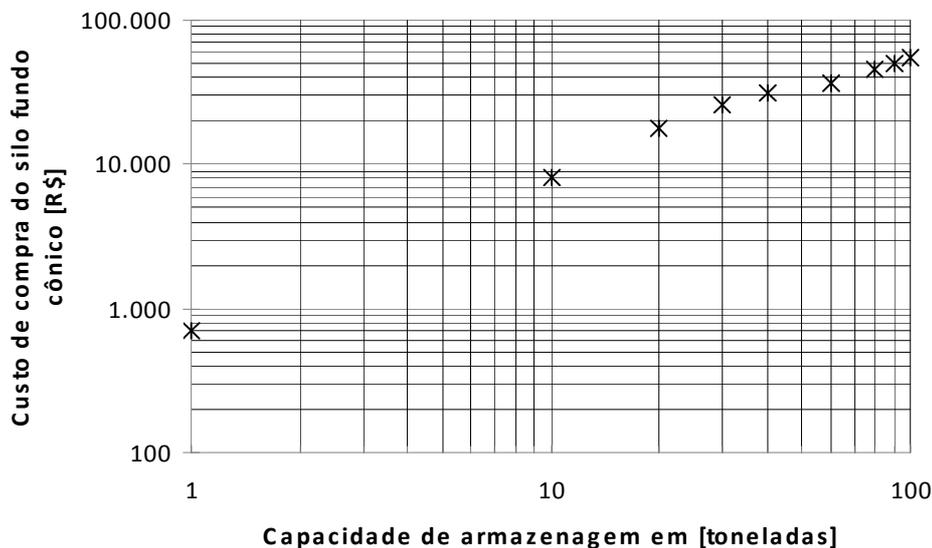


Figura K.9 – Custos para a compra de silos de fundo cônico em função da capacidade de armazenagem.

Deve-se ressaltar que a equação [K.18] é válida no seguinte intervalo:

$$1 \text{ tonelada} \leq \text{capacidade de armazenagem} \leq 100 \text{ toneladas}$$

ANEXO L

Neste anexo, são apresentados os resultados obtidos durante a simulação da implementação de uma planta para a produção de amido de milho.

L.1 – Tabela com os resultados da simulação de estimativas de custos do amido de milho, referente à Figura 25.

Capacidade de moagem [t/dia]	Custo dos equipamentos [R\$]	Investimento total [R\$] (seg. Perlingeiro, 2005)	Custo do amido [R\$/kg]
1	3.241.399,81	7.584.875,55	23,33
10	3.450.591,16	8.074.383,32	2,69
20	3.674.053,53	8.597.285,26	1,55
30	3.902.549,06	9.131.964,79	1,18
40	4.108.838,67	9.614.682,49	0,98
50	4.483.537,52	10.491.477,80	0,92
60	4.632.126,77	10.839.176,63	0,83
70	5.409.178,19	12.657.476,97	0,83
80	6.663.119,29	15.591.699,14	0,86
90	6.964.692,00	16.297.379,28	0,82
100	7.551.068,61	17.669.500,55	0,81
110	7.768.955,75	18.179.356,45	0,77
120	7.845.966,19	18.359.560,88	0,74
130	8.000.365,62	18.720.855,55	0,71
140	9.750.931,62	22.817.179,98	0,78
150	10.236.093,27	23.952.458,24	0,78
160	11.570.283,05	27.074.462,33	0,81
170	11.723.330,13	27.432.592,51	0,78
180	11.894.767,73	27.833.756,50	0,76
190	12.087.726,67	28.285.280,40	0,75
200	12.957.368,65	30.320.242,64	0,77

L.2 – Tabela com os resultados da simulação de estimativas de composição do custo em função da capacidade de moagem, referente à Figura 28.

Capacidade de moagem [t/dia]	[%] Custo dos equipamentos	[%] Custo da matéria-prima	[%] Custo das utilidades
1	28,7	2,1	69,2
10	24,4	17,0	58,6
20	21,2	27,7	51,1
30	18,8	34,7	46,5
40	17,2	40,3	42,5
50	15,9	42,6	41,5
60	14,8	46,1	39,1
70	14,8	46,0	39,2
80	15,4	44,6	40,0
90	14,9	46,3	38,8
100	14,7	46,8	38,5
110	14,2	48,4	37,4
120	13,6	50,0	36,4
130	13,2	51,4	35,4
140	14,0	48,2	37,8
150	13,6	47,9	38,5
160	14,1	46,9	39,0
170	13,8	48,0	38,3
180	13,5	49,0	37,6
190	13,1	49,6	37,2
200	13,1	48,6	38,3

L.3 – Tabela com os resultados da simulação de estimativas de fluxo de caixa em função do tempo, referente à Figura 29.

Tempo [anos]	Fluxo de caixa [R\$]
1,0	-13.303.468,07
1,5	-11.467.400,63
2,0	-9.631.333,18
2,5	-7.795.265,74
3,0	-5.959.198,29
3,5	-4.123.130,85
4,0	-2.287.063,40
4,5	-450.995,96
5,0	1.385.071,49
5,5	3.221.138,93
6,0	5.057.206,38
6,5	6.893.273,82
7,0	8.729.341,27
7,5	10.565.408,72
8,0	12.401.476,16
8,5	14.237.543,61
9,0	16.073.611,05
9,5	17.909.678,50
10	19.745.745,94

L.4 – Tabela com os resultados da simulação de margem de lucro em função da capacidade de moagem, referente à Figura 30.

Capacidade de moagem [t/dia]	Margem de lucro [%]
1	-95,7
10	-62,8
20	-35,3
30	-15,4
40	1,7
50	9,3
60	21,1
70	20,7
80	15,9
90	22,0
100	23,6
110	29,2
120	35,0
130	40,3
140	28,6
150	27,5
160	23,8
170	27,8
180	31,3
190	33,7
200	29,9

L.5 – Tabela com os resultados da simulação do número de tanques de maceração em função da capacidade de moagem, referente à Figura 31.

Capacidade de moagem [t/dia]	Número de tanques de maceração
1	12
10	12
20	23
30	9
40	8
50	10
60	10
70	8
80	8
90	8
100	9
110	10
120	8
130	8
140	9
150	9
160	10
170	10
180	11
190	11
200	12

L.6 – Tabela com os resultados da simulação do volume individual dos tanques de maceração em função da capacidade de moagem, referente à Figura 32.

Capacidade de moagem [t/dia]	Volume individual dos tanques de maceração
1	0,5
10	5
20	5
30	20
40	30
50	30
60	35
70	55
80	60
90	65
100	65
110	65
120	90
130	95
140	90
150	100
160	95
170	100
180	95
190	100
200	100

ANEXO M

Neste anexo, são apresentados os gráficos obtidos durante a simulação da implementação de uma planta para a produção de amido de milho.

Observa-se, pela Figura M.1, o número de degerminadeiras em função da capacidade de moagem.

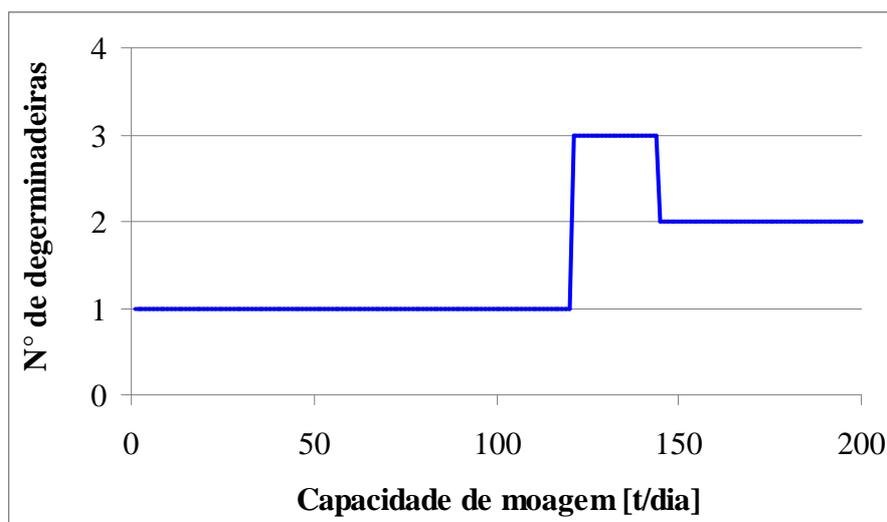


Figura M.1 – Número de degerminadeira em função da capacidade de moagem.

Observa-se, pela Figura M.2, a capacidade de degerminação do milho em função da capacidade de moagem.

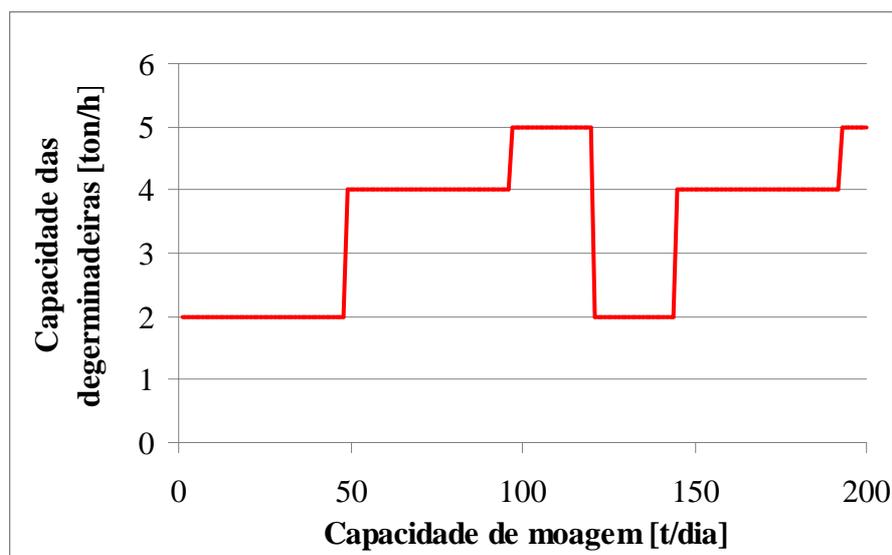


Figura M.2 - Capacidade de degerminação do milho em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pelas Figuras M.1 e M.2, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, é necessário uma degerminadeira com capacidade de 4 t/h. O tamanho (capacidade) das degerminadeiras foi escolhido de forma que atendesse o processo e representasse o menor custo, conforme planilha de cálculo.

Observa-se, pela Figura M.3, o número de secadores de farelo de germe em função da capacidade de moagem.

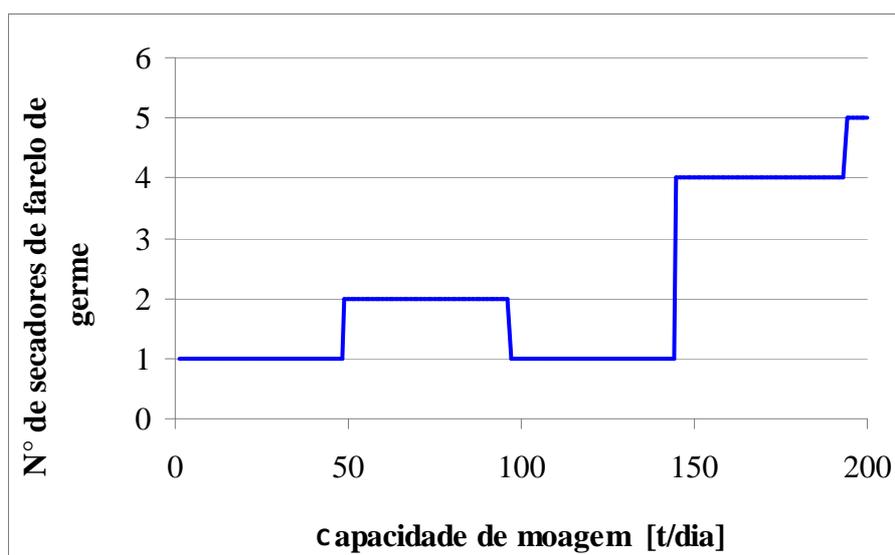


Figura M.3 – Número de secadores de farelo de germe em função da capacidade de moagem.

Observa-se, pela Figura M.4, a capacidade dos secadores de farelo de germe em função da capacidade de moagem.

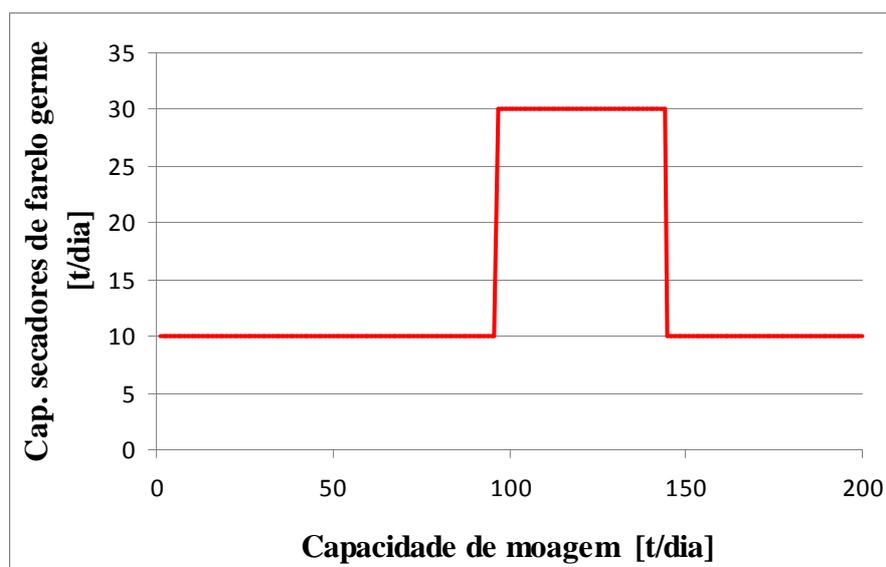


Figura M.4 – Capacidade dos secadores de farelo de germe em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pelas Figuras M.3 e M.4, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, são necessários dois secadores de 10 t/dia cada. O tamanho (capacidade) dos secadores de farelo de germe foi escolhido de forma que atendesse o processo e representasse o menor custo, conforme planilha de cálculo.

Observa-se, pela Figura M.5, o número de secadores de farelo de glúten 21 em função da capacidade de moagem.

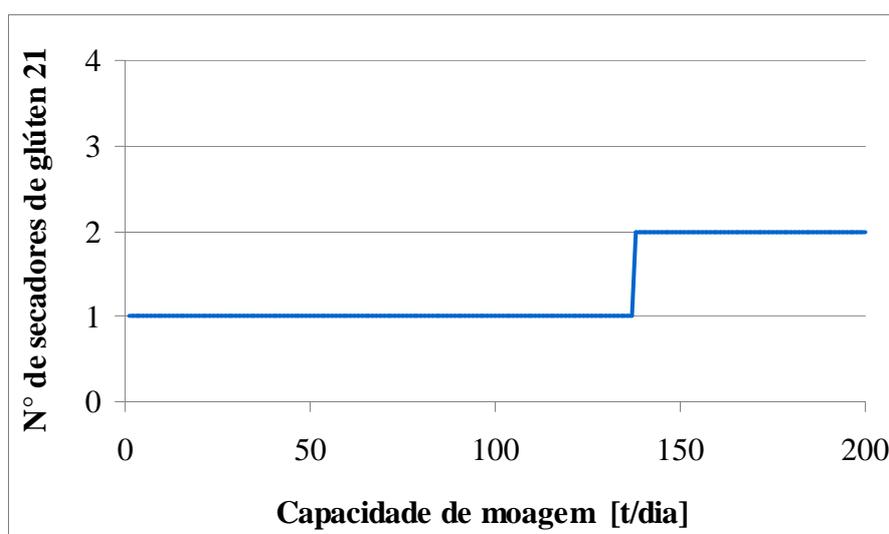


Figura M.5 - Número de secadores de farelo de glúten 21 em função da capacidade de moagem.

Observa-se, pela Figura M.6, a capacidade dos secadores de farelo de glúten 21 em função da capacidade de moagem.

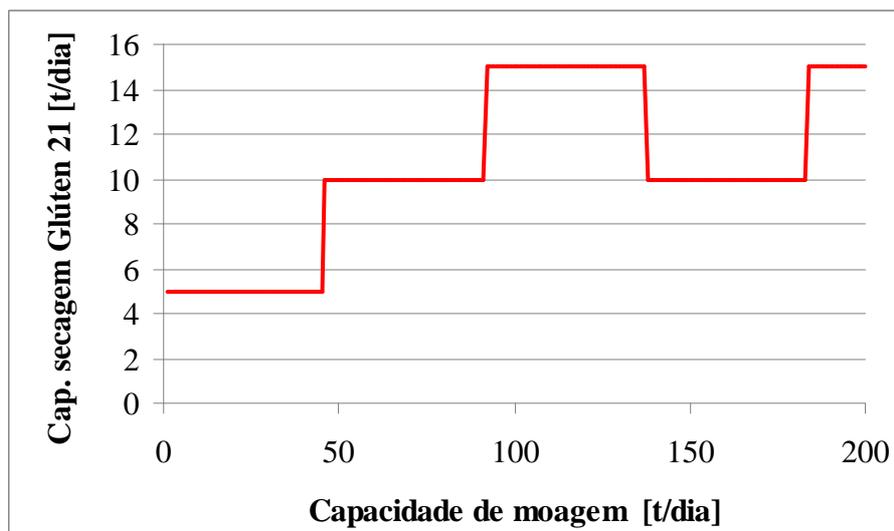


Figura M.6 – Capacidade dos secadores de farelo de glúten 21 em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pelas Figuras M.5 e M.6, que para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, é necessário um secador com capacidade de 10 t/dia. O tamanho (capacidade) dos secadores de farelo de farelo de glúten 21 foi escolhido de forma que atendesse o processo e representasse o menor custo, conforme planilha de cálculo.

Observa-se, pela Figura M.7, o número de secadores de farelo de glúten 60 em função da capacidade de moagem.

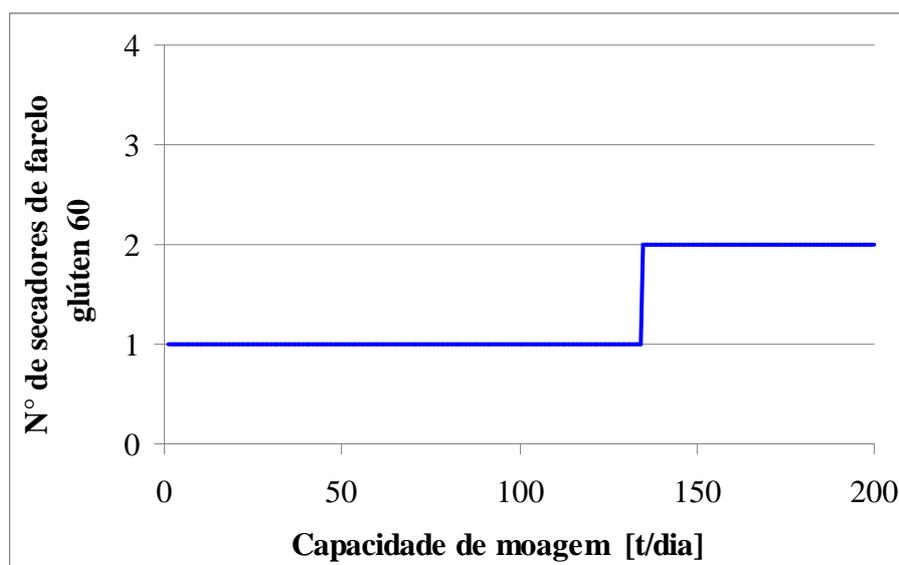


Figura M.7 - Número de secadores de farelo de glúten 60 em função da capacidade de moagem.

Observa-se, pela Figura M.8, a capacidade dos secadores de farelo de glúten 60 em função da capacidade de moagem.

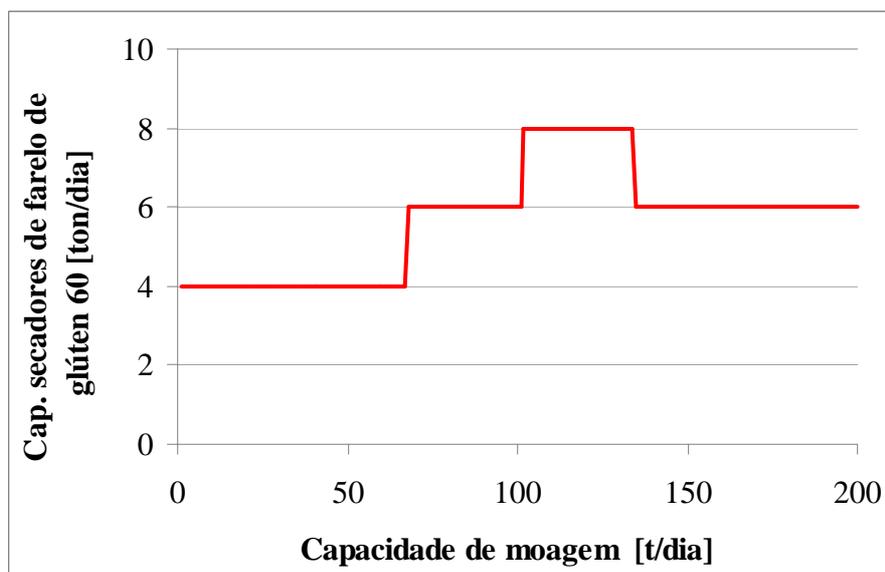


Figura M.8 – Capacidade dos secadores de farelo de glúten 60 em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pelas Figuras M.7 e M.8, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, é necessário um secador com capacidade de 4 t/dia. O tamanho (capacidade) dos secadores de farelo de glúten 60 foi escolhido de forma que atendessem o processo e representassem o menor custo, conforme planilha de cálculo.

Observa-se pela Figura M.9, a capacidade dos secadores de amido em função da capacidade de moagem.

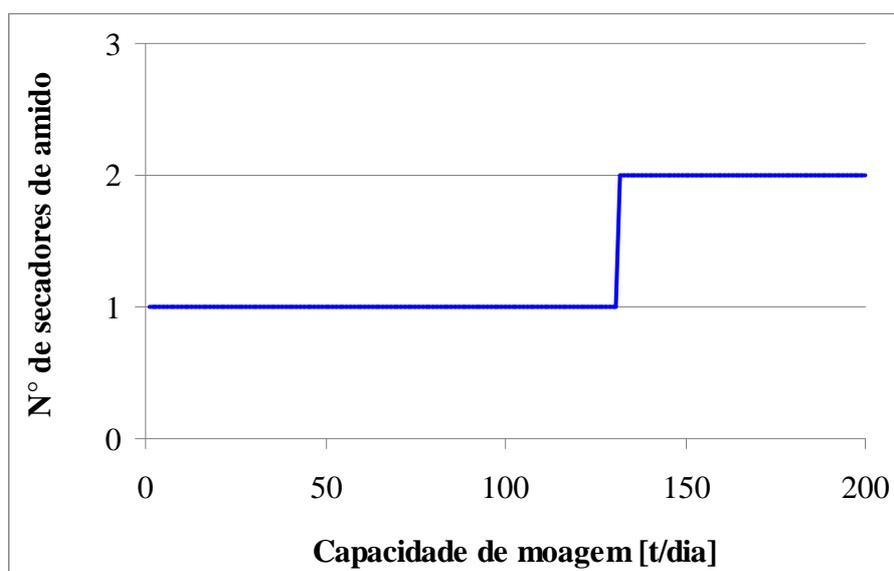


Figura M.9 - Número de secadores de amido em função da capacidade de moagem.

Observa-se, pela Figura M.10, a capacidade dos secadores de amido em função da capacidade de moagem.

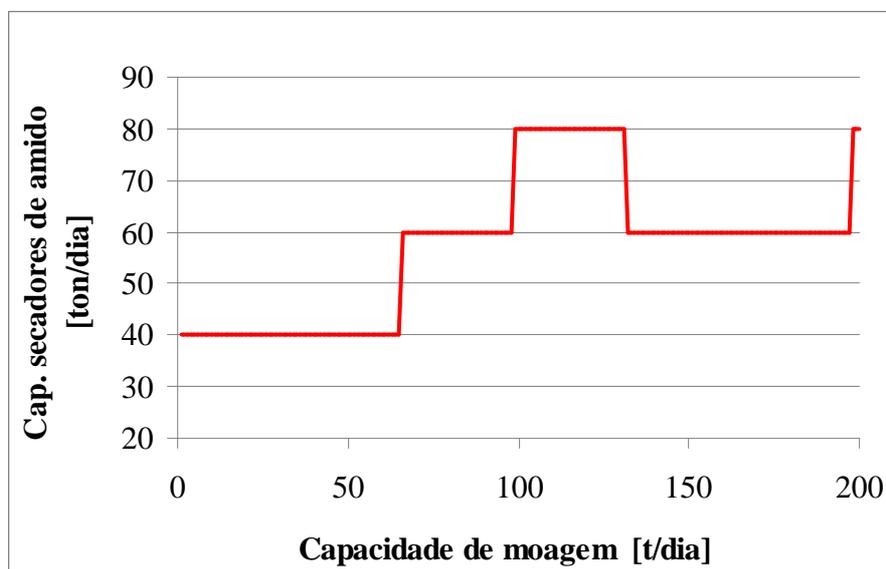


Figura M.10 – Capacidade dos secadores de amido em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pelas Figuras M.9 e M.10, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, é necessário um secador com capacidade de 40 t/dia. O tamanho (capacidade) do secador de amido foi escolhido de forma que atendesse o processo e representasse o menor custo, conforme planilha de cálculo.

Observa-se, pela Figura M.11, o número de cevadeiras em função da capacidade de moagem.

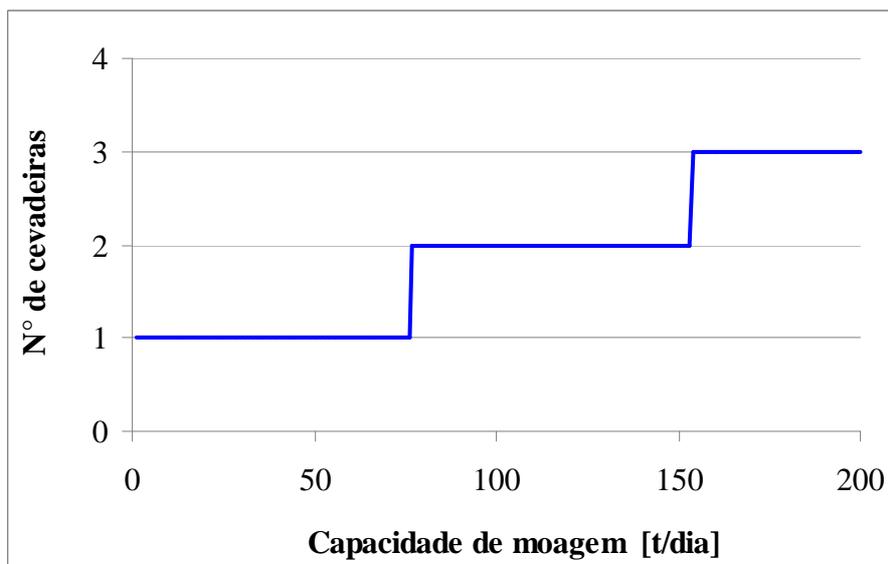


Figura M.11 – Número de cevadeiras em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pela Figura M.11, que para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, é necessária uma cevadeira.

Observa-se, pela Figura M.12, o número de GL em função da capacidade de moagem.

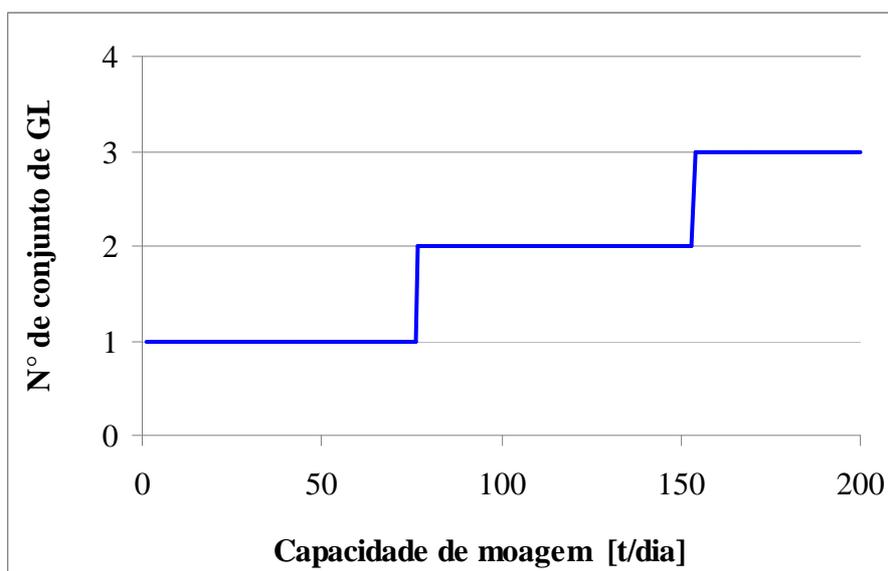


Figura M.12 – Número de conjunto de GL em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pela Figura M.12, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, é necessário um conjunto de GL.

Observa-se, pela Figura M.13, o número de centrifugas no primeiro estágio em função da capacidade de moagem.

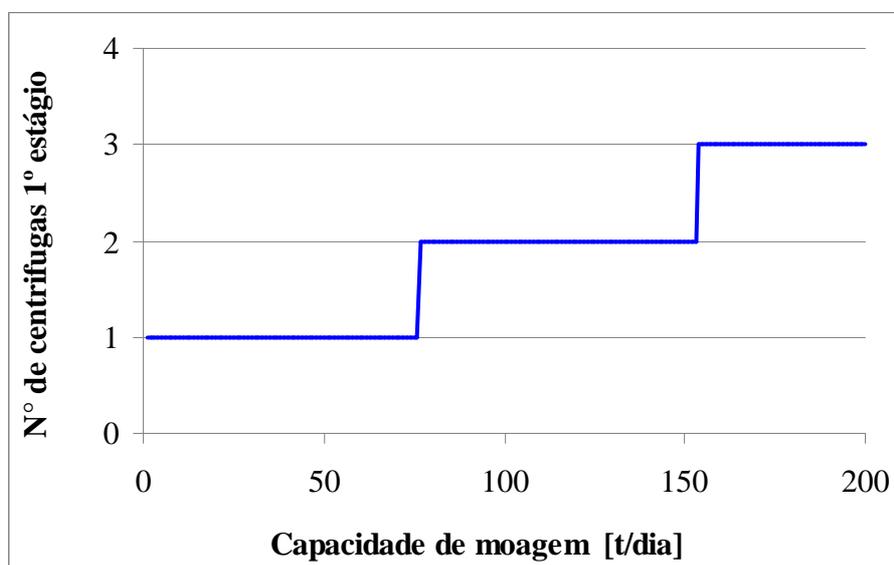


Figura M.13 – Número de centrífuga no primeiro estágio em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pela Figura M.13, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, é necessário uma centrífuga no primeiro estágio. O mesmo comportamento se observa para o segundo e o terceiro estágio de centrifugação.

Observa-se, pela Figura M.14, o número de filtro a vácuo em função da capacidade de moagem.

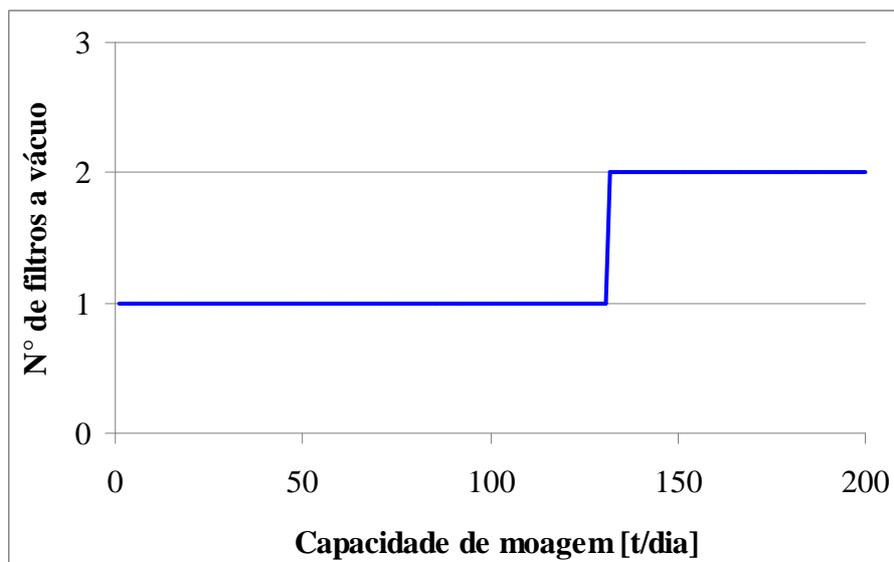


Figura M.14 – Número de filtro a vácuo em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pela Figura M.14, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, é necessário um filtro a vácuo.

Observa-se, pela Figura M.15, o número de conjunto de ciclones em função da capacidade de moagem.

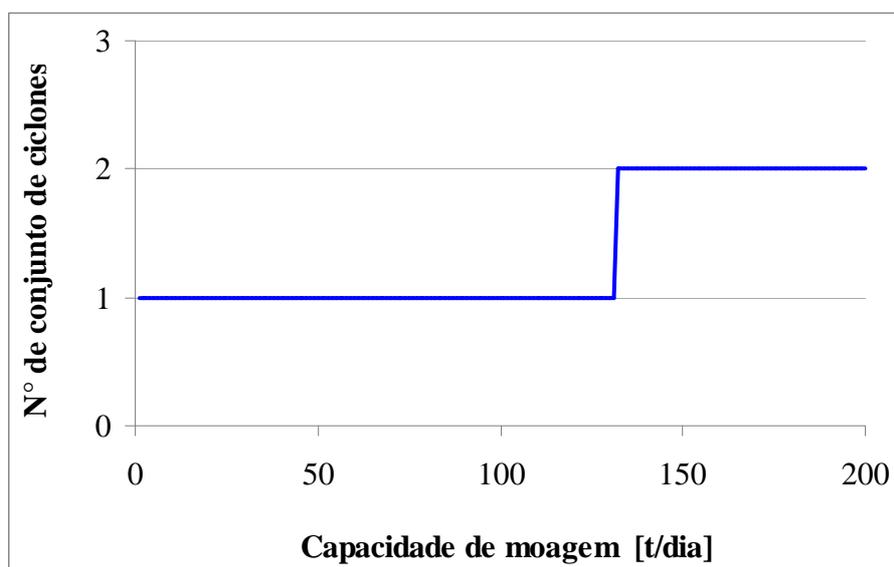


Figura M.15 – Número de conjunto de ciclones em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pela Figura M.15, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, é necessário um conjunto de ciclones.

Observa-se, pela Figura M.16, o número de classificadores em função da capacidade de moagem.

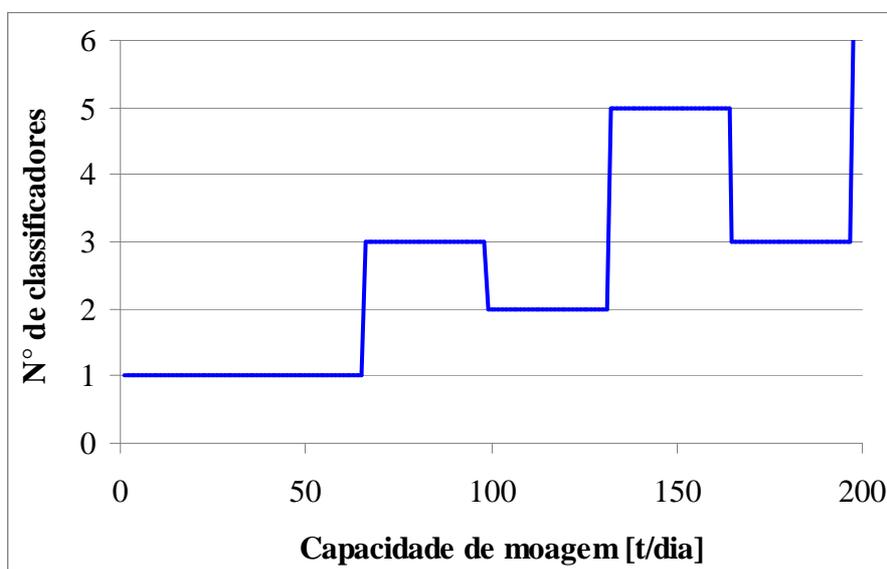


Figura M.16 – Números classificadores em função da capacidade de moagem.

Verifica-se, pela Figura M.16, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, é necessário um classificador com capacidade de 40 t/dia. O tamanho (capacidade) do classificador de amido foi escolhido de forma que atendesse o processo e representasse o menor custo, conforme planilha de cálculo.

Observa-se, pela Figura M.17, o número de degerminadeiras em função da capacidade de moagem.

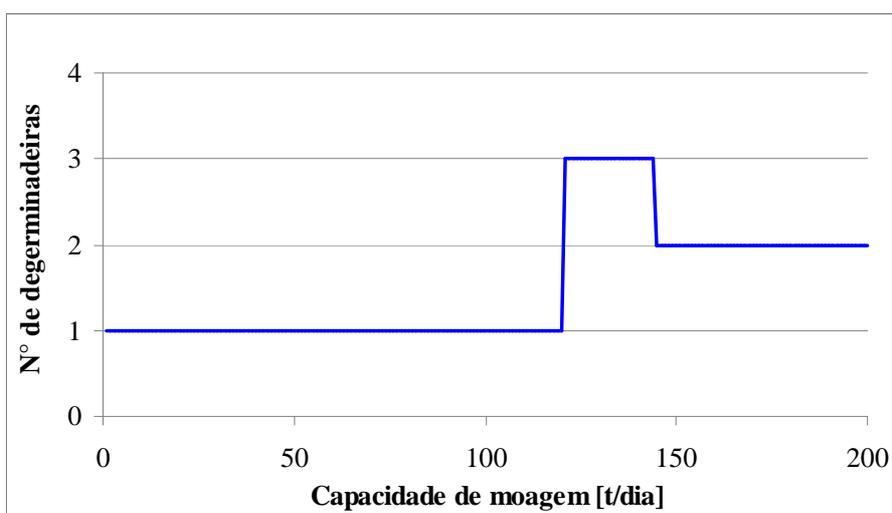
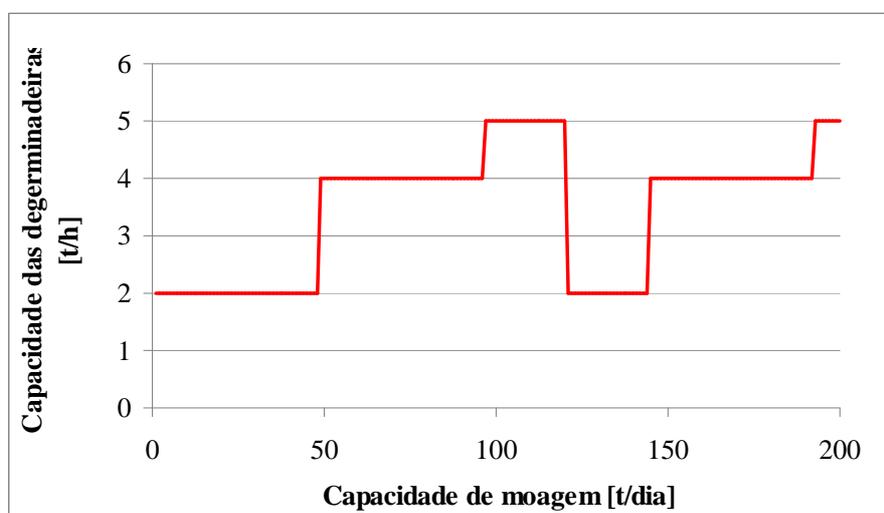


Figura M.17 – Números degerminadeira em função da capacidade de moagem.

Observa-se, pela Figura M.18, a capacidade de degerminação em função da capacidade de moagem.



Verifica-se, pelas Figuras M.17 e M.18, que, para uma capacidade de moagem de 60 t/dia, é necessária uma degerminadeira com capacidade de degerminação de 4 t/h. O tamanho (capacidade) da degerminadeira foi escolhido de forma que atendesse o processo e representasse o menor custo, conforme planilha de cálculo.

ANEXO N

Neste anexo, são apresentados os valores dos índices M&S (Marshall and Swift).

Tabela N.1 - Valores dos índices de correção de inflação M&S em função do ano de interesse.

Ano	Valor do Índice	Ano	Valor do Índice
1963	239,2	1987	814,0
1964	241,8	1988	852,0
1965	244,9	1989	895,0
1966	252,5	1990	915,0
1967	262,9	1991	931,0
1968	273,1	1992	943,0
1969	280,0	1993	964,0
1970	303,3	1994	993,0
1971	321,3	1995	1028,0
1972	332,0	1996	1039,1
1973	344,1	1997	1056,8
1974	398,4	1998	1061,9
1975	444,3	1999	1068,3
1976	472,1	2000	1089,0
1977	505,4	2001	1093,9
1978	545,3	2002	1104,2
1979	599,4	2003	1123,6
1980	659,6	2004	1178,5
1981	745,0	2005	1244,5
1982	774,0	2006	1302,3
1983	786,0	2007	1373,3
1984	806,0	2008	1449,3
1985	813,0	2009	1477,7
1986	817,0	-	-

Fonte: Revista Chemical Engineering, 2009.