

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**UMA CONTRIBUIÇÃO PARA APLICAÇÃO DE
MOTORES DE INDUÇÃO LINEARES
EM SECADORES DE CEREAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Autor: SUSSUMU CALIENTO TANIMOTO

AGOSTO – 2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

T164c Tanimoto, Sussumu Caliento, 1956-
 Uma contribuição para a aplicação de motores de indução lineares em
 secadores de cereais / Sussumu Caliento Tanimoto. - 2006.
 149f. : il.
 Orientador: Décio Bispo.
 Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
 Inclui bibliografia.
 1. Sistemas de energia elétrica - Teses. 2. Máquinas elétricas - Teses. I. Bispo, Décio. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDU: 621.311

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**UMA CONTRIBUIÇÃO PARA APLICAÇÃO DE
MOTORES DE INDUÇÃO LINEARES
EM SECADORES DE CEREAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação apresentada ao Departamento
de Pós Graduação em Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Uberlândia para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Elétrica.

BANCA EXAMINADORA

Prof. DÉCIO BISPO, Dr. (UFU) – ORIENTADOR;

Prof. LUCIANO MARTINS NETO, Dr. (UFU) – Co-Orientador;

Prof. KEIJI YAMANAKA, Dr. (UFU);

Prof. BERNARDO PINHEIRO DE ALVARENGA, Dr. (UFG)

CURSO: ENGENHARIA ELÉTRICA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MÁQUINAS ELÉTRICAS

AGOSTO – 2006



UMA CONTRIBUIÇÃO PARA APLICAÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO LINEARES EM SECADORES DE CEREAIS

SUSSUMU CALIENTO TANIMOTO

Dissertação apresentada ao Departamento de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

PROF. DÉCIO BISPO DR.
ORIENTADOR

PROF. DARIZON ALVES ANDRADE PHD.
COORDENADOR DO CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO

*Ao Senhor nosso Deus, que torna
possível a realização de todas as
minhas obras, porque me orienta
em todos os momentos,
com a Luz da sua
Infinita Sabedoria.*

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Laura e minhas filhas, Jaqueline, Katrine, Ana Laura e Maria Luísa que sempre me incentivaram e estiveram comigo em todos os momentos de dificuldades.

Aos meus pais, dos quais eu herdei o espírito de luta de não desanimar em momento algum, quaisquer que sejam as dificuldades.

À minha irmã Yaico e seu esposo Daniel, a quem tenho o compromisso da gratidão pelo apoio constante em todos os meus momentos de dúvida e insegurança.

Aos meus irmãos pelo apoio e incentivo ao meu trabalho.

Aos diretores da BAGEL – ARMAZÉNS GERAIS BOM JESUS LTDA, que além do incentivo, abriram as portas da empresa para o desenvolvimento deste trabalho e contribuíram na montagem e execução do Simulador.

Ao amigo e quase irmão, Prof. Dr. Keiji Yamanaka, que me trouxe os incentivos iniciais para o ingresso na vida acadêmica.

Ao meu colega e colaborador, hoje Doutor, Ricardo Silva Thé Pontes, cuja tese foi a base da montagem do meu trabalho.

Ao co-orientador Prof. Dr. Luciano Martins Neto, pelo constante auxílio com informações e conhecimentos, e colocar máquinas e equipamentos à minha disposição para execução deste trabalho.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Décio Bispo, que desde o início me trouxe incentivo, e orientação no planejamento, elaboração e execução deste trabalho.

RESUMO

A proposta desta tese é o estudo do desempenho e eficiência do motor de indução linear, aplicado como acionamento da eclusa de descarga em secadores de cereais, em substituição ao Sistema Convencional utilizado anteriormente, composto por um sistema eletropneumático, conjunto compressor, pistão pneumático e acessórios.

A busca deste objetivo baseou-se na procura de soluções para diminuir o alto índice de defeitos do Sistema Convencional, e que o Sistema Proposto tivesse constituição simples e robusta, exigindo pouca manutenção por ter poucos pontos potenciais de defeitos, e ao mesmo tempo apresentar inovação tecnológica, eficiência produtiva e baixo consumo de energia.

Para isto foi projetado e construído um equipamento denominado de simulador da eclusa de descarga de secador de cereais, com escala de fluxo dez vezes menor que o sistema de campo, e neste simulador foi adaptado o motor de indução linear proveniente de [Thé Pontes, 2003], onde foram efetuados os testes de operação do simulador para condições de carga, medições de força e consumo de energia.

Os resultados obtidos estão muito próximos ao esperado e atendem perfeitamente aos objetivos deste trabalho.

Palavras chaves: Motor de indução linear, eclusa de descarga de secadores de cereais, secadores de cereais.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is the acting study and efficiency of the linear induction motor, applied as driver of the discharge dam in dryers of cereals, in substitution to the Conventional System used previously, composed by a system electric pneumatic, group compressor, pneumatic piston and accessories.

The search of this purpose based on the looking for of solutions to reduce the high index of defects of the Conventional System, and that the Proposed System had simple and robust constitution, demanding little maintenance for having few potential points of defects, and at the same time to present technological innovation, productive efficiency and low consumption of energy.

For this it was projected and built a denominated equipment of simulator of the dam of discharge of dryer of cereals, with flow scale ten times minor than the field system application, and in this simulator the linear induction motor was adapted [Thé Pontes, 2003], where the tests of operation of the simulator were made for load conditions, measurements of force and consumption of energy.

The obtained results are very close to the expected and they assist perfectly to the objectives of this work.

Keywords: Linear induction motor, dam dryer discharge, cereal dryers.

ÍNDICE

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1.1 Uma contribuição para aplicação de motores lineares em secadores de cereais	1
CAPÍTULO II - ANÁLISE DO SISTEMA DE ARMAZENAGEM DE CEREAIS	3
2.1 O processo produtivo atual de secagem de cereais	3
2.2 Soluções aplicadas para diminuir as limitações do processo	4
2.3 Análise do Sistema Convencional	9
2.4 Descrição do Sistema Convencional	15
CAPÍTULO III - O MOTOR DE INDUÇÃO LINEAR	18
3.1 O motor de indução linear	18
3.2 Princípio de funcionamento do MIL	20
3.3 Classificação quanto ao uso	21
3.4 Classificação quanto a geometria	22
3.5 Formas de onda de campo características do MIL	24
3.6 Características dos motores de indução lineares	26
3.7 Perdas nos motores de indução lineares	28
3.8 Campo magnético de translação	31
3.9 Elementos fundamentais no estudo das máquinas de indução trifásicas lineares	33
3.10 Circuito equivalente do motor de indução linear	34
3.11 Análise unidimensional do motor de indução linear	36
3.12 Densidade linear de corrente no estator	37
3.13 Fator de enrolamento para o MIL	38

3.14	Densidade de campo magnético no entreferro	40
3.15	Fator de Qualidade	46
3.16	Efeito Transversal de Borda	49
3.17	Efeito Longitudinal de Extremidade.....	52
3.18	Número de Reynolds magnético	55
3.19	Inclusão do Efeito Longitudinal de Extremidade	56
3.20	Modelagem dinâmica para os MILs.....	60
3.21	Resistência do enrolamento do estator.....	61
3.22	Indutância de dispersão do estator	62
3.23	Indutância de dispersão de linor refletida para o indutor	63
3.24	Indutância de magnetização.....	64
3.25	Resistência de linor refletida para o estator	64
3.26	Inclusão do Efeito Transversal de Borda	65
3.27	Equações para o motor de indução linear.....	66
3.28	Força propulsora considerando o ELE	68
3.29	Força propulsora considerando a inclusão do ELE de entrada	70
3.30	Relação entre os fatores de correção para os ELE	71
3.31	O motor de indução linear utilizado no projeto.....	73
3.32	Parâmetros elétricos do MIL utilizado no projeto	76
3.33	Ensaio em operação	77
3.34	Força medida no MIL.....	78
CAPÍTULO IV - O SIMULADOR DA ECLUSA DE DESCARGA DE SECADOR DE CEREAIS		80
4.1	Apresentação do protótipo	80
4.2	Introdução.....	80
4.3	Descrição do princípio de operação do Simulador	82
4.4	Parâmetros obtidos do MIL no Simulador em operação.....	84

4.5	Resultados obtidos do Simulador com o MIL em operação.....	88
CAPÍTULO V - ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O SISTEMA CONVENCIONAL E O SISTEMA PROPOSTO		
		91
5.1	Descrição funcional do Sistema Convencional	91
5.2	Descrição do sistema utilizando motor de indução linear	92
5.3	Análise comparativa entre os dois sistemas	93
CONCLUSÕES		98
6.1	Considerações sobre o projeto do Simulador	98
6.2	Conclusões gerais	99
6.3	Proposta para trabalhos futuros	100
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....		102
ANEXO I - PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DA INDUÇÃO ELÉTROMAGNÉTICA		105
ANEXO II - PERDAS NOS MOTORES DE INDUÇÃO LINEARES.....		111
ANEXO III- CAMPO MAGNÉTICO DE TRANSLAÇÃO.....		119
ANEXO IV- FORMAS DE ONDAS DE CAMPO CARACTERÍSTICAS DOS MILS..		130
ANEXO V - FATORES DE ENROLAMENTO PARA MOTORES		143
ANEXO VI -CÁLCULO DA FORÇA PROPULSORA		148

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - BAGEL Matriz - Fluxograma do processo Armazém 11 até 2002	6
Figura 2.2 - BAGEL Matriz - Fluxograma do processo Armazém 11 após 2002.....	8
Figura 2.3 - Esquema de funcionamento da eclusa para o Sistema Convencional. .	16
Figura 2.4 - Alternativa de substituição para o Sistema Convencional.	17
Figura 3.1 - “Electropult” construído pela “WESTINGHOUSE”.....	18
Figura 3.2 - Veículo ferroviário impulsionado pelo MIL em Shangai na China.....	19
Figura 3.3 - Modelo de lançador de naves utilizando o MIL proposto pela NASA. ...	20
Figura 3.4 - Classificação geométrica do MIL.....	22
Figura 3.5 - Configurações geométricas dos MIL com chapa linórica.....	23
Figura 3.6 - Distribuição do campo no entreferro, em vazio, MIL de 3 polos.	24
Figura 3.7 - Distribuição do campo no entreferro, em vazio, MIL de 5 polos.	24
Figura 3.8 - Distribuição do campo no entreferro, em vazio, MIL de 15 polos.	25
Figura 3.9 - Distribuição do campo no entreferro, em vazio, MIL de 2 polos.	25
Figura 3.10 - Transformações de energia do motor elétrico.....	29
Figura 3.11 - Distribuição das perdas no motor de indução.	30
Figura 3.12 - Modelo equivalente do MIL plano, por fase e por estator.	35
Figura 3.13 - Vista lateral do MIL de dupla face, com estator curto e linor longo	37
Figura 3.14 - Circuitos elétrico e magnético num dispositivo eletromagnético.....	46
Figura 3.15 - Corte transversal do MIL.....	49
Figura 3.16 - Vista longitudinal do MIL.....	53
Figura 3.17 - Motor setorial em arco de 180°.....	53
Figura 3.18 - Laços fictícios praticados no linor em movimento	53
Figura 3.19 - Circuito equivalente tradicional.....	57
Figura 3.20 - Circuito elétrico equivalente considerando a impedância (z_e) para a consideração do ELE.....	59
Figura 3.21 - Força propulsora em função da velocidade obtida através do circuito elétrico equivalente para o MIL tipo disco.	59
Figura 3.22 - Ranhura de estator do motor linear	62
Figura 3.23 - Linhas de corrente sobre a lâmina secundária (linor)	65

Figura 3.24 - Comportamento da força propulsora em função do escorregamento para MILs de (a) baixa velocidade (b) média velocidade e (c) alta velocidade	70
Figura 3.25 - Vista geral construtiva do MIL utilizado.	74
Figura 3.26 - Enrolamento do estator duplo do MIL utilizado.	75
Figura 3.27 - Enrolamento trifásico do MIL.	75
Figura 3.28 - Duplo delta dos pacotes primário.	76
Figura 3.29 - Configuração da montagem para ensaios e medições no MIL	77
Figura 3.30 - Ensaio para determinação da força de partida.....	78
Figura 4.1 - Detalhes simulador da eclusa de descarga secador de cereais	81
Figura 4.2 - Detalhes da adaptação do MIL na montagem do Simulador.	82
Figura 4.3 - Esquema de funcionamento do Simulador com eclusa fechada	83
Figura 4.4 - Detalhe do acoplamento mecânico entre o linor e a eclusa.....	84
Figura 4.5 - Esquema de funcionamento do Simulador com eclusa aberta.	84
Figura 4.6 - Montagem esquemática para os ensaios	85
Figura 4.7 - Forma de onda tensão e corrente, fases A-C ciclo completo.	85
Figura 4.8 - Forma de onda tensão e corrente, fases B-C ciclo completo.	86
Figura 4.9 - Forma de onda tensão e corrente, fases A-C fase intermediária.....	86
Figura 4.10 - Forma de onda tensão e corrente, fases B-C fase intermediária.....	86
Figura 4.11 - Forma de onda de tensão e corrente, fases C-A fase inicial.	87
Figura 4.12 - Forma de onda de tensão e corrente, fases B-C fase inicial.	87
Figura 4.13 - Forma de onda de tensão e corrente, fases C-A fase final.....	87
Figura 4.14 - Forma de onda de tensão e corrente, fases B-C fase final.....	88
Figura 4.15 - Fotografia do simulador dentro da oficina mecânica da BAGEL.....	90
Figura 5.1 - Diagrama elétrico funcional da eclusa no Sistema Convencional.....	91
Figura 5.2 - Esquema de funcionamento da eclusa utilizado o MIL	92
Figura 5.3 - Diagrama elétrico funcional de controle eclusa do Sistema Proposto ...	93
Figura 5.5 - Modelo de solicitação de manutenção utilizado na BAGEL.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Relação de equipamentos e capacidade do Armazém 11 – BAGEL.....	5
Tabela 3.1 - Variáveis características das máquinas elétricas	66
Tabela 3.2 - Resistência do enrolamento primário do pacote A por fase a 35°C.....	76
Tabela 3.3 - Resistência do enrolamento primário do pacote B por fase a 35°C.....	76
Tabela 3.4 - Valores das resistências e reatâncias do MIL utilizado	77
Tabela 3.5 - Módulo das tensões e correntes de fase, em condições de carga	78
Tabela 4.1 - Resultados obtidos para o MIL com o Simulador em operação.....	89
Tabela 4.2 - Resultados obtidos para o MIL das medições no Simulador.	89
Tabela 5.1 - Resumo paradas BAGEL – Matriz, Armazém 11 safra 2000/2001	94
Tabela 5.2 - Resumo paradas BAGEL – Matriz, Armazém 11 safra 2001/2002	95
Tabela 5.3 - Resumo paradas BAGEL – Matriz, Armazém 11 safra 2002/2003	95
Tabela 5.4 - Análise comparativa I, Sistema Convencional x Sistema Proposto.	96
Tabela 5.5 - Análise comparativa II, Sistema Convencional x Sistema Proposto.	96
Tabela 5.6 - Análise comparativa III, Sistema Convencional x Sistema Proposto. ...	96

SIMBOLOGIA UTILIZADA

$\vec{B}$	vetor densidade de fluxo magnético
ϕ	vetor fluxo magnético
$\vec{D}$	vetor densidade de fluxo elétrico
$\vec{E}$	vetor campo elétrico
$\vec{H}$	vetor intensidade de campo magnético
$\vec{J}$	vetor densidade de corrente
α_1	comprimento penetração onda de efeito long. extremidade de entrada
α_2	comprimento penetração onda de efeito long. extremidade de saída
δ_1, δ_2	fases ondas densidade fluxo de extremidade b_1 e b_2 , respectivamente
δ_s	fase da onda de densidade de campo b
ε_x	razão largura do indutor/passo polar
ε_y	razão aba linor/passo polar
θ	ângulo entre referenciais de indutor e rotor
λ	fluxo concatenado
μ_0	permeabilidade do vácuo
ρ_l	resistividade volumétrica dos condutores de indutor
ρ_c	resistividade de linor corrigida
ρ_r	resistividade superficial do linor
ρ_v	resistividade volumétrica do linor
ω	velocidade angular
ω_r	velocidade angular do rotor
a_1	distância entre os dentes do indutor
a_2	largura interna da ranhura do estator
b	onda de densidade de campo que translada na direção y
b_1	onda de densidade de fluxo de efeito de extremidade de entrada
b_2	onda de densidade de fluxo de efeito de extremidade de saída
b_s	onda de densidade de fluxo fundamental
B_1	valor máximo da densidade de campo de extremidade de saída
B_{av}	valor médio da densidade de campo magnético
B_s	valor máximo da onda de densidade de campo na direção y
c	largura do indutor
c'	largura do linor
C_R	constante de relação entre as indutâncias de indutor e linor
d_f	densidade de corrente nos condutores do indutor
E_f	valor máximo da f.e.m. induzida devida a onda B_1
e_1	f.e.m. instantânea devida a onda B_1
E_s	f.e.m. induzida devida a onda B_s
e_s	f.e.m. instantânea devida a onda B_s
E_z	campo elétrico na direção z

f	freqüência da fonte de alimentação
f_e	fator de empilhamento do bloco indutor
f_L	força de carga
f_x	força propulsora na direção x
f_{xr}	força propulsora real
Q_e	fator de qualidade realístico
Q	fator de qualidade de Laithwaite
g_0	entreferro corrigido a partir do fator de Carter
h	espessura do linor
$h_1, h_2, \dots, h_5$	dimensões relativas à ranhura do indutor
h_c	altura da coroa do linor ativo
I_l	Corrente eficaz de indutor, por fase
I_{lmax}	Corrente de indutor em seu valor máximo
I_f, I_{fm}	Corrente que circula por um condutor ativo, valores eficaz e máximo
J	Momento de inércia
J_1, J_2	Densidade linear corrente indutor e linor respectivamente (valor eficaz)
j_1, j_2	Densidade linear corrente instantânea indutor e linor respectivamente
J_{lm}, J_{2m}	Densidade linear corrente indutor linor respectivamente(valor de pico)
J_s, J_{sm}	Densidade linear de corrente de um indutor; valores eficaz e máximo
k	constante de propagação da onda normal
k_b	constante de proporcionalidade temporal
k_c	fator de Carter
k_e	fator de Gieras para inclusão do efeito longitudinal de extremidade
k_r	fator de Simone para inclusão do efeito longitudinal de extremidade
k_s	fator de inclusão do efeito transversal de borda
k_w	fator de enrolamento
k_{we}	fator de enrolamento para tensão devida a extremidade
L	indutância própria
l_l	comprimento dos condutores de indutor por fase
l_{cb}	comprimento de cabeça de bobina
l_m	comprimento médio de um condutor ativo
M	indutância mútua
m	número de fases
m_a	massa
n	velocidade angular em rpm
N_l	número de espiras por indutor e por fase
N_f	número de condutores ativos por indutor e por fase
N_{fp}	número de espiras por polo e por fase
N_r	número de espiras de rotor
N_{rm}	número de Reynolds magnético

N_s	número de espiras de estator
p	número de polos
q	número de ranhura por polo e por fase
R'_2	resistência de linor refletida para o indutor
R_l	resistência do cobre do indutor
R_m	resistência de perdas do ferro do indutor
R_r	resistência de rotor
R_s	resistência de indutor
$\Re_m$	relutância magnética
s	escorregamento
T	conjugado
t	tempo
τ_b	passo de bobina
T_e	conjugado eletromagnético
T_L	conjugado de carga
τ	passo polar
τ_l	relação entre os passos polares
τ_b	passo da bobina do enrolamento do estator
τ_e	passo polar da onda de efeito de extremidade
$\tau_{ranhuras}$	passo polar dado em ranhuras
V_{rx}	velocidade do linor
V_{sx}	velocidade síncrona do campo de translação
X'_2	reatância de dispersão de linor refletida para o indutor
x, y, z	sistema cartesiano de coordenadas
X_l	reatância de dispersão de indutor
X_m	reatância de magnetização
Z_e	impedância de efeito de extremidade
Z_i	impedância equivalente do ramo de força e magnetização

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 Uma contribuição para aplicação de motores lineares em secadores de cereais

Todos os anos na agricultura ficam evidentes a importância da produção de cereais assim como o trabalho desenvolvido aplicado no processo de armazenamento e conservação dos mesmos. Diante de dificuldades encontradas nesta área, e com a pretensão de melhorar a performance produtiva e diminuir custos operacionais, foi elaborado um estudo para aplicação dos motores de indução lineares no sistema de secagem utilizado em secadores de cereais, que utilizam o sistema de descarga intermitente, com acionamento tipo guilhotina, utilizados atualmente no país.

No capítulo II é apresentado um estudo e análise da interferência de paradas de equipamentos no processo de secagem de cereais, com os principais problemas causadores, fazendo uma breve descrição da reconfiguração dos procedimentos operacionais e reestruturação do fluxo operacional que envolveram modificações no sistema mecânico e elétrico, e soluções adotadas para melhoria operacional dos equipamentos envolvidos no processo de secagem e armazenagem de cereais da BAGEL – ARMAZÉNS GERAIS BOM JESUS LTDA, empresa voltada ao ramo de armazenagem de cereais do estado de Goiás, Brasil, .

No capítulo III é feita uma apresentação da teoria que envolve o funcionamento dos motores de indução lineares, com descrição dos efeitos que podem comprometer o projeto e a operação, e uma rotina de procedimentos que envolvem o dimensionamento para o motor de indução linear utilizado como base de aplicação deste projeto pesquisa.

No capítulo IV é feita uma descrição do princípio de funcionamento do secador de cereais, com ênfase no controle de acionamento da eclusa de descarga. Para obtenção de resultados foi projetado e construído um protótipo, que executa o processo de descarga da eclusa de um secador de cereais, utilizando um motor de

indução linear, em substituição ao Sistema Convencional que utiliza sistema de acionamento a pistão pneumático.

No capítulo V é feita uma comparação entre o Sistema Convencional utilizado anteriormente, em relação ao Sistema Proposto em estudo, apresentando os ganhos de desempenho produtivo, assim como uma análise técnica dos resultados no custo global obtidos para operação, manutenção e produção com utilização dos dois sistemas.

Na conclusão no capítulo VI, é apresentada uma análise técnica sobre características construtivas e operacionais dos motores de indução lineares, apresentando ganhos operacionais e de produção, alcançando os objetivos propostos neste trabalho, com conscientização das dificuldades encontradas no nível de implementação e operação, e apresentando uma visão técnica para possíveis melhorias a serem implementadas, com possibilidades que se abrem para outras aplicações.

CAPÍTULO II

ANÁLISE DO SISTEMA DE ARMAZENAGEM DE CEREAIS

2.1 O processo produtivo atual de secagem de cereais

O desenvolvimento de processos de secagem de cereais objetivando o seu armazenamento para utilização no consumo alimentar vem sendo realizado pelas empresas fabricantes e utilizadores como pontos de importância cada vez maior nos itens envolvendo custos de processamento e manutenção do produto. Dizer que os equipamentos em operação existentes no mercado estão na vanguarda do desenvolvimento não é propriamente uma verdade, uma vez que o custo de desenvolvimento para melhoramento tecnológico não atraem as empresas para as melhorias e alterações de equipamentos necessárias.

Uma das causas deste desestímulo é a sazonalidade da produção, ou seja, existe somente um período anual propício à produção de cereais no campo, e, conseqüentemente, somente um período para utilização dos equipamentos responsáveis pelo processamento do produto para limpeza, secagem e armazenagem do produto. Este período tem cerca de 45 dias, (há 10 anos atrás esse período era de 120 dias), e o aumento do volume de produção depende de investimento em tecnologia, valores financeiramente altos para as empresas buscarem no mercado para depois serem imobilizados, além do fato de que os preços dos cereais no mercado internacional têm seguido uma linha oscilante decrescente, diminuindo o lucro das empresas prestadoras de serviços no ramo de armazenagem de cereais.

Entretanto como o faturamento da empresa armazenadora depende da quantidade de cereal armazenado, ela precisa reestruturar o fluxo de produção para que haja crescimento do seu poder de recebimento, gerando assim a necessidade do aumento do seu poder de processamento de produto, com conseqüente aumento do seu poder de armazenagem.

O primeiro problema existente neste processo é a preocupação com a qualidade do produto a ser armazenado, uma vez que está se processando matéria prima vinda do campo, a qual possui propriedades e características não favoráveis ao armazenamento imediato, devendo antes passar por processos de limpeza e secagem, devido ao fato destes produtos necessitarem de um determinado grau de pureza e umidade para que sejam conservados “in natura”.

O segundo problema ocorre devido à velocidade que deve ser dada ao processo de recebimento, limpeza, secagem e armazenamento do produto. As máquinas que compõem o processo possuem limitações técnicas de produtividade e por isso o volume de produto está limitado à capacidade de processamento destas máquinas, que por sua vez estão limitadas ao fluxo constituído pelo caminho que o produto deve percorrer até ser armazenado. Nem sempre é possível extrair o máximo da produção de uma máquina instalada, porque muitas vezes o fluxo passa por estrangulações que limitam a capacidade do processo.

2.2 Soluções aplicadas para diminuir as limitações do processo

Como exemplo, é exposto na Tabela 2.1, os equipamentos que compõem o caminho do fluxo de cereal recebido, processado e armazenado no Armazém nº. 11, da BAGEL.

A Figura 2.1 mostra o esquema do fluxo do processo existente, no Armazém 11 da BAGEL, unidade Matriz, até o ano de 2002.

Até o ano de 2002 existiam várias limitações no fluxo de grãos desde o recebimento até a armazenagem final do produto que compreendiam:

- Os transportadores de corrente de recebimento de grãos das moegas não funcionavam de forma adequada, por problemas de falta de manutenção, causando limitações de carga por deficiência do equipamento e por falta de condições de funcionamento devido ao estado precário dos componentes.
- O elevador de alimentação da linha P não atendia ao fluxo de carga exigido pelas máquinas de pré-limpeza desta linha, fazendo com que as mesmas trabalhassem sem a quantidade de produto necessária.

- O elevador de alimentação da linha V não atendia ao fluxo de carga devido às condições precárias de manutenção, ocasionando paradas constantes por falha nos componentes.

LEGENDA DOS EQUIPAMENTOS	CAPACIDADE
CORREIA TRANSPORTADORA 04 SUPERIOR PARA ARMAZÉM 11	180 Ton/H
ELEVADOR 09 DE ARMAZENAGEM PARA ARMAZÉM 11	200 Ton/H
CORREIA TRANSPORTADORA 03 DE RECEBIMENTO DO SECADOR 04 PARA ARMAZÉM 11	80 Ton/H
REEDLER 05 DE RECEBIMENTO DO SECADOR 01 PARA ARMAZÉM 11	80 Ton/H
CORREIA TRANSPORTADORA 02 DE RECEBIMENTO DOS SECADORES 02 E 03 PARA ARMAZÉM 11	180 Ton/H
ELEVADOR 05 DE RECEBIMENTO DO SECADOR 04	80 Ton/H
ROSCA DE DESCARGA DO SECADOR 01	60 Ton/H
MESA DE DESCARGA DO SECADOR 01	60 Ton/H
ROSCA DE DESCARGA DO SECADOR 02	60 Ton/H
MESA DE DESCARGA DO SECADOR 02	60 Ton/H
ROSCA DE DESCARGA DO SECADOR 03	60 Ton/H
MESA DE DESCARGA DO SECADOR 03	60 Ton/H
ROSCA DE DESCARGA DO SECADOR 04	65 Ton/H
MESA DE DESCARGA DO SECADOR 04	65 Ton/H
ELEVADOR 03 DE RECEBIMENTO PARA ELEVADORES 04 E 05 DA LINHA SECADOR 04	80 Ton/H
ELEVADOR 04 DE CARREGAMENTO DO SECADOR 04	80 Ton/H
ELEVADOR 06 DE CARREGAMENTO DO SECADOR 01	60 Ton/H
ELEVADOR 07 DE CARREGAMENTO DO SECADOR 02	60 Ton/H
ELEVADOR 08 DE CARREGAMENTO DO SECADOR 03	60 Ton/H
CORREIA TRANSPORTADORA 01 DE RECEBIMENTO PRÉ-LIMPEZAS LINHA P (PL1-PL2-PL3)	120 Ton/H
CORREIA TRANSPORTADORA 02 DE RECEBIMENTO PRÉ-LIMPEZAS LINHA V (PL4-PL5-PL6)	180 Ton/H
MÁQUINA DE PRÉ-LIMPEZA 01	40 Ton/H
MÁQUINA DE PRÉ-LIMPEZA 02	40 Ton/H
MÁQUINA DE PRÉ-LIMPEZA 03	40 Ton/H
MÁQUINA DE PRÉ-LIMPEZA 04	40 Ton/H
MÁQUINA DE PRÉ-LIMPEZA 05	40 Ton/H
MÁQUINA DE PRÉ-LIMPEZA 06	40 Ton/H
REEDLER 03 DE ALIMENTAÇÃO LINHA P (PL1-PL2-PL3)	180 Ton/H
REEDLER 04 DE ALIMENTAÇÃO LINHA V (PL4-PL5-PL6)	120 Ton/H
ELEVADOR 02 DE RECEBIMENTO DO REEDLER 02 E ALIMENTAÇÃO DO REEDLER 03 LINHA P	80 Ton/H
ELEVADOR 01 DE RECEBIMENTO DO REEDLER 01 E ALIMENTAÇÃO DO REEDLER 04 LINHA V	120 Ton/H
REEDLER 02 RECEBIMENTO MOEGAS, 04 05 06, PARA ELEVADOR 02	200 Ton/H
REEDLER 01 RECEBIMENTO MOEGAS, 01 02 03, PARA ELEVADOR 01	120 Ton/H
ELEVADOR 11 DE ARMAZENAGEM / EXPEDIÇÃO DO ARMAZÉM 11	100 Ton/H
CORREIA TRANSPORTADORA 05 INFERIOR DE EXPEDIÇÃO DO ARMAZÉM 11	100 Ton/H

Tabela 2.1 - Relação de equipamentos e capacidade do Armazém 11 – BAGEL

BAGEL MATRIZ - ARMAZÉM 11 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO

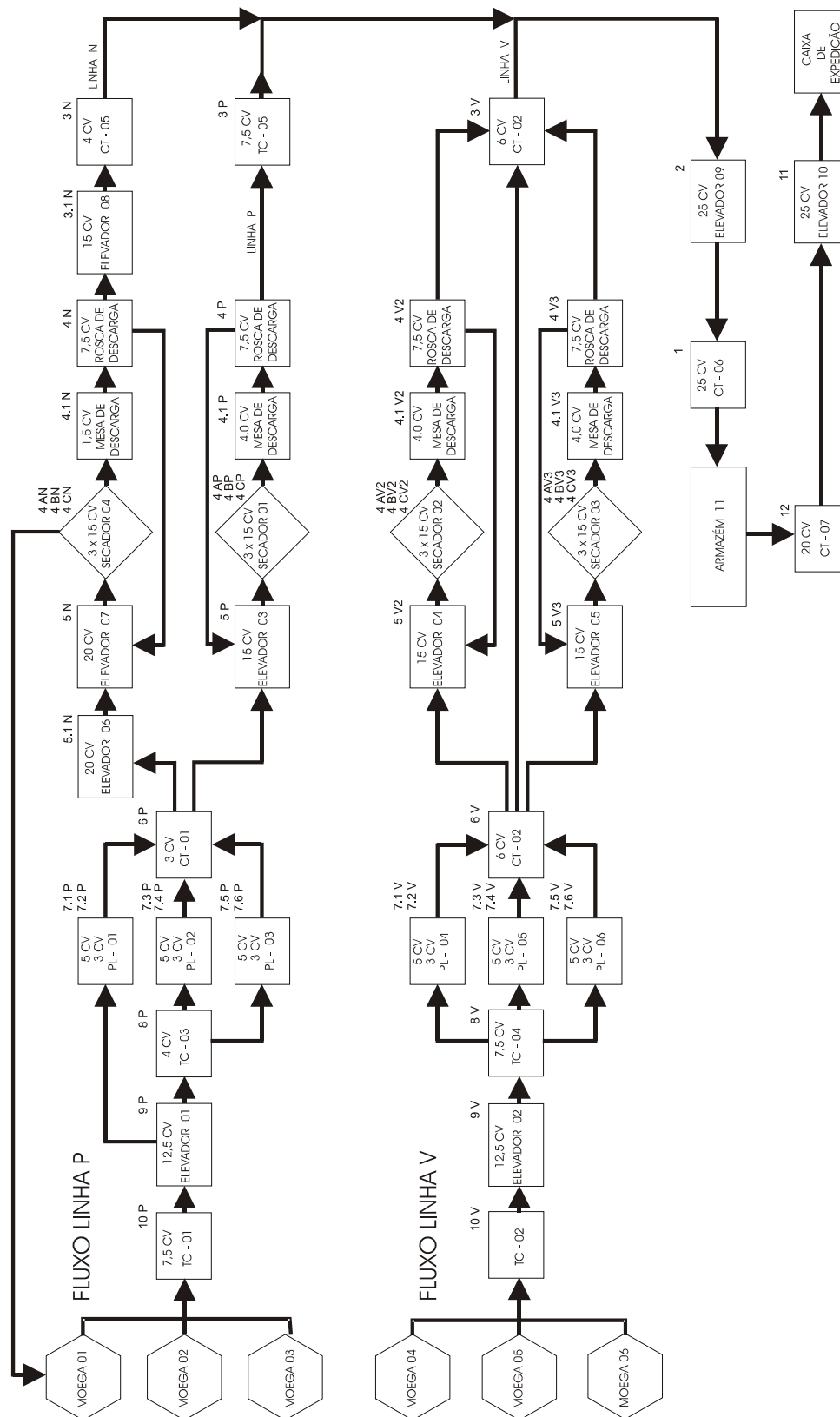


Figura 2.1 - BAGEL Matriz - Fluxograma do processo Armazém 11 até 2002

- O fluxo do cereal estava estrangulado na linha P após a entrega do produto pela CT-01, devido ao sistema de distribuição do produto aos elevadores de recebimento para alimentação da linha dos secadores 01 e 04, principalmente para a condição de fluxo direto de produto que seria armazenado sem necessitar do processo de secagem.

- A produção dos secadores 02 e 03 estava limitada, devido ao fato de que a alimentação e recebimento da descarga dos secadores feita pelo mesmo equipamento, a CT-02, tornava impossível no fluxo existente manter o volume de produção em regimes aceitáveis.

- O armazenamento de cereal seco no Armazém realizado por um único elevador de capacidade 200 Ton/H, era incapaz de atender o recebimento na condição de descarga simultânea dos 04 secadores.

- Os equipamentos trabalhavam em regime de sobrecarga em determinados períodos, sem atender de forma satisfatória as condições impostas para recebimento de produto.

Foi efetuado um trabalho de reestudo do fluxo existente visando adequar os equipamentos constituintes do processo, para aumentar o recebimento e melhorar o tempo de processamento de cereal, que envolveu:

- Revisão de todos os equipamentos.
- Aquisição de um novo transportador de corrente de capacidade 120 Ton/H, para alimentação do processo da linha P.

- Alteração da capacidade de operação do elevador de alimentação da linha P de 80 Ton/H para 120 Ton/H.

- Instalação de linhas de ligação entre os secadores 01 e 04 e entre os secadores 02 e 03, com implantação do fluxo contínuo de secagem, fazendo com que o produto concluísse o processo de secagem com maior volume e tempos menores dos apresentados nas condições existentes anteriormente.

- Reestruturação de todo o painel de controle e acionamento do sistema elétrico do Armazém 11, em forma de quadro sinótico, com chaves de habilitação das linhas de fluxo, e chaves de comando rotativas, com intertravamentos dos equipamentos da linha de fluxo no sistema cascata.

A Figura 2.2, demonstra a reestruturação do fluxo do processo executada na BAGEL, após o ano de 2002.

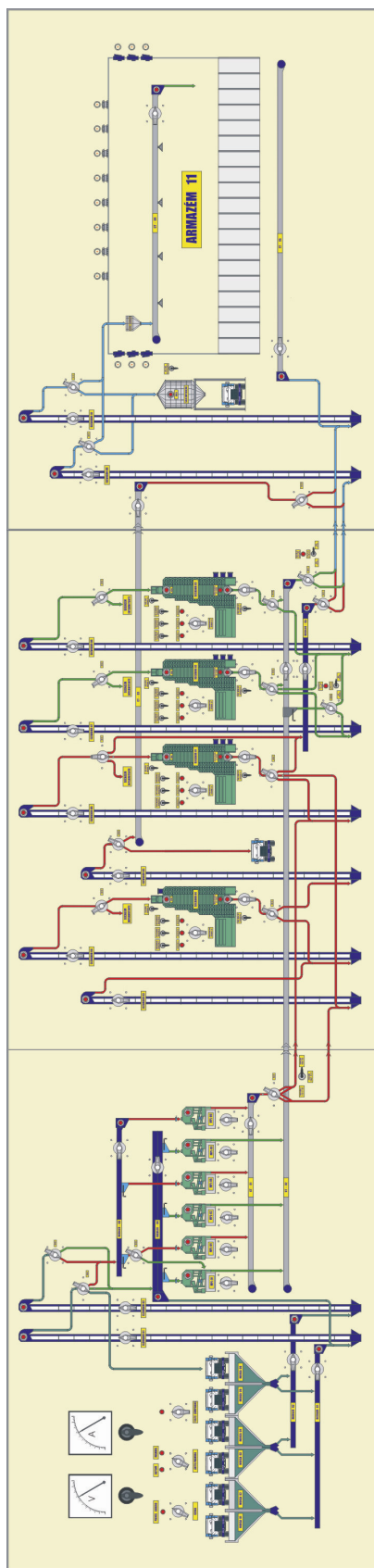


Figura 2.2 - BAGEL Matriz - Fluxograma do processo Armazém 11 após 2002

O desenvolvimento do fluxograma apresentado na Figura 2.2, permitiu que fosse aprimorado o controle operacional sobre:

- Melhor visualização e melhor controle pelos operadores, nos procedimentos para composição e definição do tipo de fluxo adotado.
- Viabilização para utilização do elevador de expedição também para a condição de armazenagem de produto oriundo do processo de fluxo direto ou descargas dos secadores, através da instalação de linhas de ligação das fitas e transportador de corrente de recebimento das descargas dos secadores 01, 02, 03 e 04, permitindo que o elevador utilizado somente para armazenagem trabalhasse com menos carga e conseqüentemente aumentando a sua vida útil.

2.3 Análise do Sistema Convencional

Um dos principais problemas existentes no fluxo do processo nos sistemas de recebimento, limpeza, secagem e armazenagem está ligado à parada de equipamentos.

Podem-se definir estas paradas em várias etapas de classificação, definidas em termos de prioridade, tendo em vista a contribuição das mesmas no volume de grãos envolvidos no processo de recebimento.

O principal problema da parada é aquele que torna a empresa inoperante em relação ao recebimento, uma vez que o mesmo está ligado ao setor de produção no campo, que também sofrerá interrupção, se o local de escoamento da produção estiver bloqueado.

Estes problemas estão ligados a falhas de equipamentos e componentes, projetos mal elaborados, defeitos de fabricação, sub ou super dimensionamento de equipamentos, programas de manutenção inexistentes ou inadequados, sistema de alimentação de energia elétrica deficientes, falhas operacionais, e várias outras definições que podem ser descritas.

Observa-se que o produto colhido no campo para ser armazenado, deve ser processado por um conjunto de equipamentos trabalhando em sincronismo, de forma que o fluxo do mesmo desde as moegas de recebimento até o galpão de

armazenagem seja o maior possível, para que as condições de entrega dos fornecedores sejam atendidas.

Qualquer falha de equipamento ou componente que faça parte do fluxo produtivo pode paralisar completa ou parcial o processo, afetando seriamente a produção, causando interrupção na rotina normal de funcionamento.

As paradas por falhas no manuseio operacional dos equipamentos que compõem o caminho do fluxo, são normais e podem afetar seriamente a produção caso não haja um programa de treinamento do pessoal da área operacional.

As paradas por falhas de equipamentos devido à quebra de máquinas também podem afetar seriamente a produção, se não houver um programa de manutenção adequado às necessidades da empresa. É necessário que haja um programa de manutenção que atenda às reais necessidades da mesma, de forma que as falhas de equipamentos não afetem significativamente o resultado final.

Deve existir sintonia entre as áreas operacional e manutenção, para que problemas simples ou complexos possam ser administrados de forma eficiente. Caso isto não ocorra, talvez um simples terminal prensado de forma incorreta em um cabo de comando ou um simples parafuso mal apertado, podem gerar grandes prejuízos até serem reparados.

Para descrição do problema em que se fundamentam os objetivos deste projeto pesquisa é descrito a forma funcional de um secador de cereais.

Basicamente o secador é composto internamente por um sistema composto de dois reservatórios, um superior denominado de torre de secagem, e um inferior denominado de caixa de descarga, com a eclusa sendo o meio de ligação entre eles. O reservatório superior possui em seu interior, chapas metálicas montadas em forma de calhas paralelas, que constituem o conjunto de elementos internos da torre de secagem denominados de colméias. O produto úmido entra pela parte superior da torre de secagem e desce por gravidade pelo espaço vazio entre as colméias até preencher todos os espaços existentes. Pela cavidade vazia formada na parte inferior dos perfis das colméias é aspirado ar quente por um exaustor. O ar quente funciona como uma “esponja”, retirando umidade da massa de cereal que passa pela torre de secagem com velocidade controlada pela abertura e fechamento da eclusa de descarga, e o ciclo de passagem se repete até que o produto esteja em condições de armazenagem.

Neste trabalho não houve a preocupação de analisar os tipos de secadores de cereais existentes, com suas vantagens e desvantagens, devido ao fato do objetivo do mesmo ser buscar uma proposta alternativa para melhoria do fluxo do sistema de secagem já considerado mais eficiente.

De acordo com vários especialistas no ramo de secagem mecânica de cereais, o método mais eficiente de secagem é o que utiliza descargas intermitentes, principalmente os constituídos por sistema tipo guilhotina, por minimizarem problemas de formação de caminhos preferenciais no fluxo de descida dos grãos dentro da torre de secagem, durante o processo de secagem forçada.

Estes caminhos preferenciais fazem com que a secagem dos grãos dentro da torre de secagem não seja feita de forma uniforme, uma vez que a velocidade do fluxo de grãos na passagem dos mesmos dentro da torre de secagem do secador não é uniforme em todos os pontos, ocasionando uma perda da qualidade no produto processado e enviado para a armazenagem.

Com base nestes princípios, um dos problemas de parada que produzia contribuição direta na produção devido à falha de equipamentos, concentrou-se no sistema de descarga dos secadores, especificamente na eclusa de descarga dos secadores 01, 02 e 03 que compõem o sistema de armazenagem do Armazém 11, da BAGEL, no município de Bom Jesus, estado de Goiás.

A eclusa de descarga destes três secadores é acionada por um conjunto composto por pistão pneumático, válvula solenóide, filtro regulador de pressão e lubrificador de ar, alimentados por um compressor de ar. O acionamento do pistão pneumático é efetuado por um sistema de relés auxiliares controlados por temporizadores, que fazem o controle do tempo de abertura e fechamento da eclusa de descarga dos secadores. O que despertou a atenção foi a quantidade de componentes envolvidos no sistema de acionamento, sendo que cada um deles é uma fonte potencial de contribuição para a paradas do processo.

Outro fato agravante é que o ar comprimido necessita de um tratamento adequado, para possibilitar operação uniforme dos equipamentos e maior vida útil dos componentes. Esta condição não é fácil de ser conseguida, devido ao fato das condições do ambiente no local de instalação e operação não serem apropriadas.

Toda vez que o sistema de acionamento da eclusa de descarga sofre uma pane, todo o processo de descarga é comprometido porque:

- Se a eclusa parar aberta o volume de grãos que passa por ela provoca embuchamentos por sobrecarga nos equipamentos que compõem o sistema de recebimento da descarga.
- Se a eclusa parar fechada o volume de grãos dentro da torre do secador não poderá ser retirado, e isto constitui um problema grave, pois além de interromper o fluxo de entrada e saída do mesmo, os grãos poderão sofrer secagem acima dos valores especificados, uma vez que o ar quente proveniente da fornalha e passando pela massa de grãos, não pode ser interrompido de imediato devido a lenha estar em processo de combustão.

Quando se procura verificar o problema que ocasionou o defeito apresenta-se um leque com várias opções:

- Pistão pneumático.
- Válvula solenóide.
- Filtro lubrificador de ar e regulador de pressão.
- Conjunto do Compressor.
- Sistema de acionamento mecânico de abertura da mesa.
- Pressostato de regulação da pressão do ar que aciona o pistão pneumático.
- Sistema de acionamento elétrico do motor e da eclusa.
- Sistema de drenagem e purga de ar do conjunto compressor.
- Sistema de distribuição do ar desde o compressor até o pistão pneumático.

Cada item mencionado anteriormente contribui com pontos possíveis de defeito no Sistema Convencional de acionamento da eclusa, descritos respectivamente como:

- Pistão Pneumático.
 - ✓ Corrosão interna ou deformação do corpo.
 - ✓ Vazamento de ar nas junções do corpo.
 - ✓ Vazamento de ar nas conexões de entrada de ar.
 - ✓ Mau assentamento dos anéis de vedação do ar entre os conjuntos do êmbolo e do corpo.

- ✓ Conjunto do kit de reparo do pistão danificado.
 - ✓ Desalinhamento da base de assentamento mecânico.
 - ✓ Desgaste das partes mecânicas.
- Válvula Solenóide.
 - ✓ Falha na alimentação elétrica.
 - ✓ Bobina queimada por sub ou sobretensão.
 - ✓ Corrosão interna ou deformação do corpo.
 - ✓ Vazamento de ar nas junções do corpo.
 - ✓ Vazamento de ar nas conexões de entrada e saída de ar.
 - ✓ Mau assentamento dos anéis de vedação do ar entre os conjuntos do êmbolo e do corpo.
 - ✓ Conjunto do kit de reparo danificado.
 - ✓ Desalinhamento da base de assentamento mecânico dos obturadores.
 - ✓ Desgaste das partes mecânicas.
- Filtro lubrificador e regulador de pressão de ar.
 - ✓ Corrosão interna ou deformação do corpo.
 - ✓ Vazamento de ar nas junções do corpo.
 - ✓ Vazamento de ar nas conexões de entrada e saída de ar.
 - ✓ Mau assentamento dos anéis de vedação do ar no conjunto que compõe os corpos de dreno de água e óleo lubrificante.
 - ✓ Conjunto do kit de reparo do danificado.
 - ✓ Desgaste das partes mecânicas.
- Conjunto do Compressor.
 - ✓ Vazamento de ar nas conexões.
 - ✓ Desgaste das peças que compõem o conjunto compressor.
 - ✓ Mau assentamento do conjunto pistão e biela.
 - ✓ Válvula de retenção de ar do conjunto travada ou danificada.
 - ✓ Fixações mecânicas soltas.
 - ✓ Vazamento de óleo lubrificante do sistema do compressor.
 - ✓ Queima do motor elétrico.

- ✓ Rolamentos do motor elétrico danificados.
- ✓ Desgaste da correia de acionamento do compressor.
- Sistema de acionamento mecânico de acionamento da eclusa.
 - ✓ Desgaste mecânico de componentes do conjunto do sistema de acionamento mecânico.
 - ✓ Ajustes mecânicos no conjunto que compõe o sistema de abertura e fechamento.
- Pressostato de calibração da pressão do ar do compressor.
 - ✓ Desgaste dos componentes internos.
 - ✓ Conjunto do kit de reparo danificado.
 - ✓ Falha nos ajustes de calibração.
 - ✓ Vazamento de pressão de ar nas conexões.
 - ✓ Desgaste dos contatos elétricos.
- Sistema de acionamento do compressor de ar e da eclusa.
 - ✓ Relés temporizadores com defeito.
 - ✓ Falha nos ajustes de relés de sobrecarga e falta de fase.
 - ✓ Cabos de força e comando rompidos ou com fuga de corrente.
 - ✓ Falha nos ajustes de calibração dos relés temporizadores.
 - ✓ Bobinas de contadores de força ou auxiliares queimadas.
 - ✓ Desgaste dos contatos elétricos de força e comando.
- Sistema de drenagem e purga de ar do conjunto compressor.
 - ✓ Excesso de água no reservatório do compressor.
 - ✓ Problemas de vedação ou limpeza da válvula de drenagem de ar do reservatório do compressor.
- Sistema de distribuição do ar.
 - ✓ Vazamento na tubulação e conexões de distribuição de ar.
 - ✓ Desgastes por fadiga das mangueiras de distribuição de ar.

2.4 Descrição do Sistema Convencional

Como descrito no item 2.3, o Sistema Convencional que utiliza o conjunto eletropneumático possui uma grande quantidade de pontos de possibilidades de geração de defeitos. Muitas vezes os equipamentos estão instalados em locais de difícil acesso, além do fato de que a correção do defeito deve ser executada por pessoas especializadas. Assim sendo, um simples anel “O-ring” de borracha do kit de reparo da válvula solenóide danificado, já é suficiente para causar mau funcionamento no pistão pneumático, e fazer com que todo o processo seja interrompido. O mesmo acontece com uma falha nos componentes do motor elétrico, compressor, pressostato, filtro regulador, pistão pneumático, rede de distribuição de ar, painel de comando da eclusa, etc.

Essa imensa quantidade de pontos de defeitos obriga as empresas a possuírem em seus almoxarifados, um conjunto sobressalente constituído de todas as peças e acessórios que compõem o sistema descrito. Além disso, a empresa se vê obrigada a colocar uma pessoa treinada especialmente para atender estes casos, aumentando o custo operacional da empresa.

Como mencionado no item 2.3, a qualidade do ar comprimido é um item que não pode ser esquecida devido ao fato de que o mesmo deve ter tratamento de forma conveniente. Quando comprimimos o ar atmosférico ele tende a condensar água devido ao aumento de pressão, mas, simultaneamente absorve vapor d'água devido ao aumento de temperatura causado pelo trabalho de compressão. A água condensada deve ser eliminada em determinados períodos de tempo, que variam devido às condições do ambiente de instalação, para que não haja contaminação da linha pneumática e diminuição do desempenho e a vida útil dos equipamentos.

Com o alto índice de defeitos, a empresa vê-se obrigada a realizar altos investimentos em serviços de manutenção para não correrem o risco de terem perdas no recebimento de produto por falhas de equipamentos.

A Figura 2.3 apresenta a disposição de equipamentos e o esquema de ligações do sistema de acionamento da eclusa de descarga do secador utilizando o Sistema Convencional, constituído por compressor, filtro lubrificador de ar e regulador de pressão, válvula solenóide, pistão pneumático.

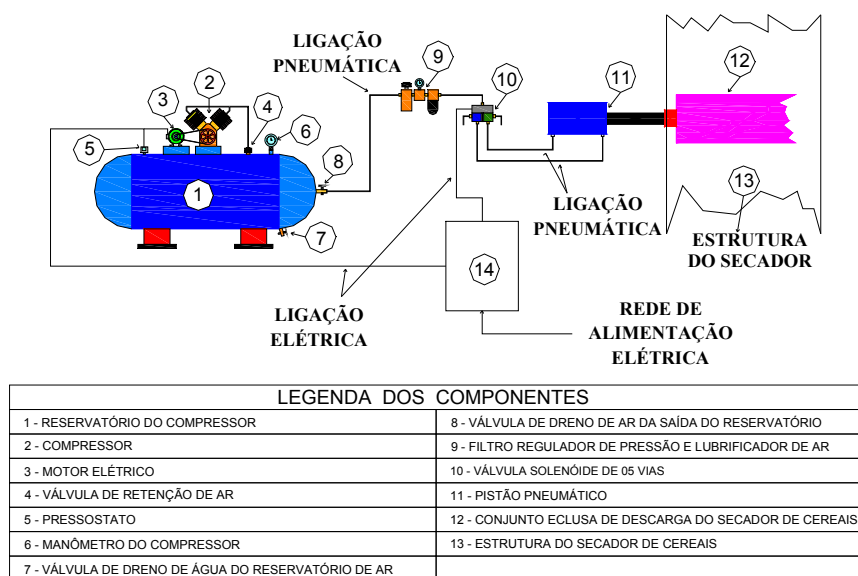


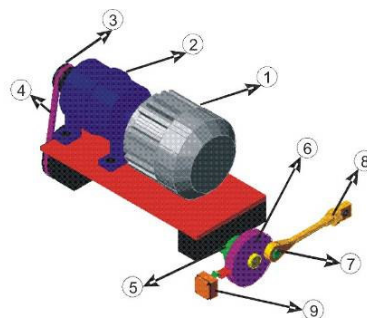
Figura 2.3 - Esquema de funcionamento da eclusa para o Sistema Convencional.

As modificações realizadas no processo, trouxeram em 2003, resultados expressivos de melhoria operacional, diminuindo falhas de equipamentos e paradas de processo, fazendo com que houvesse aumento no poder de recebimento da empresa.

Entretanto, era necessário apresentar alternativas para diminuir os tempos de paradas do processo devido a problemas da eclusa de descarga. Mesmo a intensificação dos trabalhos de manutenção e treinamento operacional, não trouxe uma diminuição significativa nas falhas do sistema pneumático.

Este projeto pesquisa apresenta um estudo para diminuição dos tempos de parada de processo devido a problemas na eclusa de descarga os secadores com melhoria no recebimento e produção, e redução dos custos operacionais, caso o Sistema Convencional de descarga dos secadores 01, 02 e 03, sejam substituídos pelo Sistema Proposto neste trabalho, cujo desenvolvimento está descrito no Capítulo IV.

A Figura 2.4, foi desenvolvida no ano de 2003, pelo Departamento de Manutenção da BAGEL, como uma alternativa experimental para substituir o Sistema Convencional a pistão pneumático.



LEGENDA DOS COMPONENTES	
1	Motor
2	Redutor de velocidade
3	Polia de redução de velocidade
4	Correia da redução de velocidade
5	Eixo transmissor de força
6	Volante de acionamento da eclusa
7	Articulação de transmissão de movimento
8	Braço de acoplamento a eclusa
9	Fim de curso

Figura 2.4 - Alternativa de substituição para o Sistema Convencional.

O sistema de acionamento utilizando um motorreductor, apresentado na Figura 2.4 foi instalado em um secador piloto da BAGEL, em outro local diferente do apresentado neste trabalho e apresentou uma melhora significativa na diminuição dos tempos, em relação ao Sistema Convencional, devido a paradas da eclusa de descarga. Entretanto o mesmo apresenta vários pontos de defeito, principalmente os componentes mecânicos internos do motorreductor e do sistema de redução auxiliar, que podem ser descritos como:

- Vazamento de óleo do redutor por danos aos retentores.
- Danos excessivos aos rolamentos do eixo de saída do redutor.
- Sinais de fadiga no sistema de engrenamento interno do redutor.
- Danos na correia de transmissão do movimento do redutor ao sistema de redução secundária.
- Danos na articulação do volante de transmissão de movimento e o braço mecânico de acoplamento a eclusa.
- Desalinhamento excessivo do braço de acoplamento a eclusa.
- Dificuldade em estabelecer um ponto para instalação e ajuste do fim de curso para ajuste do curso mecânico da eclusa.

CAPÍTULO III

O MOTOR DE INDUÇÃO LINEAR

3.1 O motor de indução linear

O primeiro conceito de um motor linear elétrico tem mais de 150 anos. O primeiro motor linear foi patenteado em 1841 por Wheatstone. O primeiro motor de indução linear, MIL, foi patenteado em 1890. Muitas das patentes que se seguiram foram utilizadas para propulsão na indústria têxtil, isto entre 1895 e 1940. Em 1905 foram propostos dois projetos de tração onde se utilizavam MIL. Em 1923, foi apresentado, em Nova York, um passeio rolante acionado por um MIL, o qual ligava o “Grande Central Terminal” à “Times Square Garden”. Em 1945 a “WestingHouse Company of America” construiu um MIL, o qual foi utilizado para acelerar aviões na sua decolagem. Este aparelho denominado de “Electropult”, Figura 3.1, [Duarte Oliveira, 2000], podia desenvolver uma força de arranque de 75600 N, e tinha a capacidade de acelerar uma massa de cinco toneladas a 185 km/H em apenas 4,2 segundos. Este motor composto por linor longo tinha comprimento de 1600 metros. Para pará-lo, desligava-se o primário da fonte de alimentação trifásica e impunha-se uma desaceleração aplicando frenagem dinâmica, introduzindo-se 10kA de corrente contínua por fase.

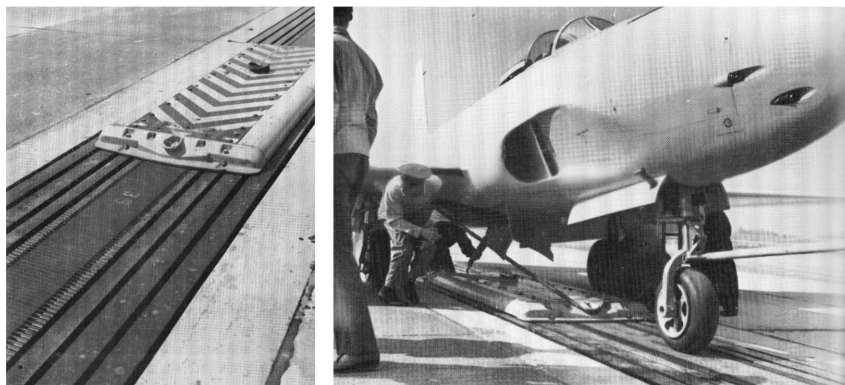


Figura 3.1 - “Electropult” construído pela “WESTINGHOUSE”.

Os progressos na construção de reatores nucleares exigiam bombas eficientes para metais líquidos tais como o sódio, sódio-potássio, etc. Nos finais dos anos 50, foram desenhadas as primeiras bombas de indução para metais líquidos. Já no início dos anos 60, foram construídos vários dispositivos para simulação de colisões de automóveis. Estes dispositivos eram responsáveis pela aceleração do automóvel, executando-se nessa altura testes de colisão à velocidade de 100km/h, [Duarte Oliveira, 2000].

Uma das áreas de maior aplicação do MIL é em sistemas de transporte de alta velocidade, sistemas esses denominados de sistemas de levitação magnética. O Japão tem construído protótipos capazes de atingir velocidades elevadas desde os anos 70, [Duarte Oliveira, 2000].

Estes veículos, são levitados magneticamente e são capazes de atingir velocidades superiores a 500km/h. Num sistema deste tipo, o conjunto linha-veículo constitui motor de indução linear. Os comboios de alta velocidade levitados magneticamente, Figura 3.2, [39], são hoje em dia uma realidade, com veículos desenvolvidos pelo Japão, Alemanha, Canadá, China e vários outros países.



Figura 3.2 - Veículo ferroviário impulsionado pelo MIL em Shangai na China.