

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Miguel Alexandre Vieira Fusco

**SUBSTITUIÇÃO DO SINCRONISMO MECÂNICO POR
SINCRONISMO ELETRÔNICO DAS CORREIAS E ESTEIRAS
DE ENVERNIZADEIRAS E IMPRESSORAS LITOGRÁFICAS
DE FOLHAS METÁLICAS**

**TAUBATÉ – SP
2009**

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Miguel Alexandre Vieira Fusco

**SUBSTITUIÇÃO DO SINCRONISMO MECÂNICO POR
SINCRONISMO ELETRÔNICO DAS CORREIAS E ESTEIRAS
DE ENVERNIZADEIRAS E IMPRESSORAS LITOGRÁFICAS
DE FOLHAS METÁLICAS**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Curso de Pós-
Graduação do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de concentração: Automação Industrial e
Robótica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos
Reis

**TAUBATÉ – SP
2009**

Fusco, Miguel Alexandre Vieira
F993s Substituição do sincronismo mecânico por sincronismo eletrônico das correias e esteiras de envernizadeiras e impressoras litográficas de folhas metálicas. / Miguel Alexandre Vieira Fusco. – Taubaté: Unitau, 2009
100 f. :il;30 cm

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté. Faculdade de Engenharia Mecânica. Curso de Mestrado em Engenharia de Automação.
Orientador: Luiz Octávio Mattos dos Reis

1. Sincronismo. 2. Modernização. 3. Impressora. 4. Transmissão I. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. II. Título.

CDD (21) 765

MIGUEL ALEXANDRE VIEIRA FUSCO

**SUBSTITUIÇÃO DO SINCRONISMO MECÂNICO POR SINCRONISMO
ELETRÔNICO DAS CORREIAS E ESTEIRAS DE ENVERNIZADEIRAS E
IMPRESSORAS LITOGRÁFICAS DE FOLHAS METÁLICAS**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Curso de Pós-
Graduação do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Taubaté.
Área de concentração: Automação Industrial e
Robótica.
Orientador: Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos
Reis

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof.Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis

UNITAU

Assinatura _____

Prof.Dr. Eduardo Hidenori Enari

UNITAU

Assinatura _____

Prof.Dr. Leonardo Mesquita

UNESP

Assinatura _____

Dedico este trabalho a minha esposa e fiel companheira de todos os momentos e aos meus filhos pela compreensão, ajuda, incentivo e motivação nas horas de ausência.

AGRADECIMENTOS

Sou eternamente grato, em primeiro lugar, a DEUS por ter me dado inteligência, sabedoria, saúde e ter me guardado durante toda a minha vida e em mais esta etapa.

Também não poderia deixar de citar pessoas que me incentivaram, apoiaram e acreditaram em mim:

Ao Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis pela orientação e apoio fornecido durante a elaboração deste trabalho.

Aos Engs. Franklin Stávola e Marco Antônio Ventura Martins pelo apoio técnico fornecido.

Aos Srs. Mário Gabriel e Jardel Pires, respectivamente, Diretor Industrial e Gerente Geral da Incoflandres Comércio e Indústria de Flandres, empresa que trabalho, por acreditarem e ajudarem financeiramente nesta jornada e permitirem que fosse tirado fotos e dados do equipamento onde o projeto foi implementado.

Ao Sr. Gilvan Carlos, encarregado do setor de mecânica da Incoflandres, pelo apoio técnico no cálculo dos dados do sistema de transmissão.

RESUMO

Na indústria de impressão há vários segmentos e um destes segmentos é o da impressão em folhas metálicas. Este segmento consiste na preparação das chapas de aço para a indústria de fabricação de latas tanto para uso doméstico, quanto industrial. O beneficiamento do aço tem por base a aplicação de vernizes e tintas que protegem o metal contra a ferrugem e auxilia na decoração e personalização das latas. Este processo é realizado por meio de máquinas apropriadas conhecidas como envernizadeiras e litografias. Basicamente idênticas em sua estrutura, são compostas de um empilhador de entrada, esteiras intermediárias, a máquina propriamente dita, esteiras de entrada e saída da estufa e ainda uma esteira de grampos usados para transportar as folhas de aço dentro da estufa para a secagem dos produtos.

Hoje a maioria das máquinas existentes nesse segmento de mercado é antiga e, muitas vezes, acionadas por apenas um motor elétrico. A variação de velocidade se dá por meio de variadores eletromecânicos e/ou eletromagnéticos cujo processo de sincronismo e posicionamento da folha ao longo da máquina se dá através de sistemas mecânicos de engrenagens, caixas redutoras, correias e transmissões. Geralmente apresentam grandes índices de defeitos, obrigando o seu desligamento para a manutenção e ainda possuem velocidade de produção relativamente baixas, se comparadas com as máquinas mais modernas.

O objetivo do trabalho é sugerir a substituição do conjunto de transmissão mecânica por um sistema totalmente eletrônico através do uso de motores de corrente alternada, inversores de frequência e controlador lógico programável (CLP), de modo que o sistema de sincronismo e posição seja feito por encoders acoplados ao CLP, garantindo o bom funcionamento de toda a máquina. Com o uso deste sistema, o índice de manutenção é reduzido e a velocidade da máquina é aumentada entre 5% e 10%, garantindo uma maior produção.

PALAVRAS CHAVE: Sincronismo, Modernização, Impressora, Transmissão.

ABSTRACT

In the print industry for several segments and a segment of this is on printed sheet metal. This segment is the preparation of steel plates for the manufacture of cans of industry both for domestic use, as industrial. The treatment of steel is based on the application of varnishes and paints that protect the metal against rust and assists in the decoration and customization of the cans. This is done by machine known as appropriate machines coaters and lithographs. Basically identical in its structure, are composed of a truck for entry, intermediate mats, the machine itself, mats in and out of the oven and a wake of staples used to transport the sheets of steel in the oven for drying of products.

Today most of the machines in that market segment is old and often driven only by an electric motor. The variation in velocity occurs through variable electromechanical and / or electromagnetic the process of timing and positioning of the sheet along the machine is done through mechanical systems of gears, reducers boxes, straps and transmission. Usually have large levels of defects present, forcing its shutdown for maintenance and still have relatively low rate of production compared to the more modern machines.

The objective is to suggest the replacement of all mechanical transmission of a fully electronic system through the use of alternating current motors, inverters and frequency of Programmable Logic Controller (PLC) so that the system for timing and position is done by encoders attached to the PLC, ensuring the smooth functioning of the whole machine. Using this system, the rate of maintenance is reduced and the speed of the machine will be increased between 5% and 10%, ensuring greater production.

KEYWORDS: Synchronism, Modernization, Printer, Transmission.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	14
1.1 – As máquinas do processo de impressão em chapas metálicas	15
1.2 – A impressão offset	20
1.3 – Descrição do problema	22
1.4 – Solução proposta	23
1.4.1 – Dificuldades encontradas	23
1.5 – Objetivo do trabalho	24
1.6 – Estrutura do trabalho	24
CAPÍTULO 2 – CONCEITOS BÁSICOS	25
2.1 – Introdução	25
2.1.1 – Sensores de velocidade e posição	25
2.1.2 – <i>Encoder</i>	26
2.1.3 – <i>Resolver</i>	27
2.2 – Controlador lógico programável	30
2.2.1 – Descrição do controlador lógico programável	30
2.2.2 – Funcionamento de um controlador lógico programável	32
2.2.3 – Estrutura interna do CLP	33
2.3 – Redes industriais	36
2.3.1 – Introdução	36
2.3.2 – Sistema em tempo real	36
2.3.3 – Meios de transmissão	36
2.3.4 – O modelo OSI – OPEM SYSTEM INTERCONNECTION	37
2.3.5 – Rede devicenet	40
2.4 – Inversores de frequência	42
2.5 – Sistemas de controle em malha aberta e em malha fechada	45
2.6 – Sistemas mestre escravo	46
CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	53
3.1 – Sistema original de acionamento	55
3.1.1 – Resumo dos cálculos realizados	69
3.2 – Sistema atual de acionamento	72
3.2.1 – Equipamento eletrônico usado	74
3.2.2 – Descrição de funcionamento operacional do novo sistema	76
3.2.3 – Descrição de funcionamento do sistema supervisorio	76
3.2.4 – Descrição de funcionamento do sistema de sincronismo	81
3.2.5 – Descrição básica do programa do CLP	84
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS OBTIDOS	96
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Sistema de alimentação de folhas	16
Figura 2	Mesa de margeação de folhas	17
Figura 3	Conjunto de envernizamento de uma envernizadeira	17
Figura 4	Sistema de saída de folhas	19
Figura 5	Unidade de pintura de uma impressora	19
Figura 6	Vista interna de um encoder	27
Figura 7	Transformador com um enrolamento primário e dois secundários	29
Figura 8	Ligação de um sistema sincro simples	30
Figura 9	Arquitetura interna básica de um CLP	31
Figura 10	Ciclo de varredura do CLP	32
Figura 11	Estrutura interna do CLP	34
Figura 12	Topologias das redes	39
Figura 13	Blocos componentes do inversor de freqüência	42
Figura 14	Diagrama em bloco de um sistema de controle em malha aberta	45
Figura 15	Diagrama em bloco de um sistema de controle em malha fechada	46
Figura 16	Sistema mestre escravo mecânico	47
Figura 17	Sistema mestre escravo de velocidade usando motores de corrente contínua geradores tacômetros	48
Figura 18	Sistema mestre escravo de posição usando motores de corrente e <i>resolvers</i>	49
Figura 19	Sistema mestre escravo de velocidade usando inversores de freqüência e <i>encoders</i>	50
Figura 20	Sistema mestre escravo de velocidade e posição usando inversores de freqüência e <i>encoders</i>	51
Figura 21	Sistema mestre escravo de posição usando inversores de freqüência e <i>encoders</i>	52
Figura 22	Diagrama de transmissão com sincronismo mecânico	55
Figura 23	Conjunto de transmissão de entrada	57
Figura 24	Sistema de transmissão a partir da unidade variadora auxiliar	62
Figura 25	Sistema de acionamento da envernizadeira a partir da unidade variadora auxiliar	64
Figura 26	Sistema de acionamento da mesa de saída da impressora e entrada da envernizadeira a partir da unidade variadora auxiliar	65
Figura 27	Sistema de acionamento da mesa de saída da envernizadeira e mesa de entrada da estufa a partir da unidade variadora auxiliar	66
Figura 28	Sistema de acionamento da esteira de grampos da estufa a partir da unidade variadora auxiliar	68
Figura 29	Sistema de transmissão após os cálculos para adaptação dos motores	70
Figura 30	Sistema de transmissão com os novos motores adaptados	71
Figura 31	Sistema de transmissão com os novos motores adaptados com os inversores de freqüência	73
Figura 32	Sistema de transmissão atual com todos os componentes	74
Figura 33	Tela principal da IHM do operador	77
Figura 34	Tela de operação principal da máquina	77
Figura 35	Tela de operação dos motores de entrada	79
Figura 36	Tela de <i>setup</i> da máquina	80
Figura 37	Tela de operação de seleção das impressoras	81

Figura 38	Início da sub-rotina principal	85
Figura 39	Início da sub-rotina do alimentador	86
Figura 40	Início da sub-rotina da impressora	87
Figura 41	Início da sub-rotina da envernizadeira	88
Figura 42	Início da sub-rotina de controle de velocidade da esteira de grampos	89
Figura 43	Início da sub-rotina do controle de sincronismo	90
Figura 44	Início da sub-rotina de controle de temperatura da estufa	91
Figura 45	Início da sub-rotina de controle das interrupções do programa	92
Figura 46	Início da sub-rotina de controle e gerenciamento das falhas	93
Figura 47	Início da sub-rotina de controle e gerenciamento da sinalização	94
Figura 48	Início da sub-rotina de controle e gerenciamento das ventosas	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estrutura do sistema OSI.....	37
Tabela 2	Tabela de distância de cabo x velocidade da rede.....	42
Tabela 3	Índice das principais paradas da impressora HOE.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Corrente alternada
CLP	Controlador lógico programável.
CPU	<i>Central Processor Unit.</i>
CV	Cavalo vapor
f	Frequência
FPH	Folhas por hora
i	Relação de transmissão entre duas engrenagens
IGBTs	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>
IHM	Interface homem máquina.
n	Velocidade em rotações por minuto.
P	Potência.
PWM	<i>Pulse With Modulation.</i>
T	Torque.
VCC	Tensão contínua.
ω	Velocidade angular em radianos por segundo.
Z	Número de dentes de engrenagem
FPM	Folhas por minuto

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O setor industrial de artes gráficas, principalmente o ramo da impressão em chapas metálicas, ainda possui, hoje em dia, apesar de toda a tecnologia existente, muitas máquinas antigas, basicamente mecânicas acionadas geralmente por apenas um motor elétrico. Se comparadas com as máquinas modernas existentes, o nível de produção é baixo, o índice de problemas alto e o custo da manutenção bastante alto por causa de muitos conjuntos de transmissões mecânicas muito antigas e muitas vezes sem peças de reposição, sendo necessário a confecção dessas peças para a manutenção destes equipamentos.

As máquinas deste setor da indústria são chamadas de impressoras litográficas e envernizadeiras. A impressão em chapas metálicas é processo realizado para a preparação da folha de flandres para a confecção de embalagens metálicas, as conhecidas latas. As latas são usadas em todos os setores, tanto residenciais, industriais e comerciais. Para cada aplicação existe um modelo apropriado. O fato comum na confecção da lata é o processo de fabricação.

A fabricação de uma embalagem metálica é realizada através das etapas de produção mostradas a seguir:

- Fabricação da bobina de flandres na usina siderúrgica;
- Corte da bobina de flandres em folhas de tamanho específico de acordo com a lata a ser confeccionada. Este corte é feito em máquinas conhecidas como linhas de corte de folhas metálicas;
- Preparação da folha cortada para a confecção da embalagem;
- Montagem da embalagem através de máquinas apropriadas para esta etapa conhecidas como prensas ou estampadeiras de latas.

Devido a facilidade do aço ser afetado pela ferrugem, torna-se necessário proteger as embalagens metálicas a fim de que ela tenha um contato com o meio o qual está sendo utilizada.

Esta proteção é feita por meio da aplicação de vernizes aplicados internamente e externamente nas embalagens metálicas. Na fase de preparação da folha cortada os vernizes protegem e isolam a superfície metálica a fim de evitar a interação da superfície com o meio que está exposta, ou seja, o produto acondicionado e o meio ambiente. A aplicação dos vernizes é feito por máquinas chamadas de envernizadeiras.

Após a aplicação dos vernizes, pode ser aplicadas nas folhas, no lado externo da embalagem, tintas para a pintura de estampas e desenhos de acordo com o produto. As máquinas que aplicam as tintas são chamadas de impressoras. Após a aplicação desta pintura um verniz é aplicado para proteção e brilho da tinta, além de facilitar o funcionamento da ferramenta de estampagem.

1.1 – As máquinas do processo de impressão em chapas metálicas

As máquinas usadas no processo de impressão são chamadas de envernizadeiras e impressoras litográficas.

A estrutura de uma envernizadeira é formada por:

- Sistema de alimentação de folhas;
- Mesa de margeação;
- A máquina de envernizar;
- O sistema de secagem;
- O sistema de saída.

O sistema de alimentação de folhas consiste do empilhador de entrada, conhecido como margeador de entrada, e uma estrutura onde são colocadas cilindros com ventosas de sucção e os roletes de alimentação de folhas. No empilhador é colocado o fardo, pacote, com as folhas cortadas. O sistema de alimentação de folhas também possui uma bomba geradora de vácuo e compressores de ar. Possui também sensores para controlar a altura do empilhador e o funcionamento das ventosas de sucção.

A figura 1 mostra o sistema de alimentação de folhas de uma envernizadeira.

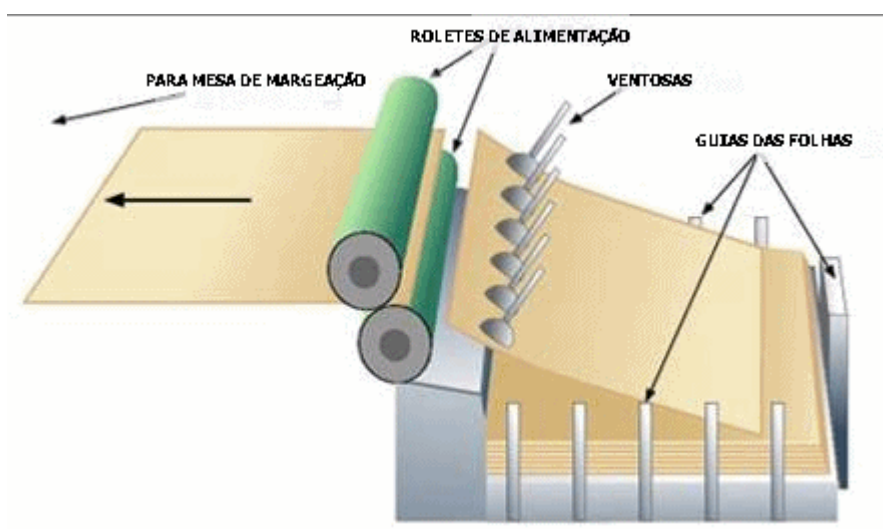


Figura 1 – Sistema de alimentação de folhas (cortesia sítio www.fineprintschool.com)

Durante o funcionamento normal da máquina, as folhas são retiradas do pacote colocado no empilhador através do vácuo gerado nas ventosas pela bomba de vácuo. A função do compressor de ar é gerar ar para auxiliar as ventosas no momento da saída da folha do fardo. O ar, gerado pelos compressores de ar, auxilia o desfolhamento das folhas no pacote. À medida que as folhas vão sendo retiradas do fardo, o empilhador vai subindo para manter altura do fardo sempre a mesma em relação às ventosas.

As folhas são retiradas do fardo e encaminhadas para a mesa de margeação, que é composta de guias, cuja função é centrar as folhas para a entrada correta na envernizadeira. A mesa de margeação também possui esteiras para fazer o transporte das folhas do empilhador até a envernizadeira.

A figura 2 mostra a mesa de margeação de uma envernizadeira.



Figura 2 – Mesa de margeação de folhas (cortesia sítio www.fernandocaparroz.kit.net)

Após as folhas passarem pela mesa de margeação, elas chegam à envernizadeira para receberem o verniz apropriado.

A figura 3 mostra o sistema de uma envernizadeira.

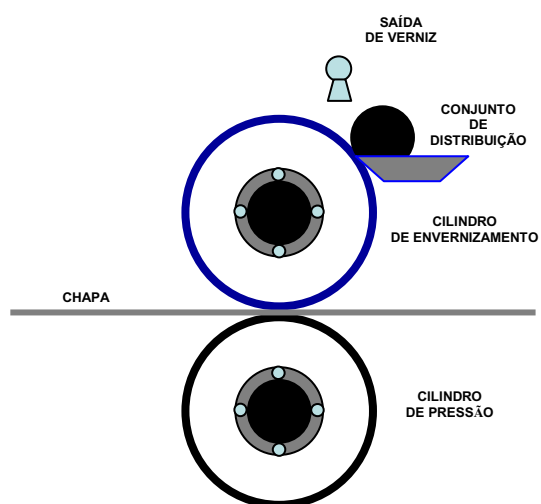


Figura 3 – Conjunto de envernizamento de uma envernizadeira

No funcionamento normal da máquina, uma bomba de acionamento mecânico acoplada ao eixo da envernizadeira transporta o verniz do reservatório, colocado ao lado da máquina até o ponto de saída do verniz para abastecer o conjunto de distribuição localizado sobre o cilindro de envernizamento. Este cilindro de envernizamento possui corpo de aço revestido com uma borracha apropriada para este tipo de trabalho. Este cilindro fica sob pressão do cilindro de contra pressão e a folha metálica passa entre os dois ocasionando a deposição do verniz sobre a mesma.

Após passar pela unidade de envernizamento a folha é encaminhada para o sistema de secagem.

O sistema de secagem, conhecido como estufa de secagem, é a parte da máquina responsável pela secagem dos produtos (vernizes e tintas). Consiste de um túnel fechado, onde na parte superior externa está localizado as unidades de queimadores para gerar o calor necessário para a secagem dos produtos usados. No interior da estufa está o sistema de transporte, que é uma esteira com suportes (conhecida como esteira de grampos), onde as folhas são depositadas para serem transportadas para realizar o processo de secagem. Após as folhas saírem da estufa as mesmas são encaminhadas para a área de saída da máquina.

A área de saída é composta de um ou mais empilhador onde são depositadas as folhas processadas. Neste empilhador existem guias para deixar as folhas alinhadas na pilha. Entre o empilhador de saída e a estufa existem esteiras intermediárias para o transporte das folhas.

A figura 4 mostra uma unidade de saída.

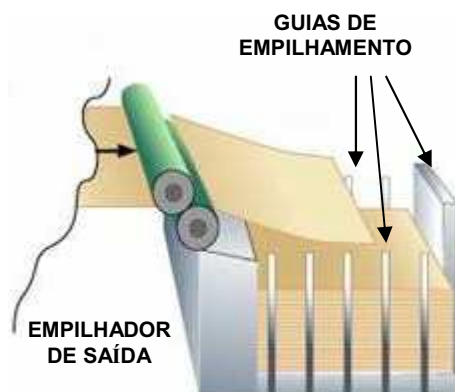


Figura 4 – Sistema de saída das folhas (cortesia sítio www.fineprintschool.com)

A impressora, responsável pela colocação das tintas, é de construção semelhante às envernizadeiras. A diferença entre ambas é que no lugar da unidade de envernizamento, a impressora possui uma unidade de pintura. Algumas impressoras possuem também uma unidade de envernizamento após a unidade de pintura

A figura 5 mostra uma unidade de pintura de uma impressora.

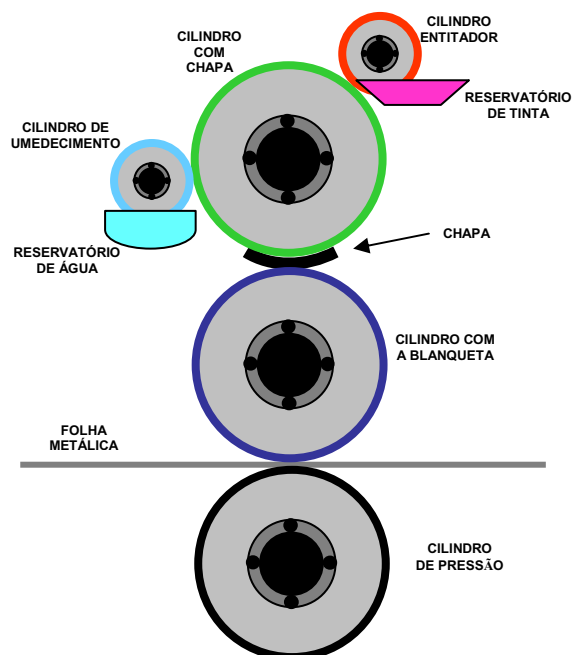


Figura 5 – Unidade de pintura de uma impressora (cortesia sítio www.fernandocaparroz.kit.net)

O conjunto de impressão funciona com a folha metálica passando entre o cilindro de pressão e o cilindro com a blanqueta. No momento que a folha metálica é posicionada entre os dois cilindros, o cilindro de pressão é encostado na parte inferior da folha metálica. O cilindro com chapa possui a chapa com a impressão a ser feita. Este cilindro está em contato com o cilindro de umedecimento de água e o cilindro entintador que está em contato com o reservatório de tinta.

A água é usada para isolar as áreas onde não é necessário que a tinta seja aderida para a impressão.

O cilindro com a chapa transfere a imagem para o cilindro com a blanqueta que imprime a imagem na chapa.

Quando não há folha metálica passando entre o cilindro de pressão e o cilindro com a blanqueta, o cilindro de pressão está desencostado do cilindro com a blanqueta.

O processo de impressão usado nas folhas metálicas é conhecido como *offset*.

1.2 – A impressão *offset*

A Impressão *Offset* originou-se da evolução do sistema de impressão Litográfica, que foi "inventada" por Alois Senefelder no ano de 1798, na cidade de Munique na Alemanha (<http://www.associatedcontent.com/article/18575>).

A expressão "*offset*" vem de "*offset lithography*" (literalmente, litografia fora do lugar), fazendo menção à impressão indireta (na litografia, a impressão era direta, com o papel tendo contato direto com a matriz).

Em 1905, o americano Ira Rubel descobriu acidentalmente o processo *offset*, isto é, a impressão baseada no mesmo princípio da litografia, porém utilizando em

substituição da pedra, as chapas de zinco e alumínio. A partir da popularização do processo *offset*, a litografia passou a ser utilizada apenas como meio de expressão artística (<http://offset-printing-machine.com/history-offset-printing.html>).

O *offset* é um dos processos de impressão mais utilizados desde a segunda metade do século XX. Ele garante boa qualidade para médias e grandes tiragens, além de imprimir em praticamente todos os tipos de papéis além de alguns tipos de plástico (especialmente o poliestireno). O *offset* faz uma impressão indireta: a matriz (um cilindro com uma chapa metálica que possui a imagem a ser gravada) passa por um rolo de tinta, que por sua vez "gruda" na imagem da chapa e em seguida a matriz transfere a imagem para um outro cilindro coberto com borracha (a blanqueta) que por sua vez imprime no papel. Ou seja, a matriz imprime na blanqueta que imprime no papel ou na chapa metálica.

O *offset* é ideal para grandes quantidades de impressos, pois o papel corre pela máquina, e precisa de nenhuma intervenção humana enquanto o processo é feito. Mas não pense que o humano não tem utilidade nessa hora. Pelo contrário, a máquina precisa de vários ajustes durante a impressão, seja na quantidade de tinta e água, ou seja, na hora em que um impresso for ter mais de uma cor.

E como um impresso por *offset* pode ter mais de uma cor, se no cilindro apenas vai uma?. Isso é simples: como os impressos são geralmente feitos com o sistema CMYK (ou "Europa") de cores, cada cor é impresso separadamente. Utilizando-se das retículas, todas as cores são impressas separadamente e mais tarde nossos olhos é que vão ver a cor planejada.

As impressoras do segmento de metal grafia são equipamentos semelhantes ao da indústria gráfica. O funcionamento é basicamente o mesmo, sendo que são

preparadas para trabalharem com folhas metálicas. Os modelos de impressoras mais usadas são as impressoras *offset* planas.

1.3 – Descrição do problema

Para um perfeito resultado no processo da fabricação da embalagem metálica, a máquina, tanto a envernizadeira quanto a impressora, tem que trabalhar em perfeito sincronismo de velocidade e posicionamento da folha durante todo o percurso da mesma pelo equipamento. Isto é essencial porque a folha tem o momento certo para passar em pontos determinados do equipamento para a execução perfeita do trabalho a ser realizado.

Nas máquinas antigas este sincronismo de velocidade e posicionamento era conseguido através de relações mecânicas realizadas por engrenagens, polias, correias, correntes e caixas redutoras. Ao longo dos anos de trabalho os desgastes destes conjuntos, devido às folgas surgidas, tornam as máquinas menos produtivas e com altos índices de manutenção. Outro ponto que também é muito problemático é o comprimento de alguns eixos, que são muito compridos gerando torções que ocasionam a quebra ou empeno. Em certos casos torna-se necessário a confecção de peças de reposição. O custo de manutenção torna-se tão caro que em alguns casos fica mais viável substituir a máquina.

O barulho também possui um índice bem alto. A velocidade destas máquinas também é limitada e relativamente mais baixa quando comparada com as máquinas novas de mesmo porte.

Estes equipamentos antigos são acionados na maioria das vezes por apenas um motor. A variação de velocidade é feita por variadores mecânicos. Em outros modelos existe um variador eletromagnético acoplado ao motor principal para a

variação de velocidade. Como está tudo mecanicamente interligado, se necessário mudar a velocidade ou posição de uma determinada esteira da máquina, torna-se necessário interromper a produção e reposicionar novamente a máquina. Isto, geralmente, é feito várias vezes até se achar o valor correto.

1.4 – Solução proposta

Substituir o sistema de transmissão mecânico e variação de velocidade por acionamento eletrônico de velocidade, conhecido como mestre escravo ou sincronismo eletrônico, composto de motores acoplados diretamente nos eixos ou nas transmissões das esteiras, inversores de frequência, *encoders* e CLPs, com o objetivo de reduzir os índices de paradas, o tempo de substituição de componentes e um aumento de velocidade.

Para a realização desta mudança é necessário conhecer a velocidade e torque de cada ponto de transmissão, bem como ajustar a relação de sincronismo que já estava calculada no sistema antigo.

1.4.1 – Dificuldades encontradas

A maior dificuldade encontrada neste tipo de projeto é a falta de informações sobre o equipamento, sendo necessário fazer todo o levantamento das relações de transmissões. Além deste, as relações das transmissões mecânicas geralmente não são resultados de valores inteiros, em certos casos geram valores fracionários. Estes valores não inteiros geram dificuldades para elaboração do programa usando CLP, quando se usa *encoders* como dispositivo de realimentação de velocidade e posição.

1.5 – Objetivo do trabalho

O objetivo deste trabalho é mostrar como calcular, no processo de substituição de transmissão mecânica por transmissão eletrônica, a velocidade das esteiras, bem como o torque necessário para o perfeito funcionamento da máquina.

1.6 – Estrutura do trabalho

O capítulo um descreve a origem do processo litográfico, a origem das embalagens metálicas e o funcionamento básico de uma máquina litográfica. Apresenta também a descrição do problema, a solução proposta e o objetivo do trabalho, além da estrutura do trabalho.

O capítulo 2 apresenta os conceitos básicos dos dispositivos eletrônicos usados no projeto, bem como o conceito do tipo de controle utilizado.

O capítulo 3 mostra o desenvolvimento do projeto, informando como realizar os cálculos para substituição. Apresenta também a arquitetura antiga e a arquitetura atual.

O capítulo quatro informa os resultados obtidos com a implantação do projeto.

O capítulo 5 mostra a conclusão do trabalho.

CAPÍTULO 2 – CONCEITOS BÁSICOS

2.1 – Introdução

Este capítulo apresenta os principais componentes eletrônicos usados na modificação. Estes componentes são:

- *Encoders* – responsáveis pela realimentação de velocidade e posição. No caso específico da modificação foram usados como realimentação de posição. (SENSORES INDUSTRIAIS – 2007).
- Inversores de frequência – responsáveis pelo controle de velocidade dos motores de corrente alternada acoplados nas esteiras. (INVERSORES DE FREQUÊNCIA – 2008).
- CLP (Controlador Lógico Programável) – responsável pela parte de processamento e lógica de funcionamento da máquina. (SOUZA, MICHELE BAZANA – 2007 – UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ).

2.1.1 – Sensores de velocidade e posição

Estes sensores são dedicados à medição de velocidade, aceleração e/ou posicionamento nos movimentos de máquinas e equipamentos. Podendo ser lineares ou rotativos.

Os lineares, também conhecidos como régua digital, são instalados diretamente no local onde se realiza o movimento e fornecem medidas de posicionamento direto e instantâneo do mesmo.

Os rotativos são acoplados diretamente ao eixo de motores ou ao eixo da carga para medir a posição e / ou velocidade do eixo. O sensor rotativo mais usado é o *encoder*

2.1.2 – *Encoder*

Os *encoders* são transdutores de movimento capazes de converter movimentos lineares ou angulares em informações elétricas que podem ser transformadas em informações binárias e trabalhadas por um programa que converta as informações passadas em algo que possa ser entendido como distância, velocidade. (<http://www.ebah.com.br/encoders-pdf-a7828.html#>)

Em outras palavras, o *encoder* é uma unidade de realimentação que informa sobre posições atuais de forma que possam ser comparadas com posições desejadas e seus movimentos sejam planejados.

Os *encoders* possuem internamente um ou mais discos (máscaras) perfurados, que permitem, ou não, a passagem de um feixe de luz infravermelha, gerado por um emissor que se encontra de um dos lados do disco e captado por um receptor que se encontra do outro lado do disco, este, com o apoio de um circuito eletrônico gera um pulso. Dessa forma a velocidade ou posicionamento é registrado contando-se o número de pulsos gerados.

A quantidade de pulsos em uma volta, nos *encoders* rotativos, demonstra a relação impulso/volta do mesmo. Quanto maior for esta relação maior a precisão obtida. Por exemplo, um *encoder* que gera 50 pulsos por volta teria a seguinte relação angular: $360^\circ/50 \text{ pulsos} = 1 \text{ pulso a cada } 7,2^\circ$.

Pode-se determinar o sentido da rotação utilizando duas fileiras de furos uma defasada em 90° em relação à outra, sendo assim em um sentido a fileira mais próxima do centro estará adiantada em relação à outra e no sentido inverso ocorre também o inverso.

O *encoder* pode ser incremental ou absoluto.

O *encoder* incremental é um disco geralmente de cristal com marcações em torno de sua circunferência espaçadas igualmente, uma fonte de luz e um conjunto de receptores. A cada instante em que a luz é interrompida pela rotação do disco, um pulso é enviado ao controle.

O *encoder* incremental possui uma marca de referência que gera um pulso indicando que uma volta foi completada.

O *encoder* absoluto possui marcações específicas, garantindo a posição ao parar de girar.

A figura 6 mostra a constituição física do *encoder*.

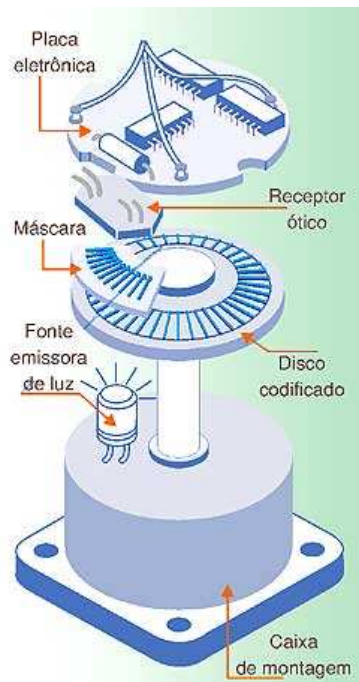


Figura 6 – Vista interna do encoder (cortesia sítio <http://www.ebah.com.br/encoders-pdf-a7828.html#>)

2.1.3 – Resolver

O resolver é também conhecido como sincro. O termo sincro é uma abreviatura da palavra síncrona, e é o nome dado a uma variedade de dispositivos rotativos, eletromecânicos e de posicionamento sensorial. Os sincros são projetados

para prover uma medida física de posição de um eixo, como resultado de uma entrada elétrica, ou, reciprocamente, prover uma saída elétrica que é uma função da posição de seu eixo. São largamente usados em aplicações militares ou em aplicações que exigem dispositivos robustos.

Um sincro assemelha-se a um pequeno motor elétrico em tamanho e aparência, mas opera como um transformador variável. Cada sincro contém um rotor semelhante em aparência a um induzido e um estator que corresponde ao campo em um motor. O sincro é normalmente composto de um estator de enrolamento triplo, ligado em Y, colocado em um cilindro com proteção metálica, e um rotor com um enrolamento. O rotor é montado dentro do estator e pode girar dentro dos enrolamentos do estator. Quando o enrolamento único do rotor é girado, o valor do acoplamento nos três enrolamentos do estator é variado, produzindo-se uma tensão de saída variável, que representa a quantidade e o sentido de deslocamento do rotor em relação ao estator.

As duas classificações gerais de sincros são: torque e controle. Os sincros de torque são usados em cargas leves, tais como indicadores de posição, ponteiros e outros indicadores. Um transmissor de torque (TX) e um receptor de torque (TR) formam um sistema simples de torque. O TX e o TR são eletricamente idênticos, entretanto, diferem ligeiramente em seu aspecto. O TR possui um amortecedor inercial montado em seu eixo para reduzir oscilações.

Sincros de controle são usados em servo sistema que posicionam cargas muito pesadas. Um transmissor de controle (CX) e um transformador de controle (CT) formam um sistema sincro de controle. O CX é idêntico ao TX, porém produz menos torque e tem maior precisão. O CT fornece um sinal elétrico de saída de seu rotor que corresponde à posição do eixo do CX ao qual é ligado.

O princípio de funcionamento de um síncro convencional é um transformador com um enrolamento primário rotativo e três enrolamentos secundários espaçados entre si de 120° , como mostra a figura 7.

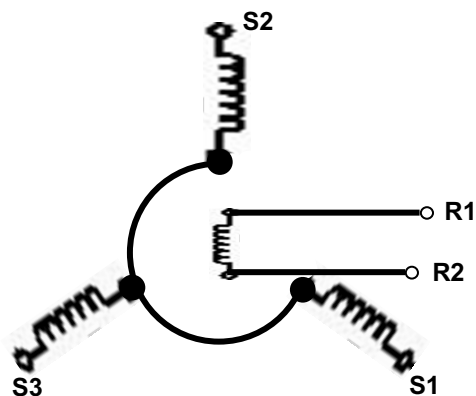


Figura 7 – Transformador com um enrolamento primário e dois secundários

O deslocamento angular do rotor da sua posição de referência varia a tensão induzida em cada enrolamento do estator de um valor igual ao co-seno do ângulo de deslocamento. Em outras palavras, quando a posição do rotor é mudada em relação a seu estator, a tensão induzida em cada enrolamento do estator varia em função do deslocamento angular do rotor em relação ao estator.

Se a posição do rotor for paralela a um dos enrolamentos do estator, uma máxima tensão será induzida naquele enrolamento. As tensões induzidas nos outros dois enrolamentos de são, nesse caso, iguais, porque seus ângulos de defasagem são iguais.

Um sistema de transmissão síncro simples consiste de um transmissor ligado a um receptor, como mostrado na figura 8. Nesta figura, conforme pode ser visto, são mostradas as ligações e o princípio de funcionamento.

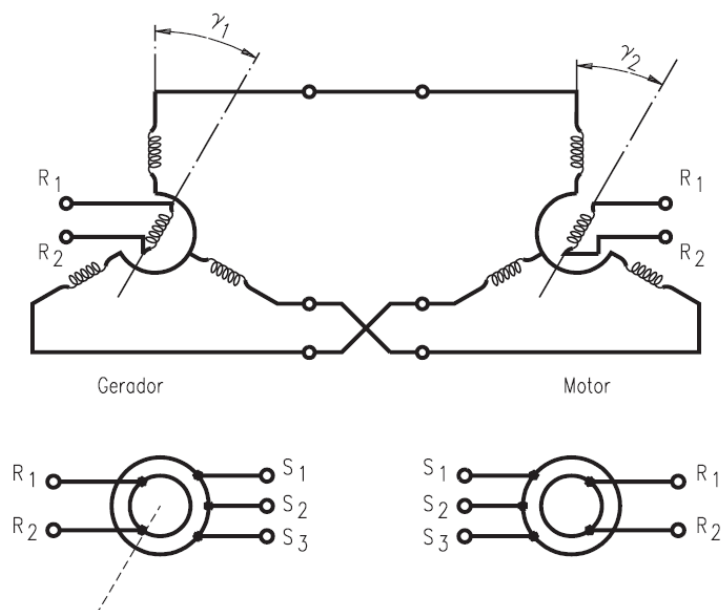


Figura 8 – Ligação de um sistema síncro simples

2.2 – Controlador lógico programável (SOUZA, MICHELE BAZANA – 2007 – UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ).

O Controlador Lógico Programável (C.L.P.) nasceu praticamente dentro da indústria automobilística americana, especificamente na Hydronic Division da General Motors, em 1968, devido a grande dificuldade de mudar a lógica de controle de painéis de comando a cada mudança na linha de montagem. Tais mudanças implicavam em altos gastos de tempo e dinheiro.

Desde o seu aparecimento, até hoje, muita coisa evoluiu nos controladores lógicos, como a variedade de tipos de entradas e saídas, o aumento da velocidade de processamento, a inclusão de blocos lógicos complexos para tratamento das entradas e saídas e principalmente o modo de programação e a interface com o usuário.

2.2.1 – Descrição do controlador lógico programável

Equipamento eletrônico, equipado com micro controlador, que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para

implementações específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos.

A figura 9 mostra a arquitetura interna básica deste controlador.

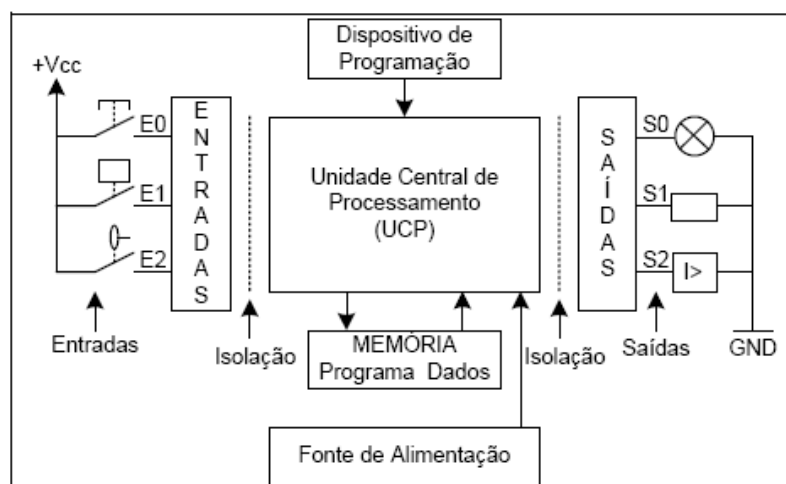


Figura 9 – Arquitetura interna básica de um CLP

Os circuitos de entrada formam a interface por onde os dispositivos enviam informações de campo para o C.L.P. Essas informações podem ser de origem digital ou analógica, sendo que são tipicamente provenientes de elementos instalados em plantas automatizadas que possuem sensores, botões, pressostatos, chave fim de curso, etc.

Os dispositivos de saída, tais como solenóides, relés, contadores, válvulas, luzes indicadoras e alarmes são frequentemente conectados aos circuitos de saída do C.L.P. As informações de saída, de maneira similar à entrada, podem ser digitais ou analógicas.

As saídas e entradas desses controladores são geralmente isoladas das plantas automatizadas por meio de isoladores galvânicos, como os acopladores ópticos e relés.

Também possuem dispositivos de entrada e saída para aplicações especiais, transdutores de velocidade e posicionamento, saídas PWM (Pulse With Modulation), dentre outras interfaces.

2.2.2 – Funcionamento de um controlador lógico programável

Quando inicializado o CLP executa uma série de operações pré - programadas, gravadas em seu Programa Monitor:

A figura 10 mostra o ciclo de varredura do CLP

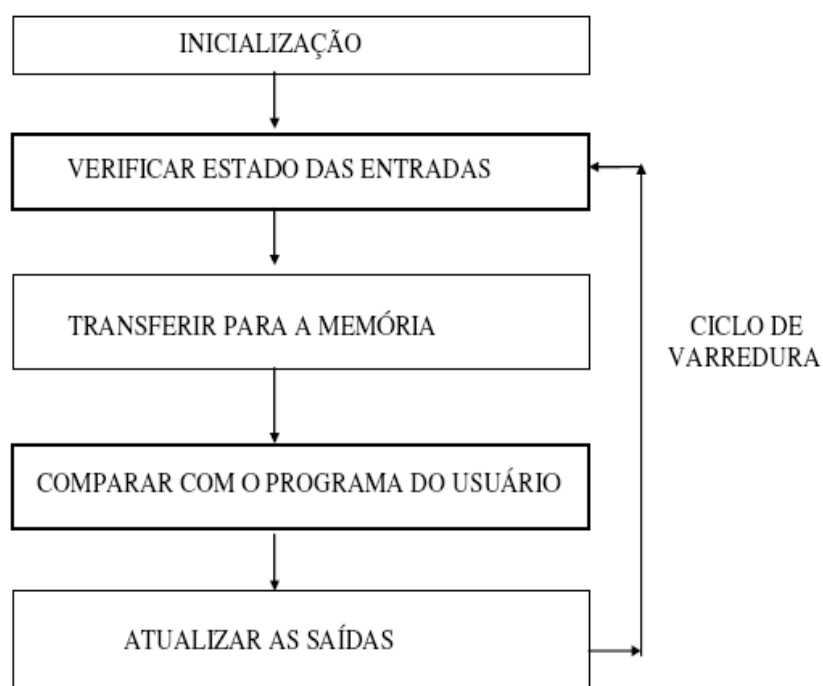


Figura 10 – Ciclo de varredura do CLP

A descrição dos elementos do ciclo de varredura mostrado na figura 10 é descrita a seguir:

- **Inicialização:** no momento em que é ligado o CLP executa uma série de operações pré - programadas, gravadas em seu Programa Monitor.

- **Verificar estado das entradas:** o CLP lê os estados de cada uma das entradas, verificando se alguma foi acionada. O processo de leitura recebe o nome

de Ciclo de Varredura (Scan) e normalmente é de alguns micro - segundos (scan time).

- **Transferir para a memória:** após o Ciclo de Varredura, o CLP armazena os resultados obtidos em uma região de memória chamada de Memória Imagem das Entradas e Saídas. Ela recebe esse nome por ser um espelho do estado das entradas e saídas. Esta memória será consultada pelo CLP no decorrer do processamento do programa do usuário.

- **Comparar com o programa do usuário:** o CLP ao executar o programa do usuário, após consultar a Memória Imagem das Entradas, atualiza o estado da Memória Imagem das Saídas, de acordo com as instruções definidas pelo usuário em seu programa.

- **Atualizar o estado das saídas:** o CLP escreve o valor contido na Memória das Saídas, atualizando as interfaces ou módulos de saída. Inicia-se então, um novo ciclo de varredura.

2.2.3 – Estrutura interna do CLP

O C.L.P. é um sistema micro processado, ou seja, constitui-se de um microprocessador (ou micro controlador), um Programa Monitor, uma Memória de Programa, uma Memória de Dados, uma ou mais Interfaces de Entrada, uma ou mais Interfaces de Saída e Circuitos Auxiliares.

A figura 11 mostra o esquema da estrutura interna do CLP.

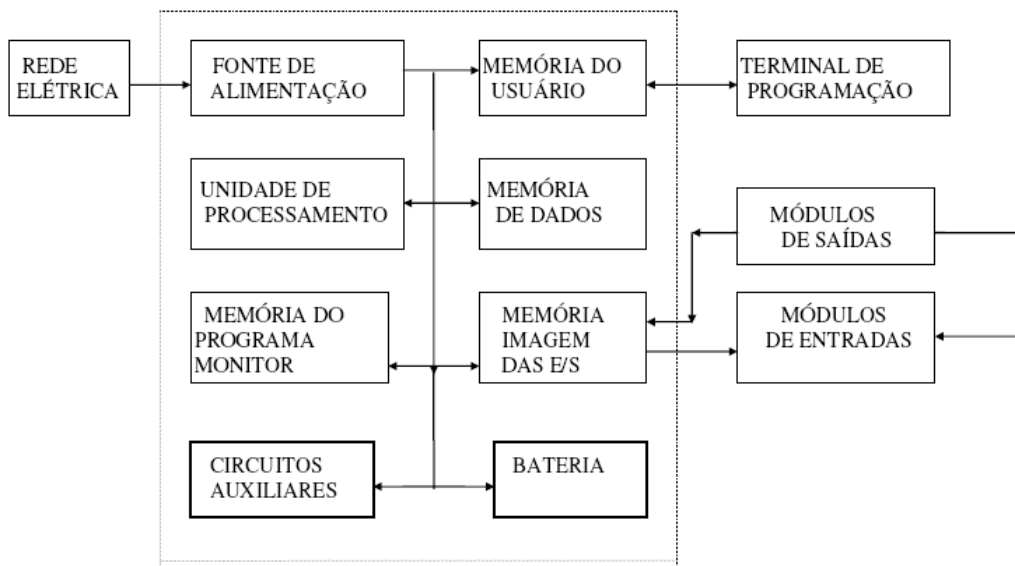


Figura 11 – Estrutura interna do CLP

Os módulos de entrada são basicamente de dois tipos, os de entrada digital e os de entrada analógica.

Os de entrada de digital são as que possuem apenas dois estados possíveis: ligado ou desligado. Alguns dos dispositivos que podem ser ligados nesse tipo de entrada são: chaves fim de curso, botoeiras, pressostatos, termostato, sensores de proximidade indutivos e capacitivos.

Eletricamente podem ser operadas por corrente contínua ou corrente alternada. Para evitar danos nas entradas do CLP geralmente são usados optoacopladores para isolação galvânica.

Os de entrada analógica permitem que o CLP possa manipular grandezas analógicas, enviadas normalmente por sensores eletrônicos. As grandezas analógicas são normalmente tensão e corrente.

Uma atenção que deve ser observada em relação às entradas analógicas é a sua resolução. Esta é normalmente medida em bits. Uma entrada analógica com um maior número de bits permite uma melhor representação da grandeza analógica.

Estas entradas são usadas por dispositivos que trabalham com grandezas analógicas, tais como: sensores de pressão, sensores de pressão mecânica (*strain gauges*).

Existem módulos especiais de entrada com funções bastante especializadas. Alguns exemplos são: módulos contadores de fase única, módulos contadores de dupla fase, módulos para *encoder* incremental e absoluto, módulos para termopares, módulos para termo resistências, módulos para sensores de ponte balanceada do tipo *strain-gauges*.

Os módulos ou interfaces de saída adequam eletricamente os sinais vindos do microprocessador para que possamos atuar nos circuitos controlados. Existem dois tipos básicos de interfaces de saída: as digitais e as analógicas.

As saídas digitais admitem apenas dois estados: ligado e desligado. Podemos com elas controlar dispositivos do tipo: relés, contadores, relés de estado sólido, solenóides, válvulas.

As saídas digitais podem ser construídas de três formas básicas: saída digital a relê, saída digital 24 VCC e saída digital à triac. Nos três casos, também é de praxe, prover o circuito de um isolamento galvânico, normalmente opto - acoplado. Os módulos ou interfaces de saída analógica convertem valores numéricos, em sinais de saída em tensão ou corrente. No caso de tensão normalmente 0 a 10 VCC ou 0 a 5 VCC, e no caso de corrente de 0 a 20 mA ou 4 à 20 mA. Estes sinais são utilizados para controlar dispositivos atuadores do tipo: válvulas proporcionais, motores C.C., servo-motor C.C., inversores de frequência, posicionadores rotativos.

Existem também módulos de saída especiais. Alguns exemplos são: módulos P.W.M. para controle de motores C.C., módulos para controle de servo-motores,

módulos para controle de motores de passo (*Step Motor*), módulos para I.H.M. (Interface Homem Máquina).

2.3 – Redes Industriais

2.3.1 – Introdução

Uma rede faz a comunicação entre um determinado número de estações de forma que possam trocar informações entre si. (LOPES, 2000)

A rede industrial entre outras coisas transmite informações para o controle de um processo. Suas características podem ser determinadas em função do gerenciamento do fluxo de informações dentro do sistema.

2.3.2 – Sistema em tempo real

Um sistema em tempo real executa as tarefas em sincronismo com o tempo presente. Estas podem consistir de aquisição de dados, cálculos do controle do processo e controle de unidades.

2.3.3 – Meios de transmissão

Meio de transmissão é o caminho físico pelo qual os sinais e as ondas eletromagnéticas se propagam. Atualmente os meios de transmissão mais utilizados na rede industrial são: o cabo de pares trançados e o cabo de fibra ótica.

A capacidade de um meio de transmissão é normalmente denominada de banda passante. Banda passante é a faixa de frequências de ciclo, medida em Hertz (Hz) ou ciclos por segundo.

A atenuação é o enfraquecimento ou distorção das ondas eletromagnéticas durante uma transmissão. A medida que uma onda se propaga por um meio, parte de sua energia é absorvida ou dispersada pelas propriedades físicas do meio.

A interferência eletromagnética (EMI) ocorre quando ondas eletromagnéticas indesejáveis afetam o sinal desejado.

2.3.4 – O modelo OSI – OPEN SYSTEM INTERCONNECTION

Dentro de uma rede, a comunicação entre controladores e estações é possível pela utilização de um protocolo, que são regras de comunicação.

No intuito de uniformizar e universalizar os padrões e modelos adotados pelos protocolos de rede, foi desenvolvido o modelo OSI. Um modelo é um padrão que organiza os conceitos gerais ou fornece diretriz como uma descrição facilmente compreendida. No caso de redes, o modelo descreve os serviços necessários para mover os dados de um lugar para outro.

Na tabela 1 é apresentado o modelo de referência do OSI. Este modelo é formado por sete camadas.

Camada 7	Aplicação
Camada 6	Apresentação
Camada 5	Sessão
Camada 4	Transporte
Camada 3	Rede
Camada 2	Link de dados
Camada 1	Física

Tabela 1 – Estrutura do sistema OSI

A camada define: as estruturas de rede física, as especificações mecânicas e elétricas para a utilização do meio de transmissão, a codificação de transmissão de bits e regras de sincronização.

Quando o transmissor e o receptor estão localizados em sistemas de comunicação diferentes, um *bridge* deve ser inserido. O *bridge* adapta protocolos diferentes. Quando há diferenças entre os protocolos na camada de rede, uma transformação deve ser realizada nesta camada através de um roteador ou *gateway*.

Tópicos específicos da camada física: tipos de conexão, topologia física, sinalização digital, sinalização analógica, sincronização de bits, uso da banda passante, multiplexação.

As redes são estruturadas utilizando conexões ponto a ponto ou de múltiplos pontos (multiponto).

A interface serial mais utilizada é o RS-232 C. O protocolo desta interface inclui as características mecânicas, elétricas, funcionais e engenharia de processo da interface. O RS-232C é limitado por baixa taxa de transmissão e pequeno comprimento de linha. Fato foi solucionado pelo desenvolvimento do padrão RS – 449.

A estrutura física completa do meio de transmissão é chamada de topologia física. Na figura 12 é apresentado as topologias mais comuns:

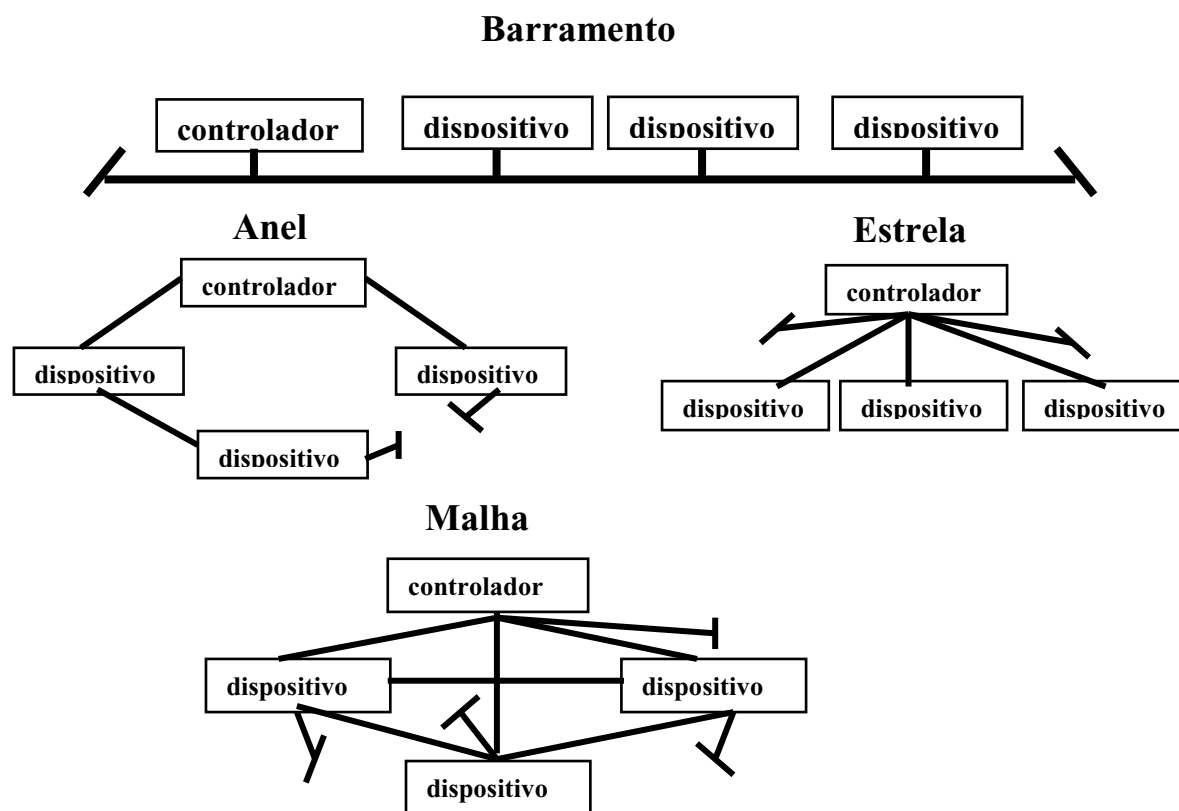


Figura 12 – Topologias das redes (LOPEZ, RICARDO ALDABÓ – 2000).

Topologia de barramento: usa normalmente um cabo longo, chamado *backbone*. A maioria das topologias de barramento permite que os sinais trafeguem nas duas direções e possuem restrição de distância e número de bifurcações para manter a integridade do sinal. Em caso de falha, todos os dispositivos são afetados e a localização é difícil.

Topologia de malha: possui conexão ponto a ponto entre cada dispositivo da rede. Cada dispositivo necessita de interface com todos os outros da rede. Em caso de falha, a rede total continua em operação e a localização é fácil.

Topologia de anel: cada dispositivo se conecta diretamente ao anel ou através de interface e cabo trançado; os sinais passados de um dispositivo ao outro em apenas uma direção; cada dispositivo incorpora um receptor no cabo de chegada e um transmissor no cabo de saída (degradação do sinal é mínima). Em

caso de falha quando se usa *loop* simples, todos os dispositivos são afetados mas a localização é fácil. O *loop* duplo (redundante em caso de falha) tem dois anéis separados fisicamente e cada transmissão é feita em uma direção.

Topologia de estrela: usa dispositivo central com cabo trançado conectando em todas as direções; cada ponto da rede é conectado através de uma ligação ponto a ponto ao dispositivo central. Esse tipo de topologia pode ser utilizado em outras estrelas para formar topologias de rede hierárquica ou de forma de árvore. Em caso de falha, os segmentos em bom estado continuam operando e a localização é fácil.

2.3.5 – Rede *devicenet*

É uma rede de comunicação de baixo custo idealizada para interligar equipamentos industriais, tais como: sensores de proximidade indutivos, capacitivos, fotoelétricos, válvulas solenóides, motores de partida, sensores de processos, leitores de código de barras, inversores de frequência, painéis e interfaces de operação. Além de eliminar o excesso de gasto com a instalação dos equipamentos, a rede proporciona a comunicação entre os participantes, implementando níveis de auto diagnóstico, nem sempre disponível nas instalações convencionais.

Devicenet é uma solução simples para instrumentação de redes industriais reduzindo os custos de instalação (cabos, bandejas, caixas de junção) e os tempos de montagem dos equipamentos ao mesmo tempo que permite a intercambialidade dos instrumentos de diversos fabricantes.

Devicenet é uma resposta às necessidades dos usuários, OEM e fornecedores, no que se refere a produtividade, flexibilidade e competitividade.

A rede *Devicenet* foi baseada no protocolo CAN, originalmente desenvolvido pela Bosch para a indústria automobilística, visando substituir os custos dos sistemas de cabos nos automóveis por uma rede de baixo custo.

Como este protocolo possui baixo tempo de resposta e alta confiabilidade vem sendo aplicado em sistemas de freios ABS e *Airbags*.

A ODVA (*Open Devicenet Vendor Association*) é um grupo de fabricantes de sistemas Devicenet, dedicados a soluções abertas de controle, em rápida expansão. Mais de 200 empresas, lideradas pelos membros fundadores: Allen-Bradley, Cutler-Hammer, trabalhando conjuntamente e prestando assistência a fornecedores, integradores, OEM's e usuários de sistemas, com ferramentas de desenvolvimento, treinamento, testes de conformidade e atividades de marketing. A ODVA também dá apoio a fornecedores da SIG's (*Special Interest Groups*) no desenvolvimento de conceitos para determinados tipos de produtos.

Devido ao fato de a especificação e o protocolo serem efetivamente abertos, não é requerido dos fornecedores a compra de hardware, software ou licenças para desenvolver produtos para *Devicenet*.

Isto resulta em suporte efetivo para o protocolo, para os fornecedores, o que resulta ainda em uma ampla variedade de produtos a custo baixo para o usuário.

As topologias em linha e árvore podem ser aplicadas, sendo que o máximo comprimento varia de acordo com o tipo de cabo e a taxa de transmissão da rede, restringindo-se também o tamanho das derivações, conforme exposto na tabela 2

Máx. Comp \ Taxa	125 KBaud	250 KBaud	500 KBaud
Cabo Grosso	500mts	250mts	100mts
Cabo Fino	100mts	100mts	100mts
Derivação Máxima	6mts	6mts	6mts
Total Acumulado Nas Derivações	150mts	78mts	39mts

Tabela 2 – Tabela de distância de cabo x velocidade da rede

2.4 – Inversores de frequência

Dispositivo eletrônico micro processado destinado a controlar a velocidade dos motores de corrente alternada através da variação de frequência da tensão de alimentação dos motores. (FRANCHI, CLAITON MORO, INVERSORES DE FREQUÊNCIA – TEORIA E APLICAÇÕES – 2008).

A figura 13 mostra uma representação em blocos dos inversores de frequência.

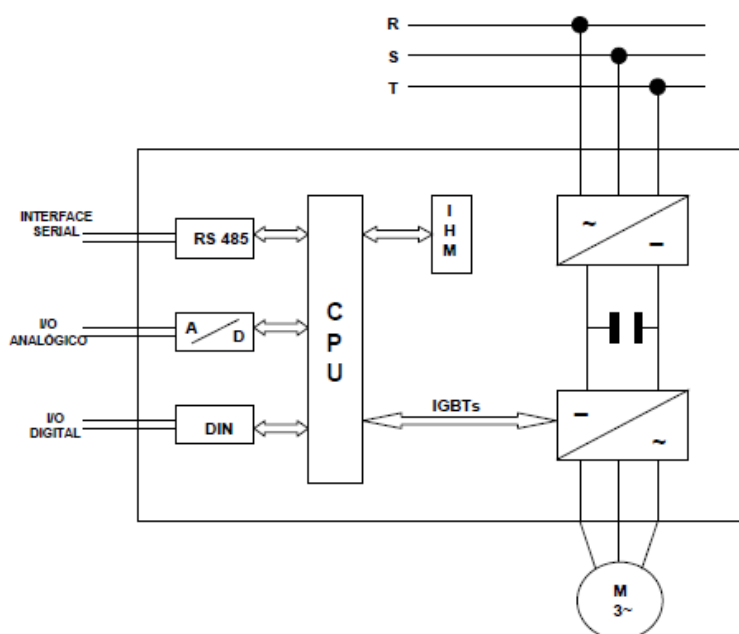


Figura 13 – Blocos componentes do inversor de frequência (FRANCHI, CLAITON MORO – 2008).

A CPU de um inversor de frequência pode ser formada por um microprocessador ou micro controlador, dependendo apenas do fabricante. É neste bloco que todas as informações (parâmetros e dados do sistema) estão armazenadas, visto que também uma memória está integrada a esse conjunto. A CPU não apenas armazena os dados e parâmetros relativos ao equipamento, como também executa a função mais vital para o funcionamento do inversor: geração dos pulsos de disparo, por meio de uma lógica de controle coerente, para os IGBTs. (*Insulated Gate Bipolar Transistor*)

No bloco IHM (Interface Homem Máquina) podemos visualizar o que está ocorrendo no inversor (display) e parametrizá-lo de acordo com a aplicação.

Nessa IHM podemos visualizar diferentes grandezas do motor, como: tensão, corrente, frequência, status de alarme, entre outras funções. É também possível visualizar o sentido de giro, verificar o modo de operação (local ou remoto), ligar ou desligar o inversor, variar a velocidade, alterar parâmetros e outras funções.

Os inversores também possuem entradas e saídas digitais e analógicas que são utilizadas para o funcionamento do inversor.

As entradas digitais são utilizadas para comandar o inversor. Fornecem comandos como ligar, desligar, sentido de giro do motor, etc. As entradas digitais são parametrizáveis.

As saídas digitais são usadas para informações para o sistema de controle do status de funcionamento do inversor. Também são saídas parametrizáveis.

As entradas analógicas são utilizadas para comandar o inversor fornecendo a referência de velocidade do motor.

As saídas analógicas são utilizadas como referência para indicação em instrumentos ou outros dispositivos que recebem comando analógico.

Os inversores de frequência também possuem, além da etapa de controle, uma etapa de potência que é constituída por um circuito retificador, que por meio de um circuito intermediário denominado “ barramento CC “ alimenta o circuito de saída inversor (módulo IGBT).

O circuito retificador é responsável pela retificação do sinal alternado que possui tensão e frequência constantes provenientes da rede de alimentação. Na rede de entrada, a frequência é fixa em 60 Hz, sendo transformada pelo retificador em contínua (retificador de onda completa).

O filtro ou link CC tem a função de regular a tensão retificada com armazenamento de energia por meio de um banco de capacitores.

O bloco inversor, onde estão os IGBTs, é responsável pela inversão da tensão contínua proveniente do link CC num sinal alternado, com tensão e frequência variáveis.

Esta tensão com frequência variável e a forma mais próxima da senoidal é obtida através do chaveamento dos IGBTs usando uma técnica chamada de PWM (*Pulse Width Modulation*).

Nos inversores de frequência existem quatro tipos de controle básicos: escalar (volts / hertz), controle vetorial *sensorless* (no português: sem sensor), controle de fluxo vetorial e controle de campo orientado.

O controle tensão / frequência (V/f) é um método básico que provê uma frequência variável para aplicações como ventiladores e bombas. Proporciona um controle razoável de velocidade a um baixo custo.

O controle vetorial *sensorless* fornece melhor regulação de velocidade e tem a capacidade de produzir alto torque de partida.

O controle de fluxo vetorial possibilita mais precisão de torque e velocidade com resposta dinâmica.

O controle orientado de campo permite manter velocidade e torque disponíveis para motores CA, fornecendo desempenho de um motor de corrente contínua para motores CA.

2.5 – Sistemas de controle em malha aberta e em malha fechada.

Nos sistemas de controle em malha aberta, a saída não tem efeito na ação de controle, isto é, a saída não é medida nem realimentada para comparação com a entrada. Para cada entrada de referência haverá uma condição pré-estabelecida de operação. Qualquer sistema que opere em uma base de tempo é um sistema em malha aberta. A operação em malha aberta deve ser usada, quando se conhece a relação entre entrada e saída e o sistema não apresentar nenhum tipo de perturbação.

A figura 14 mostra o diagrama em bloco de um sistema em malha aberta.

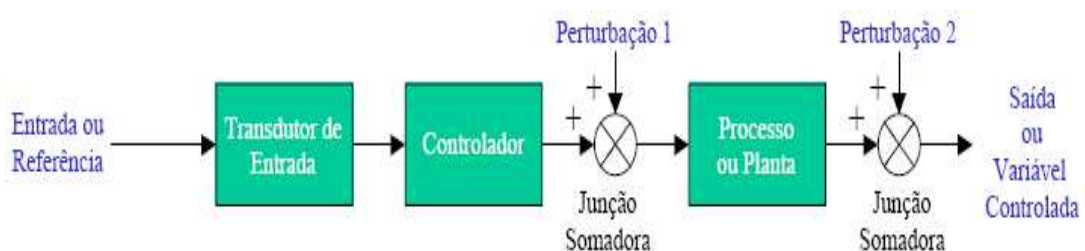


Figura 14 – Diagrama em bloco de um sistema de controle em malha aberta

Nos sistemas de controle em malha fechada, que é o mesmo que controle realimentado, a diferença entre o sinal de entrada (referência) e o sinal de saída realimentado, chamado de sinal de erro, é introduzido no controlador que atua na

planta ou no processo de forma a reduzir o erro e a manter a saída num valor desejado.

Existem dois tipos de controle em malha fechada, o controle manual e o controle automático. No controle automático, o operador é substituído por dispositivos que desempenham as suas funções mais eficientes e precisas.

A figura 15 mostra o diagrama em bloco de um sistema em malha fechada.

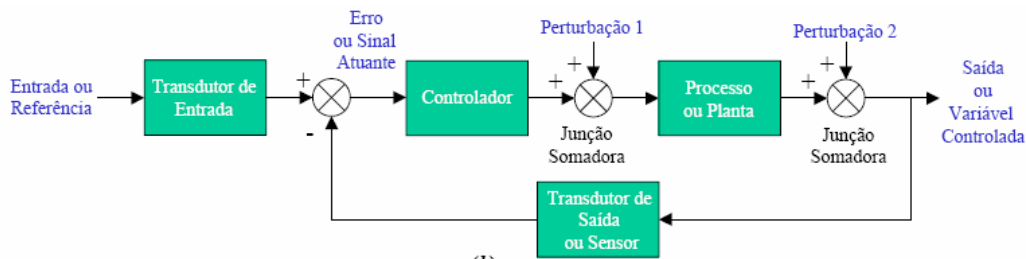


Figura 15 – Diagrama em bloco de um sistema de controle em malha fechada

2.6 – Sistemas mestre escravo

Sistemas de controle de movimento no modo mestre escravo são muito utilizados onde se necessita se manter a mesma velocidade e posicionamento com vários conjuntos de acionamentos simultaneamente. Nestes tipos de sistemas existe uma unidade na função de mestre e uma ou mais unidades na função de escravo. Com este tipo de controle consegue-se manter a mesma velocidade e posição em todas as unidades acionadas, isto é, consegue-se uma sincronização. (http://www.motioncontroller.machinedesign.com/guiedits/content/bdeee1_7.aspx)

No passado a forma convencional deste tipo de controle, existente até hoje em equipamento mais antigos, era feito através de transmissões mecânicas. Um eixo principal, eixo mestre, era acionado por um motor e através de caixas reductoras, engrenagens, juntas universais, transmissões por corrente e correias e etc, transmitia a velocidade e posição a outros pontos do processo e/ou máquina.

Na figura 16 é mostrado um desenho de um sistema mestre escravo com acionamento mecânico.

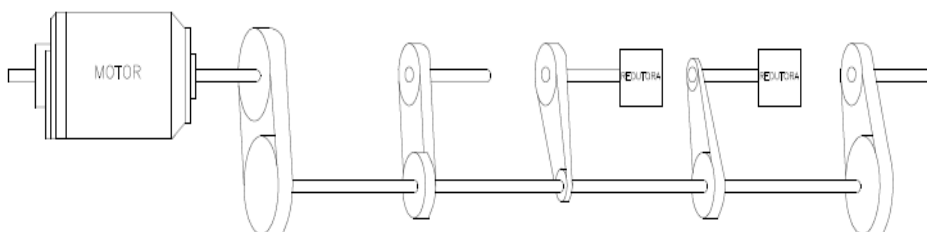


Figura 16 – Sistema mestre escravo mecânico

Um problema que ocorre com este tipo de aplicação é o conjunto acionador torcer sensivelmente dependendo da carga aplicada, induzindo um erro de posição nos eixos escravos a partir do eixo principal. Tal acúmulo de torque causa nos eixos escravos mais distantes um aumento de atraso de movimento em relação ao eixo principal. O resultado é um movimento não uniforme em relação ao eixo mestre. O movimento é geralmente oscilante ou com trancos gerando um atraso de resposta, como por exemplo, uma variação de velocidade. Isto gera uma perda de produção neste período, devido aos materiais produzidos neste período poderem ser inutilizados.

Por esta e outras razões sistemas eletrônicos de sincronismo foram desenvolvidos para fornecer perfeita sincronização entre o conjunto mestre e os conjuntos escravos.

Os primeiros sistemas eletrônicos mestre escravo de velocidade foram desenvolvidos com dispositivos de realimentação de velocidade denominados de geradores tacômetros, que podiam ser de tensão alternada ou contínua. Os primeiros controles de velocidade eram usados com motores de corrente contínua,

pois ainda não haviam sido desenvolvidos controles de velocidade para motores de corrente alternada.

A figura 17 mostra o sistema mestre escravo com controle de velocidade com acionamento de motores de corrente contínua.

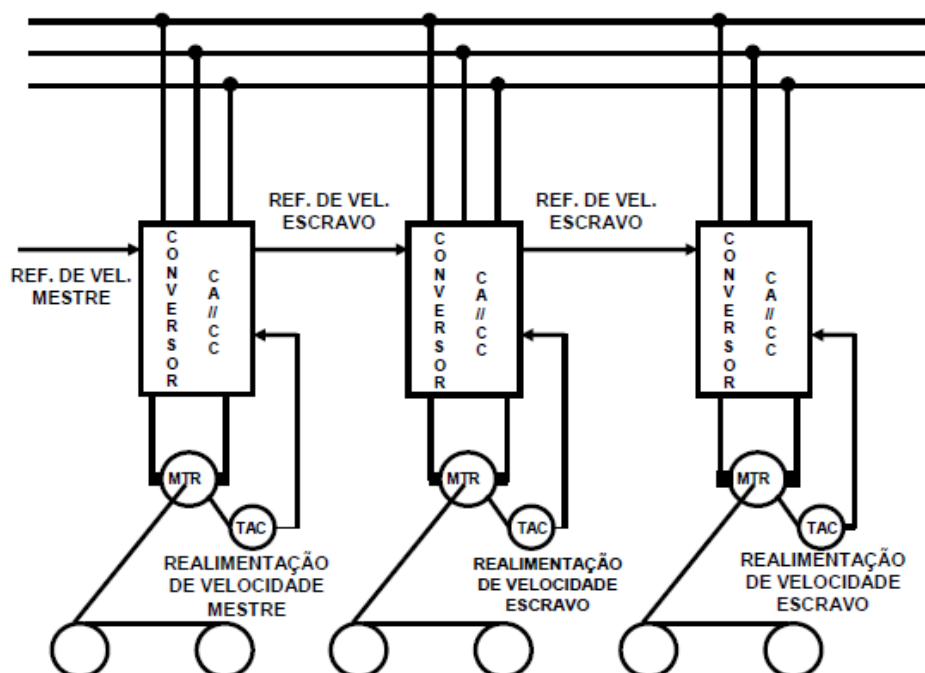


Figura 17 – Sistema mestre escravo de velocidade usando motores de corrente contínua e geradores tacômetros.

Os primeiros sistemas eletrônicos de posicionamento possuíam dispositivos de realimentação denominados *resolvers*. Os sistemas de sincronismo eletrônicos mais antigos eram unidades dedicadas, muitas vezes totalmente independentes da unidade de controle do equipamento. Os acionamentos e CLPs mais antigos não possuíam funções específicas para a realização da função sincronismo.

A figura 18 mostra o sistema mestre escravo de posicionamento com motores de corrente contínua e *resolver*

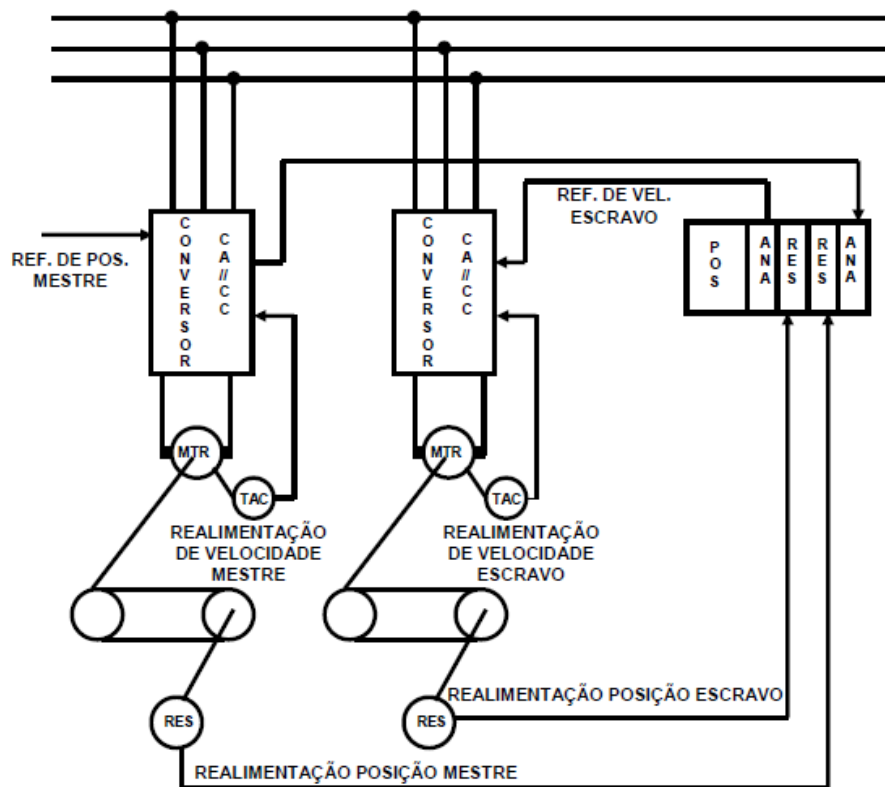


Figura 18 – Sistema mestre escravo de posição usando motores de corrente contínua e *resolvers*.

Os geradores tacômetros são usados até hoje como realimentação de velocidade principalmente em unidades onde se utilizam motores de corrente contínua. Os *resolvers*, hoje em dia são usados apenas em aplicações específicas.

Com o desenvolvimento dos CLPs e da aprimoração das técnicas de controle em circuito malha fechada através de circuitos de controle PID, a técnica mestre escravo tem sido bastante utilizada na indústria, com uma resposta bastante rápida e precisa dos acionamentos. O transdutor de velocidade e posição mais usado é o *encoder*.

A figura 19 mostra o sistema mestre escravo com controle apenas de velocidade, isto é, o *encoder* é acoplado diretamente no motor.

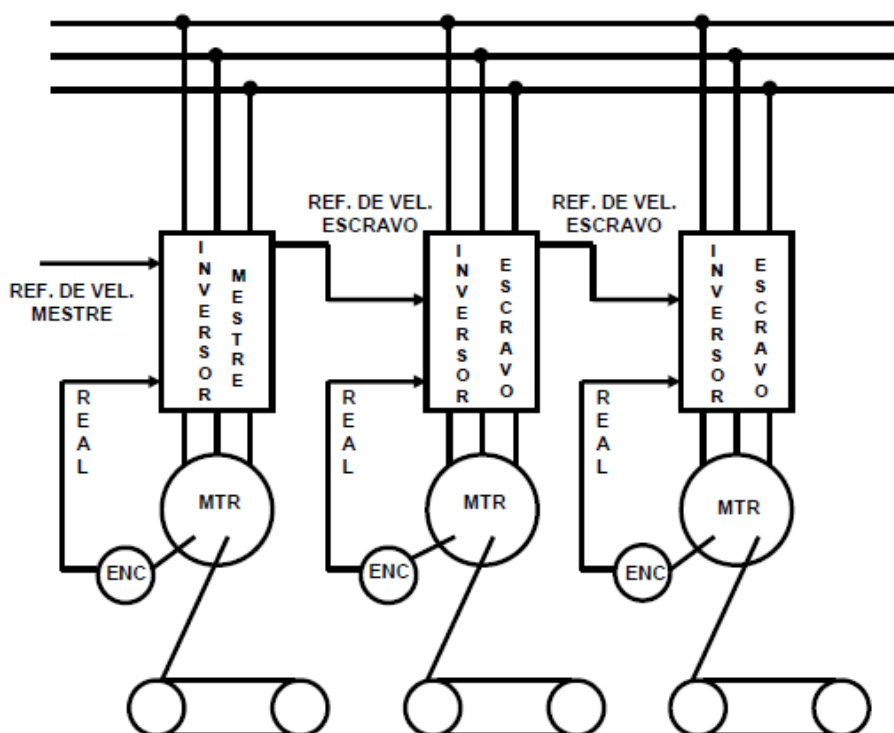


Figura 19 – Sistema mestre escravo de velocidade usando inversores de frequência e *encoders*.

Quando o *encoder* é acoplado na carga, informa ao mesmo tempo a velocidade e a posição real da unidade. Se a carga for acoplada por engrenagens, pode ocasionar o chamado *backlash*, que é o recuo causado por perdas de movimento entre engrenamentos, e isto pode fazer a realimentação oscilar, e pode ser um fator de limitação em movimentos de precisão.

Quando o sistema exige uma precisão maior de controle, usam-se dois *encoders*, um acoplado no motor e outro acoplado na carga. O *encoder* do motor fecha a malha que fornece o controle de velocidade do motor, fazendo com que o mesmo gire numa velocidade especificada. O *encoder* da carga fecha a segunda malha supervisória que monitora o erro de posição da carga e então comanda a malha de controle de velocidade do motor para mover o mesmo.

Esse tipo de controle com dois *encoders* é chamado de *dual loop* e o seu funcionamento básico é da seguinte forma:

- primeiramente comanda o motor para mover uma certa distância numa velocidade especificada;
- o programa do sistema rodará uma rotina para checar a posição do *encoder* da carga para determinar se resta algum erro de posição e então comandará o motor até que o erro de posição seja zero.

Os sistemas eletrônicos utilizam a forma de controle em malha fechada para garantir uma maior precisão de velocidade e posicionamento. O circuito mais utilizado nos controladores de velocidade e posicionamento é o controle PID.

A figura 20 mostra o sistema mestre escravo com controle de velocidade e posição.

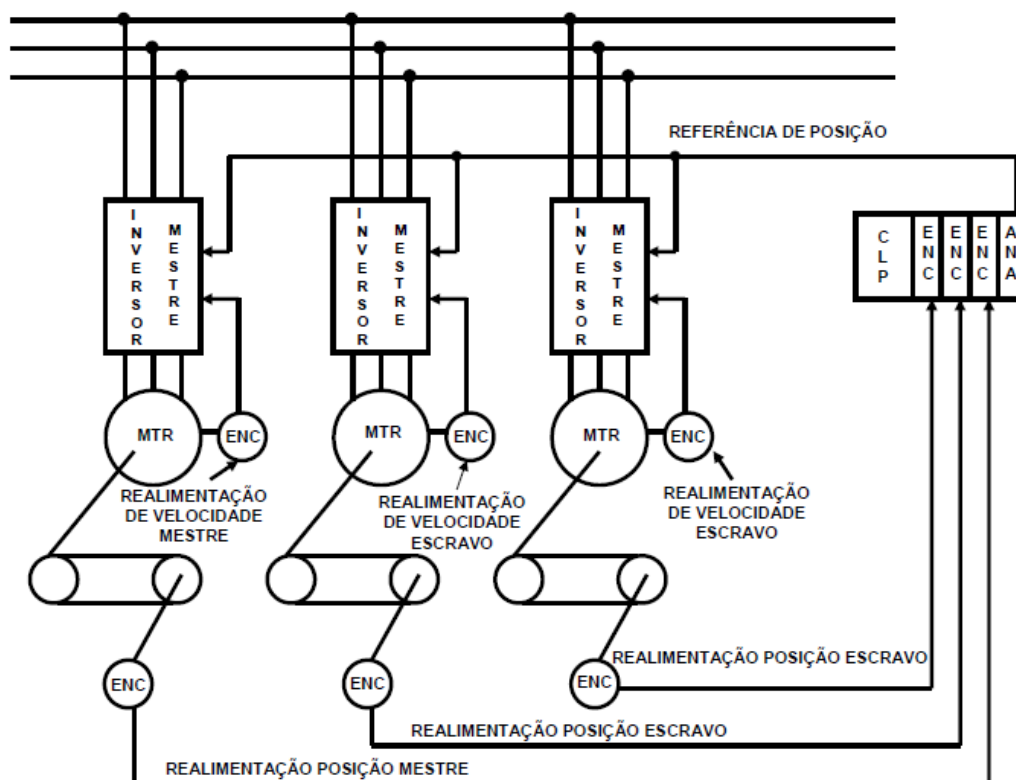


Figura 20 – Sistema mestre escravo de velocidade e posição usando inversores de frequência e *encoders*.

O sistema mestre escravo usando *encoder* na carga é mostrado na figura 19. Este sistema mantém o sincronismo de posição.

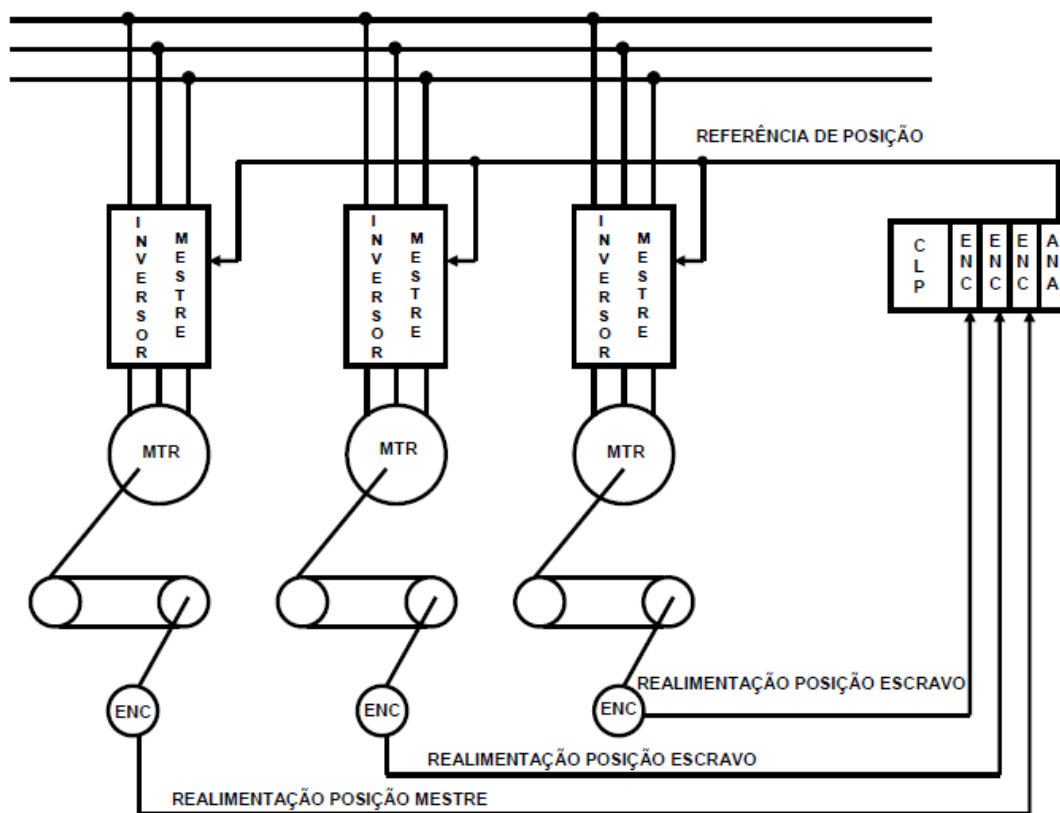


Figura 21 – Sistema mestre escravo de posição usando inversores de frequência e *encoders*.

.CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.

Neste capítulo será mostrado a aplicação do projeto e os procedimentos realizados para a substituição do sistema mecânico para eletrônico.

O equipamento usado para a aplicação foi uma litografia HOE de duas cores com cadeiras de impressão em Y e uma envernizadeira da empresa Incoflandres Comércio e Indústria de Flandres Ltda.

Este equipamento é composto de um empilhador de entrada, mesa intermediária de entrada da impressora, a impressora, mesa de saída da impressora, mesa de entrada da envernizadeira, a envernizadeira, mesa de saída da envernizadeira, mesa de entrada da estufa, a estufa de secagem, mesas de saída da estufa e empilhador de saída.

Este equipamento era dividido em dois sistemas interligados mecanicamente através de uma caixa de transmissão, denominada de caixa de marcha.

O primeiro sistema era composto pelo empilhador de entrada, esteira intermediária de entrada da impressora (mesa de margeação) e a impressora.

O segundo sistema era composto pela esteira de saída da impressora, a esteira de entrada da envernizadeira, a envernizadeira, a esteira de saída da envernizadeira, a esteira de entrada da estufa de grampos e a esteira de grampos.

Como se tratava de uma máquina muito antiga, com sistema de transmissão basicamente mecânico já se estava fazendo um estudo para a modificação do mesmo, visto que a máquina era muito limitada em velocidade por causa do tipo de transmissão que era propenso a quebra. As unidades variadoras sempre trabalhavam com uma velocidade baixa.

Essa baixa velocidade limitava a produção e não impedia a quebra das transmissões, inclusive das unidades variadoras.

Era necessário aumentar a produção e reduzir o índice de paradas do equipamento por parte de quebra do sistema de transmissão.

Além desse ponto, outro fator que influenciava na produtividade e alto índice de parada era o fato dos painéis elétricos estarem em condições precárias.

Uma reforma geral no equipamento melhoraria em muito a produtividade do equipamento e reduziria o índice de parada.

A opção por aplicar o projeto nesta máquina, foi devido ao grande índice de reclamações pela equipe da produção sobre o índice de paradas deste equipamento. O responsável pela operação do equipamento apresentou uma tabela mostrando os principais pontos de parada do equipamento.

A tabela 3 mostra os pontos de parada:

PROBLEMA	MÉDIA DE HORAS / MÊS
Avaria do moto variador da impressora	40
Rompimento das correntes de transmissão	10
Rompimento da esteira de grampos	26
Avaria na caixa de marcha da impressora	14
Avaria nas redutoras da esteira de grampos	10

Tabela 3 – Índice das principais paradas da Impressora HOE

De acordo com os dados levantados, o total de parada média mensal era de 100 horas. Isso representava 18,65 % do tempo de trabalho da máquina, já que o equipamento trabalha cerca de 536 horas mensais.

A realização do projeto foi antecipada devido a ocorrência de um acidente na máquina e a constatação da necessidade de se trocar a esteira de grampos da estufa que estava bastante avariada.

3.1 – Sistema original de acionamento

A figura 22 mostra o esquema de transmissão da máquina, usando o sistema original, que foi necessário ser levantado, já que não existia nenhum esquema mecânico desta parte do equipamento.

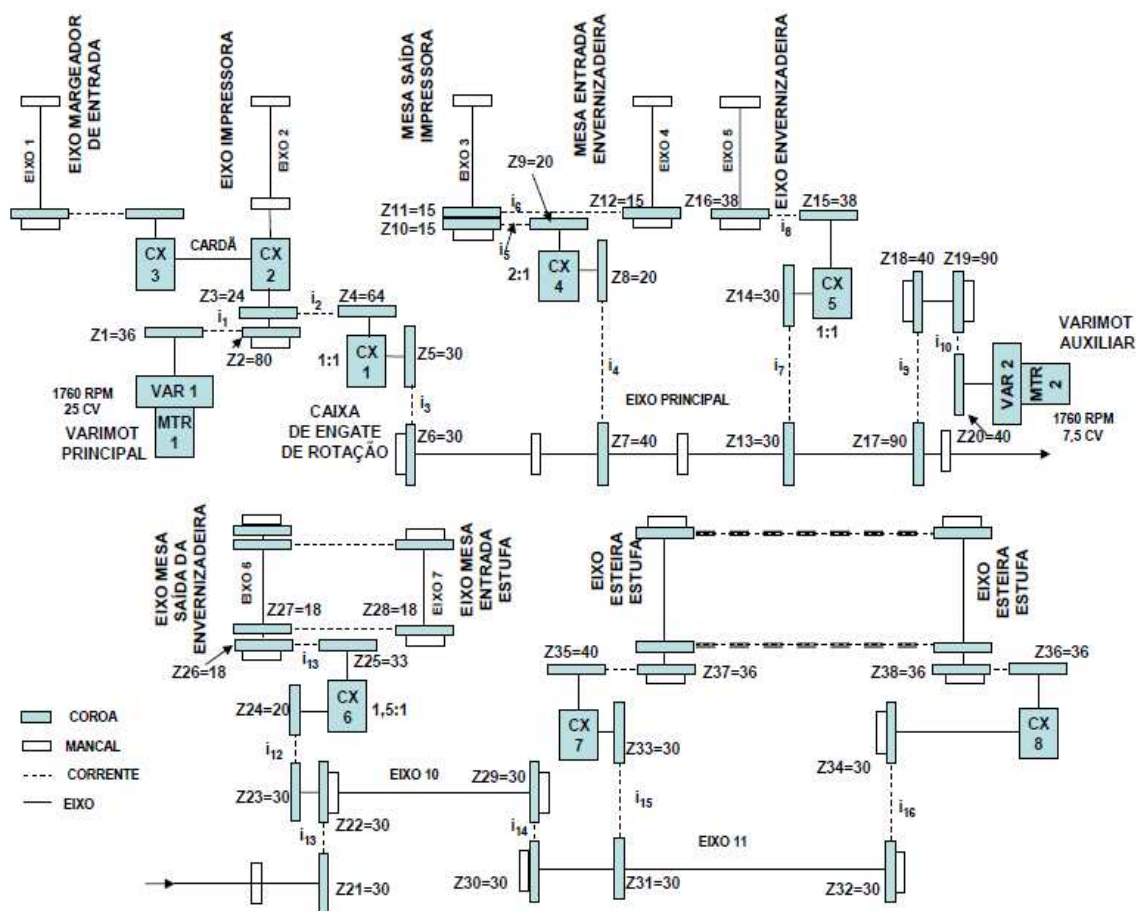


Fig. 22 – Diagrama de transmissão com sincronismo mecânico

Conforme pode ser visto na figura 22 a máquina era acionada por dois motores de corrente alternada acoplados a dois variadores eletromagnéticos de velocidade. Eram denominados de varimot principal e varimot secundário. Essas duas unidades de acionamento funcionavam independentes. Não podiam funcionar conjugadas por causa de quebra nas transmissões.

A unidade varimot principal era responsável pelo acionamento da impressora e de toda a máquina durante o processo de operação normal. A unidade varimot auxiliar era responsável pelo acionamento da envernizadeira e da esteira de grampos da estufa.

Durante a preparação da impressora para execução de trabalhos a unidade principal era usada apenas para preparação da máquina. A envernizadeira e a esteira de grampos ficavam girando acionadas pela unidade varimot auxiliar. Essas partes da máquina eram necessárias ficarem girando para evitar secagem do verniz na envernizadeira e danos na esteira de grampos na estufa devido a temperatura.

Conforme pode ser visto na figura 22, a impressora possuía uma caixa de transmissão (a qual passará a ser chamada de CX₁) que era acoplada ao varimot principal através de polia sincronizadora. Esta caixa era responsável por acoplar a impressora no restante da máquina durante o funcionamento normal. Ela transmitia movimento ao eixo principal da máquina responsável por todo o acionamento das esteiras intermediárias, envernizadeira e esteira de grampos da estufa. Todo este conjunto de transmissão já era calculado para um perfeito sincronismo da máquina durante o trabalho normal.

A posição da folha na máquina era realizada durante o *setup* inicial e era garantido por dispositivos denominados de martelos e cachorrinhos, que são ajustados manualmente pelo operador da máquina. Independente da velocidade a posição da folha ao longo da máquina permanecia sempre no mesmo ponto.

Após a preparação da máquina, para se colocá-la em funcionamento, primeiramente se desligava o varimot auxiliar, ligava-se o varimot principal, acoplava-se a CX 1 ao restante da máquina e então ligava o motor principal. Pelo controle do variador eletromagnético controlava-se a velocidade de processo.

Todo o conjunto de transmissão possuía uma relação de velocidade e torque já calculada através das engrenagens, polias, correias e correntes ao longo do eixo.

Para a realização da substituição foi necessário calcular toda a relação mecânica do conjunto de transmissão a partir do motor principal.

Foi necessário fazer um levantamento de todas as engrenagens, já que a máquina não possuía desenhos da unidade devida ser muito antiga e ser oriunda de outra empresa. A medida que o levantamento era feito foi visto as dificuldades que seriam encontradas devido as relações existentes não terem resultados inteiros, principalmente onde seria colocado os encoders.

Esta dificuldade foi contornada com a elaboração de um programa que permiti trabalhar com números fracionários, com o objetivo aproximar o máximo possível dos valores encontrados. O ponto ideal é colocado pelo operador do equipamento já que ele tem o controle independente de cada motor e cada trabalho pede um ponto específico.

O levantamento foi dividido em partes. A primeira etapa foi fazer o levantamento da transmissão do conjunto de entrada mais a caixa1. É mostrado na figura 23 esta primeira etapa.

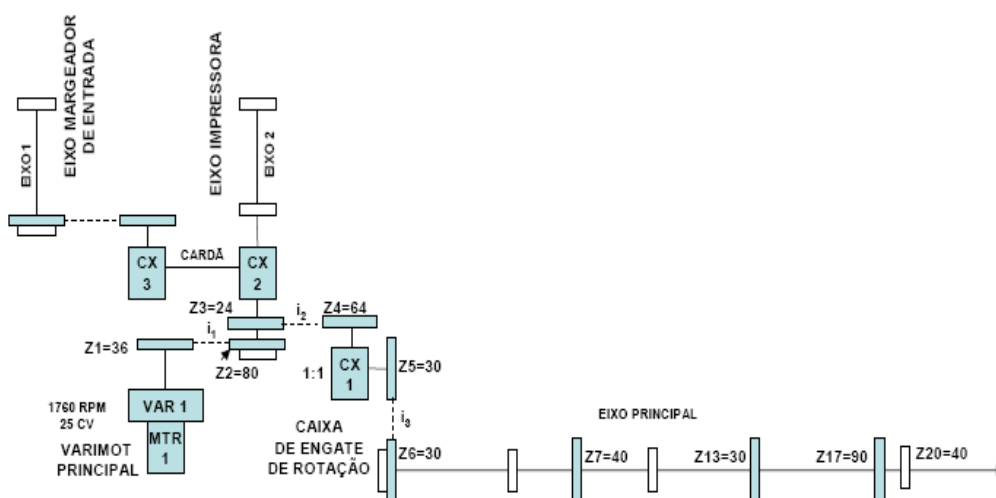


Figura 23 – Conjunto de transmissão de entrada

Na modificação foi optado por manter a estrutura original de transmissão entre as caixas 3 e caixa 2, que corresponde ao sincronismo da impressora e o margeador (unidade de liberação de folhas para o processo) de entrada.

No eixo do margeador existiam vários discos com ressaltos, fixados no eixo, para acionar as válvulas pneumáticas das ventosas do margeador de entrada responsáveis por retirarem as folhas do fardo e coloca-las na mesa de entrada da impressora.

O motor principal foi mantido o mesmo de 25 CV. Foi retirada a unidade de variação eletromagnética, refeito a base de fixação e instalado um freio eletromagnético no motor. O motor foi transformado num moto-freio. A variação passou a ser feita por um inversor de frequência vetorial de 30 Hp para garantir uma boa performance de trabalho do motor.

Na caixa 1 a relação de transmissão era de 1:1. A mesma só era usada para acoplar o restante da máquina durante o processo.

Para início de cálculo foi considerado como ponto inicial a velocidade nominal do motor e a potência do mesmo, e também a velocidade e torque da engrenagem sincronizadora E_1 . Estes valores aplicados na polia E_1 eram disponibilizados pela saída do variador principal, que conforme mostra na figura 21, a polia E_1 está fixada. A velocidade máxima de saída do variador de velocidade era a mesma do motor. A potência do variador era de 25 CV.

Foi usada equação 1 para calcular o torque (conjugado) inicial do conjunto de transmissão, isto é, o torque desenvolvido no eixo do variador eletromagnético principal, aplicado à polia E_1 .

$$T = (P \cdot 60) / 2\pi \cdot n \quad (1)$$

Onde:

n = velocidade do motor em rotações por minuto;
 T = torque desenvolvido pelo motor;
 P = potência do motor em quilowatt (kW);

Aplicando os valores do motor na equação 1 obteve-se um torque de 100,42

N.m. Os dados da engrenagem E_1 são mostrados a seguir.

$$Z_{E1} = 36$$

$$\omega_1 = (n \cdot \pi) / 30 \quad (2)$$

$$f_1 = n_1 / 60 \quad (3)$$

Onde:

Z_{E1} = número de dentes da engrenagem
 ω_1 = velocidade angular (rad/s)
 f_1 = frequência (Hz)
 T_{E1} = torque da engrenagem E_1 .

Como a engrenagem estava acoplada diretamente no eixo do motor, os valores de rotação e torque da engrenagem são os mesmos do motor. Substituindo os valores nas equações (2) e (3) tem-se:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= 183 \text{ rad / s} \\ f_1 &= 29 \text{ Hz} \\ T_{E1} &= 100,42 \text{ N.m} \end{aligned}$$

O passo seguinte foi obter os dados da engrenagem 2 e transmitir os valores de velocidade e torque para a mesma.

Os valores encontrados na engrenagem 2 foram:

$$Z_{E2} = 80$$

Foi necessário calcular a relação de transmissão (chamada de i_1) entre as engrenagens E_1 e E_2 , através da equação:

$$i_1 = Z_{E2} / Z_{E1} \quad (4)$$

Onde:

i_1 = relação entre as engrenagens E_1 e E_2

Z_{E1} , Z_{E2} = número de dentes das engrenagens E_1 e E_2 , respectivamente.

O valor de i_1 encontrado após substituição dos valores foi $i_1 = 2,22$. De posse

do valor da relação de transmissão foram obtidos os valores de velocidade e torque em E_2 .

Através das equações abaixo, mais os dados obtidos chegou-se aos valores de E_2 .

$$\omega_2 = (Z_{E1} / Z_{E2}) \cdot \omega_1 \quad (5)$$

$$\omega_2 = (n \cdot \pi) / 30 \quad (6)$$

Igualando as equações 5 e 6 e substituindo os valores e acrescentando os dados levantados, os dados de E_2 ficaram:

$$Z_{E2} = 80$$

$$\omega_2 = 82 \text{ rad / s}$$

$$n_2 = 783 \text{ rpm.}$$

$$f_2 = 13 \text{ Hz}$$

$$T_{E2} = 224 \text{ N.m}$$

O próximo passo na seqüência foi encontrar a relação de transmissão (chamada de i_2) entre as engrenagens E_3 e E_4 . Como a engrenagem E_3 estava no mesmo eixo de E_2 , o torque e a velocidade eram as mesmas de E_2 .

A relação foi obtida através da seguinte equação:

$$i_2 = Z_{E4} / Z_{E3} \quad (6)$$

Onde,

$$Z_{E3} = 24$$

$$Z_{E4} = 64$$

Logo:

$$i_2 = 64 / 24 \Rightarrow i_2 = 2,66.$$

Como a engrenagem E_4 é maior do que a engrenagem E_3 a velocidade diminuía e o torque aumentava. Dessa forma os valores de E_4 foram calculados com as seguintes equações:

$$n_{E4} = n_{E3} / i_2 \quad (7)$$

$$T_{E4} = T_{E3} \cdot i_2 \quad (8)$$

Após substituir os valores nas equações 7 e 8 obteve-se os valores de E_4 .

Os valores encontrados para E_4 foram $n_{E4} = 294$ rpm e $T_{E4} = 597$ N.m

A caixa redutora número 1 possuía uma relação de 1:1 e tinha a função de caixa de marcha, isto é, era usada para acoplar a impressora ao restante da máquina, deslocando o sentido de movimento em 90° . A saída possuía os mesmos valores de velocidade e torque da entrada.

Logo na saída da redutora tinha-se:

$$Z_{E5} = 30$$

$$n_{E5} = 294 \text{ rpm}$$

$$T_{E5} = 597 \text{ N.m}$$

Como as engrenagens E_5 e E_6 eram iguais a relação de transmissão era igual a 1. Por esta razão os dados encontrados em E_6 foram:

$$Z_{E6} = 30$$

$$n_{E6} = 294 \text{ rpm}$$

$$T_{E6} = 597 \text{ N.m}$$

A engrenagem E_6 era a engrenagem movida do eixo principal da máquina quando acionada pelo motor da impressora.

Considerando os valores levantados, observou-se que estes eram muito altos em relação ao funcionamento da máquina. Pela observação do funcionamento constatou-se que estes valores estavam sobre dimensionados. Isto levaria a colocação de motores de alta potência o que dificultaria a instalação dos mesmos na máquina.

Por causa disto optou-se por calcular todos os valores a partir do variador auxiliar, que tinha um motor menor e acionava o restante da máquina, quando a caixa 1 estava desacoplada.

Inicialmente foram levantados os dados do motor do variador auxiliar. Os dados eram:

$$n = 1735 \text{ rpm}$$

$$P = 7,5 \text{ CV}$$

A figura 24 mostra a transmissão a partir da unidade variadora auxiliar.

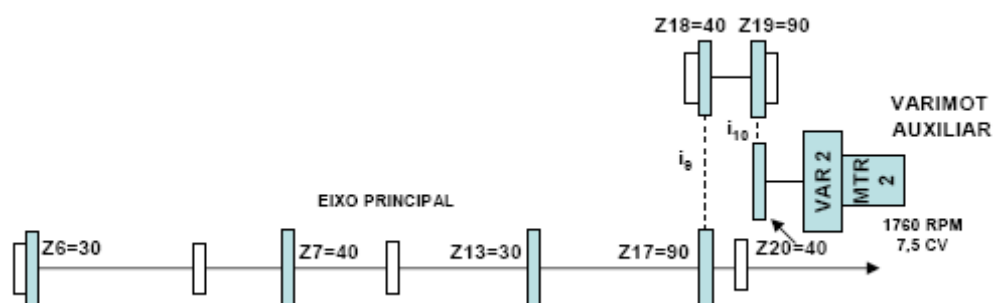


Figura 24 – Sistema de transmissão a partir da unidade variadora auxiliar

Usando a equação (1) foi calculado o torque disponibilizado pelo motor. O valor encontrado foi $T_{(mtr. aux.)} = 30,36 \text{ N.m}$.

Como a polia E_{20} estava diretamente acoplada ao eixo de saída do variador os dados de velocidade e torque eram os mesmos do motor. Os dados de E_{20} eram:

$$Z_{E20} = 40$$

$$n_{E20} = 1735 \text{ rpm}$$

$$T_{E20} = 30,4 \text{ N.m}$$

Na seqüência foram encontrados os valores para E_{19} que era a engrenagem motora do eixo que acionava a engrenagem do eixo principal.

A primeira providência foi calcular a relação de transmissão (chamada de i_{10}) entre as engrenagens E_{20} e E_{19} . A relação encontrada foi dada pela fórmula:

$$i_{10} = Z_{E19} / Z_{E20} \quad (9)$$

Onde:

$$Z_{E19} = 90$$

$$Z_{E20} = 40$$

Substituindo os valores na equação 9 obteve-se $i_{10} = 2,25$

De posse do valor da relação i_{10} foi calculada a velocidade e o torque de E_{19} . Como E_{19} era maior, a velocidade seria reduzida e torque aumentado. A velocidade foi calculada através de:

$$n_{E19} = n_{E20} / i_{10} \quad (10)$$

Substituindo os valores na equação (10) foi encontrado $n_{E19} = 771 \text{ rpm}$. O torque foi calculado através de:

$$T_{E19} = T_{E20} \cdot i_{10} \quad (11)$$

Onde após a substituição dos valores na equação 11 foi encontrado $T_{E19} = 70 \text{ N.m}$.

Como E_{18} estava no mesmo eixo de E_{19} o torque e a velocidade eram os mesmos. Os dados de E_{18} eram:

$$Z_{E18} = 40$$

$$n_{E18} = 771 \text{ rpm}$$

$$T_{E18} = 70 \text{ N.m}$$

Foi encontrada a relação de transmissão (i_9) entre E_{18} e E_{17} através da seguinte equação:

$$i_9 = Z_{E17} / Z_{E18} \quad (12)$$

Onde:

$$Z_{E17} = 90.$$

Substituindo os valores na equação (12) foi encontrado $i_9 = 2,25$.

Usando o mesmo procedimento para encontrar os valores velocidade e torque de E_{19} , estes valores para E_{17} ficaram:

$$n_{E17} = 343 \text{ rpm}$$

$$T_{E17} = 158 \text{ N.m}$$

Os valores de E_{17} eram os valores de velocidade e de torque do eixo principal disponibilizados pelo motor da unidade variadora auxiliar.

O próximo passo foi calcular os valores para o eixo da envernizadeira. A figura 25 mostra a parte de transmissão da envernizadeira.

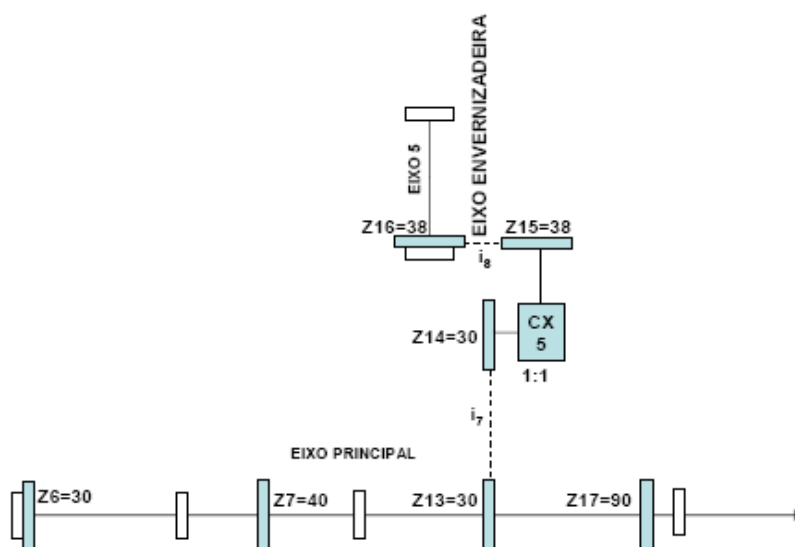


Figura 25 – Sistema de acionamento da envernizadeira a partir da unidade variadora auxiliar

Pelo esquema mostrado, é visto que a caixa 5 era usada para mudar o sentido da transmissão em 90° em relação ao eixo principal. É visto que a relação final é entre Z_{E16} , que é a engrenagem de acionamento do eixo da envernizadeira e Z_{E13} era igual a 1,26. Com isso foi encontrado a velocidade de $n_{E16} = 272 \text{ rpm}$ e um

torque de $T_{E16} = 199 \text{ N.m}$. Com esses valores aplicados na equação (1) foi calculado um motor de 7,5 CV.

A próxima etapa foi calcular a velocidade e o torque da mesa de saída da impressora e da mesa de entrada da envernizadeira. As duas eram acionadas pela mesma caixa redutora (caixa 4). A figura 26 mostra a parte do sistema de transmissão responsável pelo acionamento das mesas.

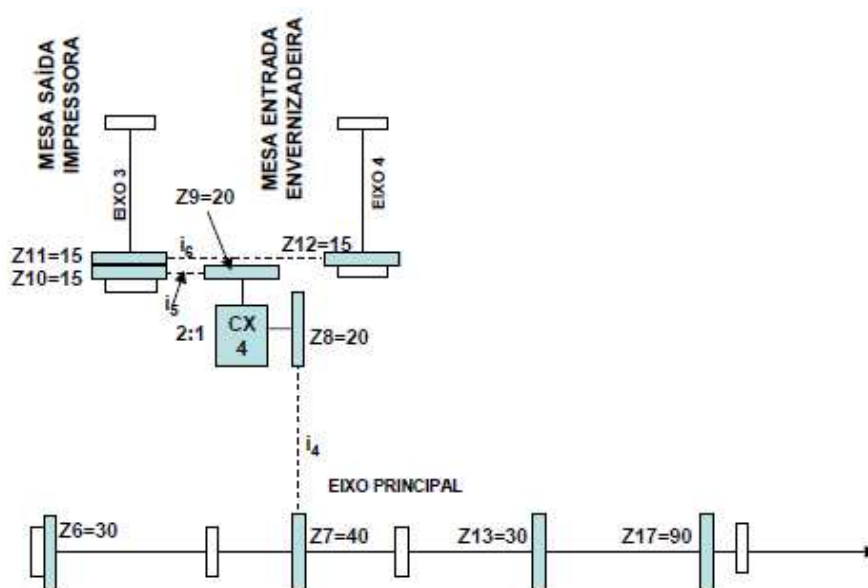


Figura 26 – Sistema de acionamento da mesa de saída da impressora e entrada da envernizadeira a partir da unidade variadora auxiliar

Foram calculadas todas as relações de Z_{E7} a Z_{E10} . A primeira relação de transmissão a se calculada foi entre E_7 e E_8 . A relação de transmissão encontrada foi $i_4 = 2$. Logo os valores de E_8 ficaram:

$$n_{E8} = n_{E7} \cdot i_4 \quad (13)$$

Após a substituição dos valores na equação (13) foi encontrada a velocidade para E_8 de 686 rpm. O torque foi calculado pela seguinte equação:

$$T_{E8} = T_{E7} \cdot i_4 \quad (14)$$

Após a substituição dos valores na equação (14) obteve-se $T_{E8} = 79 \text{ N.m}$.

A caixa 4 era uma redutora de velocidade. Com isso o valor de velocidade de E_9 na saída da caixa 4 era: $n_{E_9} = 343$ rpm. Como era uma redutora de velocidade era uma multiplicadora de torque, com isso o torque de E_9 era: $T_{E_9} = 158$ N.m. Em seguida foi calculada a relação de transmissão i_5 que ficou igual a 1,33. Com isto a velocidade calculada de E_{10} ficou $n_{E_{10}} = 457$ rpm e o torque calculado ficou $T_{E_{10}} = 118$ N.m. Substituindo os valores de velocidade e torque na expressão (1), temos uma potência de 7,5 CV.

Uma outra etapa foi calcular os dados de acionamento da mesa de saída da envernizadeira e mesa de entrada da estufa. Esses dados foram obtidos através da parte da transmissão mostrada na figura 27.

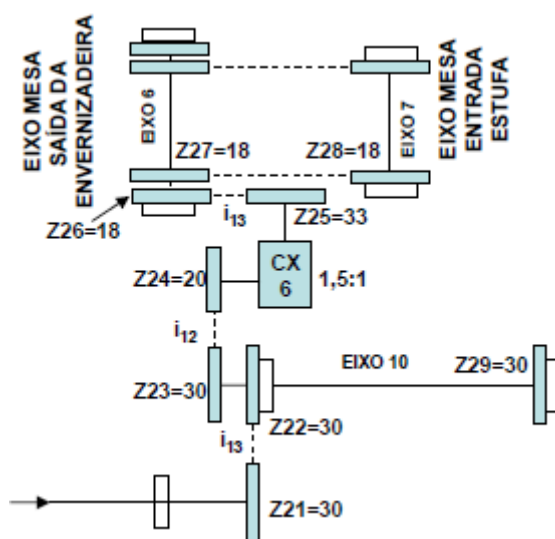


Figura 27 – Sistema de acionamento da mesa de saída da envernizadeira e mesa de entrada da estufa a partir da unidade variadora auxiliar

Como E_{21} estava no mesmo eixo de E_{17} , a velocidade de E_{21} era $n_{E_{21}} = 343$ rpm e o torque de E_{21} era $T_{E_{21}} = 158$ N.m.

Conforme é visto na figura acima, pode-se concluir que os dados de E_{23} são os mesmos de E_{21} , visto que a relação de transmissão $i_{13} = 1$. Foi calculada a

relação de transmissão i_{12} . O valor encontrado foi $i_{12} = 1,5$. Os valores encontrados para E_{24} foram:

$$n_{E24} = n_{E23} \cdot i_{12} \quad (15)$$

$$T_{E24} = T_{E23} / i_{12} \quad (16)$$

Substituindo os valores nas equações (15) e (16), obteve-se:

$$n_{E24} = 515 \text{ rpm.}$$

$$T_{E24} = 105 \text{ N.m}$$

A caixa de redução número 6 era uma redutora de velocidade de relação 1,5:1. Isto significava que o torque era aumentado e que a velocidade era reduzida na mesma relação. Com isto tinha-se na saída na redutora em E_{25} os seguintes valores:

$$n_{E25} = 343 \text{ rpm}$$

$$T_{E25} = 158 \text{ N.m}$$

Foi encontrada em seguida a relação i_{13} através da equação:

$$i_{13} = Z_{E25} / Z_{E26} \quad (17)$$

Substituindo os valores na equação (17) obteve-se $i_{13} = 1,83$.

Os valores de velocidade e torque de E_{26} foram obtidos através das equações:

$$n_{E26} = n_{E25} \cdot i_{13} \quad (18)$$

$$T_{E26} = T_{E25} / i_{13} \quad (19)$$

Após a substituição dos valores nas equações (18) e (19), os valores ficaram:

$$n_{E26} = 627,69 \text{ rpm}$$

$$T_{E26} = 86 \text{ N.m}$$

Aplicando estes valores na expressão foi encontrada uma potência de aproximadamente 7,5 CV.

A próxima etapa foi calcular os valores das relações para o acionamento da esteira de grampos.

A figura 28 mostra a etapa da transmissão para a esteira de grampos.

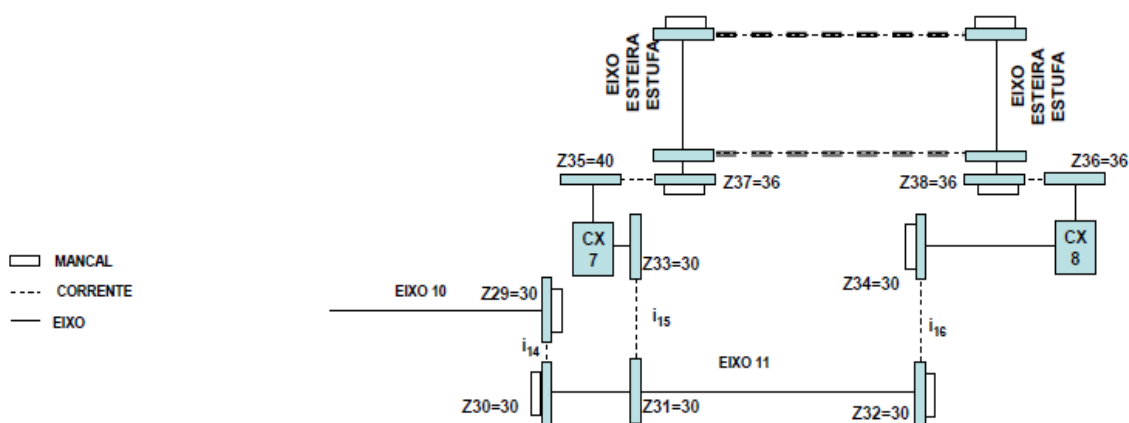


Figura 28 – Sistema de acionamento da esteira de grampos da estufa a partir da unidade variadora auxiliar

Os valores de velocidade e torque de E_{29} eram os mesmos de E_{23} , já que E_{29} estava no mesmo eixo. Os valores eram $n_{E_{29}} = 343$ rpm e $T_{E_{29}} = 158$ N.m.

Ao observar a figura 28 é visto que há duas caixas de transmissão para acionar a esteira de grampos da estufa, já que a esteira tem aproximadamente 2500 grampos e 37 metros de comprimento. O peso da esteira vazia é relativamente alto e quando em processo normal sofre uma variação de peso muito alta devido a constante entrada e saída de material da esteira. Além disso, ainda existe a variação de comprimento causada pela dilatação térmica gerada pelo calor no interior da estufa.

Nas duas caixas a relação de transmissão é de 1:1. São usados apenas para girar o sentido de transmissão em 90° . É colocada na saída da caixa dianteira uma engrenagem com 4 dentes a menos do que a engrenagem de saída da caixa de entrada. Isso é usado para reduzir a folga e atenuando o balanço dos grampos da esteira para evitar que as folhas metálicas arranhem.

No desenvolvimento do projeto foram mantidas as duas caixas de redução. O cálculo foi feito para se achar os motores para acionar a caixa.

Através da figura 28 é visto que as relações de transmissões até as entradas das caixas são iguais a 1. Logo os valores de velocidade e torque para as engrenagens E_{33} e E_{34} são os mesmos de E_{29} , logo os valores são: $n_{E33} = n_{E34} = 343$ rpm e $T_{E33} = T_{E34} = 158$ N.m.

Aplicando estes valores na equação (1) foi encontrada a potência dos motores para acionar as caixas da esteira de grampos. Substituindo foi encontrado $P \approx 7,5$ CV

Nesse ponto foram calculados todos os dados necessários para substituição do sistema de transmissão proposto para a máquina.

3.1.1 – Resumo dos cálculos realizados

O motor da impressora ficou o mesmo. Foi adaptado um conjunto de freio eletromagnético transformando-o num moto-freio. O sistema de transmissão para o elevador de entrada foi mantido.

A figura 29 mostra como ficou o sistema de transmissão após os cálculos indicando os eixos onde seriam colocados os novos motores.

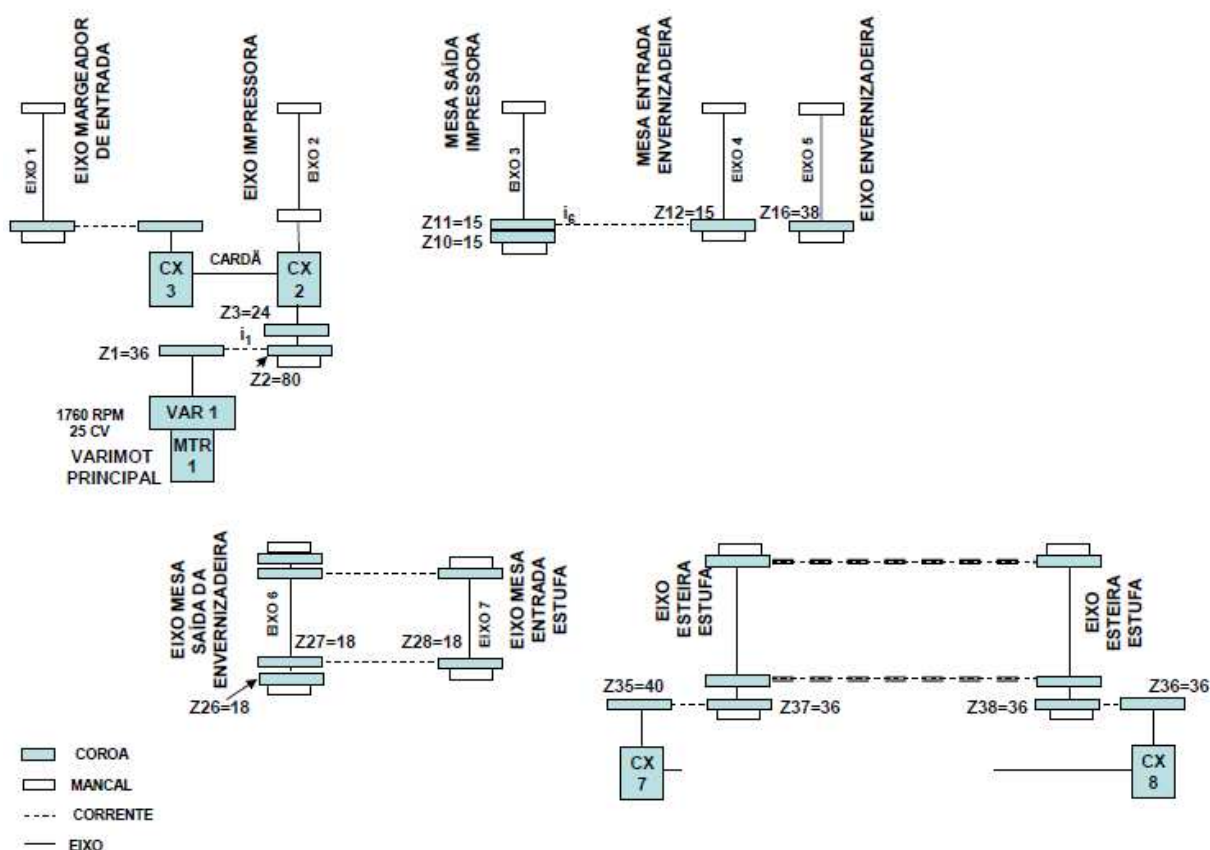


Figura 29 – Sistema de transmissão após os cálculos para adaptação dos motores.

Foi desmembrado o sistema de transmissão entre os eixos 3 e 4. Foi retirada a engrenagem E_{11} , retirado a corrente de transmissão i_6 . Foi colocado um motor no eixo 3 e um motor no eixo 4.

No eixo 5 foi colocado também um motor. Foi colocado também um motor no eixo 6. Foi mantida a transmissão entre o eixo 6 e eixo 7.

Pelos dados calculados observa-se que em todos os pontos necessitaria de um motor de 7,5 CV.

Pela experiência com o processo de trabalho do equipamento, concluiu-se que o sistema estava sobre dimensionado. Isto se devia ao fato de que o sistema mecânico tinha muitos eixos, correntes e engrenagens o que gerava perda de potência ao longo das transmissões.

Foi redimensionado os motores necessários baseado no funcionamento de outras máquinas.

A figura 30 mostra como ficou o novo sistema de transmissão com os novos motores instalados.

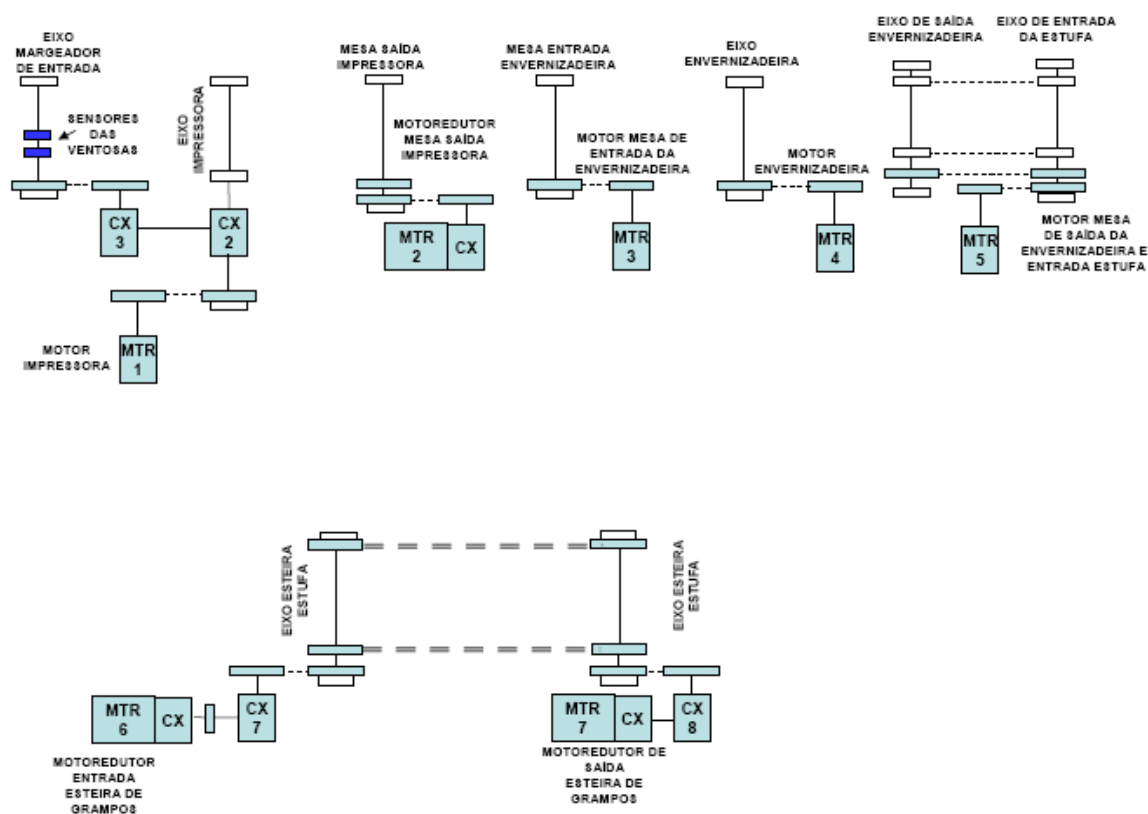


Figura 30 – Sistema de transmissão com os novos motores adaptados.

Pode-se observar no eixo do margeador de entrada a adaptação de dois sensores para o controle dos solenóides das ventosas responsáveis pela extração das folhas dos fardos de processo.

Objetivando a economia na modificação, foram aproveitados alguns motores existentes na empresa. Adequou-se o sistema eletrônico de controle de velocidade de acordo com os dados calculados e algumas relações de transmissão para a colocação dos motores foram alteradas.

Os motores colocados na modificação do sistema foram:

Motor nº 1 – motor de acionamento da impressora. Dados: 25 CV, 1760 rpm. Foi mantido o motor original da máquina. Foi adaptado no mesmo uma unidade de freio, transformando-o num moto-freio. O torque permaneceu o mesmo: 101 N.m

Motor nº 2 – moto-reductor de acionamento da mesa de saída da impressora. Dados: 1,5 Kw, 1720 rpm. Saída da redutora: 45 N.m, 321 rpm.

Motor nº 3 – motor de acionamento da mesa de entrada da envernizadeira. Dados: 1,5 CV, 1730 rpm. Torque disponibilizado: 37 N.m

Motor nº 4 – motor de acionamento da envernizadeira. Dados: 15 CV, 1170 rpm. Torque disponibilizado: 90 N.m. Este motor já existia no almoxarifado da empresa e foi aproveitado. Foi colocada uma engrenagem de 15 dentes no eixo do motor e uma de 37 dentes no eixo da máquina. Isto foi realizado para manter a relação de velocidade no eixo da máquina. O torque foi elevado 225 N.m.

Motor nº 5 – motor de acionamento da mesa de saída da envernizadeira e a mesa de entrada da estufa. Dados: 3 CV, 1725 rpm. Torque disponibilizado: 13 N.m. Foi alterada, também, a relação de transmissão para manter os valores mais próximos do calculado. Foi colocada uma engrenagem de 15 dentes na ponta do eixo do motor e substituída a do eixo por uma de 42 dentes. O torque foi elevado para 37 N.m.

Motor nº 6 e nº 7 – moto-redutores de acionamento da esteira de grampos. Moto-reductor de entrada e saída respectivamente. Dados: 4 kW, 1720 rpm. Saída da redutora: 133 N.m, 287 rpm. Acoplados diretamente no eixo de entrada da caixa redutora nº 7 e 8.

3.2 – Sistema atual de acionamento

A figura 31 mostra como ficou o sistema de transmissão da máquina com motores e inversores.

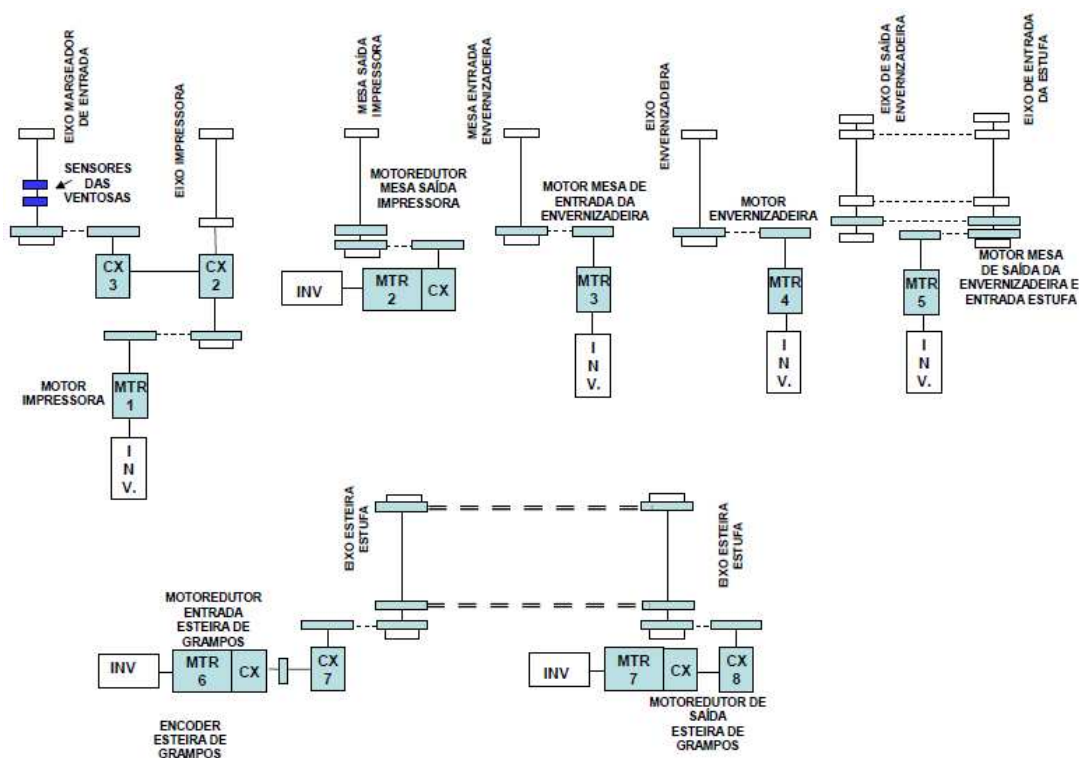


Figura 31 – Sistema de transmissão com os novos motores adaptados com os inversores de frequência.

Foi instalado um CLP com IHM para controle do equipamento. Em cada motor foi colocado um inversor de frequência para controle individual do mesmo.

Foi instalado um *encoder* no eixo de acionamento da impressora, um outro no eixo da envernizadeira e outro no moto-redutor de entrada da esteira da estufa.

O CLP foi dividido em três racks. Um principal controlando a parte de entrada da máquina. Um outro rack controlando a parte de saída da máquina e o último rack controlando a estufa e os queimadores.

Foi inserida uma mesa de comando com uma IHM na parte de entrada para fazer o controle operacional da máquina.

Foi inserida, também, uma IHM na saída da máquina para controle operacional dos produtos acabados.

Todos os racks e IHMs foram ligados em rede industrial Devicenet.

A figura 32 mostra o sistema atual com todos os motores, inversores, *encoders* e CLP. Mostra também a interligação entre os racks do CLP e as IHMs, bem como as ligações das analógicas de referência e ligação dos *encoders*.

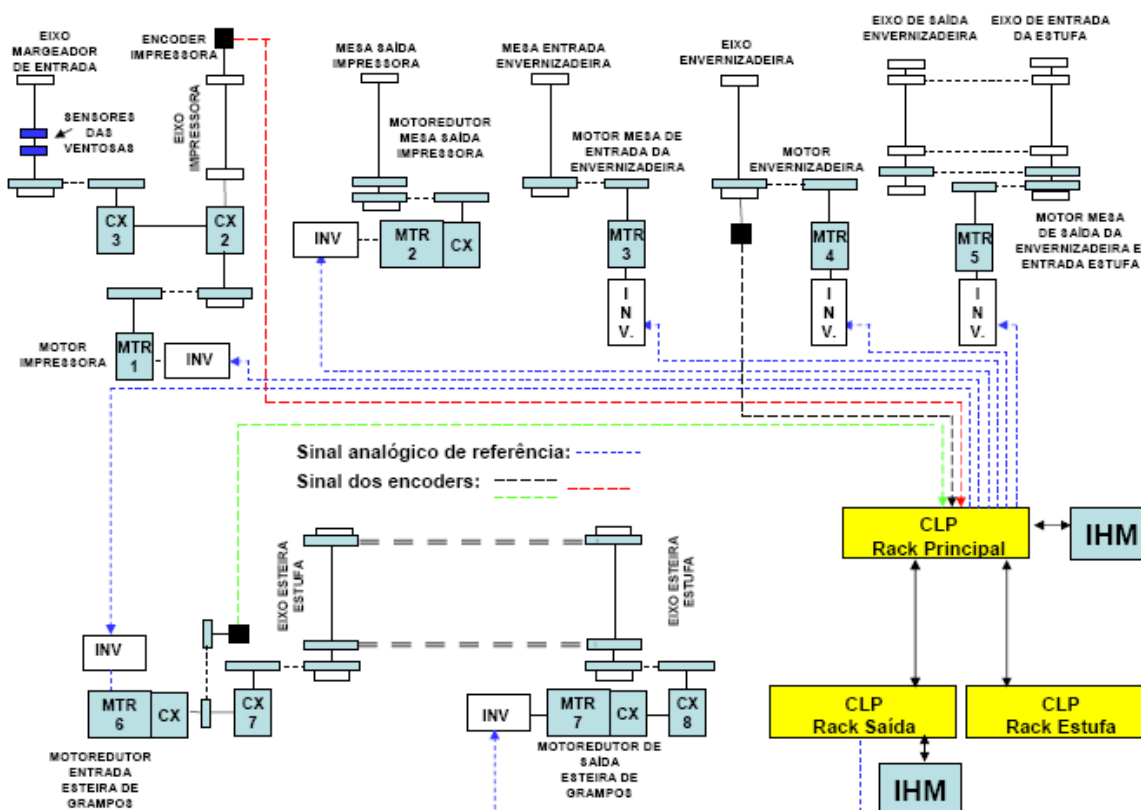


Figura 32 – Sistema de transmissão atual com todos os componentes.

3.2.1 – Equipamento eletrônico usado.

Na modernização da máquina foi usado o seguinte equipamento eletrônico:

- CLP Allen Bradley, modelo SLC500, composto de um rack principal com uma CPU54/04 com cartões de entrada e saída digitais, para sinais de limites, chaves, solenóides. Possui também cartões de entradas analógicas para referência de entrada de comando analógico e cartões de saídas analógicas para saída de sinais analógicos para referência de velocidade dos inversores da linha.

Possui também cartões especiais para receber sinais dos *encoders*.

O motivo de se ter escolhido o CLP citado anteriormente, foi devido ser um CLP de fácil programação, com um *software* com uma interface de fácil entendimento, e também, já se ter outros equipamentos com este CLP. Outro fator relevante que influenciou na escolha foi o fato de se ter conseguido um fornecedor com custo bem acessível.

O segundo rack foi instalado na parte superior da estufa para controle da temperatura. Também possui cartões de saída analógica para controle das servo válvulas moduladoras de gás e cartões de entrada analógicas para os sinais dos termopares além de cartões entrada e saída digitais.

O terceiro rack possui também cartões entrada e saída digitais e analógicos para controle dos motores da saída da máquina além dos sinais digitais necessários.

Todos os rack possuem cartões para comunicação em rede.

- IHMs de comando de operação da máquina. Foi colocada uma para controle operacional da máquina num console de comando próximo a impressora. O modelo foi uma Panelview 600 da Allen Bradley, onde foi montada as telas de operação da máquina. Na parte de saída da estufa foi colocada outra IHM Allen Bradley, modelo Panelview 300 onde foi montada telas para comando e controle do operador de saída de estufa.

- Os inversores de frequência usados na máquina são da marca WEG, modelo CFW08 e CFW09.

A escolha dos modelos dos inversores foi devido ao fato de serem inversores de fácil programação, fabricação nacional e custo reduzido.

3.2.2 – Descrição de funcionamento operacional do novo sistema.

O operador posiciona a folha na pinça da impressora e ajusta os martelos na parte traseira da folha. As ventosas dianteiras do empilhador de entrada deverão estar na posição avançada para soltar a folha e as traseiras deverão estar recolhidas para retirar a folha do fardo. Simultaneamente as solenóides que geram o vácuo nas ventosas deverão estar desenergizadas para as mesmas liberarem as folhas. Simultaneamente a próxima folha deverá estar chegando à envernizadeira e outra deverá estar chegando à esteira de grampo.

Ao iniciar processo a máquina é sincronizada e após a sincronização é liberada a passagem de folha. Durante o funcionamento da máquina, caso seja necessário alterar a velocidade, a posição da folha em relação a máquina deve permanecer a mesma.

Quando uma das esteiras de saída parar, a passagem de folhas é desligada e a esteira de grampos é desligada. Ao iniciar o processo novamente a máquina deve ser sincronizada novamente.

3.2.3 – Descrição de funcionamento do sistema supervisório.

Na IHM foi desenvolvido várias telas de operação. Na tela inicial foi colocado direcionamento para as telas operacionais. Esta tela aparece assim que a máquina é ligada. Nesta tela há o acesso a todas as telas operacionais da máquina.

A figura 33 mostra a tela inicial da IHM da mesa de comando.



Figura 33 – Tela principal da IHM do operador.

A tela inicial de operação, indicada na figura 33 mostra as sub telas com as funções operacionais da máquina.

As sub telas operacionais são acessadas acionando a tecla indicada. Essas teclas se localizam na parte inferior da IHM.

Ao se acionar a tecla (F1), acessa-se a sub tela de operação que é mostrada na figura 34. Nessa tela se tem todo o controle da máquina.

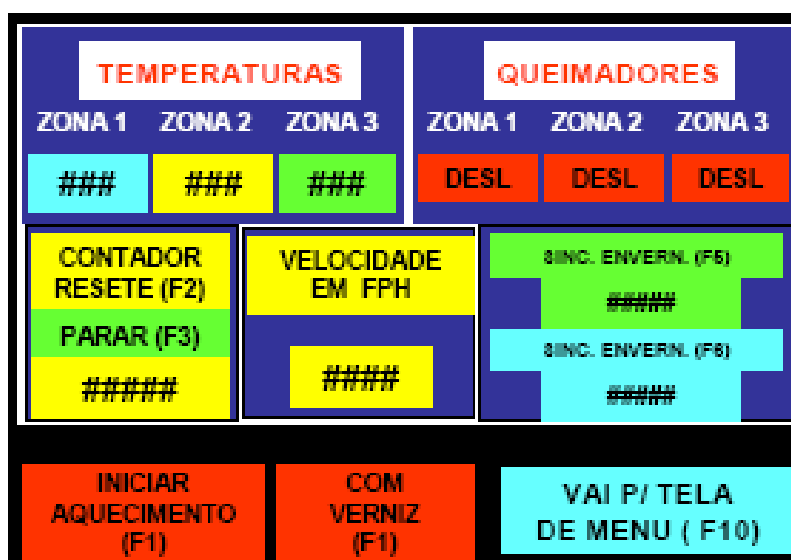


Figura 34 – Tela de operação principal da máquina.

Os pontos da tela de operação são:

- **Temperaturas** – mostra o valor atual das temperaturas das zonas de calor;
- **Queimadores** – mostra se os queimadores das zonas de calor estão acessos ou apagados;
- **Contador** – mostra o valor de contagem de folhas processadas. Também indica, neste campo, qual a tecla usada para reset (tecla F2) e qual a tecla para iniciar e parar a contagem do contador (tecla F3);
- Mostra a velocidade em que a máquina está trabalhando em folha por hora (F.P.H.);
- Mostra como acessar a sub tela de ajuste do ponto de sincronismo da envernizadeira (tecla F5). O valor do ponto de sincronismo é mostrado na tela no campo “SINC. ENVERN. (F5)”;
- Mostra como acessar a sub tela de ajuste do ponto de sincronismo da esteira de grampos da estufa (tecla F6). O valor do ponto de sincronismo é mostrado na tela no campo “ SINC. ESTEIRA (“F6) “;
- Indica a tecla de início e parada de aquecimento das zonas (tecla (F1));
- Possibilita a seleção de trabalho da máquina usando ou não a envernizadeira (tecla (F4));
- Mostra a tecla de acesso a tela de menu (tecla (F10)).

O *setpoint* sincronismo da envernizadeira é em função do ponto de sincronismo zero da impressora. O *setpoint* de sincronismo da esteira de grampos é em função do sincronismo da envernizadeira e da impressora.

Os valores dos pontos de sincronismo são colocados em função do valor do encoder da impressora, que foi direcionada como unidade mestre. Estes valores também são em função do comprimento da folha de processo.

O valor do sincronismo da envernizadeira é colocado em função do ponto zero encontrado na impressora. O ponto zero do encoder da impressora é sempre uma folha na pinça. Como a folha varia em comprimento, o ponto de sincronismo envernizadeira varia em função do comprimento da folha. A folha deve chegar à envernizadeira no momento exato em que uma folha está terminando de sair da impressora e outra está entrando na impressora.

O valor do sincronismo da esteira de grampos é colocado em função do valor do sincronismo da envernizadeira que já está sincronizada com a impressora.

No momento em que uma folha está entrando na esteira de grampos, uma folha está saindo da envernizadeira e outra entre a esteira de saída.

Na tela de menu da figura 33 ao se apertar a tecla (F2), é mostrada a sub tela de controle dos motores de entrada. Essa sub tela é mostrada na figura 35.

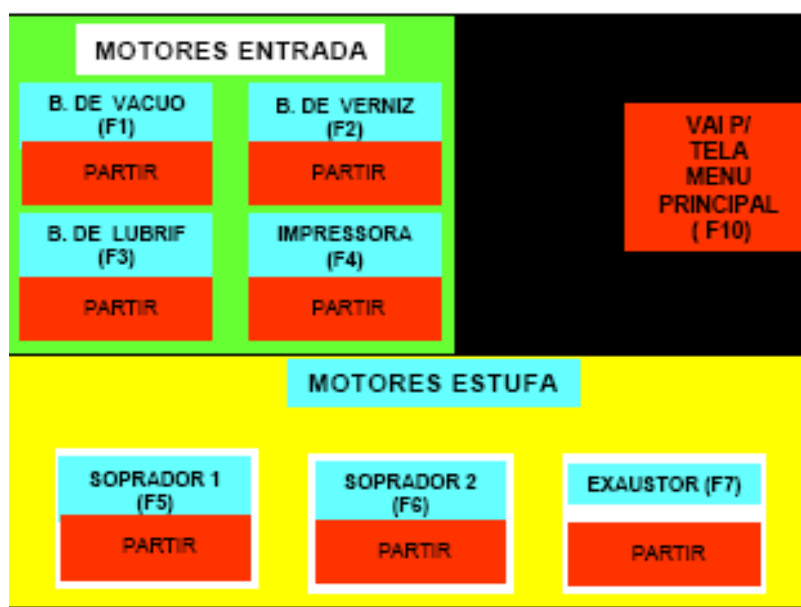


Figura 35 – Tela de operação dos motores de entrada.

A sub tela de motores de entrada liga o motor da impressora, a bomba de verniz, a bomba de lubrificação e a bomba de vácuo que faz ao vácuo das ventosas

do empilhador de entrada. Além disso, também liga os motores sopradores da estufa.

Na tela de menu da figura 33 ao se apertar a tecla (F3), é mostrada a sub tela de controle dos dados de processo (*setup*). Essa sub tela é mostrada na figura 36.

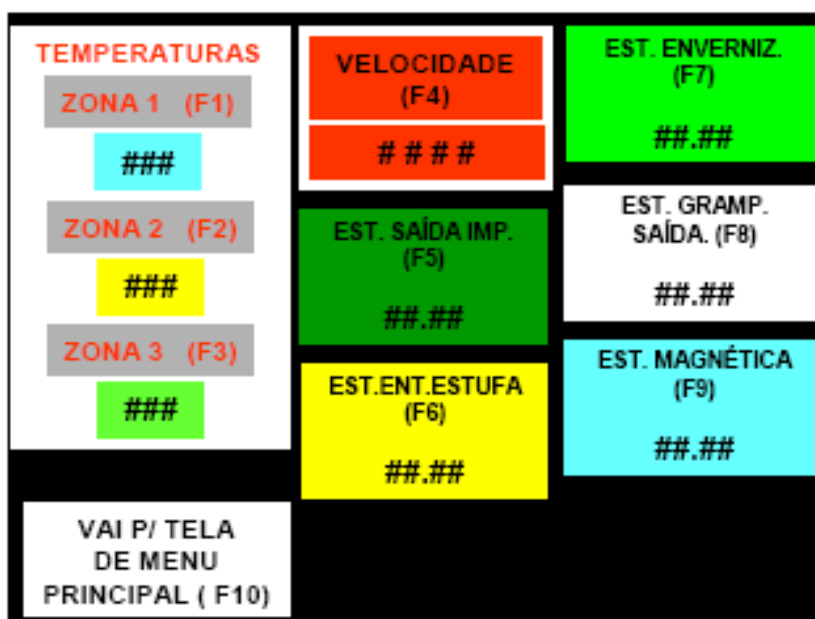


Figura 36 – Tela de *setup* da máquina

Na tela de *setup* é possível ajustar os *setpoints* de temperatura das zonas de calor e a velocidade de produção. É possível também fazer correções nas velocidades das esteiras intermediárias de entrada. Além disso, também há possibilidade de corrigir a velocidade do moto-reductor de saída da esteira de grampos.

A correção da velocidade do moto-reductor de saída em função da do moto-reductor é necessária para manter a corrente de grampos da estufa sempre esticada na parte superior para evitar que a vibração arranhe a folha.

Na tela de menu da figura 33 ao se apertar a tecla (F4), é mostrada a sub tela de controle de seleção das impressoras. Essa sub tela é mostrada na figura 37.

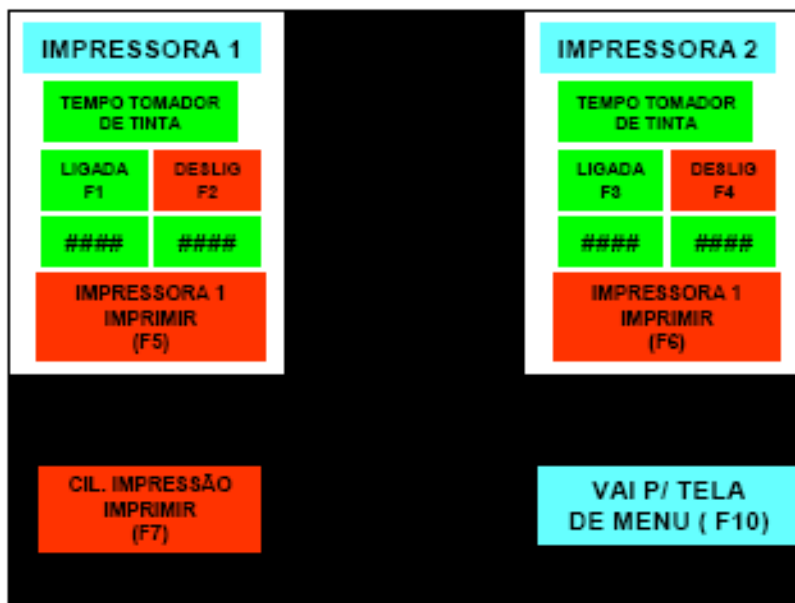


Figura 37 – Tela de operação de seleção das impressoras.

Na tela da impressora faz-se a seleção das impressoras que irão trabalhar, bem como os motores dos tinteiros.

3.2.4 – Descrição de funcionamento do sistema de sincronismo

Num sistema de sincronismo, o melhor ponto de referência é quando se consegue que um giro completo do conjunto mecânico representa um giro completo do encoder. Relações fora deste padrão representam grandes dificuldades na hora de se elaborar o programa operacional da máquina já que números fracionários são mais complicados de serem trabalhados na eletrônica além de gerarem cálculos com alguma margem de imprecisão.

Outro ponto convencional num sistema de sincronismo é alinhar ou zerar todos os eixos ou posição de motores e em seguida acioná-los de modo que todos iniciem ao mesmo tempo.

O processo que foi usado na elaboração do programa da máquina, não foi o conceito convencional, mesmo tendo-se relações com resultados fracionados.

O sistema de sincronismo ficou da seguinte forma:

- o operador ao posicionar a folha na impressora, a folha presa na pinça, o *encoder* está posicionado próximo ao zero de referência. A relação mecânica da impressora ficou a relação padrão, isto é, uma volta do rolo de impressão ocasiona uma volta do *encoder*. Com isto, toda vez que a pinça prende uma folha o *encoder* da impressora gira uma volta, passando pelo seu ponto zero. Este valor é registrado no CLP.

Ao posicionar a folha na envernizadeira, o *encoder* registra um valor que era computado no CLP. Este valor não é o zero do *encoder*, já que as relações de transmissões foram feitas com material existente na própria empresa o que resultou uma relação diferente de uma volta do cilindro da envernizadeira para uma volta do *encoder* da envernizadeira.

Ao posicionar a folha na esteira de grampos, deve-se posicionar um grampo alinhado com a esteira de entrada da estufa. A relação normal é um grampo no alinhamento da esteira de entrada da estufa para cada volta do *encoder* da esteira de grampos. Tal fato também não foi conseguido devido ao fato das relações serem feitas com o material existente na empresa.

Por causa desta situação os valores registrados no *encoder* da envernizadeira e da esteira de grampos foram levados em consideração como zero de posicionamento.

Os valores de sincronismo entre envernizadeira e impressora e esteira de grampos e envernizadeira devem ser mantidos constantes ao longo do trabalho para a folha ajustada.

O valor de sincronismo entre a envernizadeira e impressora é a diferença entre o valor obtido no *encoder* da envernizadeira e o valor do *encoder* da impressora. Por exemplo, o valor do *encoder* da impressora é sempre zero e

supondo que o valor da envernizadeira para um determinado valor de comprimento de folha correspondeu a 2550 pulsos do *encoder* da envernizadeira, a diferença entre eles será de 2550 pulsos. Esta diferença deverá ser sempre a mesma durante todo o trabalho.

Para se ajustar a velocidade geral da máquina, foi arbitrado um valor de velocidade para a mesma e verificado se a velocidade correspondia ao valor pedido (F.P.M.).

A máquina foi ligada e como já estava posicionado os valores dos encoders, foi ajustado as velocidades de cada ponto para garantir a quantidade de folhas pedida na velocidade de ajuste. A velocidade de ajuste foi de 3000 folhas por hora ou 50 folhas por minuto. Isto resultava em 50 voltas do rolo impressor por minuto fazendo com que o *encoder* da impressora desse também 50 voltas. A cada volta do *encoder* era gerado 2500 pulsos. Foi usado um fator de multiplicação para contagem de pulsos no CLP. O valor do fator é 4. Logo a cada volta o CLP conta 10.000 pulsos. Com isto o CLP teria que contar 500.000 pulso em um minuto. Foi ajustada a velocidade da impressora de modo que isto ocorresse.

Esse procedimento foi realizado apenas para ajuste de velocidade do motor da impressora.

No processo normal, a cada volta do *encoder* o valor dos pulsos é zerado toda vez que o *encoder* passa pelo ponto zero de referência, já que uma volta do *encoder* corresponde a uma volta do rolo impressor.

Cada vez que o *encoder* passa no zero de referência, incrementa um pulso num contador de tempo com base de 1 minuto. A cada minuto o CLP informa na tela do operador a velocidade da máquina, com base na quantidade de pulsos incrementados no contador a cada minuto.

A velocidade da esteira de saída da impressora e as esteira de entrada da envernizadeira foram ajustadas inicialmente passando uma folha de teste de modo que a folha saí-se da impressora e chega-se na envernizadeira no momento exato. Quando a folha chega-se na envernizadeira a impressora teria que estar no ponto zero do encoder. O mesmo processo se repetiria para ajustar a velocidade da esteira de saída da envernizadeira e da esteira de entrada da estufa.

Após esses ajustes iniciais de velocidade dos motores das esteiras, ajustes estes realizados nos inversores de frequência ajustando a frequência disponibilizada para os motores, as esteiras ficaram com as velocidades sincronizadas de acordo com o tamanho da folha usada para calibração. Quando houver uma mudança de tamanho da folha não será mais necessário usar a calibração das velocidades das esteiras. Apenas ajustar a posição da folha na máquina.

Quando houver uma variação de velocidade essa diferença será mantida ao longo de toda a aceleração e desaceleração da máquina.

Durante o processo pode ocorrer ser necessário um atraso ou adiantamento na posição da folha nas correias e esteira de grampo. Isto se faz alterando-se os valores da correia que se deseja corrigir.

3.2.5 – Descrição básica do programa do CLP

O CLP usado foi o modelo Allen Bradley SLC500. Foi usado três cartões HSCE para receber sinais dos *encoders*.

O programa foi dividido em blocos para facilitar a programação. Os blocos foram chamados de:

Principal – onde se faz gerenciamento das sub-rotinas cíclicas. As sub-rotinas cíclicas são:

- programação dos módulos HSCE;
- status da seção de entrada;
- status da estufa;
- purga (condição de segurança dos queimadores);
- habilitação da tela de manutenção;
- permissíveis de entrada;
- alimentação de folhas na seção de entrada;
- rodar seção de entrada;
- comunicação com PLC de saída;
- comunicação entre os controladores.

A figura 38 mostra o início da lógica da sub-rotina principal de gerenciamento das sub-rotinas cíclicas.

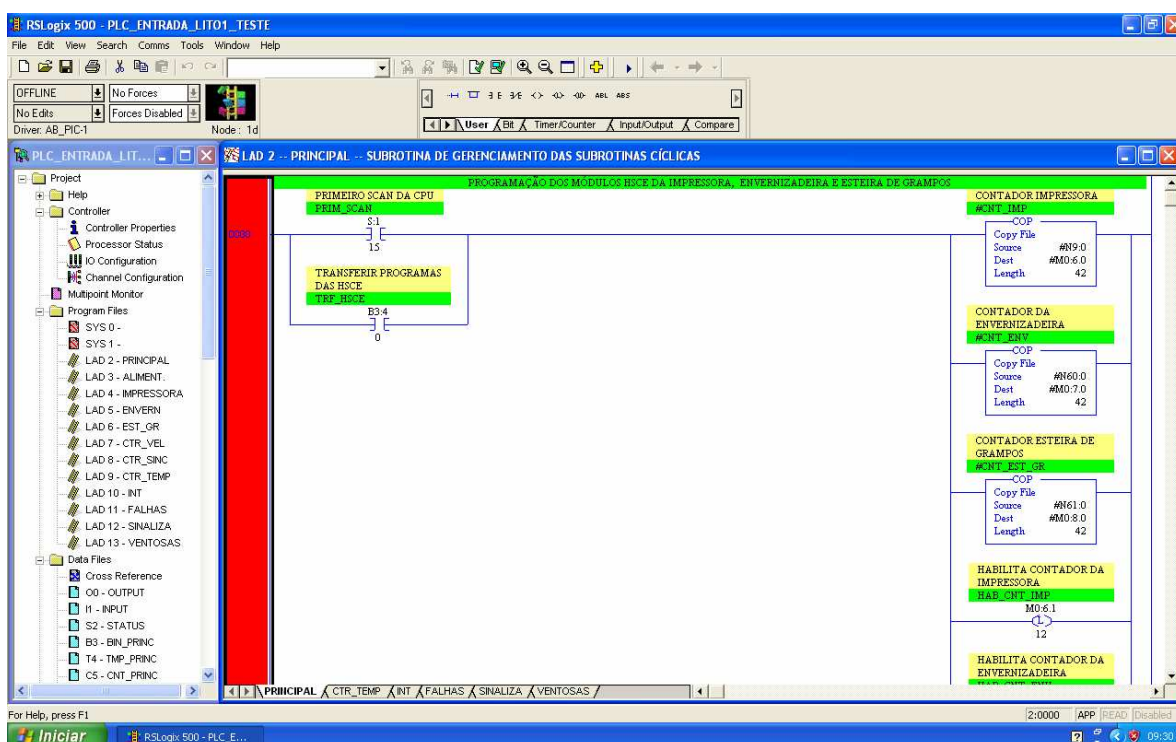


Figura 38 – Início da sub-rotina principal.

A rotina principal mostra a programação das placas HSCE (High Speed Counter Encoder Card), que são placas especiais para conexões de *encoders*. São placas programáveis, as quais o modo de operação programável determina o

número de contadores e quais as entradas da placa serão usadas. Foram instaladas três placas desse modelo na máquina.

Recebem os pulsos dos *encoders* instalados e nesta rotina também é setado a velocidade da máquina.

É realizado também, nesta rotina, o status de funcionamento da máquina.

Aliment. – onde se faz o controle do alimentador de folhas da entrada. As sub-rotinas do alimentador são:

- mesa rolete;
- bomba de vácuo do alimentador;
- elevador do alimentador;
- alimentar folha;
- rejeito de folhas;
- iniciar posição das ventosas.

A figura 39 mostra o início da lógica da sub-rotina do alimentador. Nessa sub-rotina é feito o gerenciamento do funcionamento do alimentador de folhas.

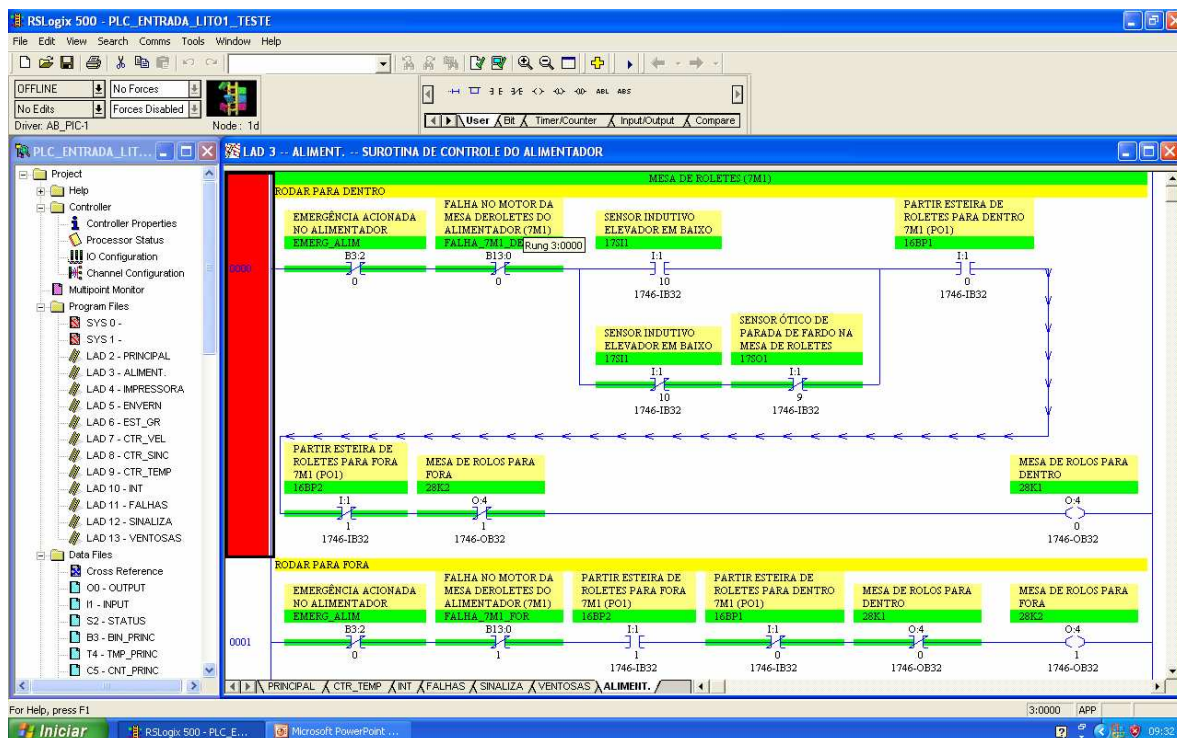


Figura 39 – Início da sub-rotina do alimentador.

Impressora – onde se faz o controle da impressora. As sub-rotinas da impressora são:

- motor da impressora;
- permissíveis da impressora;
- bomba de lubrificação;
- mesa de saída da impressora;
- acionamento pneumático do cilindro de impressão;
- acionamentos pneumáticos do contra pressão;
- acionamentos pneumáticos rolagem de tinta impressora 1;
- acionamentos pneumáticos molhador impressora 1;
- acionamentos pneumáticos do rolo tomador de tinta da impressora 1;
- acionamentos pneumáticos rolagem de tinta impressora 2;
- acionamentos pneumáticos molhador impressora 2;
- acionamentos pneumáticos do rolo tomador de tinta impressora 2.

A figura 40 mostra o início da lógica da sub-rotina da impressora. Nessa sub-rotina é feito o gerenciamento do funcionamento da impressora.

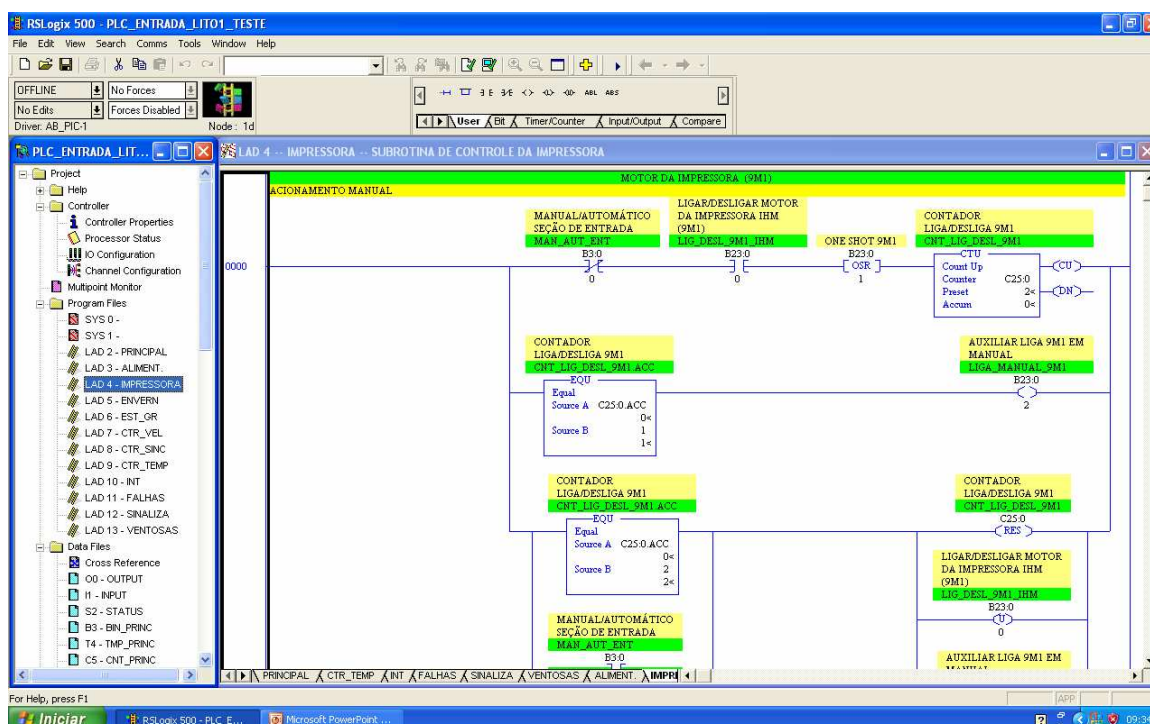


Figura 40 – Início da sub-rotina da impressora.

Envern. – onde se faz o controle da envernizadeira. As sub-rotinas da envernizadeira são:

- bomba de verniz;
- motor da envernizadeira;
- motor da esteira da envernizadeira.

A figura 41 mostra o início da lógica da sub-rotina da envernizadeira. Nessa sub-rotina é feito o gerenciamento do funcionamento da envernizadeira.

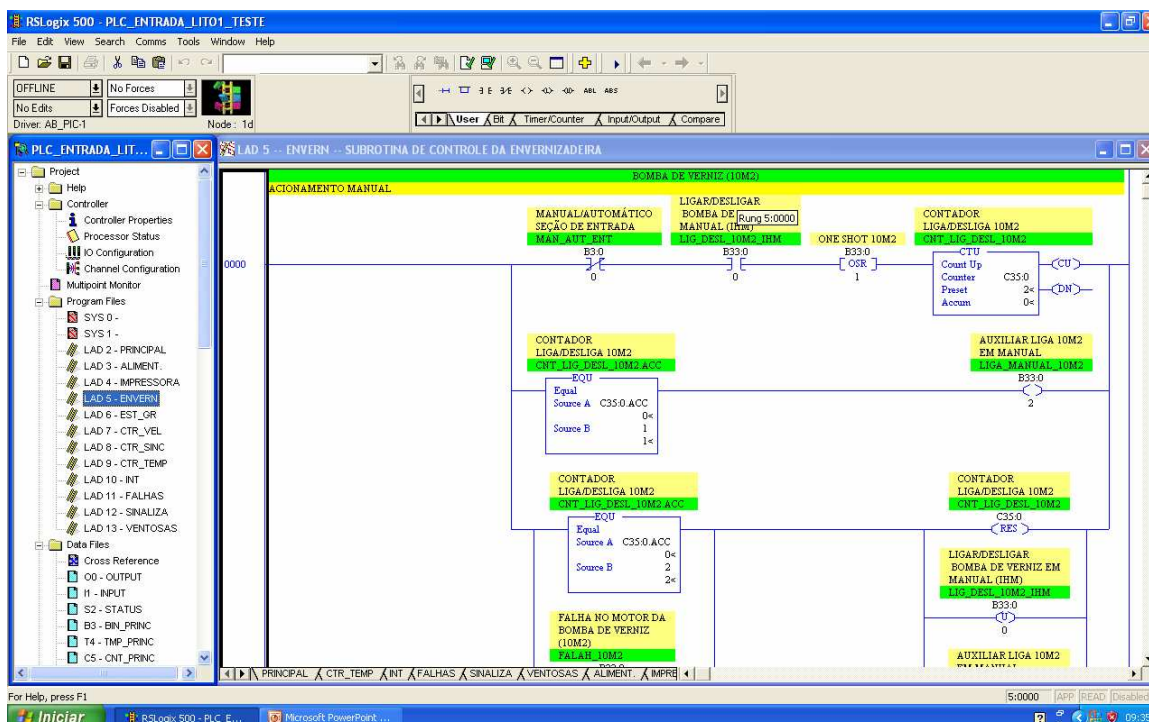


Figura 41 – Início da sub-rotina da envernizadeira.

Ctrl_Vel. – onde se faz o controle da esteira de grampos. As sub-rotinas da esteira de grampos são:

- mesa de entrada da estufa;
- esteira magnética;
- esteira de grampos;
- contador de folhas na esteira de grampos;
- velocidade em FPH esteira de grampos.

A figura 42 mostra o início da lógica da sub-rotina de controle de velocidade da esteira de grampos. Nessa sub-rotina é feito o gerenciamento do funcionamento do controle de velocidade da esteira de grampos.

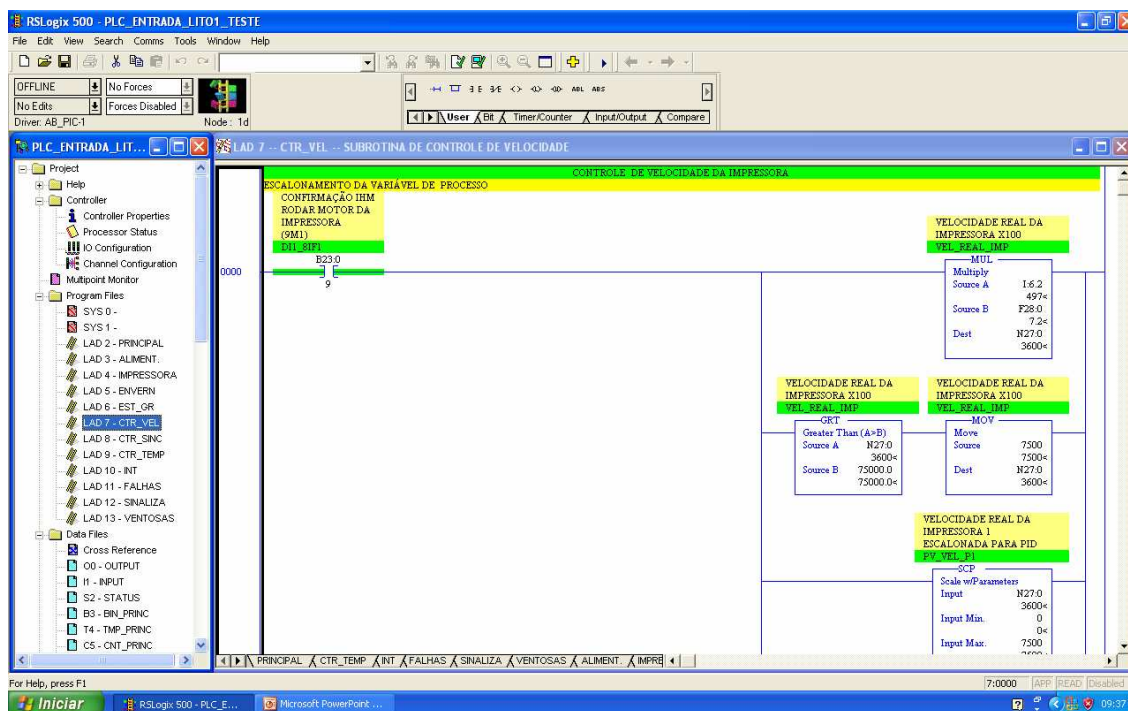


Figura 42 – Início da sub-rotina do controle de velocidade da esteira de grampos.

Ctrl_Sinc. – onde se faz o controle do sincronismo. As sub-rotinas do controle de sincronismo são:

- sincronismo envernizadeira;
- sincronismo esteira de grampos;
- sincronismo.

A figura 43 mostra o início da lógica da sub-rotina de controle do sincronismo. Nesta sub-rotina é feito o gerenciamento do funcionamento do controle de sincronismo.

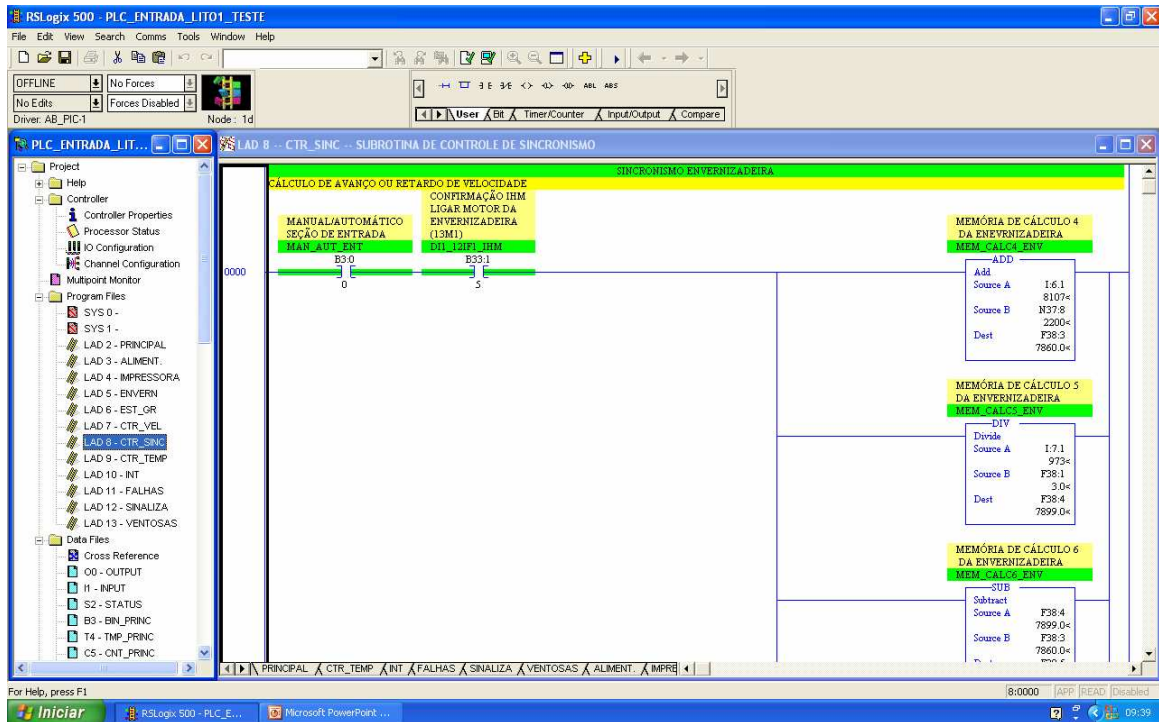


Figura 43 – Início da sub-rotina do controle de sincronismo.

Ctrl_Temp. – onde se faz o controle da temperatura. As sub-rotinas do controle de temperatura são:

- leitura das temperaturas;
- controle de temperatura da zona 1;
- controle de temperatura da zona 2;
- controle de temperatura da zona 3.

A figura 44 mostra o início da lógica da sub-rotina de controle de temperatura da estufa. Nessa sub-rotina é feito o gerenciamento do funcionamento do controle de temperatura da estufa da máquina.

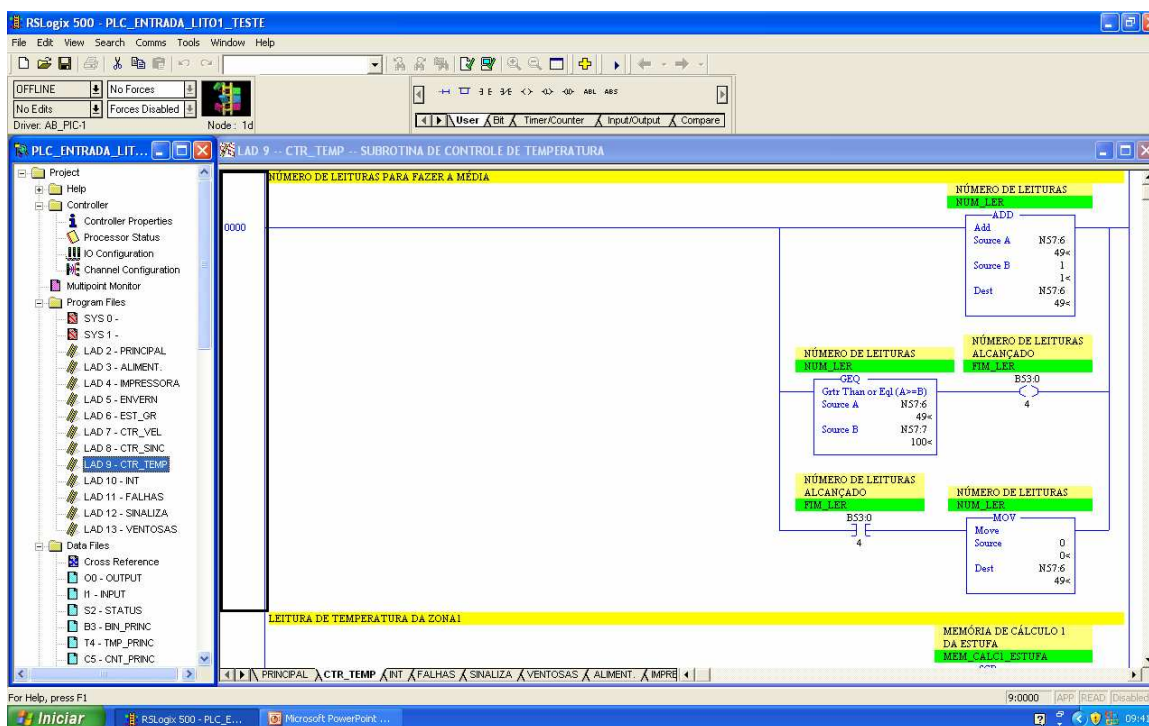


Figura 44 – Início da sub-rotina de controle de temperatura da estufa.

Int. – onde se faz o controle da sub-rotina de interrupção. As sub-rotinas de interrupção são:

- leitura da contagem atual dos geradores de pulsos;
- cálculo de consumo de gás.

A figura 45 mostra o início da lógica da sub-rotina de controle das interrupções do programa. Essas sub-rotinas são responsáveis pelo controle do sincronismo e do consumo de gás da estufa.

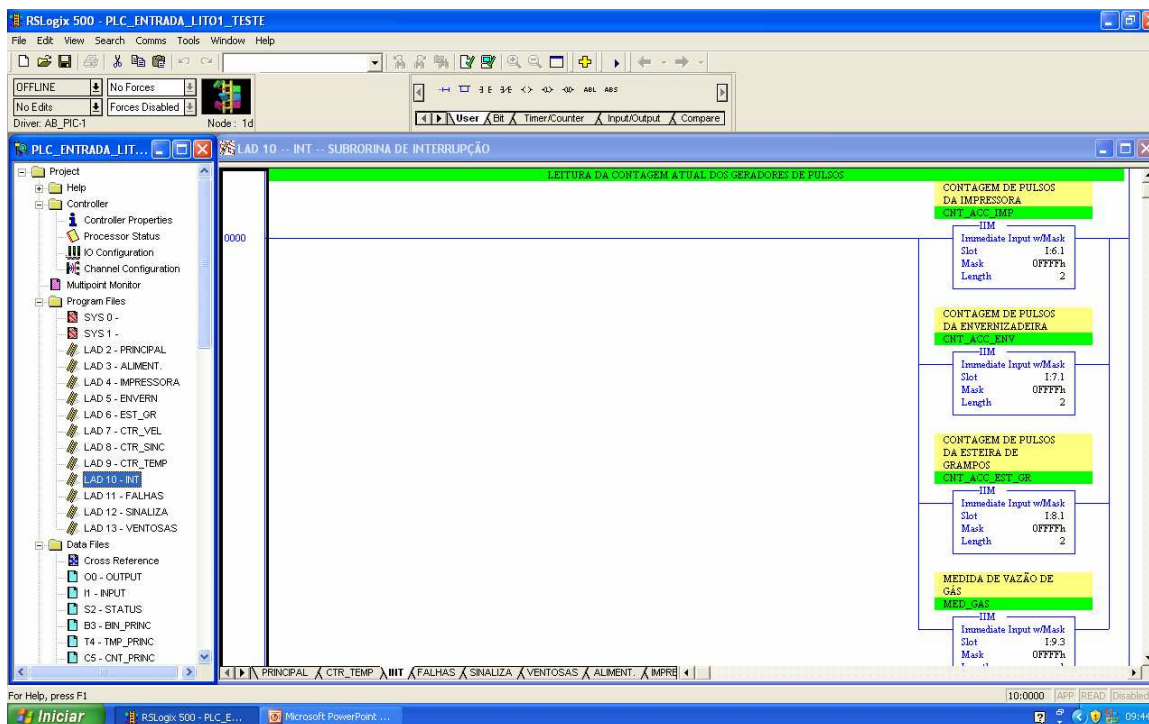


Figura 45 – Início da sub-rotina de controle das interrupções do programa.

Falhas – onde se faz o controle do gerenciamento de falhas. As sub-rotinas são:

- emergências dos setores da máquina;
- falha seção de entrada;
- falhas na temperatura do forno.

A figura 46 mostra o início da lógica da sub-rotina de controle das falhas que possam ocorrer na máquina.

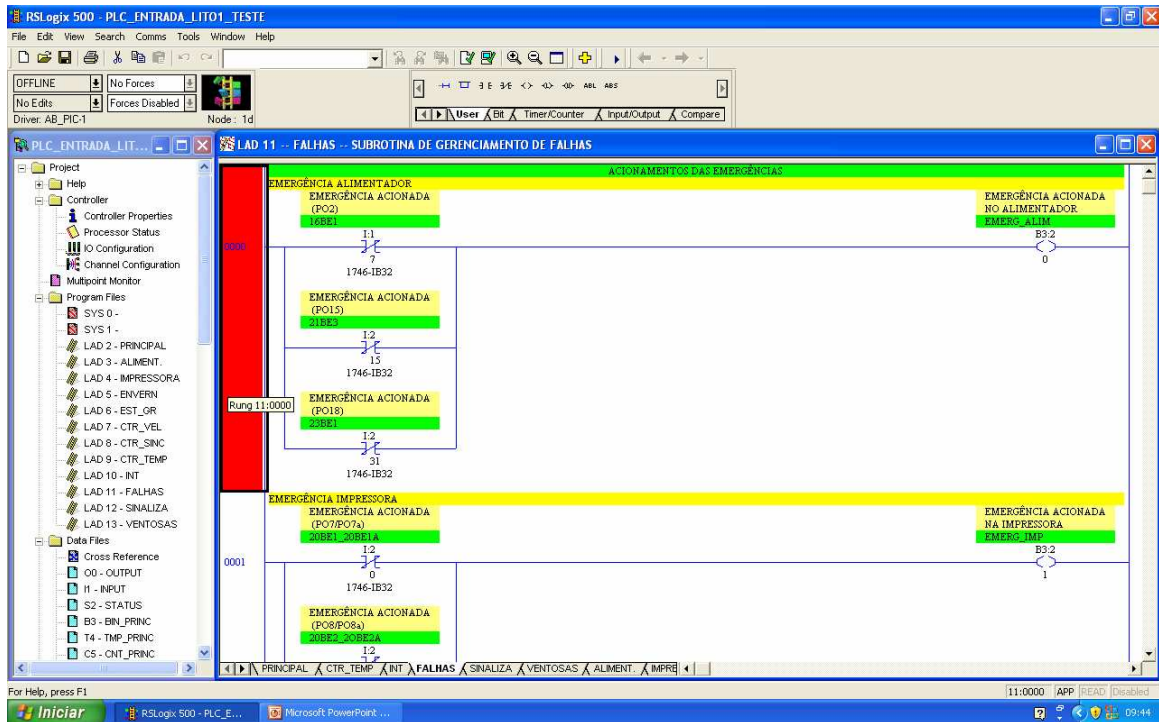


Figura 46 – Início da sub-rotina de controle e gerenciamento das falhas.

Sinaliza – onde se faz o controle da sinalização. As sub-rotinas de sinalização são:

- oscilador para sinalização;
- sinalização do alimentador;
- sinalização impressora;
- sinalização mesa de saída da impressora;
- sinalização envernizadeira;
- emergência.

A figura 47 mostra o início da lógica da sub-rotina de controle de sinalização dos eventos da máquina.

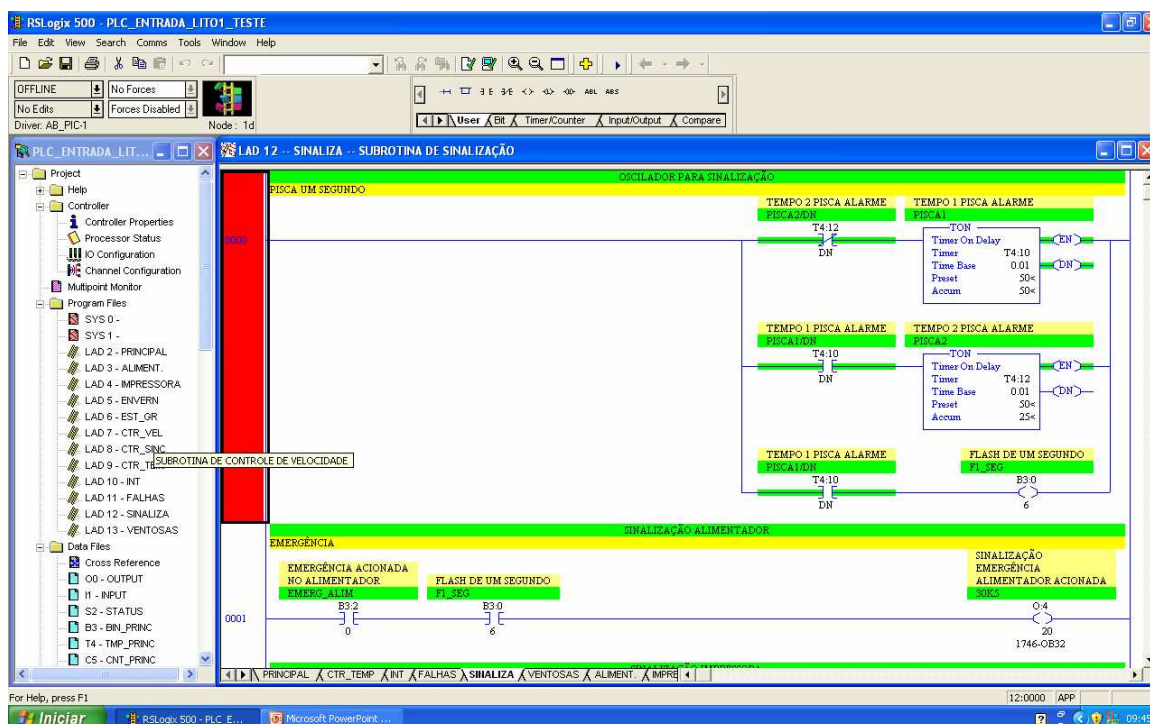


Figura 47 – Início da sub-rotina de controle e gerenciamento da sinalização.

Ventosas – onde se faz o controle das ventosas do alimentador de entrada.

As sub-rotinas das ventosas são:

- acionamento das ventosas;
- cilindro de contra pressão.

A figura 48 mostra o início da lógica da sub-rotina de controle das ventosas do empilhador de entrada. Essas ventosas são responsáveis pela extração das folhas do empilhador para a máquina.

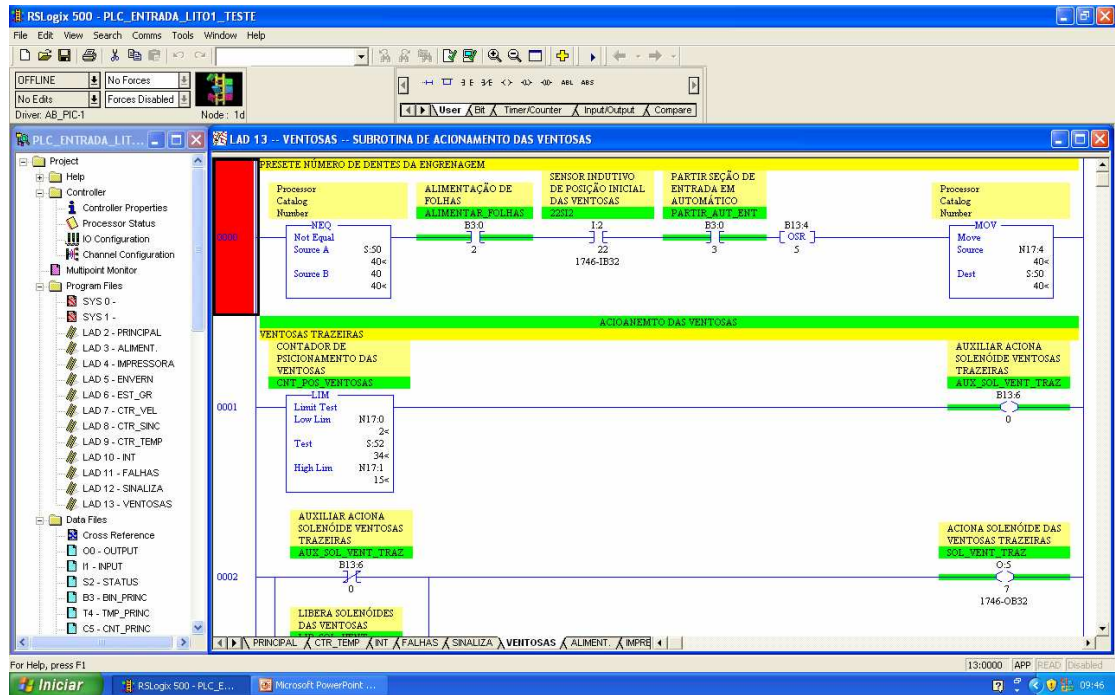


Figura 48 – Início da sub-rotina de controle e gerenciamento das ventosas.

Além de toda a reforma da parte de transmissão mecânica, foi realizado também algumas modificações na máquina impressora. Foi substituído acionamentos mecânicos na máquina por acionamento eletro-pneumático.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS OBTIDOS

Como a máquina era antiga com muitos conjuntos mecânicos antigos e o conjunto de transmissão, além de ter o eixo principal colocado numa canaleta no chão, as derivações, em número de oito, que eram acionadas por correntes, existia também o eixo de transmissão da estufa, que era um eixo apoiado em vários mancais, já que possuía aproximadamente 30 metros de comprimento, o índice de defeitos mecânicos era muito alto.

A maior parte dos defeitos elétricos era ocasionado por quebra nos variadores de velocidade, principalmente o da impressora por ser de maior potência. Um outro índice que afetava, era problema nos painéis elétricos, principalmente por não terem uma documentação adequada, o que gerava uma perda de tempo muito grande para descobrir defeitos no sistema elétrico.

Na parte mecânica, o ponto alto de problemas era a caixa de marcha da impressora. Por ter engate direto era um ponto de quebra constante. Um outro ponto de alto índice era as correntes de transmissão para os eixos secundários da máquina.

A esteira de grampos também gerava alto índice de manutenção por que sempre arrebatava dentro da estufa devido a trancos ocasionado pelas duas redutoras da mesma.

O eixo de transmissão da estufa também sempre quebrava os acoplamentos, por ser muito comprido era seccionado em pedaços que eram unidos por acoplamentos. Esses eram os problemas que mais geravam manutenção.

O nível de ruído também era muito alto devido a existência de muitas transmissões mecânicas.

A velocidade da máquina, se comparada com as máquinas de hoje, era relativamente baixa. A velocidade máxima era de 3600 folhas por hora. A velocidade média era de 3000 folhas por hora.

De acordo com a tabela 3, o tempo de parada por problemas envolvendo o sistema de transmissão impactava em 18,65 % do tempo disponível do equipamento. A produtividade da máquina era muito afetada por causa destes problemas.

Foram gastos nessa reforma cerca de R\$ 200.000,00 entre mão de obra, tempo de projeto e equipamentos. Uma máquina desse porte nova, hoje em dia, custa cerca de R\$ 3.000.000,00. Por isso uma máquina deste porte não pode ter altos índices de parada nem baixa produtividade.

Com a implantação do projeto e passado o período de adaptação operacional a produtividade da máquina aumentou devido ao fato de se ter conseguido um aumento de velocidade até 4200 folhas por hora e a velocidade média subiu para 3600 folhas por hora.

O índice de parada por problemas de transmissão reduziu praticamente a zero, já que com o controle independente de velocidade de cada eixo, tornou-se mais fácil fazer a aceleração e desaceleração tornando-a mais suave o que praticamente eliminou as quebras das caixas de transmissão que ficaram.

Com a modernização dos painéis elétricos e dos queimadores reduziu-se também o tempo de parada por problemas elétricos e o custo do consumo de gás foi reduzido com os novos queimadores colocados.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

O trabalho alcançou o objetivo proposto inicialmente, que era o aumento de produtividade do equipamento e a eliminação do sistema de transmissão mecânico.

A velocidade média da máquina aumentou aproximadamente 20%, o índice de paradas praticamente foi reduzido a zero.

Um outro ponto que facilitou a manutenção foi que como o projeto foi desenvolvido pela própria equipe após grande estudo do equipamento, a manutenção ficou conhecendo melhor a máquina e atualmente existem todos os desenhos do equipamento, tanto eletroeletrônicos quanto mecânicos.

O custo da reforma foi baixo em relação a uma máquina nova e foi conseguido velocidade e produtividade compatível com as máquinas atuais.

O projeto teve uma aprovação muito grande por parte da alta direção da empresa, tanto que está sendo implantado nas outras máquinas que ainda possuem o sistema de transmissão como o que foi alterado.

Uma outra visão é que este trabalho possa servir de referência para trabalhos semelhantes como fonte de consulta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN BRADLEY – *High-Speed Counter Module. User Manual.* Publicação Técnica. São Paulo, 1995.

ALLEN BRADLEY – Módulos de E/S Analógica (Cód. Cat. 1746-NI4, NIO4I, NIO4V, NO4I e NO4V). Manual do Usuário. Publicação Técnica. São Paulo, 1996.

ALLEN BRADLEY – *SLC500 DeviceNet Scanner Module.* Publicação Técnica. São Paulo, 1996.

ALLEN BRADLEY – *Panelview 600 Terminals. Installation Instructions.* Publicação Técnica. São Paulo, 1996.

Basics of motion Control. Disponível em < http://www.motioncontroller.machinedesign.com/guides/content/bdeee1_7.aspx >. Acessado em 15 de março de 2009 às 16:00 hs.

CAPELLI, Alexandre, *Automação Industrial – Controle do Movimento e Processos Contínuos.* São Paulo: Editora Érica, 2006.

ENCODER. Disponível em < <http://www.ebah.com.br/encoders-pdf-a7828.html#> >. Acessado em 03 de abril de 2009 às 12:00 hs.

FIGINI, Gianfranco, *Eletrônica Industrial – Servomecanismos.* Teoria da Regulagem Automática. São Paulo: Hemus Livraria, Distribuidora e Editora, 2002.

FRANCHI, Claiton Moro, *Inversores de Frequência, 1ª Edição - Teoria e Aplicações.* São Paulo: Editora Érica, 2008.

IMPRESSÃO OFFSET. Disponível em < <http://www.fernandocaparroz.kit.net/offset/offset.htm> >. Acessado em 10 de abril de 2009 às 18:00 hs.

IMPRESSÃO OFFSET - Sistema de impressão Planográfico. Disponível em < <http://www.atardeservicosgraficos.com.br/apostoffset.php> >. Acessado em 02 de fevereiro às 22:00 hs.

LOPEZ, Ricardo Aldabó, *Sistemas de Redes para Controle e Automação.* São Paulo: Editora Book Express, 2000.

MELCONIAN, Sarkis, *Elementos de Máquinas, 7ª edição.* São Paulo: Editora Érica., 2006.

MIYAGI, P. E. *Controle Programável Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos.* São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1996.

OFFSET LITHOGRAPHY. Disponível em < www.fineprintschool.com >. Acessado em 05 de abril de 2009 às 22:00 hs.

SOUZA, Michele Bazana. Proposta de Arquitetura para avaliar Rede Elétrica de Veículo Automotor. Taubaté, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade de Taubaté.

U.S. Navy Bureau of Naval Personal Training Publication Division, Sincros Servomecanismos e Funcionamento de Giros. São Paulo: Hemus Livraria, Distribuidora e Editora, 2006.