

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE CAMPINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA E DISPOSITIVOS

"GERADOR AUTOMÁTICO DE MÁSCARAS DE PROCESSO
PARA CONFEÇÃO DE CIRCUITOS INTEGRADOS:
SISTEMA DE POSICIONAMENTO DIGITAL"

Por : MANOEL FRANCISCO DE SOUSA
Orientador : PROF.DR. CARLOS IGNACIO ZAMITTI MAMMANA

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da
Universidade Estadual de Campinas como requisito parcial
para a obtenção do título de "Mestre em Engenharia Elétrica"

DEZEMBRO - 1981

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

À Dona Emília, "Sô" Liccu e Celina, pessoal de sempre.

À Bia, Elisa e Eduardo, pessoal de agora.

AGRADECIMENTOS

A todo o pessoal do LED que com seu trabalho e interesse contribuiu para a realização do SAD. Particularmente, ao Paulo Cesar e Carlos Reis pela presença amigável e participação em todo o tempo e ao Sidney Saviani pela contribuição efetiva durante a fase de montagem do SAD e pelo apoio na reta de chegada.

À Marilisa e à Marli pelo trabalho de datilografia e montagem.

À Dodô e à Lúcia pelos desenhos.

Este trabalho contou com o apoio financeiro das entidades:

TELEBRÁS - Telecomunicações Brasileiras. S/A

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de
São Paulo.

R E S U M O

A litografia faz parte do conjunto de técnicas que concorrem para a fabricação de circuitos integrados em microeletrônica.

Dentro do campo da litografia, a chamada litografia óptica é a técnica melhor estabelecida e a mais difundida. Seu uso implica na utilização de máscaras durante o processo de fotogração. Essas máscaras podem ser obtidas a partir de reduções fotográficas de artes finais confeccionadas em "Rubylith" ou fotolito contendo a representação ampliada (100 a 200 vezes) das configurações desejadas.

Neste trabalho é descrita a implantação de um sistema automático de desenho (SAD) para ser utilizado na geração dessas artes finais, tanto em "Rubylith" como em fotolito.

O SAD é apresentado contendo três elementos: o de "hardware", o de "software" e o de óptica.

O Elemento de "Hardware" além do controle elétrico engloba as partes mecânicas dos equipamentos que compõem o SAD: coordenatôgrafo com motivos de passo, adaptador de ferramenta de corte ou desenho ao coordenatôgrafo, console, bastidor e leitora de fita de papel.

O Elemento de "Software" engloba as sequências de instruções reconhecíveis pelo Elemento de "Hardware" para gerar os desenhos desejados (PROGRAMAS DE DESENHO) e os programas (PROGRAMAS DE INTERFACE) que servem como meio de tradução dos dados de artes finais gerados por computador para a forma de PROGRAMAS DE DESENHO.

O Elemento de óptica engloba a parte óptica do sistema para sensibilização de fotolito: uma fonte luminosa conectada a um módulo projetor por meio de um cabo de fibras ópticas.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 - LITOGRAFIA E GERAÇÃO DE ARTES FINAIS	
1.1. A LITOGRAFIA NA MICROELETRÔNICA	1.2
1.1.1. Litografia Óptica	1.2
1.1.2. Litografia por Feixe de Eletrons	1.3
1.1.3. Raios-X	1.5
1.2. GERAÇÃO DE MÁSCARAS UTILIZADAS NA LITOGRAFIA APLICADA À MICRO- ELETRÔNICA	1.5
1.3. GERAÇÃO DE ARTES FINAIS EM MICROELETRÔNICA	1.6
1.3.1. Utilização de "Rubylith"	1.6
1.3.2. Utilização de Filme Gráfico	1.7
1.4. OPÇÃO ADOTADA PELO LED	1.8
CAPÍTULO 2 - DESCRIÇÃO DO SAD - SISTEMA AUTOMÁTICO DE DESENHO	
2.1. O ELEMENTO DE "HARDWARE" : CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS	2.1
2.1.1. Coordenatôgrafo	2.3
2.1.2. Adaptador de FCD ao Coordenatôgrafo	2.3
2.1.3. Console e Bastidor	2.4
2.1.4. Leitora de Fita de Papel	2.5
2.1.4.1. Especificações da LFP	2.5
2.1.4.2. Descrição Geral da LFP	2.5
2.2. O ELEMENTO DE ÓPTICA	2.7
2.3. O ELEMENTO DE "SOFTWARE"	2.8
2.3.1. O Corte de "Rubylith"	2.8
2.3.2. Sensibilização de Fotolito	2.10
2.3.3. Palavra de Instrução	2.13
2.3.4. Os Programas de Interface: FOTO e RUBY	2.14
2.3.4.1. Formato do Registro em Fita de Papel de 8 Canais	2.14
2.3.4.2. Formato das Listagens	2.15
2.4. O ELEMENTO DE "HARDWARE": CONTROLE	2.16
2.4.1. Programa de Operação	2.18
2.4.1.1. Programa da Unidade de Controle para Operação MODO 1	2.18
2.4.1.2. Programa da Unidade de Controle para Operação MODO 2	2.19
2.4.1.3. Programa da Unidade de Controle para Operação MODO 3	2.19
2.4.1.4. Programa da Unidade de Controle para Operação MODO 4	2.20
2.4.1.5. Programa da Unidade de Controle para Operação MODO 5	2.22
2.4.1.6. Programa da Unidade de Controle para Operação MODO 6	2.24
2.4.1.7. Programa da Unidade de Controle para Operação MODO 7	2.25

2.4.2.	A Unidade de Controle	2.28
2.4.2.1.	Chaves de Programação: Modo de Operação do Controle do SAD	2.28
2.4.2.2.	O Monitor da Unidade de Controle	2.29
2.4.2.3.	Chaves do Controle	2.29
2.4.2.4.	Condição Inicial do Sistema	2.30
2.4.2.5.	Condições de Interrupção de Operação	2.30
2.4.2.6.	Controle de Correção	2.31
2.4.3.	A Unidade de Entrada de Instruções	2.33
2.4.3.1.	O Controle do TECLADO	2.33
2.4.3.2.	Interface do TECLADO com a UNIDADE DE CONTROLE	2.35
2.4.3.3.	O Controle da LFP	2.36
2.4.3.4.	Interface da LFP com a UNIDADE DE CONTROLE	2.38
2.4.4.	A Unidade de Memória	2.38
2.4.4.1.	Interface entre a UNIDADE DE MEMÓRIA e a UNIDADE DE CONTROLE	2.40
2.4.5.	A Unidade de Desenho	2.41
2.4.5.1.	Interpretador de Instrução	2.41
2.4.5.2.	Processador de Deslocamento X, Y	2.41
2.4.5.3.	Excitador de Motores de Passo	2.43
2.4.5.3.1.	Controle da Frequência de Excitação dos Motores de Passo	2.43
2.4.5.3.2.	Controle da Lógica de Excitação dos Motores de Passo	2.53
2.4.5.3.3.	Controle da Potência de Excitação dos Motores de Passo	2.53
2.4.5.4.	Excitador de Ferramenta para Corte/Desenho	2.54
2.4.5.5.	Excitador para o Sistema de Sensibilização de Fotolito	2.54
2.4.5.6.	Processadores de Atuação Z	2.57
2.4.5.6.1.	Processador de Atuação Z para Operação de Corte/Desenho	2.57
2.4.5.6.2.	Processador de Atuação Z para Operação de Sensibilização de Fotolito	2.59
2.4.5.7.	Interface entre a UNIDADE DE DESENHO e a UNIDADE DE CONTROLE	2.61
2.4.6.	Painel do Console	2.62
2.4.7.	Painel do Teclado	2.64
2.4.8.	Realização da Lógica do CONTROLE do SAD	2.65

CAPÍTULO 3 - CONCLUSÕES

3.1.	ESTADO ATUAL DO ELEMENTO DE "SOFTWARE"	3.1
3.2.	ESTADO ATUAL DO ELEMENTO DE "HARDWARE"	3.1
3.2.1.	Repetibilidade de Posicionamento	3.1
3.2.2.	Operacionalidade do SAD	3.1
3.2.3.	O Controle do Elemento de "Hardware"	3.1
3.3.	ESTADO ATUAL DO ELEMENTO DE ÓPTICA	3.1
3.4.	A OPÇÃO ADOPTADA PARA A REALIZAÇÃO DO CONTROLE DO SAD	3.1

3.5.	PROPOSIÇÕES	3.2
3.6.	AValiação	3.2
3.7.	EXEMPLOS	3.2

ANEXO I - MOTOR DE PASSO: OPERAÇÃO E UTILIZAÇÃO

I.1.	TIPOS DE MOTORES DE PASSO E PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO	A.1
I.1.1.	Motor de Passo Tipo Solenóide-Catraca ("Solenoid and Ratched Type")	A.1
I.1.2.	Motor de Passo com Atuador Harmônico ("Harmonic Drive").	A.1
I.1.3.	Motor de Passo Tipo Síncrono de Fase Pulsada ("Phase-Pulsed Synchronous Type")	A.2
I.1.4.	Motor de Passo de Relutância Variável ("VR Step Motor").	A.4
I.1.5.	Motor de Passo de Imã Permanente	A.6
I.2.	TERMINOLOGIA ASSOCIADA A MOTORES DE PASSO DE IMÃ PERMANENTE ..	A.7
I.3.	ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR DE PASSO PD-12 DA PHILIPS	A.9
I.4.	CONDIÇÕES DE CONTORNO	A.11
I.5.	EXCITAÇÃO DE MOTORES DE PASSO DE IMÃ PERMANENTE	A.11
I.5.1.	Lógica de Excitação	A.11
I.5.1.1.	"Wave Drive"	A.12
I.5.1.2.	"Two-Phase Drive"	A.12
I.5.1.3.	"Half-Step Drive"	A.13
I.5.2.	Frequência de Excitação	A.14
I.5.3.	Potência de Excitação	A.15
I.5.3.1.	Excitação com Resistência Série	A.15
I.5.3.2.	Excitação com Dois Níveis de Tensão	A.16
I.5.3.3.	Excitação com Tensão Chaveada	A.16

REFERÊNCIAS	R.1
-------------------	-----

INTRODUÇÃO

Os primeiros esforços para implantação, no País, de uma tecnologia de fabricação de dispositivos eletrônicos e circuitos integrados datam da segunda metade da década de 60.

O acervo de técnicas e processos, recursos de pessoal, equipamentos e insumos necessários à tecnologia de microeletrônica compõem um vasto e complexo substrato tecnológico, cuja implantação requer um trabalho de base, simultâneo, nas áreas de Engenharia e Equipamentos, de Tecnologia de Componentes, Materiais e Processos, de Ciências Básicas, de Mecânica Fina e outras.

Para vencer o hiato tecnológico, específico na área de microeletrônica, existente entre o Brasil e os centros mais desenvolvidos, não basta a escolha de uma tecnologia e de um conjunto de processos necessários à realização do micro-circuito desejado e sua aquisição no mercado externo.

É necessário desenvolver a experiência e capacitação latentes existentes no substrato cultural do país. Um caminho é a criação de grupos com capacidade profissional para fixar conhecimento científico, para gerar e adaptar processos e criar equipamentos necessários à execução desses processos. [1,8,9]

Sendo todo esse esforço coordenado, é possível a implantação de uma tecnologia local viável não só a curto prazo, mas com capacidade de evoluir e criar novos caminhos para soluções dos problemas básicos pertinentes.

O Laboratório de Eletrônica e Dispositivos (LED) da Faculdade de Engenharia da UNICAMP foi criado visando ser uma das componentes desse esforço, na área de microeletrônica.

Sua atuação é voltada, primordialmente, para a formação de pessoal capaz de gerar tecnologia nas áreas de projetos de micro-circuitos, de construção de equipamentos, de fabricação de componentes e de instrumentos de medidas, além da implantação de um sistema de projetos e construção de circuitos integrados.

Sua linha diretriz para decisões se baseia nas premissas de que:

- 1) A implantação de uma nova tecnologia depende da base cultural existente;
- 2) para implementar uma tecnologia é necessário desenvolver conhecimentos científicos e técnicos nas áreas de infra-estrutura correlacionadas;
- 3) uma tecnologia que dependa completamente de "know-how" e material estrangeiro não tem vitalidade para se autosustentar.

Este trabalho está inserido no contexto de implantação do LED, como uma atividade de um conjunto de atividades interrelacionadas que se destinam a capacitar o laboratório para a confecção de artes finais e preparação das máscaras de processo utilizadas na fabricação de micro-circuitos. Seus objetivos são o projeto, a montagem e a caracterização do protótipo de um Sistema Automático de Desenho (SAD) que possa ser utilizado para a confecção das artes finais.

As definições desse sistema de desenho foram norteadas pelas condições de contorno geradas por esse conjunto de atividades e, de um modo mais abrangente, pela filosofia e diretrizes de atuação do LED.

É tratada no primeiro capítulo, a problemática da litografia na microeletrônica, bem como são enunciadas as condições de contorno para a litografia no LED.

: No Segundo Capítulo é apresentada a estrutura do SAD e são descri
tas suas partes componentes. , ,

Os resultados obtidos com o sistema são mostrados no terceiro ca-
pítulo.

O Anexo I contém uma resenha acerca de motores de passo, com infor
mações sobre a operação e utilização dos mesmos.

CAPÍTULO 1 - LITOGRAFIA E GERAÇÃO DE ARTES FINAIS

A tecnologia de fabricação de micro-circuitos engloba um amplo acervo de processos físico-químicos. Podem ser citados, por exemplo, a difusão, a oxidação e a metalização, além de ataques químicos seletivos.

Cada um desses processos deve ser realizado em regiões com geometria bem definida sobre as pastilhas semicondutoras. Para isso é necessário gravar nessas pastilhas a configuração referente a cada processo. Dos métodos de impressão conhecidos, [2] a utilizada em microeletrônica é a litográfica.

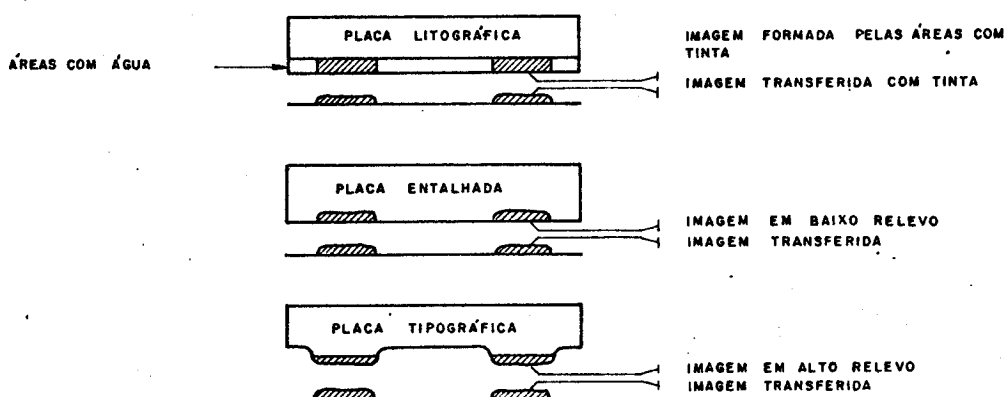


Figura 1.1 - Processos básicos de gravação: a) Litografia, b) Entalhe, c) Tipografia.

O método consiste em definir sobre uma superfície plana a forma de desenho que se quer imprimir utilizando substâncias não solúveis em água. À época da descoberta da litografia, por volta de 1790, por A. Senerfelder, eram utilizadas gomas à base de Carbohidratos (goma arábica) sobre substratos de pedra. [3], [2]

A evolução da litografia teve um marco em 1905, com a descoberta da impressão em "offset" por I. Rubel, quando passaram a ser utilizados substratos metálicos (alumínio e zinco, principalmente). [3] Teve, também, papel preponderante nessa evolução o desenvolvimento das substâncias chamadas "fotorresistes", Figura 1.2, cuja descoberta é atribuída a A.E. Becquerel em 1840. [2] Rapidamente, passaram a ser utilizadas na litografia. Essas substâncias são caracterizadas por serem sensibilizadas por luz, terem resistência química, terem propriedade de formar filme aderente a superfícies de metal e, quando não sensibilizadas serem solúveis em água, de preferência, [2] ou outro solvente específico.

O início da aplicação da litografia no campo da eletrônica data, aproximadamente, de 1940. [2]

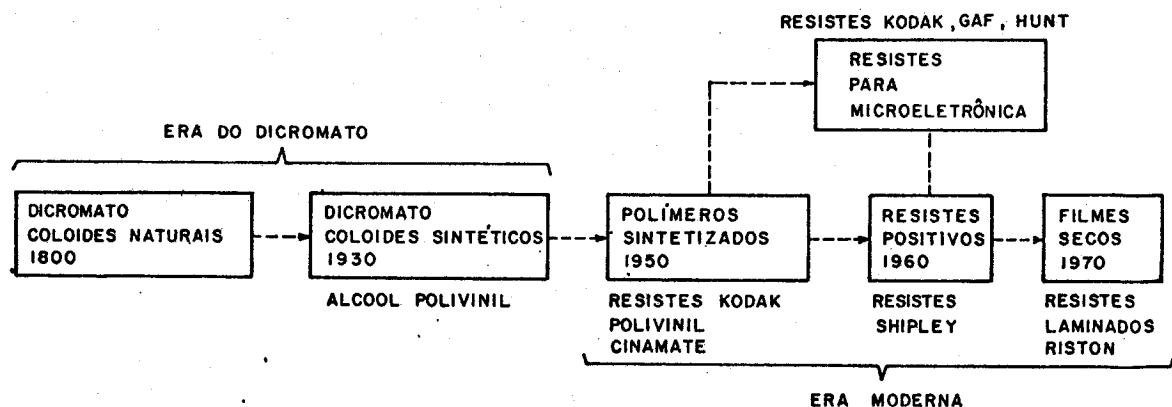


Figura 1.2 - Evolução dos fotorresistes.

1.1. A LITOGRAFIA NA MICROELETRÔNICA

O processo litográfico aplicado à microeletrônica consiste, de maneira simplificada, em recobrir a pastilha semicondutora com uma película de resina orgânica, colocá-la sob uma máscara e expor o conjunto pastilha-máscara a uma radiação específica. Se a resina utilizada é dita negativa, onde houver incidência da radiação acontecerá um processo de polimerização (*Figura 1.3a*). Nas resinas positivas, a radiação, onde incidir, terá o efeito de modificar a estrutura molecular da resina de forma que esta seja facilmente dissolvida (*Figura 1.3b*). Após a exposição, procede-se a uma etapa de revelação que permite a remoção da resina não polimerizada ou dissolvida. São definidas sobre a pastilha semicondutora, dessa forma, regiões protegidas por polímero e regiões descobertas, reproduzindo a configuração registrada na máscara.

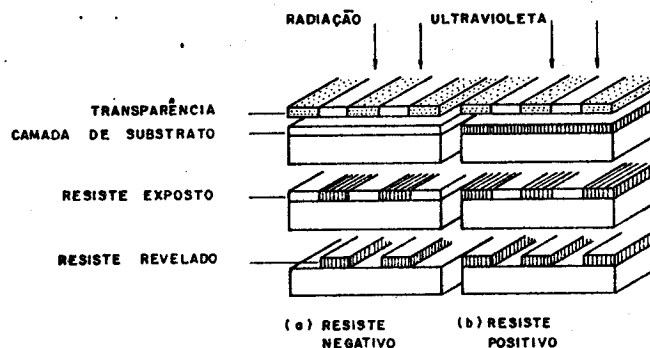


Figura 1.3 - Efeitos de exposição e revelação em resistentes negativos (a) e positivos (b).

zindo a configuração registrada na máscara.

Ao ser observada a evolução dentro do campo da microeletrônica é notado, de imediato, o crescimento da complexidade funcional dos circuitos integrados e a consequente contínua diminuição no tamanho das imagens.

Dentre os fatores que contribuíram e permitiram esse evento devem ser destacadas as descobertas de novas tecnologias de fabricação de circuitos integrados, o rápido aprendizado de projeto e o uso cada vez mais intenso de PAC. Além desses, deve ser destacado como fator decisivo e fundamental, o desenvolvimento de técnicas e materiais de litografia aplicados à microeletrônica. Atualmente são despendidos esforços na procura de resinas sensíveis a radiações de comprimento de onda cada vez menor e no desenvolvimento de novos sistemas e processos de sensibilização dessas resinas.

Todos esses fatores somados permitiram a realização de desenhos de máscaras com dimensões cada vez menores, possibilitaram o uso de pastilhas maiores, fizeram diminuir a densidade de defeitos e aumentaram a confiabilidade dos circuitos fabricados.

São apresentadas, nas seções seguintes deste capítulo, as técnicas litográficas mais utilizadas na microeletrônica.

1.1.1. Litografia Óptica

A litografia óptica é a técnica melhor estabelecida e a mais difundida dentre as utilizadas em eletrônica. Apresenta resultados técnicos comprovados e é viável economicamente. É amplamente utilizada na fabricação de dispositivos eletrônicos, de circuitos integrados, de componentes passivos de filmes espessos e finos e na preparação de circuitos impressos. É usada, adicionalmente, na confecção de máscaras metálicas empregadas em outras tecnologias, como gravações em "silk screen" e evaporações.

Nos sistemas ópticos de litografia (*Figura 1.4*), são usadas resinas sensíveis a radiações de luz azul ou ultra-violeta.

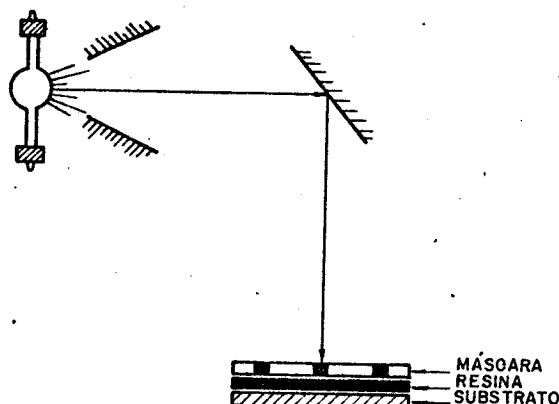


Figura 1.4 - Esquema de um sistema de projeção de luz usado para litografia óptica.

Existem várias versões de sistemas utilizadas para litografia óptica. [4] Dentre essas, destacam-se:

- Impressão por Contato, onde a máscara é colocada sobre a pastilha recobera pela resina, mantendo contato com esta;
- Impressão por Proximidade, onde a máscara é mantida acima da pastilha, sem manter contato com ela. Isso elimina a deterioração da máscara causada pelo contato;
- Impressão por Projeção Estacionária, onde a máscara é projetada através de um sistema de lentes;
- Impressão por Projeção com Varredura, semelhante ao anterior, exceto que a máscara não é projetada toda de uma vez. Ela é varrida por um pincel de luz e, somente a área coberta pelo pincel é projetada, a cada instante;
- Impressão por Projeções Passo-a-Passo, semelhante à projeção por varredura, exceto que é possível corrigir a focalização a cada passo.

Os sistemas por projeção permitem que haja uma razão de ampliação entre o objeto registrado na máscara e a imagem que se deseja obter sobre a pastilha. Isso não acontece com os sistemas por contato ou proximidade.

A resolução que se pode obter com sistemas ópticos está limitada pelos efeitos de difração da luz e aberrações das lentes. Linhas com largura de 1 μm podem ser resolvidas com o sistema de impressão por projeção passo-a-passo. Os sistemas de impressão por contato ou proximidade permitem a resolução de linhas de até 2 μm , aproximadamente. [4,10]

1.1.2. Litografia por Feixe de Eletrons

A utilização de feixe de eletrons na litografia aplicada à

microeletrônica é recente e tem-se mostrado como um caminho viável para atender à necessidade de desenho de configurações com resolução cada vez maior, ditada pela integração em larga escala dos micro-circuitos. As vantagens principais do uso de feixe de eletrons são a velocidade de geração das configurações e as dimensões mínimas.

Os sistemas litográficos por feixe de eletrons podem ser agrupados em sistemas de projeção e sistemas de varredura: [5]

- a) Sistema por Varredura de Feixes: onde o feixe é conformado num pincel com diâmetro da ordem de décimo de micron, sendo defletido e modulado sobre o substrato da máscara ou da pastilha de modo a formar o desenho desejado (Figura 1.5).

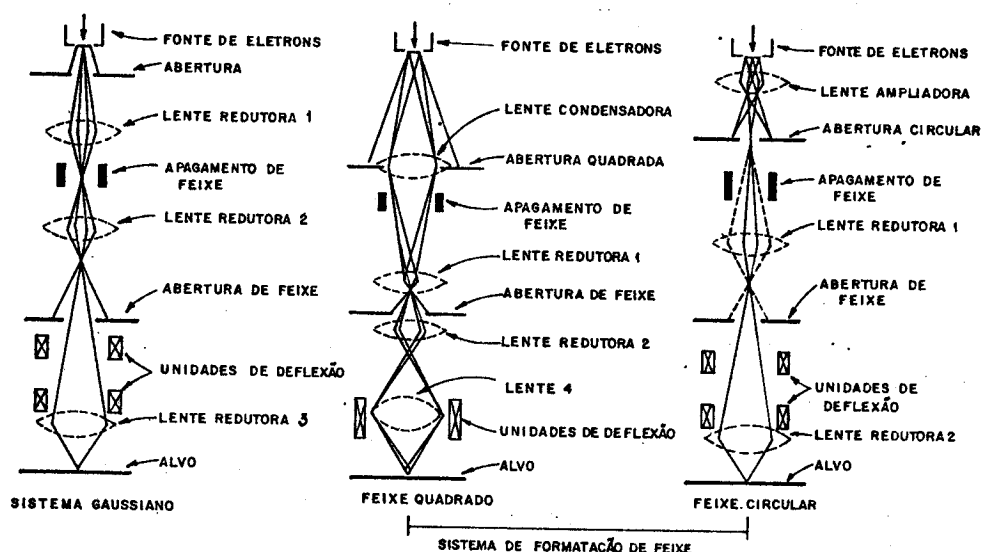


Figura 1.5 - Sistema de varredura de feixe de elétrons, destacando modos diferentes de conformação de feixe sobre pastilha.

A resolução alcançada é muito grande. Porém, o controle exercido sobre o feixe de elétrons, devido às características das lentes eletrostáticas, não é linear numa área maior que alguns milímetros quadrados. Isso limita a dimensão máxima dos microcircuitos.

O tempo de processamento ainda limita a utilização desses sistemas para a sensibilização direta (sem máscara) da resina sobre a pastilha semicondutora.

- b) Sistema de Projeção de Feixes Paralelos, no qual a configuração é projetada toda de uma vez. Dois tipos têm sido utilizados: Sistemas de Projeção com ou sem redução, como ilustram as figuras 1.6a e 1.6b.

Nos sistemas sem redução é empregado um fotocátodo mascarado com filme metálico. Eletrons gerados no cátodo pela excitação de radiação ultra violeta são acelerados até a pastilha semicondutora por um potencial da ordem de 20 Kv. É possível a exposição de amostras com até 5 cm de diâmetro.

Nos sistemas com redução, o feixe de eletrons é espalhado por lentes eletrostáticas e incide na pastilha passando através da máscara. Tipicamente, é possível preencher um campo da ordem de 3 mm.

A resolução desses sistemas é da ordem de 0,1 μm .

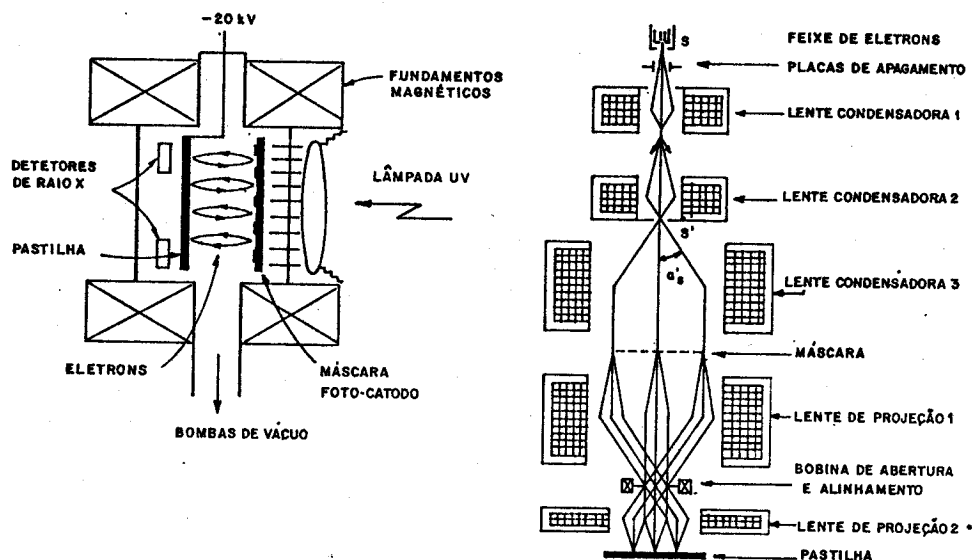


Figura 1.6 - Sistema de projeção de feixe de elétrons: a) projeção 1:1, b) projeção com redução.

1.1.3. Raios-X

O bombardeamento de alvos apropriados com elétrons acelerados por um potencial da ordem de 20 Kv produz raios-x com comprimentos de onda na faixa de 3 a 10 Å. [11].

Dadas as características dos raios-x de difíceis focalização e deflexão, sua utilização é feita com um sistema semelhante ao sistema óptico de impressão por proximidade ou ao sistema de projeção de feixe de elétrons, Figura 1.6.a.

Com estes sistemas é possível reproduzir sobre a pastilha, sem limitações, a configuração impressa sobre a máscara.

1.2. GERAÇÃO DE MÁSCARAS UTILIZADAS NA LITOGRAFIA APLICADA À MICROELETRÔNICA

A litografia aplicada à microeletrônica, como foi vista, é um vasto e complexo campo de atividade, possuindo muitos métodos alternativos, alguns dos quais ainda emergentes de laboratórios de pesquisa.

Dos métodos litográficos aplicados à microeletrônica, com exceção do utilizado pelo Sistema por Varredura de Feixes, todos usam uma máscara como ferramenta básica. Para os métodos ópticos ou por feixes de elétrons que utilizam a máscara em contato ou em proximidade, a configuração registrada na máscara deve manter a relação 1 : 1 com a da pastilha semicondutora. Para os métodos por projeção, pode haver um fator de redução. São usuais fatores de 5 : 1 a 10 : 1.

Quanto à natureza, os substratos usados para confecção das máscaras podem ser de: [12]

- a) placa de vidro plana (PAR) recoberta de filme fotosensível de alta resolução;
- b) placa de vidro plana recoberta de filme metálico (Si, Be, Cr, Fe_2O_3);
- c) película de Mylar^R ou substrato fino de silício, com depósito de Au, Pt ou Al_2O_3 , evaporado.

Para a definição das configurações sobre as máscaras, dois métodos podem ser citados:

- a) geração direta da máscara através sistemas de varredura por feixe de eletrons;
- b) projeção de um objeto com redução, repetindo a operação até preencher todo o campo útil da máscara. A este procedimento dá-se o nome de fotorrepetição.

O objeto citado acima é geralmente registrado em PAR. Sua obtenção pode ser feita por vários métodos. Destacamos dois:

- a) por meio de varredura de feixes de luz controlada à semelhança dos sistemas de varredura por feixe de eletrons;
- b) através de redução fotográfica de um desenho (arte final) da configuração feito em escala ampliada.

1.3. GERAÇÃO DAS ARTES FINAIS EM MICROELETRÔNICA

O desenho da configuração de micro-circuitos na forma em que é usada nos processos de fabricação, feito em escala ampliada (100 a 250 : 1) é denominado arte final.

Esse desenho é inicialmente reduzido fotograficamente de 20 a 50 vezes e registrado numa PAR servindo dessa forma de objeto para a geração da máscara de processo como foi citado no item anterior. Este objeto pode ser obtido diretamente com o uso de geradores de configurações ("pattern generators").

1.3.1. Utilização de "Rubylith"

Um método muito difundido para a preparação de artes finais é o chamado "corte e decapagem" ("cut and peel") de películas apropriadas, como o "rubylith", por exemplo.

O "rubylith" é um material plástico constituído de uma base de "nylon" laminada, recoberta por uma fina película vermelha. Para a geração da arte final esta película é cortada e retirada de modo a delimitar sobre a folha áreas transparentes incolores e vermelhas, como mostra a *Figura 1.7*. [6]

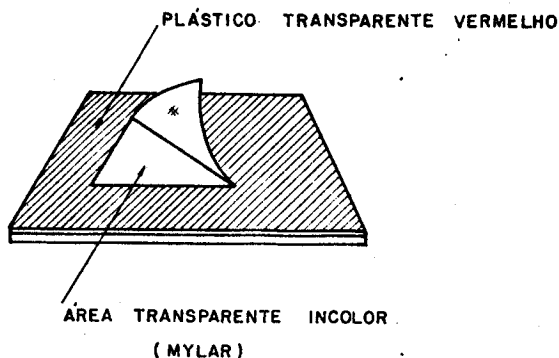


Figura 1.7 - Corte e decapagem de "rubylith".

Para se efetuar o conjunto de cortes, o "rubylith" é esticado sobre uma mesa de desenho, denominada coordenatógrafo. Esta possui um suporte para fixação de uma faca, que pode ser deslocado por toda a área da mesa, abaixada ou levantada, conforme a conveniência.

O procedimento de corte é iniciado com o posicionamento da faca na posição inicial do corte. Abaixa-se, então, a faca até seu gume encostar no "rubylith", cortando a película superior e procede-se ao deslocamento até a posição final do corte. Levanta-se a faca para levá-la até outra posição onde deva ser iniciado novo corte. É possível a execução de cortes perpendiculares, segundo eixos convencionados, x e y desde que se rode a faca de modo a seu gume ficar na direção do corte.

Após o procedimento de todos os cortes, deve ser efetuada a retirada da película vermelha de modo a formar as regiões incolores-vermelhas de interesse ("peeling"). Isso só pode ser feito manualmente. Essa decapagem além de ser um processo muito lento torna-se pouco confiável com o aumento de complexidade das máscaras, a ponto de tornar o corte de "rubylith" praticamente inviável para a geração de artes finais de circuitos integrados em larga escala (LSI).

1.3.2. Utilização de Filme Gráfico

Este método consiste, basicamente, da substituição do "rubylith" por filme gráfico de alto contraste e da faca por uma fonte de luz. [6] Esta pode ter seu feixe conformado em pincel com diâmetro variável ou em seção quadrada.

Para a geração da arte final a fonte de luz efetua uma varredura sobre toda a área da mesa de desenho recoberta por um filme gráfico, como sugere a Figura 1.8. Sincronamente, atua-se sobre a fonte de luz com sequência de comandos de "liga-desliga" para gerar o padrão de regiões claras-escuras desejado, observável após a revelação do filme.

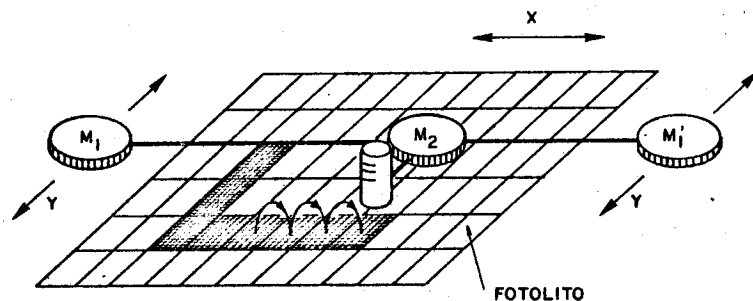


Figura 1.8 - Varredura da fonte de luz sobre o filme gráfico na geração de arte final.

1.4. OPÇÃO ADOTADA PELO LED

O sistema esquematizado na *Figura 1.9* foi o escolhido para ser utilizado no LED.

Optou-se pela técnica de litografia óptica porque esta técnica já está totalmente estabelecida, permitindo a implantação em curto tempo, além de ter um custo mais baixo do que as outras alternativas.

Para a preparação das máscaras, optou-se pelo uso de um sistema óptico pelas mesmas razões acima. Além dessas, um fator importante é o de que partes desse sistema podem ser projetadas e construídas no País, como é o caso da fotorrepetidora. [7]

Para a geração das artes finais decidiu-se pelo uso de um coordenatógrafo que pudesse ser automatizado e utilizado para corte de películas e sensibilização de fotolitos. Visou-se, com isso, obter um sistema com a elevada confiabilidade necessária à preparação de artes finais.

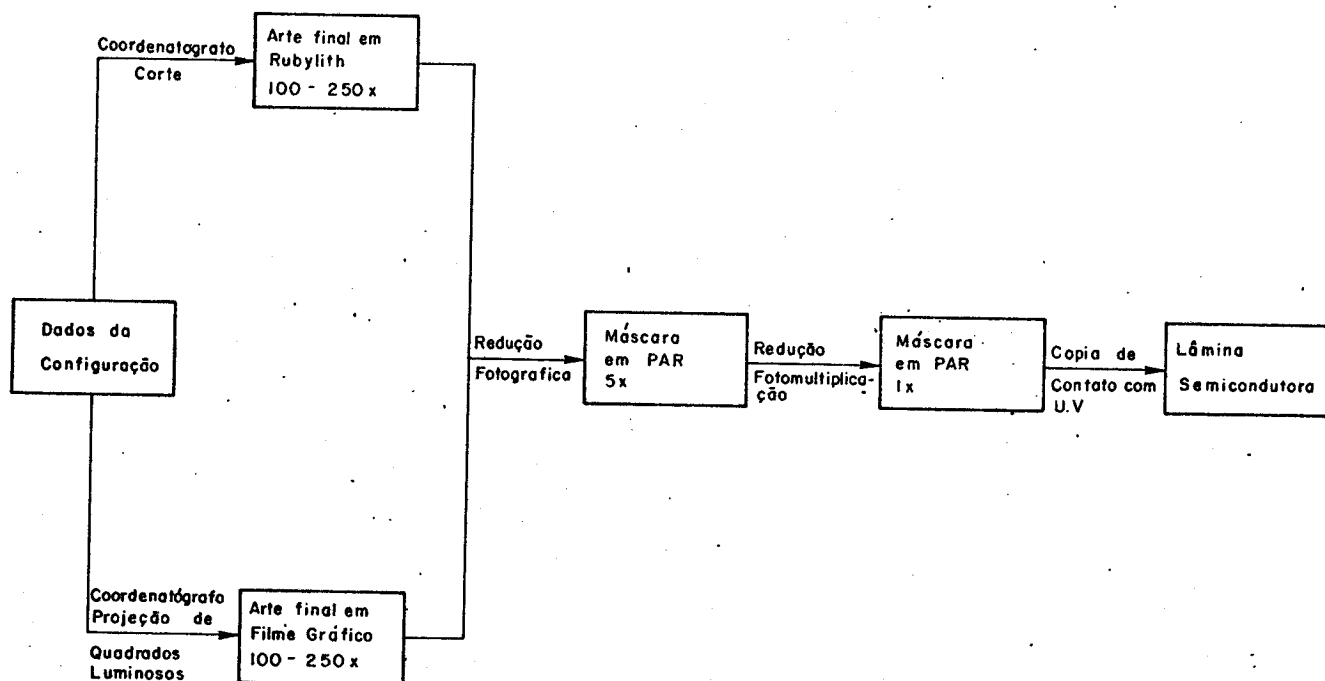


Figura 1.9 - Sistema de geração de artes finais e máscaras utilizado no LED.

CAPÍTULO 2 - DESCRIÇÃO DO SAD - SISTEMA AUTOMÁTICO DE DESENHO

O Sistema Automático de Desenho (SAD) desenvolvido para a atividade de geração de artes finais, como proposta no Capítulo 1 tem suas partes componentes mostradas na *Figura 2.1.a..* |13|.

O SAD pode ser descrito como constituído por três elementos:

- Elemento de Óptica,
- Elemento de "Software" e
- Elemento de "Hardware", descritos nas seções seguintes.

A *Figura 2.1* apresenta o SAD sob esse ponto de vista.

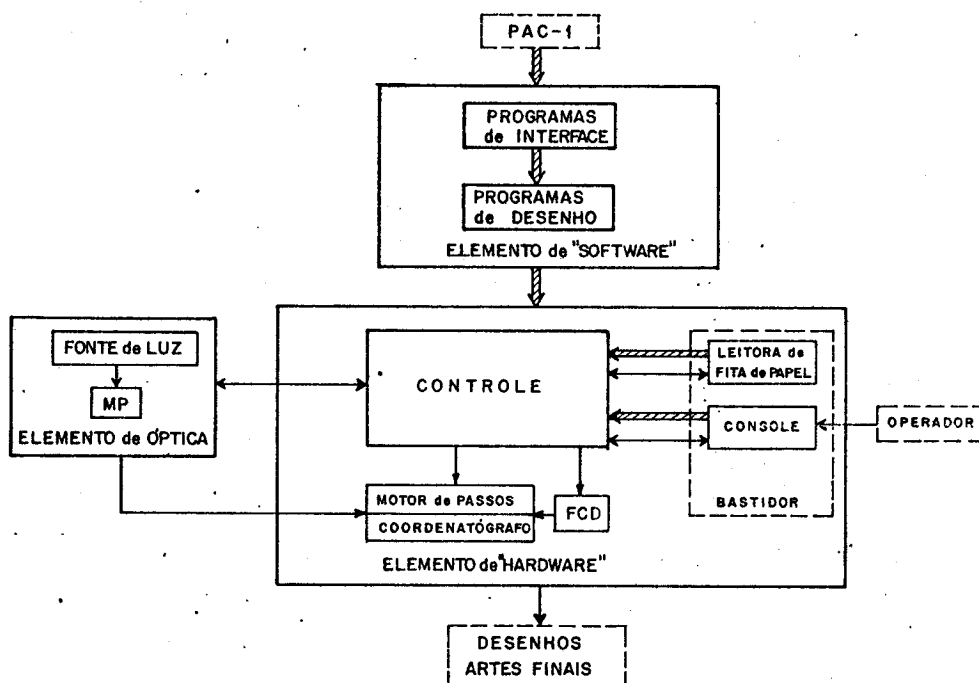


Figura 2.1. Apresentação do SAD destacando os Elementos de "Software", Óptica e "Hardware".

2.1. O ELEMENTO DE "HARDWARE" : Características Mecânicas

O Elemento de "Hardware", além do controle, engloba as partes mecânicas dos equipamentos que compõem o SAD: coordenatôgrafo, adaptador de ferramenta de corte ou desenho ao coordenatôgrafo, console, bastidor e leitora de fita de papel.

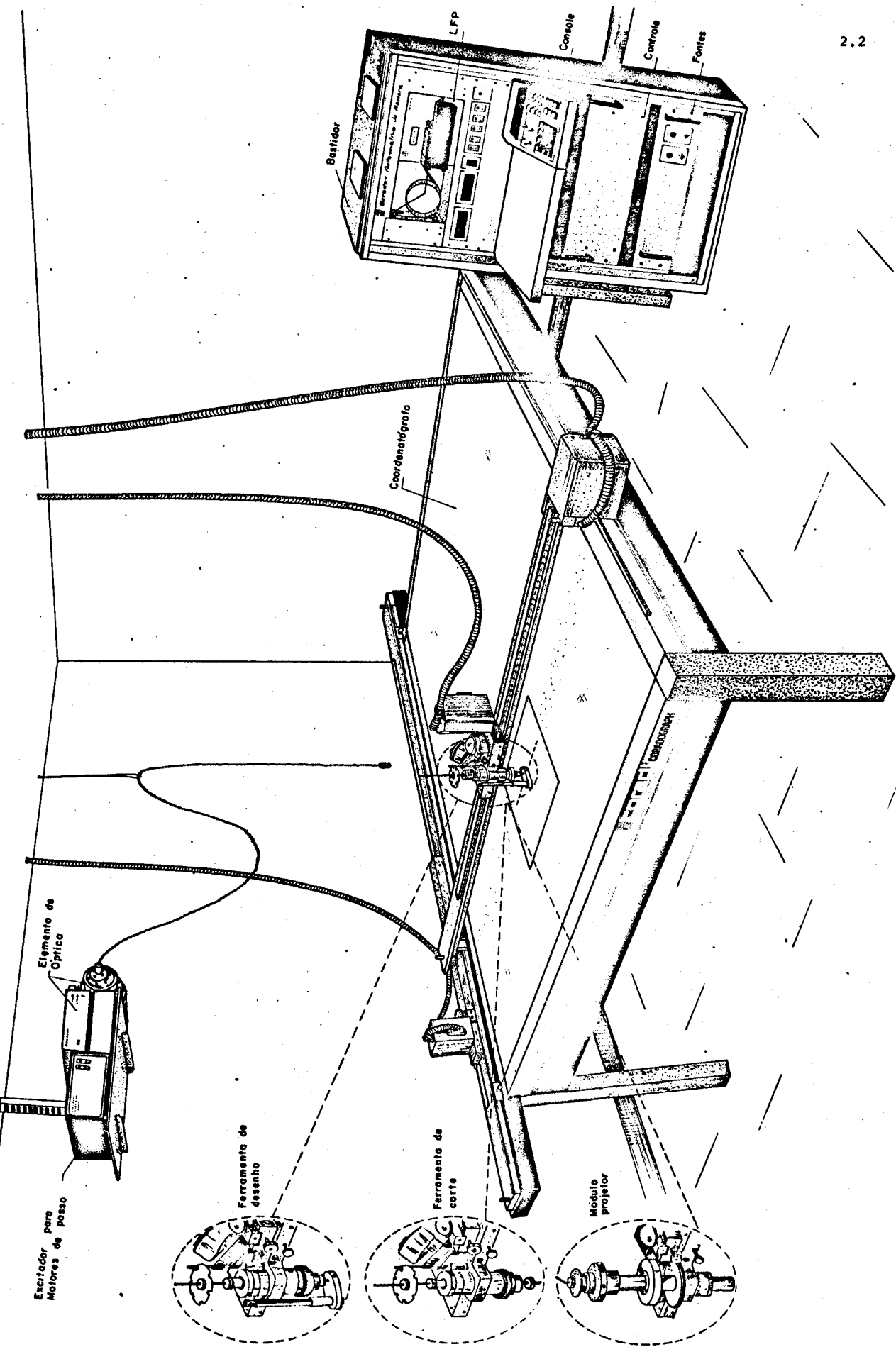


Figura 2.1a - Partes componentes do Sistema Automático de Desenho - SAD.

2.1.1. Coordenatôgrafo

Foi adquirido pelo LED um coordenatôgrafo CORADOGRAPH da G. CORADI, LTD., Modelo D/DGA. A mesa de desenho, cujo tampo de vidro mantém planicidade dentro de $0,5\text{mm/m}$, tem dimensões de $1600 \times 1200 \text{ mm}^2$. Admite o acoplamento de motores de passo Philips PD12 aos dispositivos mecânicos de posicionamento. Foi suprida com o equipamento uma caixa de engrenagens de redução que permite o deslocamento linear de $10 \mu\text{m}$ (um passo) a cada pulso de excitação dado aos motores. É garantida para toda a mesa uma resolução de posicionamento de $10 \mu\text{m}$.

Na Figura 2.2 está esquematizado o coordenatôgrafo com os motores de passo acoplados.

Os MOTORES M1 e M2 deslocam o BRAÇO X na direção $\hat{y}$. A pena óptica para sensibilização de fotolito ou a ferramenta de Corte/Desenho (FCD), englobando faca para corte em "Rubylith" e penas para desenho, são deslocadas na direção $\hat{x}$ pelo MOTOR M3.

A característica do gume da faca utilizada para corte de "Rubylith" implica que as regiões de interesse devem ser definidas com lados ortogonais.

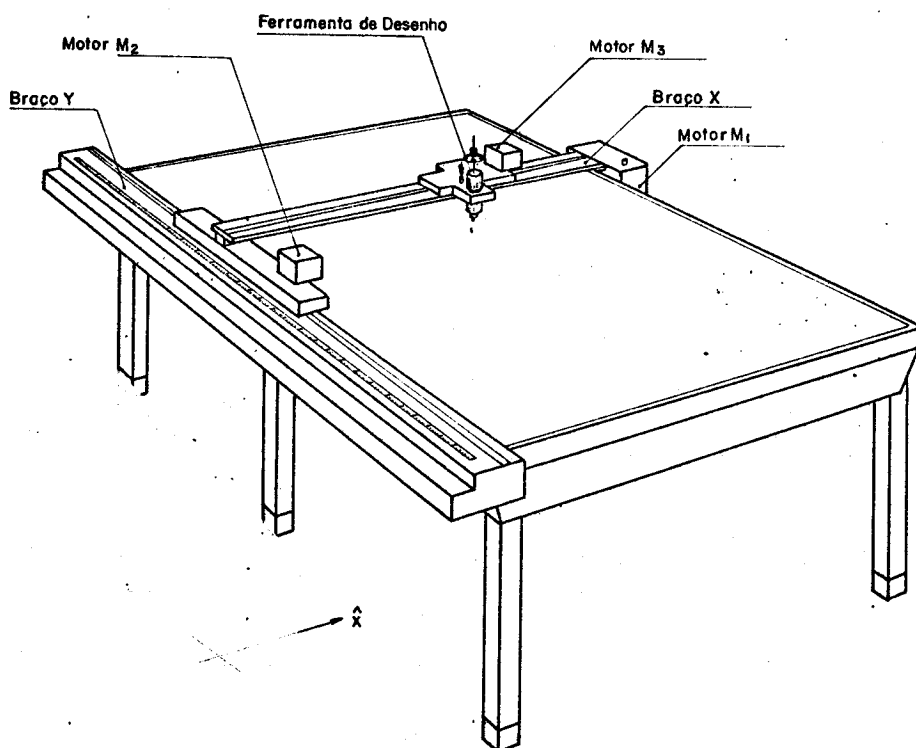


Figura 2.2. Ilustração do Coordenatôgrafo CORADOGRAPH D/DGA utilizado no LED destacando o acoplamento dos motores de passo e da ferramenta de desenho.

2.1.2. Adaptador de FCD ao Coordenatôgrafo

As FCD são adaptadas ao coordenatôgrafo por meio do dispositivo mecânico mostrado de forma esquemática na Figura 2.3.

Quando o SOLENOIDE é excitado, o terminal A da ALAVANCA é tracionado, fazendo o terminal B liberar o SUPORTE. Dessa forma a FCD é abaixada, por ação da gravidade, até a superfície de corte/desenho. Quando o SOLENOIDE está desativado a FCD é mantida afastada da superfície de corte/desenho.

O posicionamento inicial da ferramenta de corte relativo à direção de corte, é feito manualmente.

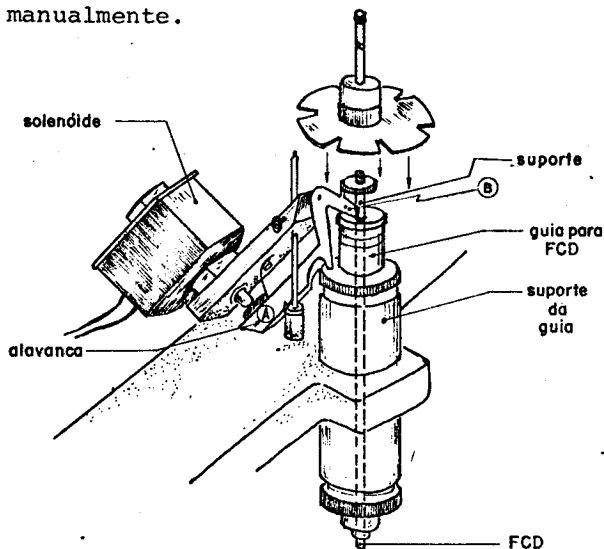


Figura 2.3 - Adaptador da FCD ao Coordenatôgrafo.

2.1.3. Console e Bastidor

O console projetado para o SAD é mostrado em detalhe na Figura 2.4. Suas partes são comentadas abaixo.

O TECLADO é utilizado como periférico de entrada de instruções de desenho para o SAD. As 22 teclas que compõem o TECLADO são divididas em dois conjuntos: um (DADOS 1) de 16 teclas e outro de 6 teclas (DADOS 2). As informações digitadas no TECLADO são mostradas no PAINEL DO TECLADO, constituído de 6 "displays" de 7 segmentos e de 3 "displays" matrizes de 7 x 5 pontos.

O conjunto CHAVES DE PROGRAMAÇÃO é composto de 4 chaves de duas posições. É utilizado pelo operador para escolher um entre os possíveis modos de operação do SAD, definidos no item 2.4.

O conjunto CHAVES DE CONTROLE, composto de 12 TECLAS, permite ao operador atuar sobre a UNIDADE DE CONTROLE DO SAD, descrita no item 2.4.6.

O PAINEL DO CONSOLE, é composto de 2 conjuntos de 6 "displays" onde é anotada a posição da FCD (ou da pena óptica) em número de passos em relação a uma posição pré-estabelecida. Em cada conjunto, 5 dos "displays" são de 7 segmentos e um é do tipo "+|". Um outro "display" é utilizado para informar a dimensão do lado do quadrado definido pela pena óptica sobre o coordenatôgrafo na sensibilização de fotolito. (item 2.2.). Um conjunto de 6 "Led's" onde são informados estados de operação do SAD, completa o PAINEL DE CONTROLE.

A MESA do console é deixada livre para o operador.

O bastidor, modelo UNIRACK 2010 da Taunus é utilizado para servir de suporte ao console e à leitora de fita de papel e para acondicionar as placas de circuito impresso e as fontes de alimentação pertinentes ao controle elétrico do SAD.

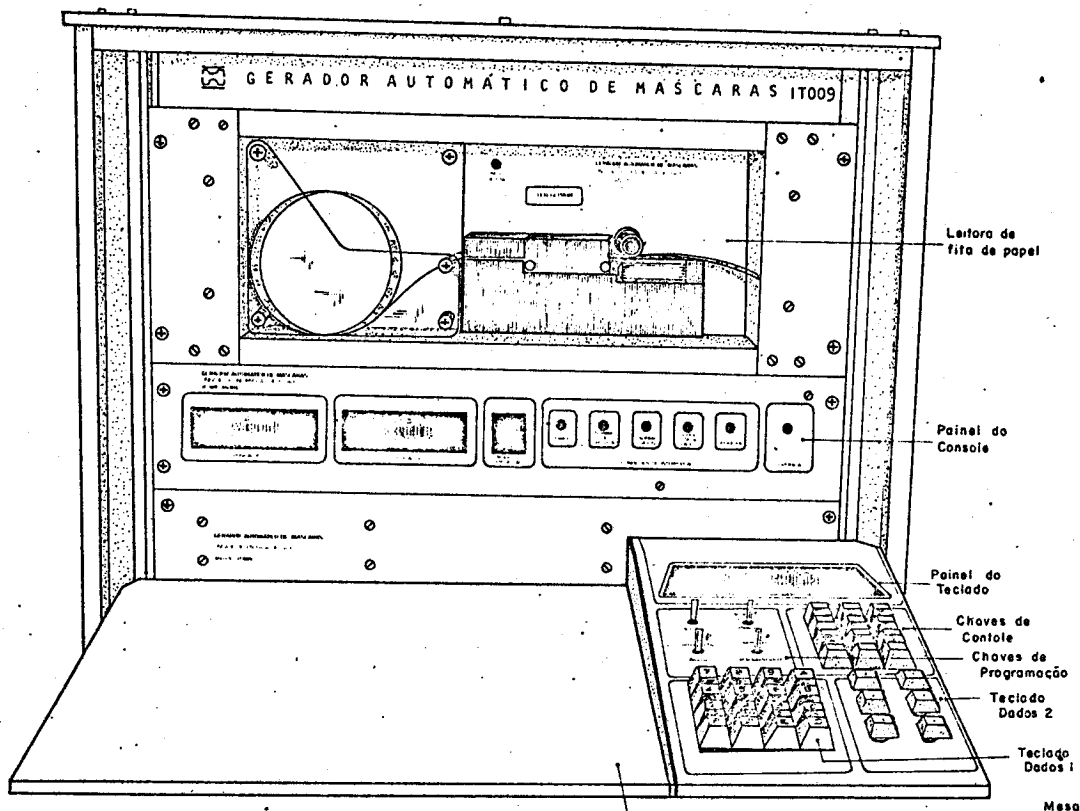


Figura 2.4 - Console do SAD e painel da Leitora de Fita de Papel.

2.1.4. Leitora de Fita de Papel

Além do TECLADO é utilizada como periférico de entrada de instruções de desenho para o SAD uma Leitora de Fita de Papel (LFP) projetada e construída pelo grupo GEPROM Do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Campinas, com financiamento da FINEP. Foi desenvolvido neste trabalho um controle específico para a LFP, discutido no item 2.4.1.2, de maneira a facilitar o interfaceamento com o SAD. Também foram feitas modificações no seu painel original. O painel atual da LFP é mostrado na Figura 2.4., [14]

2.1.4.1. Especificações da LFP

- Fita de Papel: Guia para fitas de 1"; com até 8 canais de informação e um canal de guia;
- Velocidade de Leitura: Unidirecional, até 300 caracteres por segundo;
- Tempo de Frenagem: Menor que 2,3 ms;
- Leitura: Acoplamento Óptico entre 9 LEDs TIL-23 e 9 fototransistores LS 600 (conjunto TIL 133 da TI)
- Montada em painel de 482,6 mm.

2.1.4.2. Descrição Geral da LFP

Nas Figuras 2.5 e 2.6 são mostrados desenhos da LFP, ilustrando parte de sua montagem mecânica.

O tracionamento da fita de papel é feito por atrito, comprimindo-a entre o EIXO DE COMANDO, um cilindro livre de aço, e o EIXO DE TRAÇÃO, um cilindro revestido de borracha, acionado por um MOTOR DE INDUÇÃO monofásico.

O EIXO DE COMANDO é fixado a uma ALAVANCA comandada pela BOBINA DE TRAÇÃO. Quando a BOBINA DE TRAÇÃO está desenergizada o EIXO DE COMANDO e o EIXO DE TRAÇÃO são mantidos afastados e o MOTOR DE INDUÇÃO mantido desligado. Quando há um comando para leitura de dados a BOBINA DE TRAÇÃO é energizada ocasionando a aproximação dos dois eixos e o motor é ligado. Dessa forma é possível tracionar a fita.

O freio da leitora é composto por uma chapa de material ferromagnético (PLACA DE FREIO) e pela BOBINA DE FREIO montadas de forma que a fita de papel é posicionada entre elas. Quando a BOBINA DE FREIO é energizada atrai a PLACA DE FREIO, ocasionando a parada da fita de papel e mantendo-a fixa.

O sentido de deslocamento da fita de papel é o da esquerda para a direita, como indicado na *Figura 2.6*. Isso permite manter a fita esticada quando o freio

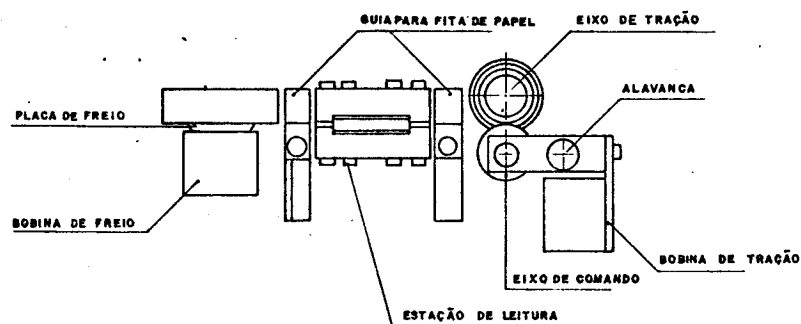


Figura 2.5. Leitora de Fita de Papel - Vista Frontal

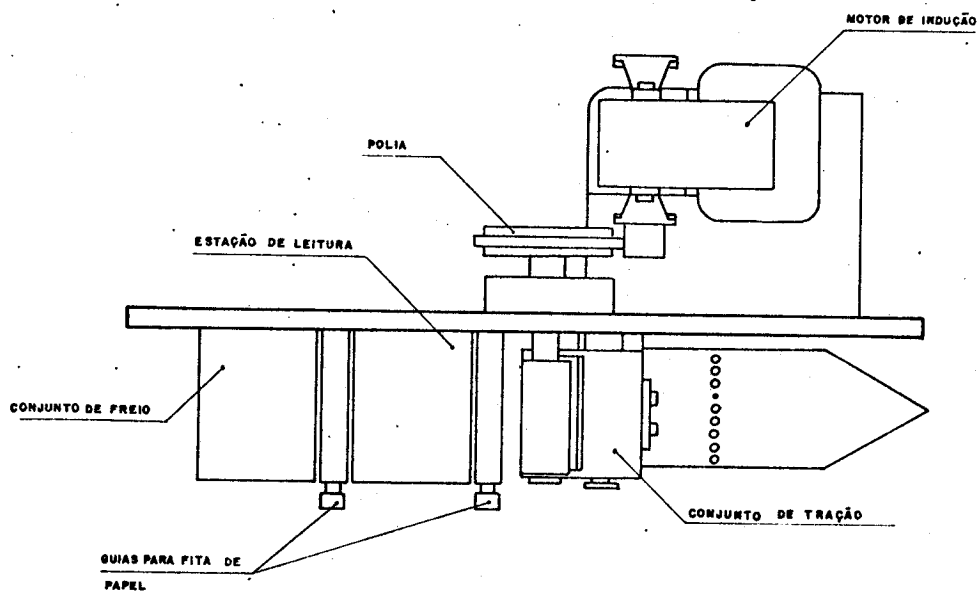


Figura 2.6. Leitora de Fita de Papel - Vista Superior

é acionado.

Os comandos para os CONJUNTOS DE FREIO E DE TRAÇÃO são sincronizados de forma que quando a TRAÇÃO é acionada o FREIO é desativado, e vice-versa.

Afim de viabilizar o posicionamento correto da fita de papel e evitar o seu movimento transversal sob a estação de leitura são usadas duas GUIAS. As GUIAS são compostas de uma parte fixa e de outra móvel. Esta última, quando é abaixada abre um microinterruptor, que garante a LFP em condição de leitura; quando suspensa, mantém o microinterruptor fechado, desativando o freio e a tração e possibilitando a manipulação da fita.

Situada entre as GUIAS está a ESTÇÃO DE LEITURA, formada por um arranjo mecânico horizontal de duas placas de circuito impresso. As placas são posicionadas uma sobre a outra de forma que um conjunto de LED's existente em uma das placas se alinhe a um conjunto de fototransistores existente na outra. Entre as duas placas é deixado um espaço por onde a fita se desloca.

2.2. O ELEMENTO DE ÓPTICA

Este elemento engloba a parte óptica do sistema para sensibilização de fotolito.

Este sistema, projetado e construído no LED [6], é composto por uma fonte luminosa, controlada eletricamente, acoplada a um MÓDULO PROJETO (MP) de luz por meio de um cabo de fibras ópticas, como mostra a Figura 2.7.

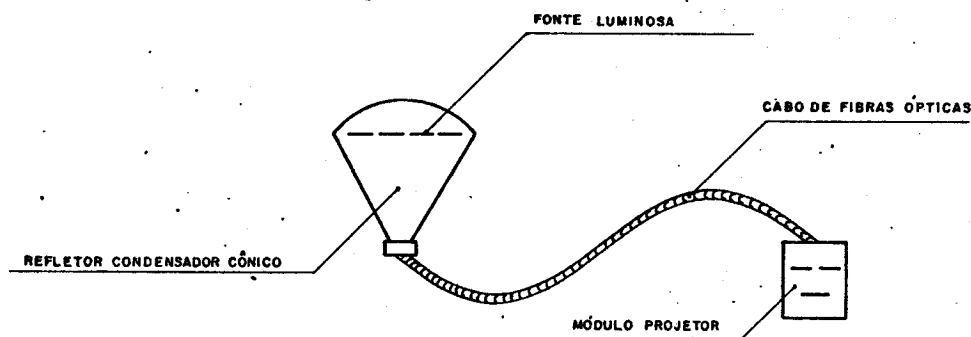


Figura 2.7 Sistema para Sensibilização de Fotolito.

O MP funciona como uma pena óptica para confecção de desenhos sobre filme gráfico. A sua estrutura óptica foi dimensionada para que o feixe de luz projetado seja focalizado sobre a mesa do coordenatôgrafo e preencha uma área quadrada sobre o filme, a cada pulso de luz. Foram construídos MP cambiáveis para quadrados de 1,2,3,4 ou 5 mm de lado. Os MP são adaptados ao coordenatôgrafo por meio de suporte mecânico especial.

A fonte luminosa é composta por quatro lâmpadas de descarga gasosa de xenônio, encerradas num refletor condensador cônico.

A frequência de regime de disparo das lâmpadas é limitada, por consideração de potência das mesmas, em 15 Hz. [6]

O sistema de suprimento de energia às lâmpadas requer um tempo mínimo de 20 ms entre dois disparos consecutivos. [6]

Essas considerações estabelecem a frequência máxima com que se po

de deslocar cada MP sobre o coordenatôgrafo, como é anotado na Tabela 2.1

MP LADO (MM)	FREQUÊNCIAS MÁXIMAS (Hz)	FREQUÊNCIAS ADOTADAS (Hz)
1	1500	1250
2	3000	2500
3	4500	2500
4	6000	2500
5	7000	2500

Tabela 2.1. Frequências máximas de deslocamento de MP sobre o coordenatôgrafo e frequências adotadas para operação.

2.3. O ELEMENTO DE "SOFTWARE"

O Elemento de "Software" engloba: 1) PROGRAMAS DE DESENHO que são sequências de instruções reconhecíveis pelo CONTROLE do Elemento de "Hardware" para gerar os desenhos desejados, tanto para opção "Rubylith" quanto para a opção fotolito; 2) PROGRAMAS DE INTERFACE que servem como meio de tradução dos dados de artes finais gerados pelo PAC-1 [15] para a forma de PROGRAMAS DE DESENHO.

2.3.1. O Corte de "Rubylith"

No item 2.1.1. ficou estabelecido que na geração de artes finais em "Rubylith", dada a característica da faca utilizada para corte, as regiões de interesse devem ser definidas por lados ortogonais. Essa restrição foi estendida também para os procedimentos de desenho. Dessa forma as operações de corte e desenho são operações semelhantes para o SAD.

A sequência de instruções para corte/desenho, apresentada a seguir é ilustrada na Figura 2.8.

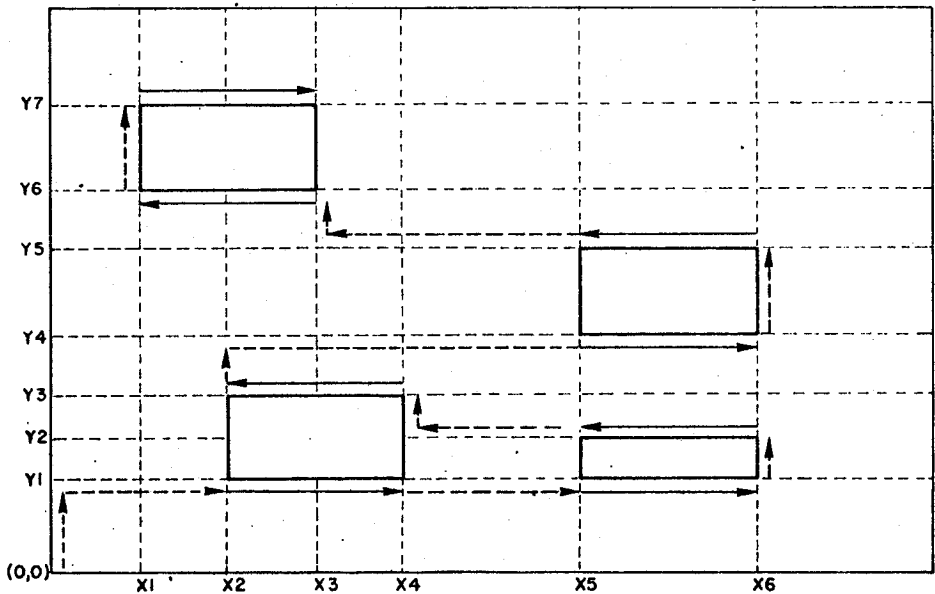


Figura 2.8. Desenho para exemplificar a sequência de comandos de corte de Rubylith na direção $\hat{x}$.

(Faca Posicionada para Cortes na Direção $\hat{x}$)

- Posicione a FCD na origem
- *- Desloque a FCD, levantada, até y_1
- Desloque a FCD, levantada, até x_2
- Desloque a FCD, abaixada, até x_4
- Desloque a FCD, levantada, até x_5
- Desloque a FCD, abaixada, até x_6
- *- Desloque a FCD, levantada, até y_2
- Desloque a FCD, abaixada, até x_5
- ⋮
- *- Desloque a FCD, levantada, até y_7
- Desloque a FCD, abaixada, até x_3
- Retorne à origem, com a FCD levantada.

(Faca Posicionada para Cortes na Direção $\hat{y}$)

- *- Desloque a FCD, levantada, até x_1
- Desloque a FCD, levantada, até y_6
- Desloque a FCD, abaixada, até y_7
- *- Desloque a FCD, levantada, até x_2
- ⋮
- *- Desloque a FCD, levantada, até x_6
- Desloque a FCD, abaixada, até y_4
- Desloque a FCD, levantada, até y_2
- Desloque a FCD, abaixada, até y_1
- Retorne à origem com a FCD levantada.

As setas tracejadas indicadas no desenho da *Figura 2.8* representam posicionamentos com a FCD levantada e as setas cheias representam os posicionamentos com a FCD abaixada no procedimento de cortes horizontais.

O algoritmo de varredura da FCD sobre o coordenatôgrafo para execução desse desenho é estabelecido pelos seguintes passos:

a) Cortes Horizontais

- 1a) Partindo da origem com a FCD levantada, desloque-a até a primeira ordenada onde houver cortes;
- 2a) execute todos os cortes nessa ordenada, partindo do corte de menor abcissa;
- 3a) posicione a FCD na próxima ordenada onde houver cortes. Se não houver mais cortes horizontais execute passo 7a;
- 4a) execute todos os cortes nessa ordenada, partindo do corte de maior abcissa;
- 5a) posicione a FCD na próxima ordenada onde houver cortes. Se não houver mais cortes horizontais execute passo 7a;

6a) vá para o passo 2a;

7a) retorne a FCD levantada para a origem;

b) Cortes Verticais

1b) Partindo da origem com a FCD levantada, desloque-a até a primeira abcissa onde houver cortes;

2b) execute todos os cortes nessa abscissa, partindo do corte de menor ordenada;

3b) posicione a FCD na próxima abscissa onde houver cortes. Se não houver mais cortes verticais execute passo 7b;

4b) execute todos os cortes nessa abscissa, partindo do corte de maior ordenada;

5b) posicione a FCD na próxima abscissa onde houver cortes. Se não houver mais cortes verticais execute passo 7b;

6b) vá para o passo 2b;

7b) fim de desenho.

Dessa forma é estabelecido o seguinte PROGRAMA DE DESENHO para corte/desenho:

PCDX: $P_1(Y), P_{11}(X), P_{12}(X) \dots P_{1p}(X), P_2(Y), P_{21}(X) \dots P_{2q}(X), \dots P_r(Y), P_{r1}(X) \dots P_{rs}(X),$

PCDY: $P_1(X), P_{11}(Y), P_{12}(Y) \dots P_{1k}(Y), P_2(X), P_{21}(Y) \dots P_{2l}(Y), \dots P_m(X), P_{m1}(Y) \dots P_{mn}(Y)$

onde: PCDX: PROGRAMA DE DESENHO para corte/desenho na direção $\hat{x}$;

PCDY: PROGRAMA DE DESENHO para corte/desenho na direção $\hat{y}$;

$P_r(Y)$ é a instrução para posicionamento da FCD para que sejam efetuados cortes na r-ésima ordenada;

$P_{rs}(X)$ é a instrução para execução do s-ésimo deslocamento na r-ésima ordenada;

$P_m(X)$ é a instrução para posicionamento da FCD para que sejam efetuados cortes na m-ésima abscissa;

$P_{mn}(Y)$ é a instrução para execução do n-ésimo deslocamento na m-ésima abscissa.

Cada instrução apresentada acima deve conter as seguintes informações:

a) Posição da FCD: abaixada ou levantada;

b) direção do deslocamento (X ou Y);

c) sentido do deslocamento (abscissa (ordenada) crescente ou decrescente);

d) dimensão do deslocamento.

2.3.2. Sensibilização de Fotolito

Enquanto a operação de corte/desenho acompanha os contornos das regiões a serem definidas, na sensibilização de fotolito a definição das regiões é feita pela varredura da área com o módulo projetor(MP) [16]. Para exemplificar a sequência

- Desloque o MP, desativado, até X_2
- Desloque o MP, ativado, até X_2+M
- Desloque o MP, desativado, até X_3
- Desloque o MP, ativado, até X_4

- *- Desloque o MP, desativado, até Y_1+4M
- Desloque o MP, desativado, até X_1+3M
- Desloque o MP, ativado, até X_1
- Desloque o MP, desativado, até X_1-M

- *- Desloque o MP, desativado, até Y_1+5M
- Desloque o MP, ativado, até X_1+2M
- Desloque o MP, desativado, até X_1+3M
- :
- *- Desloque o MP, desativado, até Y_2
- Desloque o MP, ativado, até X_1

Essa sequência de comandos, definida como PFl, tem a mesma estrutura que o PROGRAMA DE DESENHO PCDX (PCDY).

Uma outra maneira de formular a sequência de comandos descrita acima é separando os comandos para deslocamento dos comandos para ativar/desativar o MP.

A sequência pode, então, ser descrita como:

- Posicione o MP na origem
- *- Desloque o Mp, desativado, até Y_1+M
- +- Desloque o MP, até X_4+M
 - . desativado até X_1
 - . ativado até X_1+2M
 - . desativado até X_2
 - . ativado até X_2+M
 - . desativado até X_3
 - . ativado até X_4
 - . desativado até X_4+M

- *- Desloque o MP, desativado, até Y_1+2M
- +- Desloque o MP, até X_1-M
 - . ativado até X_3
 - . desativado até X_2+M
 - . ativado até X_2
 - . desativado até X_1+2M
 - . ativado até X_1
 - . desativado até X_1-M

*-Desloque o MP, desativado, até Y_1+3M
 +-Desloque o MP, até X_4+M
 . ativado até X_1+2M
 . desativado até X_2
 . ativado até X_2+M
 . desativado até X_3
 . ativado até X_4
 . desativado até X_4+M
 :
 *-Desloque o MP, desativado, até Y_2
 +-Desloque o MP até X_1
 . ativado até X_1

O PROGRAMA DE DESENHO PF2 para sensibilização de fotolito fica com a seguinte estrutura:

$P_1(Y), P_1(X), P_{11}(f), P_{12}(f) \dots P_{1n}(f), P_2(Y), P_2(X), P_{21}(f), P_{22}(f) \dots P_{2m}(f) \dots P_k(Y),$
 $P_k(x), P_{k1}(f), P_{k2}(f) \dots P_{kl}(f)$

onde: $P_k(Y)$ é a instrução para posicionamento do MP para sensibilização na K-ésima ordenada;

$P_k(X)$ é a instrução para deslocamento do MP na K-ésima linha;

$P_{kl}(f)$ é a instrução de atuação sobre o MP para o l-ésimo trecho da k-ésima linha.

Cada instrução acima deve conter as seguintes informações:

- Posição do MP: ativado ou desativado;
- direção do deslocamento (X ou Y);
- sentido do deslocamento (abscissa (ordenada) crescente ou decrescente);
- dimensão do deslocamento.

2.3.3. Palavra de Instrução

As informações necessárias para especificar cada instrução dos PROGRAMAS DE DESENHO de corte/desenho e de sensibilidade de fotolito como definida nos itens 2.3.1. e 2.3.2., respectivamente, são anotadas nas PALAVRA DE INSTRUÇÃO (PI), cuja composição é mostrada na *Figura 2.10*.

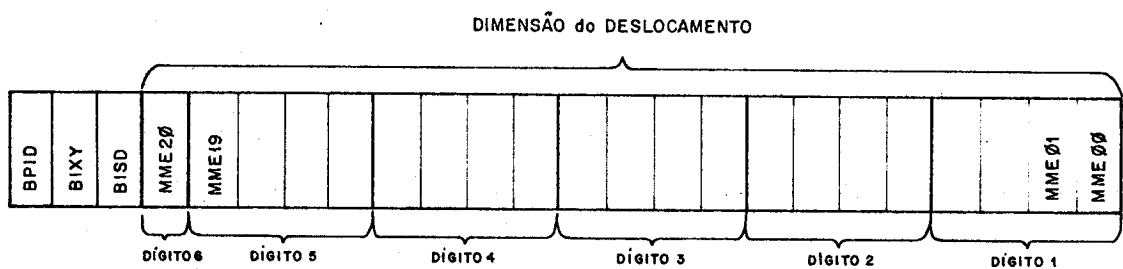


Figura 2.10 - Composição da Palavra de Instrução.

ma que:

É utilizado um bit, BPID, para definir a posição do FCD(MP) de for

BPID	{	= 1 → FCD(MP) abaixada (ativado)
		= 0 → FCD(MP) levantada (desativado)

A direção do deslocamento é definida pelo bit BIXY:

BIXY	{	= 1	→	deslocamento na direção X
		= 0	→	deslocamento na direção Y

O bit BISD define o sentido de deslocamento:

BISD	{	= 1	→	sentido positivo
		= 0	→	sentido negativo

A dimensão do deslocamento (DD) é definida num campo de 21 bits. Tendo as informações da dimensão do deslocamento unitário (1 passo = 10 μ m) e das dimensões do coordenatôgrafo (1200 x 1600 mm²), os deslocamentos máximos são definidos:

- . para a direção X : DD < 120000 passos;
- . para a direção Y : DD < 160000 passos.

Esses limites podem ser definidos, em código BCD, nos 21 bits reservados.

Assim, a PI é formatada em 24 bits, como ilustrado na *Figura 2.10*.

2.3.4. Os PROGRAMAS DE INTERFACE: FOTO e RUBY

A interface de dados entre o PAC-1 e o SAD para corte de "Rubylith" é feita pelo programa RUBY, cujo algoritmo é o descrito no item 2.2.1.

Para sensibilização de fotolito a interface de dados é feita pelo programa FOTO que estrutura sequências como a PF2 definida no item 2.2.2.

Esses programas dispõem de saídas para formatação das sequências de instruções em fita de papel e em listagens adequadas para uso pelo operador.

2.3.4.1. Formato do Registro em Fita de Papel de 8 Canais

Para este registro são definidas 6 PALAVRAS RESERVADAS de 8 bits que têm a função de:

- LINFI - informar posição de início do registro;
- LFITR - indicar fim de programa;
- LFIFI - indicar fim de fita quando o programa de desenho é dividido em 2 ou mais fitas;
- LSEMO - indicar qual MP deve ser usado quando o trabalho é de sensibilização de fotolito;
- LDBLO - identificar início e fim de blocos de instruções para a LFP, durante a leitura;
- LRBLO - informar ao SAD que o último bloco de instruções lido deve ser executado novamente.

E uma PALAVRA RESERVADA de 24 bits - FIBLO - que tem a função de identificar o fim de um bloco de instruções para o SAD, durante a execução das instruções.

Cada PALAVRA DE INSTRUÇÃO de 24 bits é anotada na fita de papel em 3 registros de 8 bits.

Assim, temos a formatação, em fita de papel:

pelo RUBY

```

6x  LINFI
6x  LDBLO
    P1 (Y)
    P11 (X)
    P12 (X)
    .
    P1p (X)
    P2 (Y)
    P21 (X)
    .
    P2q (X)
    .
    Pr (Y)
    Pr1 (X)
    .
    Prs (X)
    FIBLO
6x  LDBLO
    P1 (X)
    P11 (Y)
    P12 (Y)
    .
    Pk (Y)
    P2 (X)
    P21 (Y)
    .
    P21 (Y)
    .
    Pm (X)
    Pm1 (Y)
    .
    Pmn (Y)
    FIBLO
6x  LDBLO
    LFITR
  
```

PCDX

PCDY

pelo FOTO

```

6x  INFI
3x  LDBLO
    LSEMO
3x  LDBLO
    P1 (Y)
    P1 (X)
    P11 (f)
    P12 (f)
    .
    P1n (f)
    P2 (Y)
    P2 (X)
    P21 (f)
    P22 (f)
    .
    P2m (f)
    .
    Pk (Y)
    Pk (X)
    Pk1 (f)
    Pk2 (f)
    .
    Pk1 (f)
    FIBLO
6x  LDBLO
    LRBLO
3x  LDBLO
    LRBLO
3x  LDBLO
    LFITR
  
```

PF2

2.3.4.2. Formato das Listagens

A listagem de instruções para uso pelo operador é feita como anotada abaixo:

. Y + 1000 !	. X + 1000 !	* X + 5000 !	. X + 2000 !	. Y + 1000 !	* X - 1000 !	7000	2000
. X - 1000 !	* X - 2000 !	. Y + 2000 !	. X + 1000 !	* X + 4000 !	. X + 2000 !	11000	4000

{ . → FCD(MP) desativado
 { * → FCD(MP) ativado

{ X
 { Y

direção

{ +
 { -

sentido

ΣX ΣY

2.4. O ELEMENTO DE "HARDWARE": CONTROLE

O CONTROLE do Elemento de "Hardware" tem a finalidade de:

- a) receber do Elemento de "Software", através do TECLADO existente no console ou da LFP, PROGRAMAS DE DESENHO;
- b) de registrar esses programas em memória;
- c) de interpretar e processar as suas instruções.

O CONTROLE do Elemento de "Hardware" dá como saída:

- a) excitação dos motores de passo acoplados ao coordenatôgrafo;
- b) controle sobre o adaptador de FCD ao coordenatôgrafo;
- c) atuação elétrica sobre a fonte de luz do Elemento Óptico;
- d) controle do TECLADO existente no console (ou da LFP) durante operação de leitura de PROGRAMAS DE DESENHO;
- e) informações ao operador através dos PAINÉIS do console a cerca de estados do CONTROLE durante a execução de desenhos.

A sequência e o modo com que as operações de leitura, registro, interpretação, processamento e comandos de saída são executados são determinados por PROGRAMA DE OPERAÇÃO definido em "hardware" e selecionado pelo operador.

A organização adotada para o CONTROLE do Elemento de "Hardware" a fim de se obter um suporte eficiente sobre o qual é corrido o PROGRAMA DE OPERAÇÃO é mostrada no diagrama da Figura 2.11. [17]

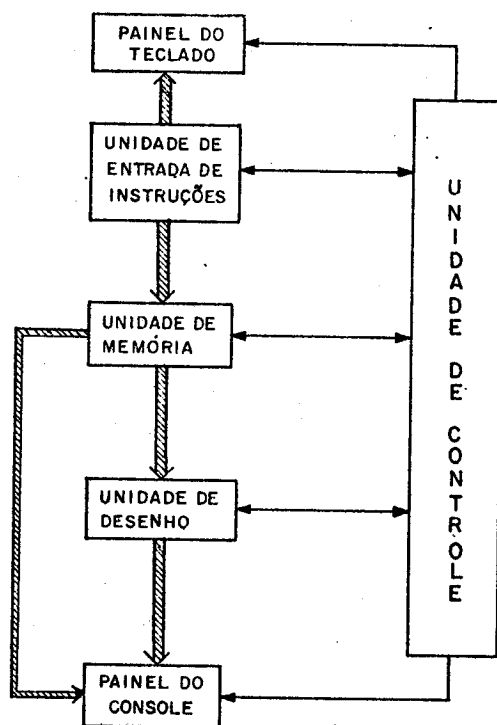


Figura 2.11. Diagrama de blocos correspondente à organização adotada para o CONTROLE do Elemento de "Hardware".

A UNIDADE DE ENTRADA DE INSTRUÇÕES é composta pelo "hardware" associado ao TECLADO e à LFP, cujas características foram apresentadas nos itens 2.1.3. e 2.1.4., respectivamente. É usada para o envio de PALAVRAS DE INSTRUÇÃO para a UNIDADE DE MEMÓRIA. Sua descrição detalhada está no item 2.4.3.

O PAINEL DO TECLADO tem a finalidade de informar ao operador o conteúdo de PALAVRA DE INSTRUÇÃO quando esta está sendo digitada através do TECLADO. A descrição detalhada do PAINEL DO TECLADO é feita no item 2.4.7.

A UNIDADE DE MEMÓRIA é usada para registro de PROGRAMAS DE DESENHO a serem executados. É estruturada de forma a poder receber programas fornecidos tanto pelo TECLADO quanto pela LFP. A MEMÓRIA, propriamente dita, está associada a um APONTADOR DE ENDEREÇOS. O comando para registro de cada PALAVRA DE INSTRUÇÃO na MEMÓRIA e o controle do APONTADOR DE ENDEREÇOS é atribuído à UNIDADE DE CONTROLE. A descrição da UNIDADE DE MEMÓRIA é feita no item 2.4.4.

São atribuídas ao PAINEL DO CONSOLE as funções de permitir ao operador acompanhar a posição da FCD ou do MP sobre o coordenatógrafo durante a execução de um programa de desenho; de informá-lo sobre os estados da máquina durante a operação; além de indicar o MP em uso quando a operação é de sensibilização de fotolito. O PAINEL DO CONSOLE é detalhado no item 2.4.6.

A UNIDADE DE DESENHO tem as funções de interpretar a PALAVRA DE INSTRUÇÃO e processar os comandos por ela especificados (deslocamentos e ativação da FCD ou do MP). Esta unidade é detalhada no item 2.4.5.

Dentro da estrutura apresentada a UNIDADE DE CONTROLE, cuja descrição detalhada é feita no item 2.4.2, foi projetada para monitorar sete possíveis PROGRAMAS DE OPERAÇÃO, definidos na Tabela 2.2. Cada programa é identificado para a UNIDADE DE CONTROLE através de uma palavra de 4 bits cuja formatação é mostrada na Figura 2.12., onde:

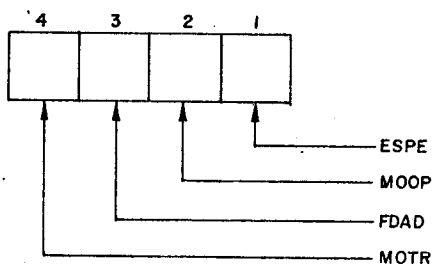


Figura 2.12. Palavra que identifica o PROGRAMA DE OPERAÇÃO para a UNIDADE DE CONTROLE.

- BIT1 - ESPE - Este bit especifica para a UNIDADE DE CONTROLE qual dos periféricos da UNIDADE DE ENTRADA DE INSTRUÇÕES será utilizado.
Se ESPE = 1 é escolhido o TECLADO;
Se ESPE = 0 é escolhida a LFP
- BIT2 - MOOP - Este bit especifica para a UNIDADE DE CONTROLE se a operação será automática (MOOP=0) ou manual (MOOP=1).
Na operação manual a execução de cada instrução do PROGRAMA DE DESENHO deve ser requisitada pelo operador; na operação automática, no fim de execução de cada instrução, a UNIDADE DE CONTROLE é encarregada de requisitar a execução da próxima instrução.

BIT3 - FDAD - Este bit especifica para a UNIDADE DE CONTROLE se a operação será imediata (FDAD = 1) ou por blocos (FDAD = 0).
A operação é chamada imediata quando o operador digita a instrução pelo TECLADO (ESPE=1), escolhe operação MANUAL (MOOP=1), e após a da instrução digitada solicita a execução da mesma; na operação por blocos, um PROGRAMA DE DESENHO no seu todo ou em parte é registrado na memória antes de ser requisitada a execução das instruções.

BIT4 - MOTR - Este bit especifica para a UNIDADE DE CONTROLE que o trabalho a ser realizado será de corte/desenho (MOTR=1) ou de sensibilização de fotolito (MOTR=0)

OPERAÇÃO	MOTR	FDAD	MOOP	ESPE
MODO 1	1	1	1	1
MODO 2	0	1	1	1
MODO 3	1	0	0	1
MODO 4	0	0	0	1
MODO 5	1	0	1	0
MODO 6	1	0	0	0
MODO 7	0	0	0	0

Tabela 2.2.- Conteúdo da Palavra de Seleção para identificar cada um dos 7 modos de operação possíveis do SAD

2.4.1. Programa de Operação

2.4.1.1. Programa da Unidade de Controle para Operação MODO 1

Os passos do programa executado pela UNIDADE DE CONTROLE para a operação MODO 1 são listados a seguir:

MOD01 - 1. A UNIDADE DE CONTROLE monitora a entrada da PALAVRA DE INSTRUÇÃO digitada pelo operador e aguarda, para ir ao passo 2, comando do operador requisitando a execução da instrução.

MOD01 - 2. A UNIDADE DE CONTROLE avisa à UNIDADE DE MEMÓRIA para registrar a PALAVRA DE INSTRUÇÃO digitada pelo operador na posição 1777₈ da MEMÓRIA e para manter o APONTADOR DE ENDEREÇOS indicando para essa posição de memória; vai para o passo 3.

MOD01 - 3. A UNIDADE DE CONTROLE informa à UNIDADE DE DESENHO que deve iniciar a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO disponível na saída da MEMÓRIA, e que se trata de instrução para corte/desenho; vai para o passo 4.

- MOD01 - 4. A UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando que a UNIDADE DE DESENHO lhe informe que a execução da instrução chegou ao fim, para voltar ao passo 1 do programa.

2.4.1.2. Programa da Unidade de Controle para Operação MOD0 2

Os passos do programa executado pela UNIDADE DE CONTROLE para a operação MOD0 2 são listados a seguir:

- MOD02 - 1. A UNIDADE DE CONTROLE monitora a entrada da PALAVRA DE INSTRUÇÃO digitada pelo operador e aguarda, para ir ao passo 2, comando do operador requisitando a execução da instrução.
- MOD02 - 2. A UNIDADE DE CONTROLE avisa à UNIDADE DE MEMÓRIA para registrar a PALAVRA DE INSTRUÇÃO digitada pelo operador na posição 1777₈ da MEMÓRIA e para manter o APONTADOR DE ENDEREÇOS indicando para essa posição de memória; vai para o passo 3.
- MOD02 - 3. A UNIDADE DE CONTROLE informa à UNIDADE DE DESENHO que deve iniciar a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO disponível na saída da MEMÓRIA, e que se trata de instrução para sensibilização de fotolito; vai para o passo 4.
- MOD02 - 4. Durante a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO a UNIDADE DE CONTROLE monitora o sistema de sensibilização de fotolito verificando se houve detecção de alguma falha. Após a UNIDADE DE DESENHO informar que terminou a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO, se foi detectada falha, vai para o passo 5; se não, vai para o passo 1. Se foram detectadas nove falhas seguidas, vai para o passo 7.
- MOD02 - 5. A UNIDADE DE CONTROLE informa à UNIDADE DE DESENHO que deve executar novamente, em sentido contrário, o deslocamento especificado na PALAVRA DE INSTRUÇÃO, mantendo o MÓDULO PROJETO desativado; vai para o passo 6.
- MOD02 - 6. A UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando que a UNIDADE DE DESENHO lhe informe que a execução da instrução chegou ao fim. Após essa informação, vai para o passo 3.
- MOD02 - 7. A UNIDADE DE CONTROLE interrompe a operação e informa ao operador que foram detectadas nove falhas seguidas no sistema de sensibilização de fotolito.

2.4.1.3. Programa da Unidade de Controle para Operação MOD03

Os passos do programa executado pela UNIDADE DE CONTROLE para operação MOD03 são listados a seguir:

- MOD03 - 1. A UNIDADE DE CONTROLE monitora a entrada de PALAVRA DE INSTRUÇÃO digitada pelo operador e aguarda comando do operador:

- se for comando para registro da PALAVRA DE INSTRUÇÃO na MEMÓRIA, vai para o passo 2;
 - se for comando para execução de um bloco de instruções armazenados na MEMÓRIA vai para o passo 3.
- MODO3 - 2. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS e depois registrar a PALAVRA DE INSTRUÇÃO na MEMÓRIA; vai para o passo 1.
- MODO3 - 3. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para colocar o APONTADOR DE ENDEREÇOS indicando a posição 1777₈ da MEMÓRIA; vai para o passo 4.
- MODO3 - 4. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS; comunica à UNIDADE DE DESENHO que deve iniciar a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO disponível na saída da MEMÓRIA, e que se trata de instrução para corte/desenho; vai para o passo 5.
- MODO3 - 5. A UNIDADE DE CONTROLE pergunta à UNIDADE DE DESENHO se a instrução lida é código de fim de bloco de instruções na MEMÓRIA:
- se for, comunica à UNIDADE DE DESENHO para interromper a execução de instrução; à UNIDADE DE MEMÓRIA para colocar o APONTADOR DE ENDEREÇOS indicando a posição 1777₈ da MEMÓRIA; ao operador, que terminou o bloco de instruções na memória; vai para o passo 1;
 - se não for código de fim de bloco de instruções na memória, vai para o passo 6.
- MODO3 - 6. A UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando que a UNIDADE DE DESENHO lhe informe que a execução da instrução chegou ao fim. Quando isso ocorre vai ao passo 4.

2.4.1.4. Programa da Unidade de Controle para Operação MODO4

Os passos do programa executado pela UNIDADE DE CONTROLE para a operação MODO4 são listados a seguir:

- MODO4 - 1. A UNIDADE DE CONTROLE monitora a entrada de PALAVRA DE INSTRUÇÃO digitada pelo operador e aguarda comando do operador:
- se for comando para registro da PALAVRA DE INSTRUÇÃO na MEMÓRIA vai para o passo 2;
 - se for comando para execução de um bloco de instruções armazenado na MEMÓRIA vai para o passo 3.
- MODO4 - 2. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS e depois registrar a PALAVRA DE INSTRUÇÃO na MEMÓRIA; vai para o passo 1.
- MODO4 - 3. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para colocar o APONTADOR DE ENDEREÇOS indicando a posição 1777₈ da MEMÓRIA; vai para o passo 4.

- MODO4 - 4. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS; vai para o passo 5.
- MODO4 - 5. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE DESENHO que deve iniciar a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO disponível na saída da MEMÓRIA e que se trata de instrução para sensibilização de fotolito; vai para o passo 6.
- MODO4 - 6. A UNIDADE DE CONTROLE pergunta à UNIDADE DE DESENHO se a instrução lida é código de fim de bloco de instruções na MEMÓRIA:
- se não for, vai para o passo 7;
- se for, comunica à UNIDADE DE DESENHO para interromper a execução de instrução; à UNIDADE DE MEMÓRIA para colocar o APONTADOR DE ENDEREÇOS indicando a posição 1777₈ da MEMÓRIA; ao operador, que terminou o bloco de instruções na memória; vai para o passo 1.
- MODO4 - 7. A UNIDADE DE CONTROLE pergunta à UNIDADE DE DESENHO se a instrução lida corresponde a deslocamento na direção $\hat{y}$. Se corresponder, vai para o passo 8; se não, vai para o passo 12.
- MODO4 - 8. Durante a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO a UNIDADE DE CONTROLE monitora o sistema de sensibilização de fotolito verificando se houve detecção de alguma falha. Após a UNIDADE DE DESENHO informar que terminou a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO, se foi detetada falha, vai para o passo 9; se não, vai para o passo 4. Se foram detetadas nove falhas seguidas vai para o passo 11.
- MODO4 - 9. A UNIDADE DE CONTROLE informa à UNIDADE DE DESENHO que deve executar novamente, em sentido contrário, o último deslocamento, mantendo o MÓDULO PROJETOR desativado; vai para o passo 10.
- MODO4 - 10. A UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando que a UNIDADE DE DESENHO lhe informe que a execução da instrução chegou ao fim. Após essa informação vai para o passo 5.
- MODO4 - 11. A UNIDADE DE CONTROLE interrompe a operação e informa ao operador que foram detetados nove falhas seguidas no sistema de sensibilização de fotolito.
- MODO4 - 12. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS; comunica à UNIDADE DE DESENHO que a instrução presente na saída da MEMÓRIA se destina ao controle do sistema de sensibilização de fotolito e que deve ser processada; vai para o passo 13.
- MODO4 - 13. Durante o processamento das instruções para deslocamento e para controle do sistema de sensibilização de fotolito a UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando informação da UNIDADE DE DESENHO: se somente a instrução de controle do sistema de sensibilização de fotolito teve o processamento terminado, vai para o passo 14 com o "flag" FIM=0; se as duas instruções tiveram seus processamentos terminados, vai para o passo 14, com o "flag" FIM=1. Enquanto aguarda, a UNIDADE DE CONTROLE monitora a detecção de falha no sistema de sensibilização de fotolito; quando houver, põe o "flag" FALHA=1. Se forem detetadas nove falhas seguidas, põe o "flag" ERRO=1.

- MOD04 - 14. Se FALHA = 0 : avisa ao CONTROLE DE CORREÇÃO que foi processado um segmento sem falhas. Se FIM = 1 vai para o passo 15; se FIM = 0, vai para o passo 12;
- Se FALHA = 1, põe o "FLAG" FALHA = 0 e avisa ao CONTROLE DE CORREÇÃO que foi processado um segmento com falha(s). Se FIM = 1 vai para o passo 15; se FIM = 0, vai para o passo 12.
- MOD04 - 15. Põe o "flag" FIM = 0
- Se ERRO = 1, vai para o passo 11
- Se ERRO = 0, a UNIDADE DE CONTROLE observa se houve nos segmentos sensibilizados, durante o último deslocamento, alguma falha. Se houve, vai para o passo 16; se não, vai para o passo 4.
- MOD04 - 16. Como houve falha, a UNIDADE DE CONTROLE informa à UNIDADE DE DESENHO, que deve executar em sentido contrário, um deslocamento com a mesma dimensão do último, mantendo o MÓDULO PROJETO desativado; libera o CONTROLE DE CORREÇÃO para informar à UNIDADE DE MEMÓRIA que deve decrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS de uma quantidade equivalente ao número de segmentos (sensibilizados ou não) processados durante o último deslocamento, vai para o passo 17.
- MOD04 - 17. A UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando que a UNIDADE DE DESENHO lhe informe que chegou ao fim do deslocamento. Quando isso acontece vai para o passo 18.
- MOD04 - 18. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE DESENHO que deve iniciar a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO disponível na saída da MEMÓRIA e que se trata de instrução para sensibilização de fotolito; vai para o passo 19.
- MOD04 - 19. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS: comunica à UNIDADE DE DESENHO que a instrução presente na saída da MEMÓRIA se destina ao controle do sistema de sensibilização de fotolito e que deve ser processada; e como é um procedimento de correção o bit BPID será monitorado pela UNIDADE DE CONTROLE. Vai para o passo 20.
- MOD04 - 20. Durante o processamento das instruções para deslocamento e para controle do sistema de sensibilização de fotolitos a UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando informação da UNIDADE DE DESENHO: se somente a instrução de controle do sistema de sensibilização de fotolito teve o processamento terminado vai para o passo 19; se as duas instruções tiveram seu processamento terminado vai para o passo 4.

2.4.1.5. Programa da Unidade de Controle para Operação MOD05

Os passos do programa executado pela UNIDADE DE CONTROLE para operação MOD05 são listados a seguir:

- MODO5 - 1. A UNIDADE DE CONTROLE monitora a entrada de um bloco de PALAVRAS DE INSTRUÇÃO pela LFP:
- A cada palavra de 8 bits lida na fita de papel a LFP comunica à UNIDADE DE CONTROLE se é PALAVRA RESERVADA ou não. Se, for PALAVRA RESERVADA, vai para o passo 5; se não, vai para o passo 2.
- MODO5 - 2. A UNIDADE DE CONTROLE a cada palavra de 8 bits lida na fita de papel comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para registrá-la num REGISTRO TEMPORÁRIO. A cada três registros vai para o passo 3; caso contrário, vai para o passo 1.
- MODO5 - 3. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS; vai para o passo 4.
- MODO5 - 4. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para transferir o conteúdo do REGISTRO TEMPORÁRIO para a MEMÓRIA; vai para o passo 1.
- MODO5 - 5. Se é PALAVRA RESERVADA de divisão de bloco na fita de papel, verifica se foi lido um bloco de dados. Se foi, vai para o passo 8; se não, vai para o passo 1; se é PALAVRA RESERVADA de repetição de bloco vai para o passo 8; se é PALAVRA RESERVADA de fim de fita vai para o passo 6; se é PALAVRA RESERVADA de fim de trabalho vai para o passo 7; se é PALAVRA RESERVADA de início de fita vai para o passo 1.
- MODO5 - 6. A UNIDADE DE CONTROLE interrompe a operação e informa ao operador através do PAINEL DO CONSOLE, que é final de fita.
- MODO5 - 7. A UNIDADE DE CONTROLE interrompe a operação e informa ao operador, através do PAINEL DO CONSOLE, que é final de trabalho.
- MODO5 - 8. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para colocar o APONTADOR DE ENDEREÇOS indicando a posição 1777₈ da MEMÓRIA; vai para o passo 9.
- MODO5 - 9. A UNIDADE DE CONTROLE avisa o operador, através do PAINEL DO CONSOLE que há um programa de corte/desenho armazenado na MEMÓRIA e que está a guardando requisição de execução de instruções do programa pelo operador. Quando há o comando do operador requisitando a execução de instrução vai para o passo 10.
- MODO5 - 10. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS; vai para o passo 11.
- MODO5 - 11. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE DESENHO que deve iniciar a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO disponível na saída da MEMÓRIA, e que se trata de instrução para corte/desenho; vai para o passo 12.
- MODO5 - 12. A UNIDADE DE CONTROLE pergunta à UNIDADE DE DESENHO se a instrução lida é código de fim de bloco de instruções na MEMÓRIA. Se for, vai para o passo 13; caso contrário vai para o passo 14.

- MODO5 - 13. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE DESENHO para interromper a execução da instrução e à UNIDADE DE MEMÓRIA para colocar o APONTADOR DE ENDEREÇOS indicando a posição 1777_8 da MEMÓRIA; vai para o passo 1.
- MODO5 - 14. A UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando que a UNIDADE DE DESENHO lhe informe que a execução da instrução chegou ao fim. Quando isso ocorre vai para o passo 9.

2.4.1.6. Programa da Unidade de Controle para Operação MODO6

Os passos do programa executado pela UNIDADE DE CONTROLE para operação MODO6 são listados a seguir:

- MODO6 - 1. A UNIDADE DE CONTROLE monitora a entrada de um bloco de PALAVRAS DE INSTRUÇÃO pela LFP: a cada palavra de 8 bits lida na fita de papel a LFP comunica à UNIDADE DE CONTROLE se é PALAVRA RESERVADA ou não. Se for PALAVRA RESERVADA vai para o passo 5; se não, vai para o passo 2.
- MODO6 - 2. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para registrar a palavra lida num REGISTRO TEMPORÁRIO. A cada três registros vai para o passo 3; caso contrário, vai para o passo 1.
- MODO6 - 3. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS; vai para o passo 4.
- MODO6 - 4. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para transferir o conteúdo do REGISTRO TEMPORÁRIO para a MEMÓRIA, vai para o passo 1.
- MODO6 - 5. Se é PALAVRA RESERVADA de divisão de bloco na fita de papel, verifica se foi lido um bloco de dados. Se foi, vai para o passo 8; se não, vai para o passo 1; se é PALAVRA RESERVADA de repetição de bloco vai para o passo 8; se é PALAVRA RESERVADA de fim de fita vai para o passo 6; se é PALAVRA RESERVADA de fim de trabalho vai para o passo 7; se é PALAVRA RESERVADA de início de fita vai para o passo 1.
- MODO6 - 6. A UNIDADE DE CONTROLE interrompe a operação e informa ao operador através do PAINEL DO CONSOLE, que é final de fita.
- MODO6 - 7. A UNIDADE DE CONTROLE interrompe a operação e informa ao operador, através do PAINEL DO CONSOLE, que é final de trabalho.
- MODO6 - 8. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para colocar o APONTADOR DE ENDEREÇOS indicando a posição 1777_8 da MEMÓRIA; vai para o passo 9.
- MODO6 - 9. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS; vai para o passo 10.

- MODO6 - 10. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE DESENHO que deve iniciar a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO disponível na saída da MEMÓRIA, e que se trata de instruções para corte/desenho; vai para o passo 11.
- MODO6 - 11. A UNIDADE DE CONTROLE pergunta à UNIDADE DE DESENHO se a instrução lida é código de fim de bloco de instruções na MEMÓRIA. Se for, vai para o passo 12; caso contrário vai para o passo 13.
- MODO6 - 12. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE DESENHO para interromper a execução da instrução e à UNIDADE DE MEMÓRIA para colocar o APONTADOR DE ENDEREÇOS indicando a posição 1777₈ da MEMÓRIA; vai para o passo 1.
- MODO6 - 13. A UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando que a UNIDADE DE DESENHO lhe informe que a execução da instrução chegou ao fim. Quando isso ocorre vai para o passo 9.

2.4.1.7. Programa da Unidade de Controle para Operação MODO7

Os passos do programa executado pela UNIDADE DE CONTROLE para operação MODO7 são listados a seguir:

- MODO7 - 1. A UNIDADE DE CONTROLE monitora a entrada de um bloco de PALAVRAS DE INSTRUÇÃO PELA LFP; a cada palavra de 8 bits lida na fita de papel a LFP comunica à UNIDADE DE CONTROLE se é PALAVRA RESERVADA ou não. Se for PALAVRA RESERVADA vai para o passo 5; se não, vai para o passo 2.
- MODO7 - 2. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para registrar a palavra lida num REGISTRO TEMPORÁRIO. A cada três registros vai para o passo 3; caso contrário vai para o passo 1.
- MODO7 - 3. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS; vai para o passo 4.
- MODO7 - 4. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para transferir o conteúdo do REGISTRO TEMPORÁRIO para a MEMÓRIA; vai para o passo 1.
- MODO7 - 5. Se é PALAVRA RESERVADA de divisão de bloco na fita de papel, verifica se foi lido um bloco de dados. Se foi, vai para o passo 11, se não, vai para o passo 1;
- se é PALAVRA RESERVADA de repetição de bloco vai para o passo 11;
 - se é PALAVRA RESERVADA de fim de fita vai para o passo 6;
 - se é PALAVRA RESERVADA de fim de trabalho vai para o passo 7;
 - se é PALAVRA RESERVADA de início de fita vai para o passo 1;
 - se é PALAVRA RESERVADA de informação de MÓDULO PROJETO vai para o passo 8.
- MODO7 - 6. A UNIDADE DE CONTROLE interrompe a operação e informa ao operador através do PAINEL DO CONSOLE, que é final de fita de papel.
- MODO7 - 7. A UNIDADE DE CONTROLE interrompe a operação e informa ao operador através do PAINEL DO CONSOLE, que é final de trabalho.

- MODO7 - 8. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para registrar na MEMÓRIA a informação correspondente ao MÓDULO PROJETO R que deve ser utilizado; vai para o passo 9.
- MODO7 - 9. A UNIDADE DE CONTROLE interrompe a operação e informa ao operador, através do PAINEL DO CONSOLE, para posicionar o MÓDULO PROJETO R indicado; vai para o passo 10.
- MODO7 - 10. A UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando comando do operador indicando que o MÓDULO PROJETO R foi posicionado; após o comando ser dado vai para o passo 1.
- MODO7 - 11. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para colocar o APONTADOR DE ENDEREÇOS indicando a posição 1777₈ da MEMÓRIA; vai para o passo 12.
- MODO7 - 12. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS; vai para o passo 13.
- MODO7 - 13. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE DESENHO que deve iniciar a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO disponível na saída da MEMÓRIA e que se trata de instrução para sensibilização de fotolito; vai para o passo 14.
- MODO7 - 14. A UNIDADE DE CONTROLE pergunta à UNIDADE DE DESENHO se a instrução lida é código de fim de bloco de instruções na MEMÓRIA. Se não for, vai para o passo 15; se for, comunica à UNIDADE DE DESENHO para interromper a execução de instrução; à UNIDADE DE MEMÓRIA para colocar o APONTADOR DE ENDEREÇOS indicando a posição 1777₈ da MEMÓRIA; ao operador, que terminou o bloco de instruções na memória; vai para o passo 1;
- MODO7 - 15. A UNIDADE DE CONTROLE pergunta à UNIDADE DE DESENHO se a instrução lida corresponde a deslocamento na direção $\hat{y}$. Se corresponder, vai para o passo 16; se não, vai para o passo 20.
- MODO7 - 16. Durante a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO a UNIDADE DE CONTROLE monitora o sistema de sensibilização de fotolito verificando se houve detecção de alguma falha. Após a UNIDADE DE DESENHO informar que terminou a PALAVRA DE INSTRUÇÃO, se foi detetada falha vai para o passo 17; se não vai para o passo 12. Se foram detetadas nove falhas seguidas vai para o passo 19.
- MODO7 - 17. A UNIDADE DE CONTROLE informa à UNIDADE DE DESENHO que deve executar novamente, em sentido contrário, o último deslocamento, mantendo o MÓDULO PROJETO R desativado; vai para o passo 18.
- MODO7 - 18. A UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando que a UNIDADE DE DESENHO lhe informe que a execução da instrução chegou ao fim. Após essa informação vai para o passo 13.
- MODO7 - 19. A UNIDADE DE CONTROLE interrompe a operação e informa ao operador que foram detetadas nove falhas seguidas no sistema de sensibilização de fotolito.

- MODO7 - 20. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS; vai para o passo 21.
- MODO7 - 21. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE DESENHO que a instrução presente na saída da memória se destina ao controle do sistema de sensibilização de fotolito, e que deve ser processada; vai para o passo 22.
- MODO7 - 22. Durante o processamento das instruções para deslocamento e para controle do sistema de sensibilização fotolito a UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando informação da UNIDADE DE DESENHO: se somente a instrução de controle do sistema de sensibilização de fotolito teve o processamento terminado, vai para o passo 23 com o "flag" FIM=0; se as duas instruções tiveram seus processamentos terminados, vai para o passo 23 com o "flag" FIM=1. Enquanto aguarda, a UNIDADE DE CONTROLE monitora a detecção de falha no sistema de sensibilização de fotolito; quando houver falha, põe o "flag" FALHA=1. Se forem detetadas nove falhas seguidas, põe o "flag" ERRO=1.
- MODO7 - 23. Se FALHA=0, avisa ao CONTROLE DE CORREÇÃO que foi processado um segmento sem falhas.
- Se FALHA=1, põe o "flag" FALHA=0 e avisa ao CONTROLE DE CORREÇÃO que foi processado um segmento com falha (s).
- Se FIM=1 vai para o passo 24; se FIM=0 vai para o passo 20.
- MODO7 - 24. A UNIDADE DE CONTROLE põe o "flag" FIM = 0. Se ERRO = 1, vai para o passo 19; se ERRO = 0 a UNIDADE DE CONTROLE observa se houve nos segmentos sensibilizados durante o último deslocamento alguma falha. Se houve, vai para o passo 25; se não, vai para o passo 12.
- MODO7 - 25. Como houve falha, a UNIDADE DE CONTROLE, informa à UNIDADE DE DESENHO que deve executar, em sentido contrário, um deslocamento com a mesma dimensão do último efetuado, mantendo o MÓDULO PROJETO desativa; libera o CONTROLE DE CORREÇÃO para informar à UNIDADE DE MEMÓRIA que deve decrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS de uma quantidade equivalente ao número de segmentos (sensibilizados ou não) processados durante o último deslocamento; vai para o passo 26.
- MODO7 - 26. A UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando que a UNIDADE DE DESENHO lhe informe que chegou ao fim do deslocamento. Quando isso acontece vai para o passo 27.
- MODO7 - 27. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE DESENHO que deve iniciar a execução da PALAVRA DE INSTRUÇÃO disponível na saída da MEMÓRIA e que se trata de instrução para sensibilização de fotolito; vai para o passo 28.
- MODO7 - 28. A UNIDADE DE CONTROLE comunica à UNIDADE DE MEMÓRIA para incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS; comunica à UNIDADE DE DESENHO que a instrução presente na saída da MEMÓRIA se destina ao controle do sistema de sensibilização de fotolito e que deve ser processada; e como é um procedimento de correção o bit BPID será monitorado pela UNIDADE DE CONTROLE; vai para o passo 29.

MODO7 - 29. Durante o processamento das instruções para deslocamento e para controle do sistema de sensibilização de fotolito a UNIDADE DE CONTROLE fica aguardando informação da UNIDADE DE DESENHO: se somente a instrução de controle do sistema de sensibilização de fotolito teve o processamento terminado vai para o passo 28; se as duas instruções tiveram seu processamento terminado vai para o passo 12.

2.4.2. A Unidade de Controle

Na Figura 2.13 está esboçado o diagrama de blocos da UNIDADE DE CONTROLE.

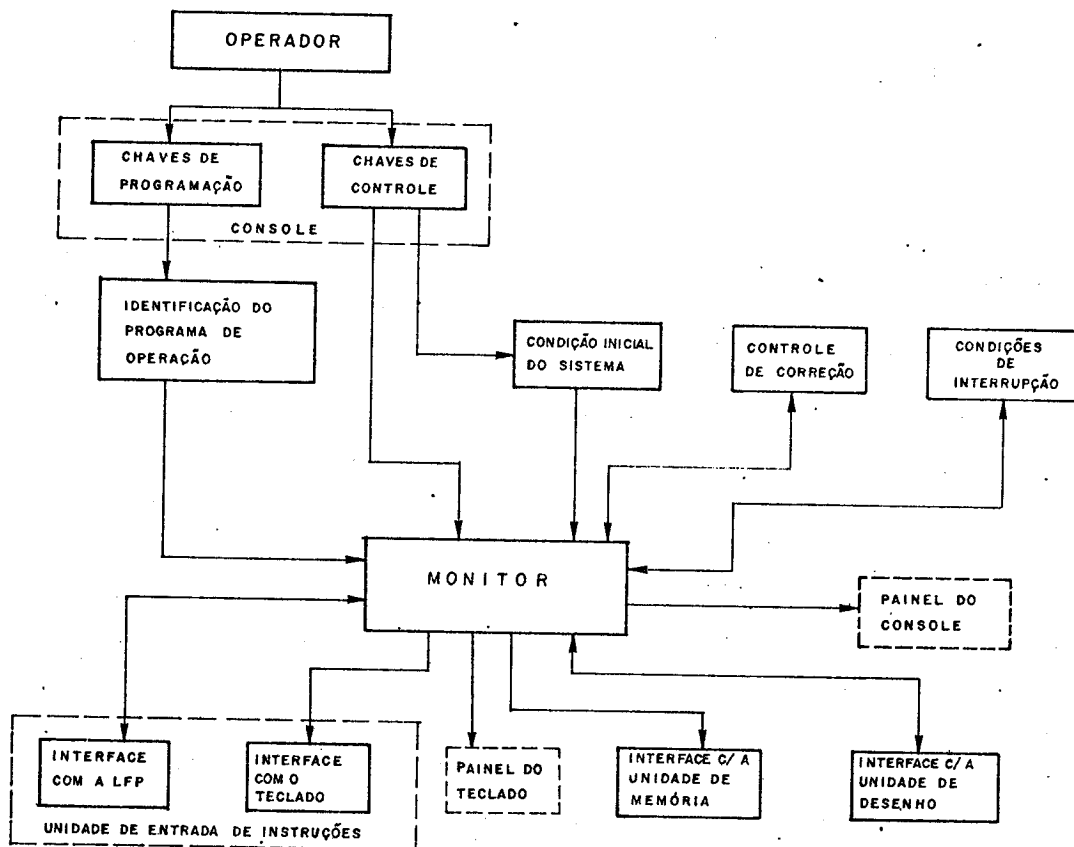


Figura 2.13. - Diagrama de blocos da UNIDADE DE CONTROLE.

2.4.2.1. Chaves de Programação: Modo de Operação do Controle do SAD

Foram definidos para o CONTROLE do SAD os 7 modos de operação descritos na seção anterior, resumidos no quadro da Tabela 2.2. A escolha de cada um desses modos é feita pelo operador através das CHAVES DE PROGRAMAÇÃO existentes no Console. São 4 chaves de 2 posições com as quais é possível especificar a palavra de 4 bits, mostrada na Figura 2.12, que identifica para o CONTROLE do SAD o PROGRAMA DE OPERAÇÃO desejado pelo operador.

2.4.2.2. O Monitor da Unidade de Controle

O MONITOR da UNIDADE DE CONTROLE engloba os circuitos lógicos desenvolvidos para realizarem os passos dos PROGRAMAS DE OPERAÇÃO definidos anteriormente.

O MONITOR se comunica através das INTERFACES, com todas as outras unidades do CONTROLE, atuando sobre elas, conforme o passo de programa que esteja sendo processado e recebendo delas as informações necessárias para poder decidir a respeito do próximo passo a ser processado. Além disso, o MONITOR tem comunicação com o operador através das CHAVES DE PROGRAMAÇÃO, que conforme foi visto definem o PROGRAMA DE OPERAÇÃO, e das CHAVES DE CONTROLE, cuja função é definida no item 2.4.2.3.

2.4.2.3. Chaves do Controle

O operador pode atuar sobre o CONTROLE do SAD através de 12 chaves de impulso dispostas no console, relacionadas abaixo:

- TINIC : Avisa ao MONITOR que deve ir, incondicionalmente, ao passo 1 do PROGRAMA DE OPERAÇÃO corrente;
- TCREME : Faz incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS da UNIDADE DE MEMÓRIA. Pode ser usada durante o passo 1 dos programas MOD01, 2, 3 e 4;
- TDEME : Faz decrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS da UNIDADE DE MEMÓRIA. Pode ser usada durante o passo 1 dos programas MOD01, 2, 3 e 4;
- TREME : Faz registrar PALAVRA DE INSTRUÇÃO, digitada pelo TECLADO, na UNIDADE DE MEMÓRIA. Pode ser usada no passo 1 dos programas MOD01, 2, 3 e 4. Quando usada nos programas MOD03 e 4, além do registro, faz também incrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS da UNIDADE DE MEMÓRIA;
- TRMOP : Faz registrar a informação de qual MÓDULO PROJETO R será utilizado. Pode ser usada durante o passo 1 dos programas MOD02 e 4;
- TLIMOM : Faz colocar zero, incondicionalmente, nos "displays" do PAINEL DO CONSOLE indicativos da posição da FCD(MP) sobre o coordenatôgrafo;
- TLIMC : Faz colocar zero nos "displays do PAINEL DO TECLADO, indicando que a última PALAVRA DE INSTRUÇÃO digitada através do TECLADO não tem validade. É usada durante o passo 1 dos programas MOD01, 2, 3 e 4;
- TINTR : Faz interromper o processamento do PROGRAMA DE OPERAÇÃO no passo que deve ser executado após o término de processamento e execução de uma PALAVRA DE INSTRUÇÃO;
- TOPER : Faz iniciar o processamento do PROGRAMA DE OPERAÇÃO corrente se atuada durante o passo 1 dos programas MOD01, 2, 3 e 4, e passo 9 do programa MOD05; se o programa escolhido é o MOD06 ou 7 a execução do mesmo, no passo 1, só é iniciada após a ativação desta tecla; durante o programa MOD06, quando a uma ativação de FCD na direção $\hat{x}$ se seguir uma ativação na direção $\hat{y}$, a execução do programa é interrompida e só é reiniciada quando o operador acionar esta tecla; após uma condição de interrupção causada através da tecla TINTR o reinício de processamento do PROGRAMA DE OPERAÇÃO é dado usando a tecla TOPER;
- TPOMA : Enquanto pressionada faz a FCD se deslocar sobre o coordenatôgrafo de acordo com o que determine os bits BISD, BIXY e BPID da PALAVRA DE INSTRUÇÃO. Pode ser ativada durante o passo 1 dos programas MOD01, 2, 3 e 4;

TCORRE : Avisa ao MONITOR que o operador detetou erro no último processamento. Pode ser usada durante a execução de PALAVRA DE INSTRUÇÃO nos programas MOD01, 3 e 5;

TZEXY : Faz colocar os motores de passo acoplados ao coordenatôgrafo em condição inicial para operação. Deve ser atuada antes da execução de qualquer PROGRAMA DE OPERAÇÃO.

2.4.2.4. Condição Inicial do Sistema

A linha $\overline{\text{INIC}}$, gerada por um circuito como o da Figura 2.14, é utilizada na UNIDADE DE CONTROLE para, quando for ativada ($\neg$), fazer o MONITOR apontar para o passo 1 do programa de operação corrente, incondicionalmente.

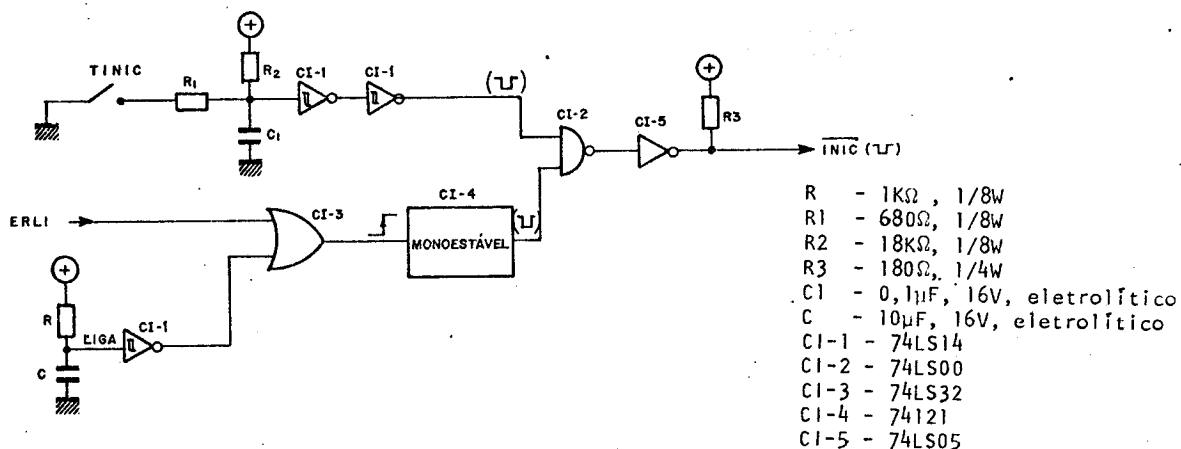


Figura 2.14. Diagrama do circuito utilizado para gerar a linha $\overline{\text{INIC}}$.

A chave TINIC, colocada no CONSOLE, permite ao operador, a qualquer tempo, ativar $\overline{\text{INIC}}$.

A linha LIGA, quando a fonte do sistema é ligada, sobe de zero volts a cinco volts num tempo T determinado por R e C ($T \approx 4RC$). Nessa variação, numa tensão determinada pelo "shimtt-trigger", o MONOESTÁVEL é ativado, e por conseguinte a linha $\overline{\text{INIC}}$.

A terceira possibilidade de ativação da linha $\overline{\text{INIC}}$ é através da linha ERLI ($\neg$). Esta linha é utilizada para comunicar à UNIDADE DE CONTROLE que foi ultrapassado, durante um posicionamento da FCD ou MP, algum dos limites pré-estabelecidos sobre o COORDENATÓGRAFO; e nessa condição, o sistema deve ser inibido.

2.4.2.5. Condições de Interrupção de Operação

O programa da UNIDADE DE CONTROLE tem sua operação interrompida nas seguintes condições:

- na operação com sensibilização de fotolito (OPERAÇÃO MODO 2,4 ou 7), quando são detetadas 9 falhas seguidas no sistema de sensibilização de fotolito. Nessa condição o trabalho deve ser interrompido para troca de conjunto de lâmpadas da fonte luminosa;

- b) por atuação do operador inibindo a entrada de instruções para o SAD (passo 1 de qualquer dos sete programas de operação) ou por comando através da tecla TINT existente no CONSOLE. Neste caso o programa da UNIDADE DE CONTROLE é interrompido no passo que deve ser executado após o término de execução de uma instrução de deslocamento. O reinício do programa é comandado pelo operador através da tecla TOPER do CONSOLE.

2.4.2.6. Controle de Correção

O CONTROLE DE CORREÇÃO é utilizado durante a operação de sensibilização de fotolito, nos processamentos de instruções de deslocamentos na direção $\hat{x}$. Seu diagrama de blocos esquemático é mostrado na Figura 2.15.

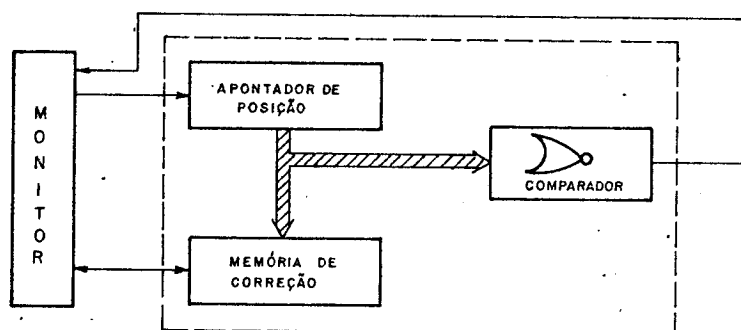


Figura 2.15. Diagrama de blocos esquemático do CONTROLE DE CORREÇÃO.

O APONTADOR DE POSIÇÃO é um contador binário com possibilidade de contagem crescente e decrescente.

O COMPARADOR dá um nível baixo na saída quando o APONTADOR DE POSIÇÃO indica a posição 0 da MEMÓRIA DE CORREÇÃO.

A MEMÓRIA DE CORREÇÃO é um registro endereçável randomicamente de 1×1024 posições.

No início da sensibilização de um trecho o APONTADOR DE POSIÇÃO é colocado indicando a posição zero da MEMÓRIA DE CORREÇÃO.

A descrição da utilização do CONTROLE DE CORREÇÃO é facilitada ao se tomar um exemplo, como a ilustração de um trecho de fotolito sensibilizado mostrada na Figura 2.16.

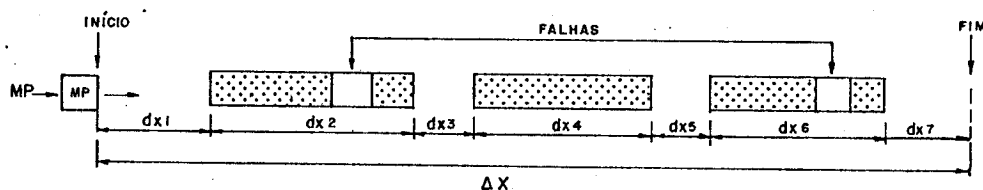


Figura 2.16. Ilustração de um trecho de fotolito sensibilizado.

O programa de sensibilização de fotolito correspondente à Figura 2.16 tem a estrutura mostrada na Tabela 2.3.

MEMÓRIA endereço	BPID	BIXY	BISD	Nº DE PASSOS
m1	x	1	1	Δx
m1+1	0	1	1	dx_1
m1+2	1	1	1	dx_2
m1+3	0	1	1	dx_3
m1+4	1	1	1	dx_4
m1+5	0	1	1	dx_5
m1+6	1	1	1	dx_6
m1+7	0	1	1	dx_7

Tabela 2.3. Estrutura do Programa de Sensibilização de Fotolito para a Ilustração da Figura 2.16.

E, deve ser lembrado que:

$$\Delta x = \sum_{i=1}^7 dx_i$$

Quando no programa é lido pela LFP ele pode ser registrado na MEMÓRIA a partir de uma posição m_1 genérica de modo que ocupará as posições de MEMÓRIA m_1 a m_1+7 .

Enquanto o PROCESSADOR DE DESLOCAMENTOS x,y da UNIDADE DE DESENHO processa o deslocamento Δx o PROCESSADOR DE ATUAÇÃO z processará as sete instruções correspondentes aos trechos dx_1 a dx_7 .

Ao final do processamento de cada instrução de atuação z o APONTADOR DE POSIÇÃO é incrementado e a informação de falha (não falha) dada pela UNIDADE DE DESENHO à UNIDADE DE CONTROLE é anotada na MEMÓRIA DE CORREÇÃO. Com base nessa informação o CONTROLE DE CORREÇÃO vai montando uma tabela auxiliar na MEMÓRIA DE CORREÇÃO: Tabela 2.4 é anotado que houve o processamento de uma instrução de atuação z e que nesse trecho foi (ou não) detetada falha). Para o exemplo mostrado na Figura 2.16, a tabela; ao final do processamento Δx estará montada como na Tabela 2.4.

APONTADOR DE POSIÇÃO (endereço)	MEMÓRIA DE CORREÇÃO (conteúdo)	APONTADOR DE ENDEREÇO
0	x	m1
1	0	m1+1
2	1	m1+2
3	0	m1+3
4	0	m1+4
5	0	m1+5
6	1	m1+6
7	0	m1+7

Tabela 2.4. - Tabela Auxiliar para Correção, Montada para o Exemplo da Figura 2.16.

Assim é possível saber que houve o processamento de 7 instruções de atuação z e que nos trechos dx_2 e dx_6 foram anotadas falhas.

Essa Tabela é utilizada:

1. Na execução dos passos MODO4 - 16 e MODO7 - 25:
ao final do processamento da instrução de deslocamento o MONITOR faz decrementar o APONTADOR DE ENDEREÇOS da UNIDADE DE MEMÓRIA de uma quantidade igual à anotada no APONTADOR DE POSIÇÃO do CONTROLE DE CORREÇÃO: envia pulsos aos dois APONTADORES até que o COMPARADOR informe que chegou ao endereço zero no APONTADOR POSIÇÃO;
2. na execução dos passos MODO4 - 19 e MODO7 - 28 para informar à UNIDADE DE DESENHO qual o valor de BPID em cada instrução de atuação z durante a correção.

2.4.3. A Unidade de Entrada de Instruções

A Figura 2.17 destaca a UNIDADE DE ENTRADA DE INSTRUÇÕES em relação ao CONTROLE do Elemento de "Hardware".

Esta unidade é composta pelos periféricos TECLADO e LFP, escolhidos para servirem de canais de entrada de instruções para o SAD.

Nos itens seguintes são apresentados os circuitos de controle associados a esses periféricos.

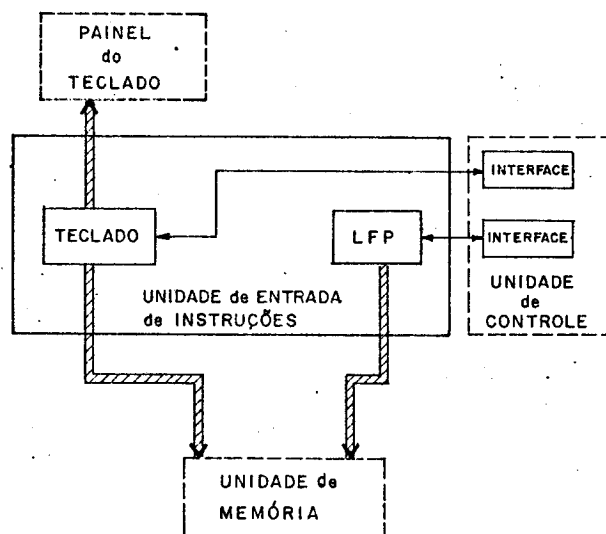


Figura 2.17. - A UNIDADE DE ENTRADA DE INSTRUÇÕES, com o TECLADO e a LFP em relação ao CONTROLE do Elemento de "Hardware".

2.4.3.1. O Controle do TECLADO

O diagrama de blocos associado ao controle do TECLADO é apresentado na Figura 2.18.

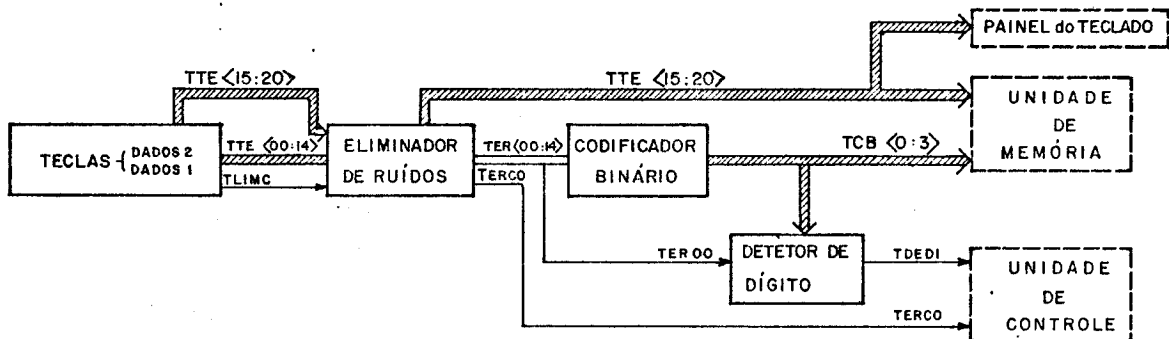


Figura 2.18. Diagrama de Blocos Associado ao Controle do TECLADO.

As 22 teclas do TECLADO atuam como chaves normalmente abertas: 15 dessas teclas (do conjunto DADOS 1) são usadas para a geração de 15 dígitos binários (TTE<00:14>) com os quais é possível especificar a dimensão de deslocamento da PALAVRA DE INSTRUÇÃO; 6 teclas (do conjunto DADOS 2) são usadas para completar a especificação da PALAVRA DE INSTRUÇÃO; a tecla restante (do conjunto DADOS 1) é utilizada para correção quando é acionada informa à UNIDADE DE CONTROLE que houve erro na última instrução digitada.

A cada tecla é associado um circuito apropriado, como o mostrado na Figura 2.19 para eliminar os ruídos de chaveamento, compondo o bloco ELIMINADOR DE RUÍDOS.

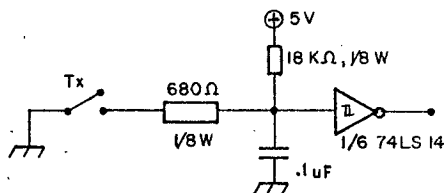


Figura 2.19. Circuito eliminador de ruídos de chaveamento.

O CODIFICADOR BINÁRIO executa a função expressa na Tabela 2.5.

TECLA	TCB3	TCB2	TCB1	TCB0
TTE00	0	0	0	0
TTE01	0	0	0	1
TTE02	0	0	1	0
TTE03	0	0	1	1
TTE04	0	1	0	0
TTE05	0	1	0	1
TTE06	0	1	1	0
TTE07	0	1	1	1
TTE08	1	0	0	0
TTE09	1	0	0	1
TTE10	1	0	1	0
TTE11	1	0	1	1
TTE12	1	1	0	0
TTE13	1	1	0	1
TTE14	1	1	1	0

Tabela 2.5. Tabela da Verdade para o Codificador Binário.

Qualquer tecla TTE<00:14> enquanto estiver acionada mantém nas linhas TCB<0:3> o código correspondente.

O bloco DETETOR DE DÍGITO recebe TCB<0:3> e TER00 e executa a lógica indicada na equação 2EQ-1.

$$TDEDI = TCB0 + TCB1 + TCB2 + TCB3 + TER00$$

2EQ-1

TDEDI é usada para informar à UNIDADE DE CONTROLE que houve acionamento de uma tecla e que a informação correspondente está presente nas linhas TCB<0:3> à entrada da UNIDADE DE MEMÓRIA e do PAINEL DO TECLADO.

2.4.3.2. Interface do TECLADO com a UNIDADE DE CONTROLE

O diagrama do circuito que realiza a lógica de interface entre o TECLADO e a UNIDADE DE CONTROLE está mostrado na Figura 2.20. O diagrama de tempo correspondente ao circuito está apresentado na Figura 2.21.

A UNIDADE DE CONTROLE recebe do TECLADO-DADOS1 as linhas TERCO e TDEDI.

A cada variação em TDEDI do estado 0 para o estado 1 (correspondendo ao acionamento de uma das teclas TTE < 00:14>) é gerado um pulso na linha TPETR.

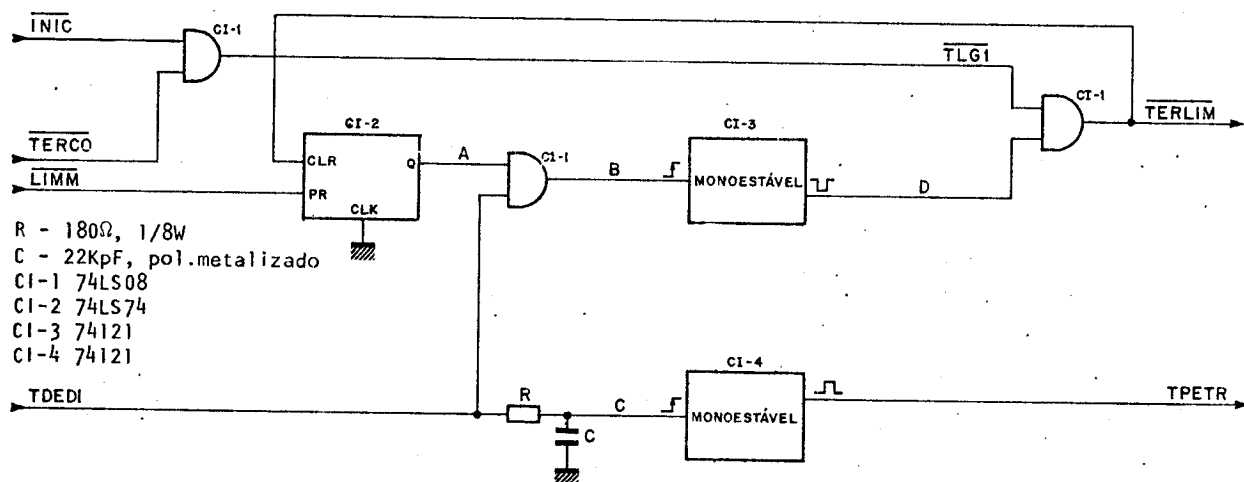


Figura 2.20. Diagrama de Circuito Lógico da Interface entre o TECLADO e a UNIDADE DE CONTROLE.

Esta linha é utilizada para registrar a informação presente em TCB<0:3> (código binário correspondente à tecla acionada) no REGISTRO TEMPORÁRIO DA UNIDADE DE MEMÓRIA (item 2.4.4) e no REGISTRO DE DESLOCAMENTO do PAINEL DO TECLADO (item 2.4.7).

A linha $\overline{TLG1}$ é ativada por $\overline{TERCO}$ ou $\overline{INIC}$ ou ainda pela linha D sempre que antes do acionamento da tecla TTE<00:14>, e a consequente variação em TDEDI, houver acontecido um pulso em LIMM. LIMM é ativada após a execução de uma PALAVRA DE INSTRUÇÃO ou após registro de PALAVRA DE INSTRUÇÃO na MEMÓRIA através de comando do operador pela tecla TREME (item 2.4.2.3). $\overline{TLG1}$ é usada para "zerar" o PAINEL DO TECLADO e o REGISTRO TEMPORÁRIO da UNIDADE DE MEMÓRIA.

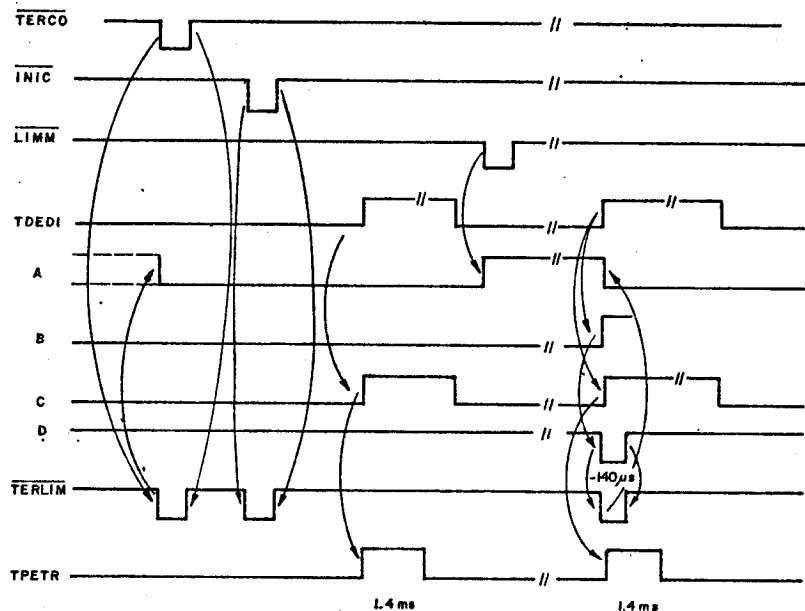


Figura 2.21. Diagrama de Tempo Correspondente ao Circuito Lógico da Figura 2.20.

2.4.3.3. O Controle da LFP

O diagrama de blocos do controle da LFP é apresentado na Figura 2.22.

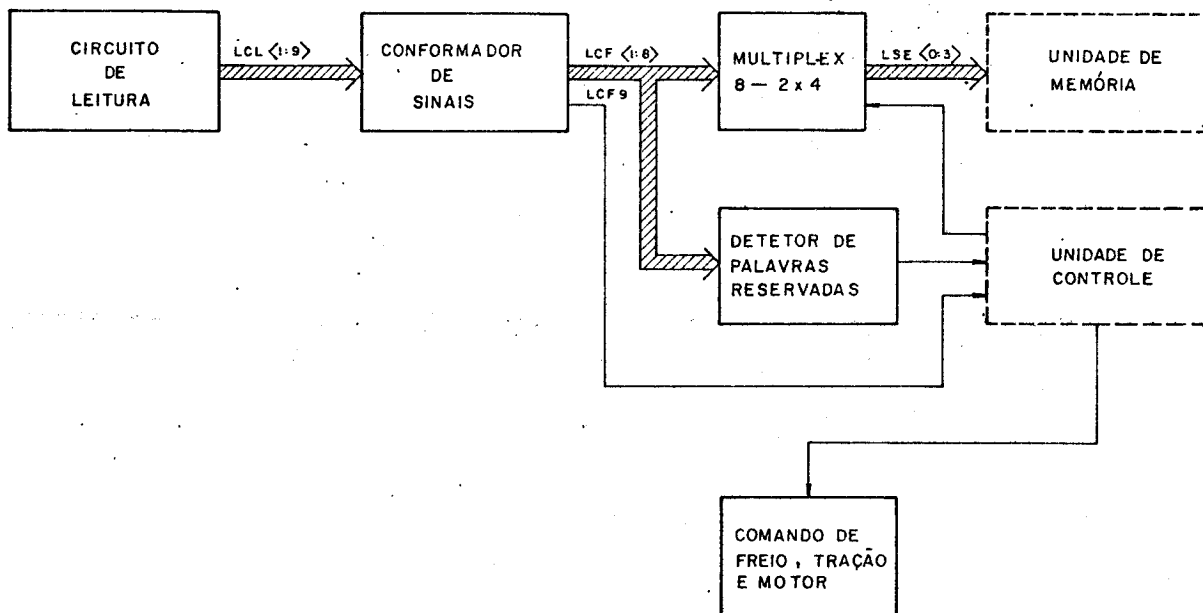


Figura 2.22. Diagrama de blocos do controle da LFP

Os blocos CIRCUITO DE LEITURA e CONFORMADOR DE SINAIS são compostos pelo circuito apresentado na Figura 2.23.

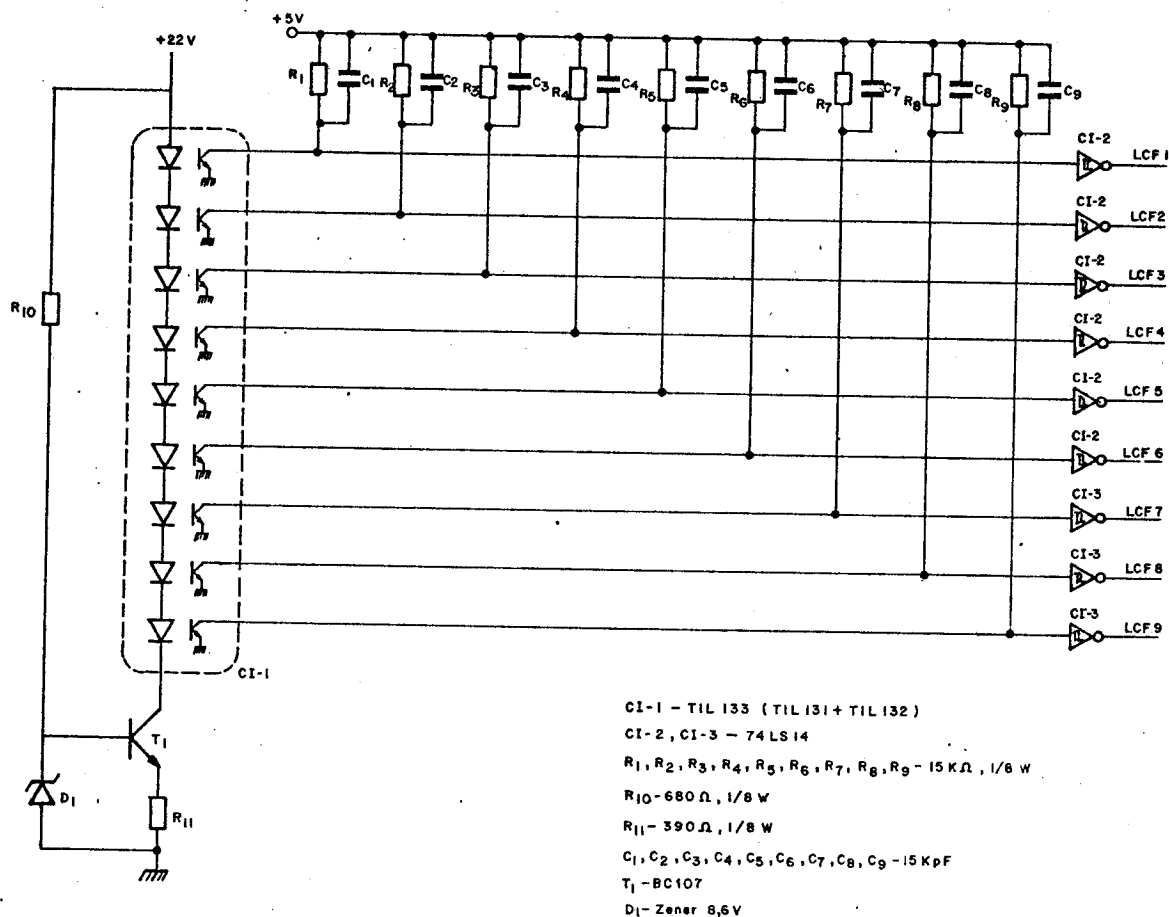


Figura 2.23. Circuito para leitura e conformação de dados.

A linha LCF9, associada ao furo guia, é usada para comunicar à UNIDADE DE CONTROLE que uma palavra de 8 bits anotada na fita foi lida e está disponível para registro. A UNIDADE DE CONTROLE atua sobre o MULTIPLEX e faz com que a palavra seja registrada na UNIDADE DE MEMÓRIA em duas palavras de 4 bits, desde que não seja PALAVRA RESERVADA. Os códigos das PALAVRAS RESERVADAS de 8 bits, em número de seis, estão apresentadas na Tabela 2.6. A leitura de uma delas a UNIDADE DE CONTROLE é avisada pela UNIDADE DE ENTRADA DE INSTRUÇÕES e responde a esta inibindo a leitura de dados pela LFP.

LCF8	LCF7	LCF6	LCF5	LCF4	LCF9	LCF3	LCF2	LCF1	LINHA	DESCRIÇÃO
0	0	0	0	1	F	1	1	0	LFITR	Fim de Trabalho
0	0	0	0	1	U	1	1	1	LFIFI	Fim de Fita
x	x	x	1	1	O	1	0	1	ISEMO	Módulo Projetor xxx
0	0	0	1	1	G	1	1	1	LDBLO	Identificação de Início e Fim de Bloco
0	0	0	0	1	I	1	0	0	LINFI	Início de Fita
0	0	0	0	1	A	1	0	1	LRBLO	Repetição de Bloco

Tabela 2.6. Descrição das PALAVRAS RESERVADAS

O COMANDO DE FREIO, TRAÇÃO E MOTOR é acionado pela UNIDADE DE CONTROLE através de LREL e é utilizado o circuito da Figura 2.24.

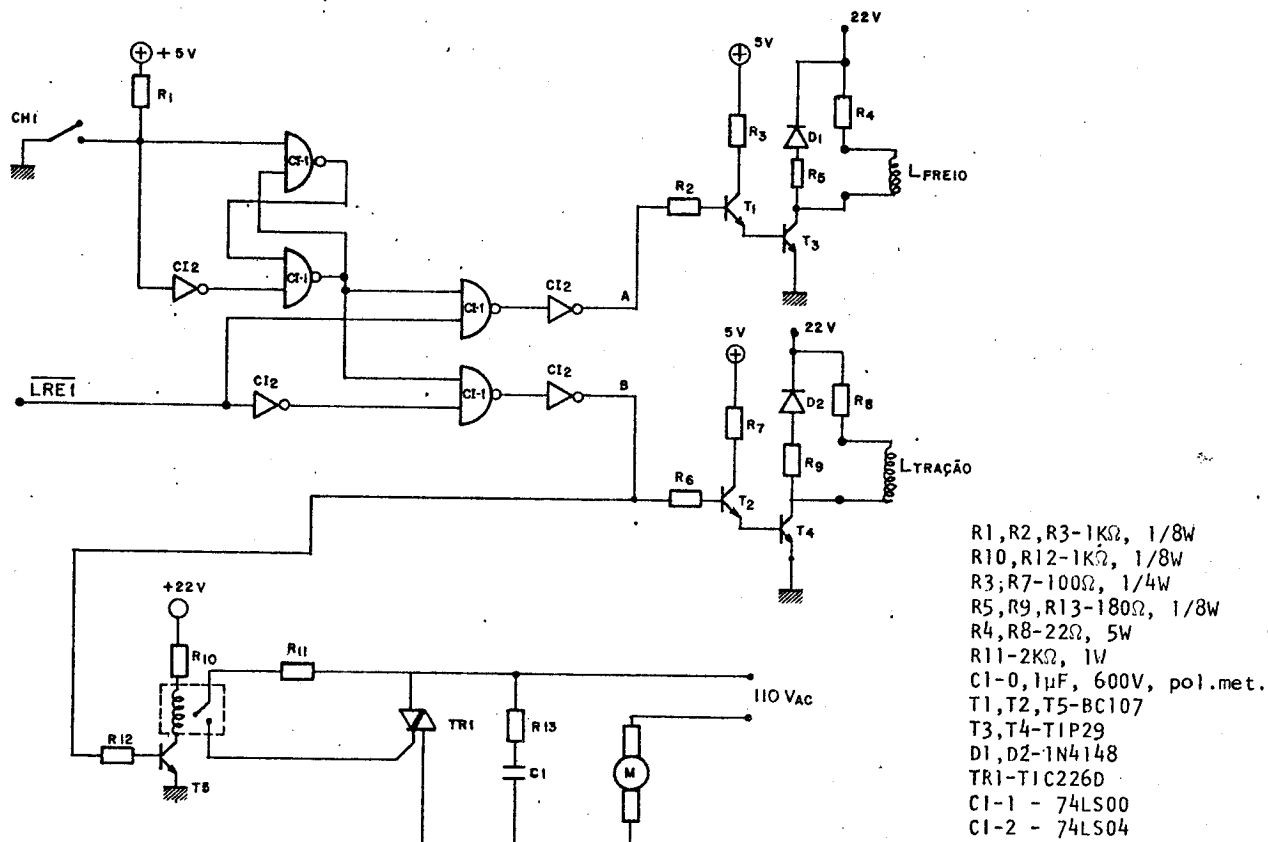


Figura 2.24. Circuito de comando do Motor, Freio e Tração da Leitora de Fita de Papel.

Estando CHI aberta, o comando do freio e da tração é feito através da linha $\overline{\text{LREI}}$: se está no estado 1, o freio é acionado, a tração é liberada e o motor M, desligado; quando $\overline{\text{LREI}}$ é colocada no estado 0, o freio é liberado e o motor e a tração são acionados: nesta condição é possível a leitura de instruções registradas na fita de papel.

2.4.3.4. A Interface da LFP com a UNIDADE DE CONTROLE

A interface da LFP com a UNIDADE DE CONTROLE executa o programa expresso no diagrama de blocos da Figura 2.25.

2.4.4. A Unidade de Memória

Na Figura 2.26 é mostrado o diagrama de blocos da UNIDADE DE MEMÓRIA.

O SELETOR M1 permite colocar a entrada do REGISTRO TEMPORÁRIO dados enviados pelo TECLADO ou pela LFP, conforme a opção de operação feita pelo operador.

O REGISTRO TEMPORÁRIO é composto por 6 registros de 4 bits agrupados para compor um registro de deslocamento de 4 bits de entrada (saída do TECLADO ou LFP) por 24 bits de saída (PALAVRA DE INSTRUÇÃO).

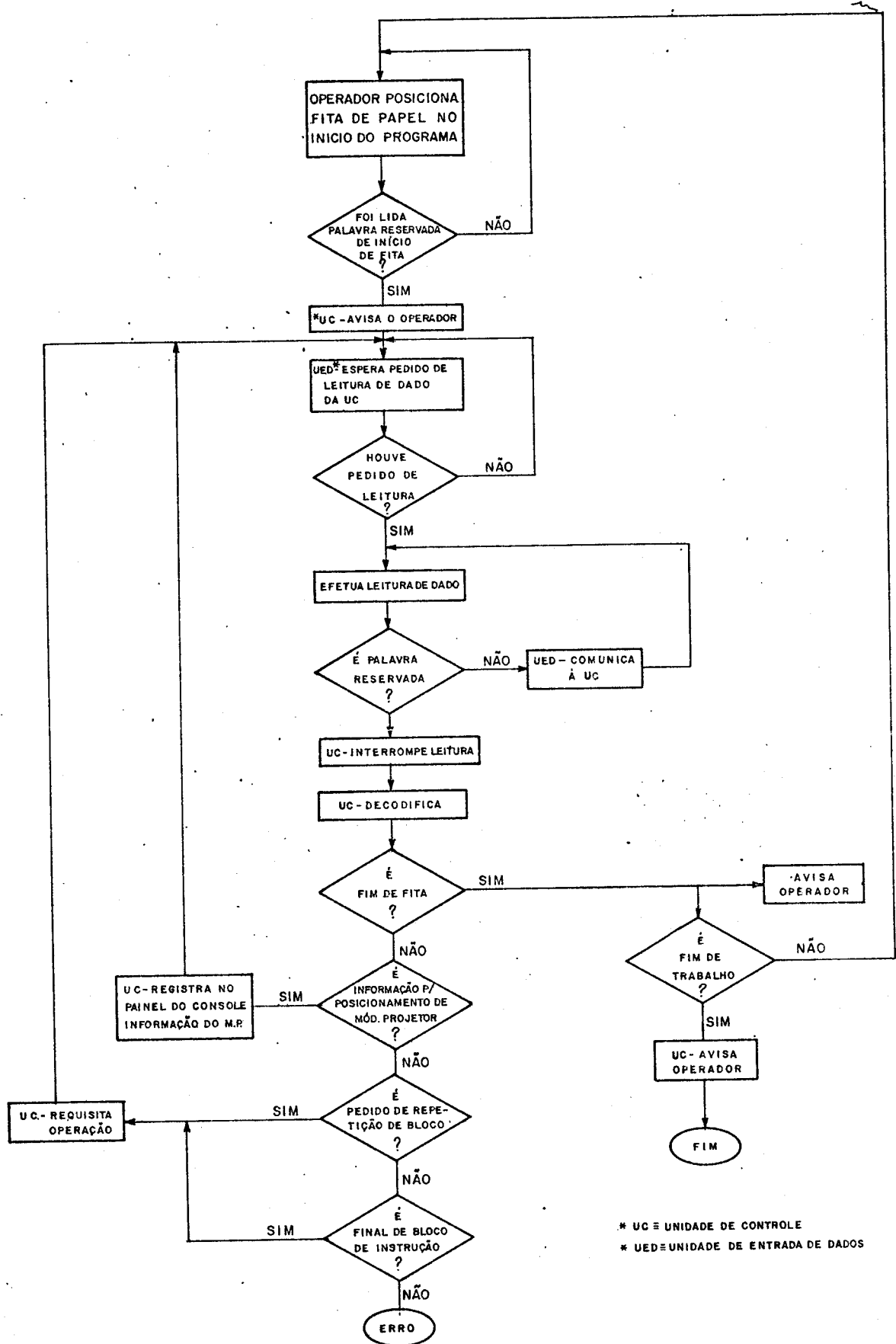


Figura 2.25. Diagrama de blocos do programa de controle da leitora.

O SELETOR M2 permite que as informações BPID, BIXY e BISD da PALAVRA DE INSTRUÇÃO sejam definidas pelo operador quando a opção de entrada de instruções é pelo TECLADO.

A MEMÓRIA contém 1024 palavras de 24 bits, permitindo portanto o armazenamento de programas de desenho com até 1024 instruções.

O endereçamento às possíveis 1024 posições é efetuado através do APONTADOR DE ENDEREÇOS. Este é constituído de um contador binário de 10 bits que, conforme determine a UNIDADE DE CONTROLE, conta de forma ascendente ou descendente.

No REGISTRO DE MÓDULO PROJETO é anotada a dimensão do módulo projetor em uso quando se opera com sensibilização de FOTOLITO. Essa informação pode vir da LFP (bits MME<05:07>), ou do TECLADO (bits MME<00:02>) selecionada pelo SELETOR M3; é utilizada pela UNIDADE DE DESENHO e mostrada no PAINEL DO CONSOLE.

Na saída da MEMÓRIA (MME<00:23>) é anotada a PALAVRA DE INSTRUÇÃO para uso pela UNIDADE DE DESENHO conforme determine a UNIDADE DE CONTROLE.

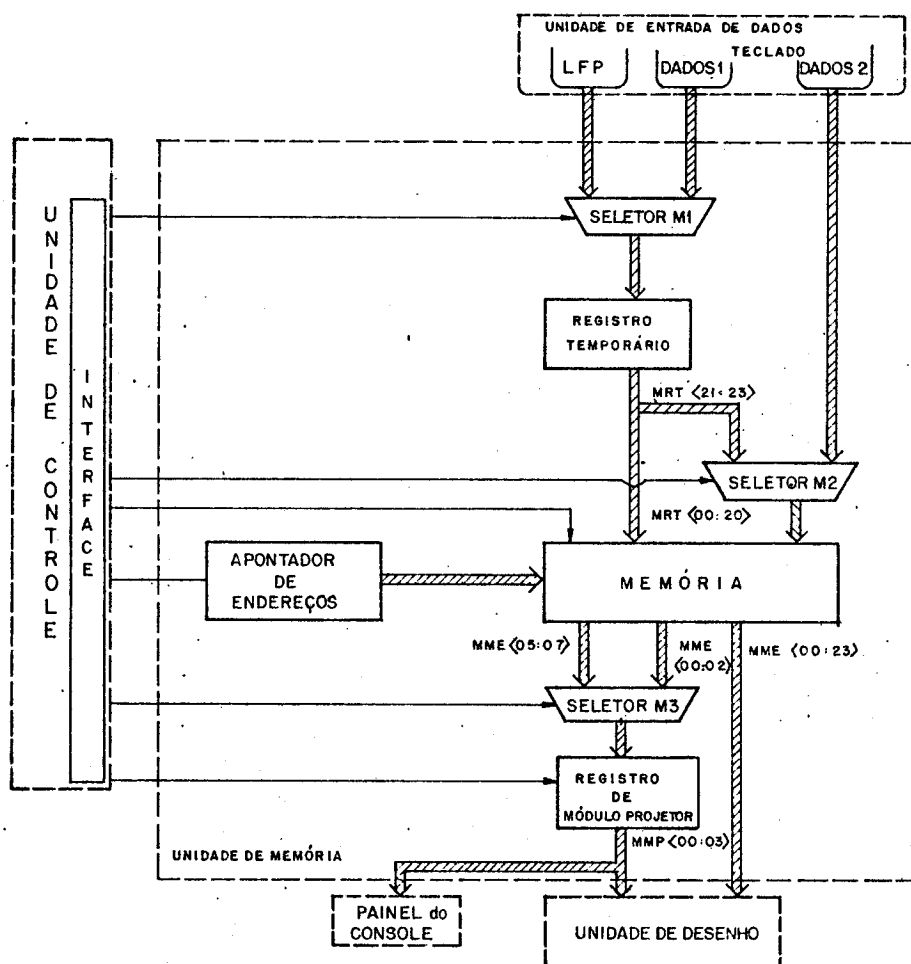


Figura 2.26. Diagrama de blocos da UNIDADE DE MEMÓRIA.

2.4.4.1. Interface entre a UNIDADE DE MEMÓRIA e a UNIDADE DE CONTROLE

Esta interface permite que a UNIDADE DE CONTROLE atue sobre a UNIDADE DE MEMÓRIA da forma seguinte:

- sobre o SELETOR M1, M2 e M3 informando se a entrada de ins

- truções está sendo feita através do TECLADO ou da LFP;
- sobre o REGISTRO TEMPORÁRIO indicando que há dado disponível para registro à saída da UNIDADE DE ENTRADA DE DADOS;
 - sobre o APONTADOR DE ENDEREÇOS fazendo-o incrementar ou decrementar conforme requeira o PROGRAMA DE OPERAÇÃO;
 - sobre a MEMÓRIA determinando quando deve ser feito o registro da PALAVRA DE INSTRUÇÃO montada no REGISTRO TEMPORÁRIO;
 - sobre o REGISTRO DE MÓDULO PROJETOR para fazer anotar a informação referente ao MP que deve ser utilizado durante a operação de sensibilização de fotolito.

2.4.5. A Unidade de Desenho

O diagrama de blocos da UNIDADE DE DESENHO é mostrada na Figura 2.27.

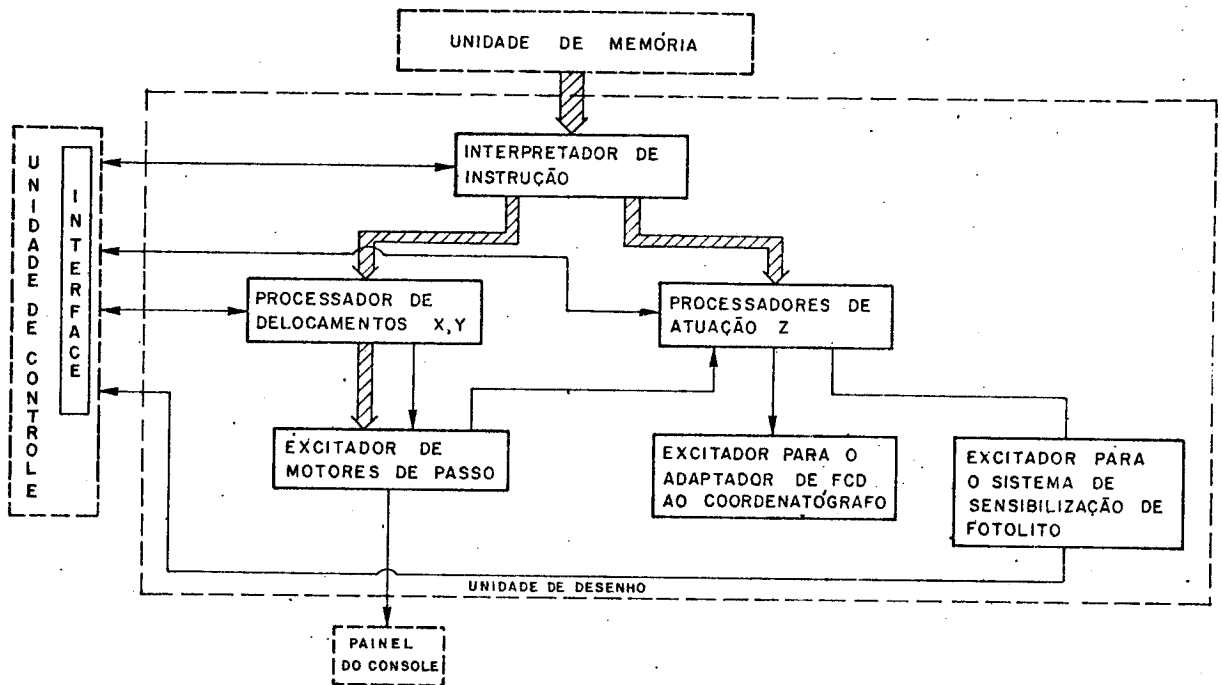


Figura 2.27. Diagrama de blocos da UNIDADE DE DESENHO.

2.4.5.1. Interpretador de Instrução

O INTERPRETADOR DE INSTRUÇÕES lê a PALAVRA DE INSTRUÇÃO presente na saída da UNIDADE DE MEMÓRIA e verifica se é informação de fim de programa na memória (PALAVRA RESERVADA DE 24 BITS). Se for, comunica à UNIDADE DE CONTROLE. Caso contrário, libera a PALAVRA DE INSTRUÇÃO para ser processada pelo PROCESSADOR DE DESLOCAMENTO X,Y ou pelo PROCESSADOR DE ATUAÇÃO Z, conforme determine a UNIDADE DE CONTROLE.

2.4.5.2. Processador de Deslocamento X,Y

O programa para processamento de instruções para deslocamentos é mostrado no diagrama de blocos da Figura 2.28. O diagrama simplificado do circuito lógico é mostrado na Figura 2.29.

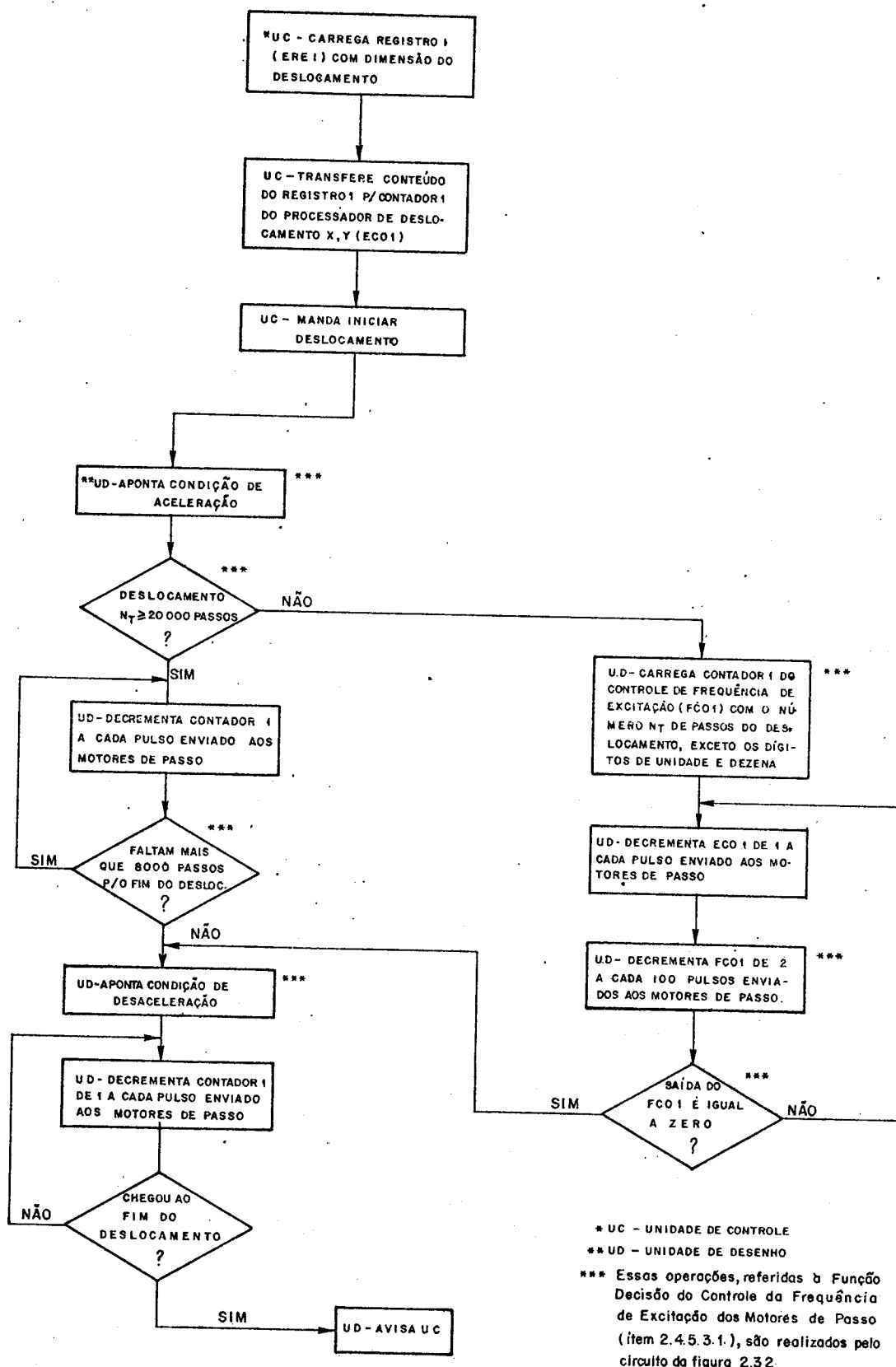


Figura 2.28. Diagrama de blocos do programa para o PROCESSADOR DE DESLOCA-
MENTOS X,Y.

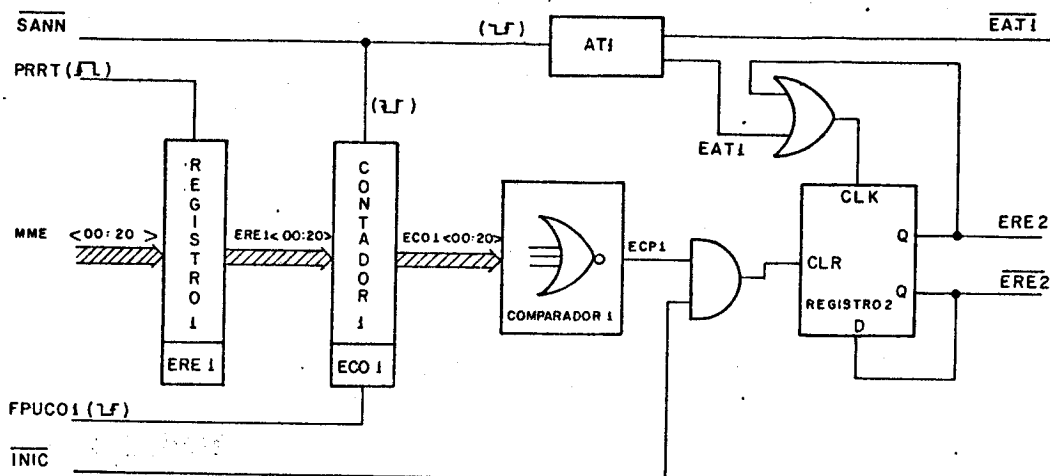


Figura 2.29. Processador de Deslocamentos X,Y - Diagrama simplificado do circuito lógico utilizado para processar o deslocamento especificado na palavra de instrução.

A UNIDADE DE CONTROLE, através da linha PRRT, comanda a transferência da dimensão de deslocamento anotada na PALAVRA DE INSTRUÇÃO presente na saída da UNIDADE DE MEMÓRIA para o REGISTRO 1; através de pulso em $\overline{\text{SANN}}$ carrega o CONTADOR 1 com a informação anotada no REGISTRO 1. O pulso em $\overline{\text{SANN}}$, atrasado por AT1, leva a linha ERE2, inicialmente no estado 0, ao estado lógico 1. Nesta condição ERE2 libera o envio de pulsos aos motores de passo. A cada pulso enviado aos motores a saída do CONTADOR 1 é decrementado de 1. Quando a saída deste atinge zero o COMPARADOR 1 detecta e leva ERE2 novamente ao estado 0, fazendo cessar o envio de pulsos aos motores de passo e avisando à UNIDADE DE CONTROLE que foi terminada a execução de uma PALAVRA DE INSTRUÇÃO.

2.4.5.3. Excitador de Motores de Passo

O EXCITADOR DE MOTORES DE PASSO é constituído de forma geral como mostrado no diagrama de blocos da Figura 2.30. Essa definição é inferida da resenha acerca de motores de passo apresentada no Anexo I.

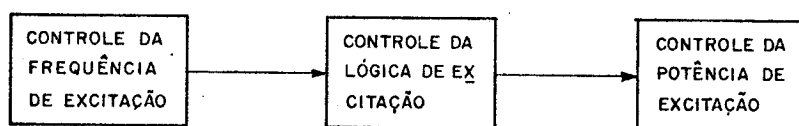


Figura 2.30. Diagrama de blocos do EXCITADOR DE MOTORES DE PASSO.

2.4.5.3.1. Controle da Frequência de Excitação dos Motores de Passo

Para este trabalho foram consideradas as condições anotadas na Tabela 2.7, referidas às Figuras I.21 e I.22, ditadas pelas características dos motores de passo utilizados, de sua adaptação ao coordenatôgrafo e pelas ferramentas de desenho usadas (faca e módulo projetor). Deslocamentos menores que 100 passos não são considerados para efeito de aceleração e desaceleração.

Condições	Ferramentas de Desenho	f _m (HZ)	f _o (HZ)	N _A (Passos)	N _D (Passos)	N _T
1	FACA/CANEIA	2.500	600	8.000	8.000	20.000
2	MOD.PROJETOR = 1mm	1.250	600	8.000	8.000	20.000
3	MOD.PROJETOR ≥ 2mm	2.500	600	8.000	8.000	20.000

Tabela 2.7. Condições de contorno para a Frequência de Excitação neste trabalho. As variáveis são referidas às Figuras I.21 e I.22.

Nã Figura 2.31 É mostrada a organização do Controle da Frequên cia de Excitação.

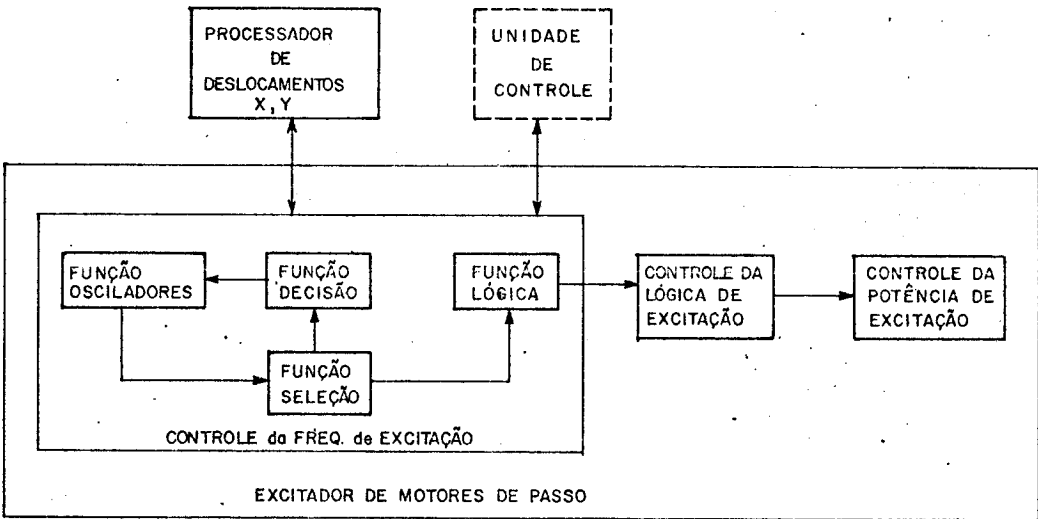


Figura 2.31. Diagrama de blocos ilustrando a organização do Controle da Frequência de Excitação.

A FUNÇÃO-DECISÃO decide sobre a necessidade e o instante em que devem ser feitos os comandos de aceleração e desaceleração aos motores de passo. O programa de controle executado por esta função está inserido no programa de controle do PROCESSADOR DE DESLOCAMENTOS X,Y, mostrado na Figura 2.28.

O diagrama lógico simplificado desta função é mostrado na Figura 2.32. FRE1 é levado ao estado 1 na subida de ERE2, implicando em condição de ace leração dos motores de passo. A linha FCP2 é levada ao estado 1 na condição de ECOL<17:20>≠ 0. Isso significa que o deslocamento a ser executado é maior que 20.000 pas sos. Nessa condição é inibido o LOAD de FCO1 e FCO1<00:08> é levada ao estado 0. Isso implica em FCP1 no estado 1, inibindo a entrada de CLK para FCO1 e permitindo que FCP3, inicialmente em 1 (ECOL<15:20>≠ 0), vá para o estado 0 quando faltarem menos de 8.000 passos para o fim do deslocamento (ECOL<15:20>=0) e comande, dessa forma, a desaceleração dos motores.

Quando o deslocamento a ser executado é menor que 20.000 passos FCP2 é mantida no estado ϕ . Isso possibilita que $\overline{EAT1}$ ($\overline{1}$) dado no início do deslocamento, carregue para FCO1<00:08> a informação presente em ECO1<08:16>, deixando dessa forma FCP1 no estado 0 e liberando $\overline{FAT1}$ ($\overline{1}$) para o contador decrescente FCO1. $\overline{FAT1}$ é gerado de modo a que a cada pulso em ECO108 hajam dois pulsos em $\overline{FAT1}$ ($\overline{1}$). Ou seja, a saída de FCO1 é levada a zero na metade do deslocamento sendo desconsideradas as dezenas e unidades de passos. Nesta condição FCP1 é levada ao estado 1, dando CLR em FRE1, o que equivale a comandar a desaceleração.

Nos diagramas de tempo mostrados na *Figura 2.33* estão resumidas as condições de operação da Função-Decisão descritas acima.

A Função-Seleção realiza a lógica expressa na Equação 2EQ-2.

$$\text{FREMO} = \text{MOP1} \cdot \overline{\text{MOTR}} \cdot \text{FOSBF} + \text{MOP1} \cdot \overline{\text{MOTR}} \cdot \text{FOSCAF} \quad 2EQ-2$$

É atribuído à linha REMO a informação de FOSBF ou FOSAF conforme se esteja ou não operando com fotolito ($\overline{\text{MOTR}}$) e módulo projetor de 1 mm (MOD1), respectivamente.

FOSAF e FOSBF são a saída de osciladores controlados por tensão, com possibilidade de variação de frequência de 600Hz a 1250 Hz e 600 Hz a 2500 Hz, respectivamente, como é estabelecido na *Tabela 2.7*.

A Função-Lógica é executada pelo circuito mostrado na *Figura 2.34*, cujo diagrama de tempo está na *Figura 2.35*. FPAMOX e FPAMOY são enviados ao PAINEL DO CONSOLE; FSDXY, FLZEXY, FPMOSX e FRMOSY são os sinais utilizados pelo Controle da Lógica de Excitação.

A tecla TPMA, do conjunto de TECLAS DE CONTROLE DO CONSOLE, enquanto pressionada libera o envio de pulsos ao motor do eixo-x ou aos motores do eixo-y conforme a linha BIXY esteja no estado 1 ou estado 0, respectivamente. Da mesma forma, quando se opera com deslocamentos de dimensão especificada o estado da linha BIXY determina a direção do deslocamento.

O estado da linha BISS determina o sentido do deslocamento.

A Função-Osciladores é utilizada para efetuar as variações de frequência necessárias à aceleração e desaceleração dos motores de passo. O oscilador controlado por tensão que foi usado está esquematizado na *Figura 2.36*.

As tensões $\overline{\text{FRE1}}$ e FRE1 são compatíveis com níveis TTL.

Quando $\overline{\text{FRE1}}$ está no estado lógico 1 ($V_A > 2.8V$), T_1 , T_3 e T_5 conduzem fazendo com que o diodo D_3 esteja diretamente polarizado, implicando, portanto, no corte do transistor T_{11} .

Com $\overline{\text{FRE1}}$ no estado lógico 0 ($V_A < 0.8V$), T_1 , T_3 e T_5 estão cortados, o diodo D_3 fica reversamente polarizado, o que implica na condução de T_{11} .

Essas mesmas condições se aplicam ao potencial FRE1, T_2 , T_4 , T_6 , D_4 e T_{12} .

Os transistores T_{11} e T_{12} são utilizados quando em condução, para carregar e descarregar, respectivamente, o capacitor C.

A corrente I_c que carrega o capacitor C através de I_{c1} , T_7 , T_9 e T_{11} é estabelecida pela tensão terna V_{D1} do diodo D_1 aplicada a P_1 , sendo portanto constante.

$$I_c = \frac{V_{D1}}{P_1} \quad (1)$$

De forma semelhante, o capacitor C se descarrega através de I_{C_2} , T_8 , T_{10} , T_{12} com corrente constante estabelecida pela tensão zener V_{D_2} do diodo D_2 aplicada a P_2 .

$$I_d = \frac{V_{D_2}}{P_2} \quad (2)$$

A variação da tensão sobre o capacitor na carga e descarga é dada pelas expressões (3) e (4), respectivamente.

$$|C \frac{dV_C}{dt}| = I_C \quad (3)$$

$$|C \frac{dV_C}{dt}| = I_d \quad (4)$$

Como I_C e I_d são constantes ((1) e (2)) V_C varia sempre linearmente.

V_C é aplicada, através de I_{C_3} , R_5 e R_1 ao terminal de controle do VCO, I_{C_4} , onde:

$$V_D = \frac{V_{CC} - V_{D_3}}{R_1 + R_5} \cdot R_1 + \frac{R_5 V_C}{R_1 + R_5} \quad (5)$$

De (5) pode ser concluído que V_D acompanha a variação linear de V_C .

O VCO utilizado apresenta a relação frequência de oscilação $f \times V_D$ dada pela expressão (6):

$$f = 2 \frac{V_{CC} - V_D}{R_O C_O V_{CC}} \quad (6)$$

Dessa forma, quando V_D cresce ($V_A = 0$ e $V_B = 1$) f diminui. Quando V_D diminui ($V_A = 1$ e $V_B = 0$) f aumenta.

A taxa de variação da frequência é dada por:

$$\frac{df}{dt} = \frac{-2}{R_O C_O V_{CC}} \cdot \frac{dV_D}{dt} \quad (7)$$

$$\text{de (5):} \quad \frac{dV_D}{dt} = \frac{R_5}{R_1 + R_5} \frac{dV_C}{dt} \quad (8)$$

E portanto:

$$\frac{df}{dt} = - \frac{2}{R_O C_O V_{CC}} \cdot \frac{R_5}{R_1 + R_5} \frac{dV_C}{dt} \quad (9)$$

Quando o capacitor C está sendo carregado, de acordo com (3) e (1)

$$\frac{df}{dt} = - \frac{2}{R_O C_O V_{CC}} \cdot \frac{R_5}{R_1 + R_5} \cdot \frac{V_{D_1}}{C \cdot P_1} \quad (10)$$

Na descarga do capacitor C, de acordo com (1) e (4)

$$\frac{df}{dt} = \frac{2}{R_O C_O V_{CC}} \cdot \frac{R_5}{R_1 + R_5} \cdot \frac{V_{D_2}}{C \cdot P_2} \quad (11)$$

Foram especificados dois circuitos como o da Figura 2.36, para atender às condições expostas na Tabela 2.7.

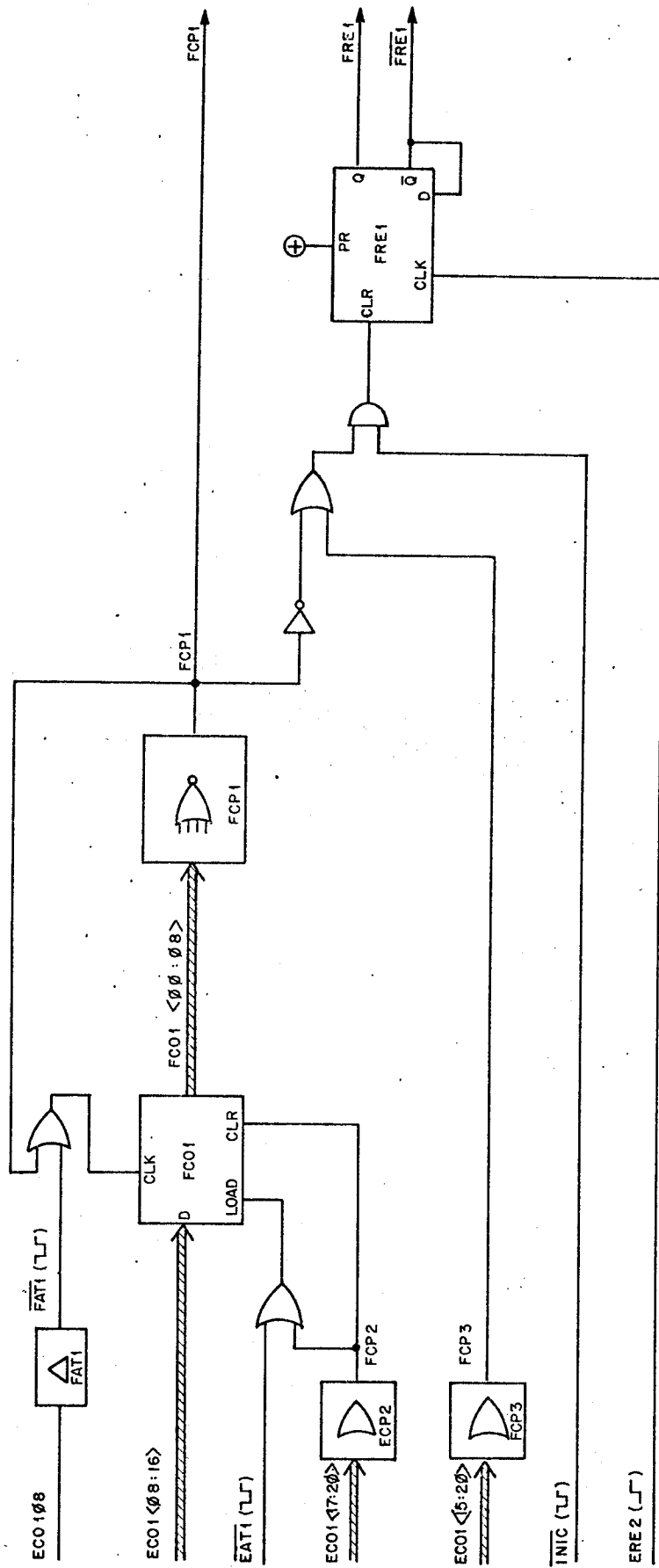


Figura 2.32. Diagrama Lógico Simplificado da Função Decisão do Controle da Frequência de Excitação.

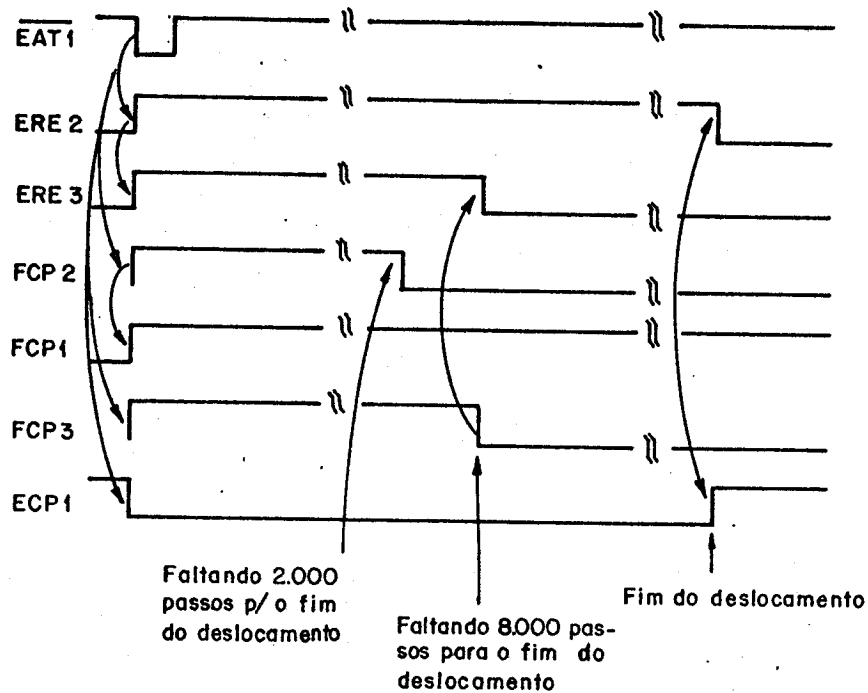


Figura 2.33.(a) Diagrama de Tempo de operação da Função Decisão quando o deslocamento é maior ou igual que 20.000 passos.

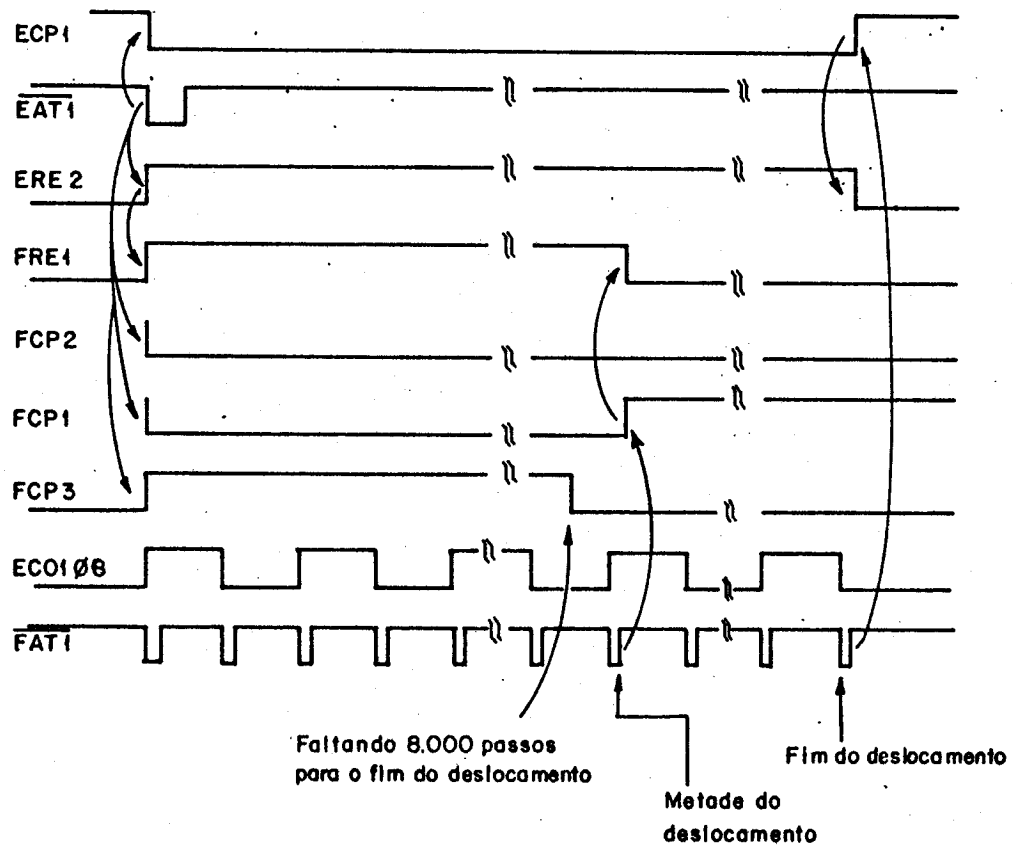


Figura 2.33.(b) Diagrama de Tempo de operação da Função Decisão quando o deslocamento é menor que 20.000 passos.

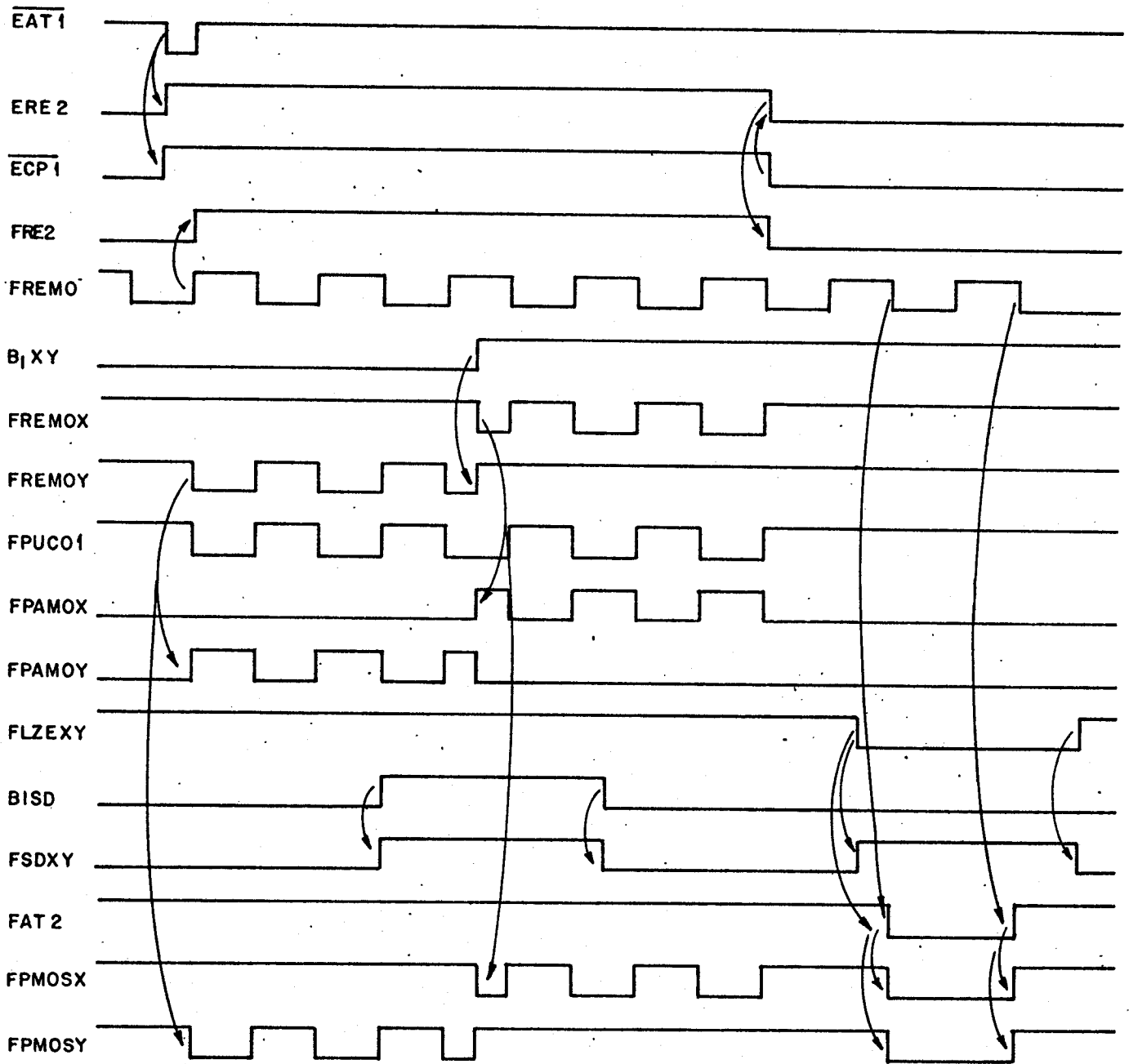


Figura 2.35. Diagrama de Tempo para a Função Lógica.

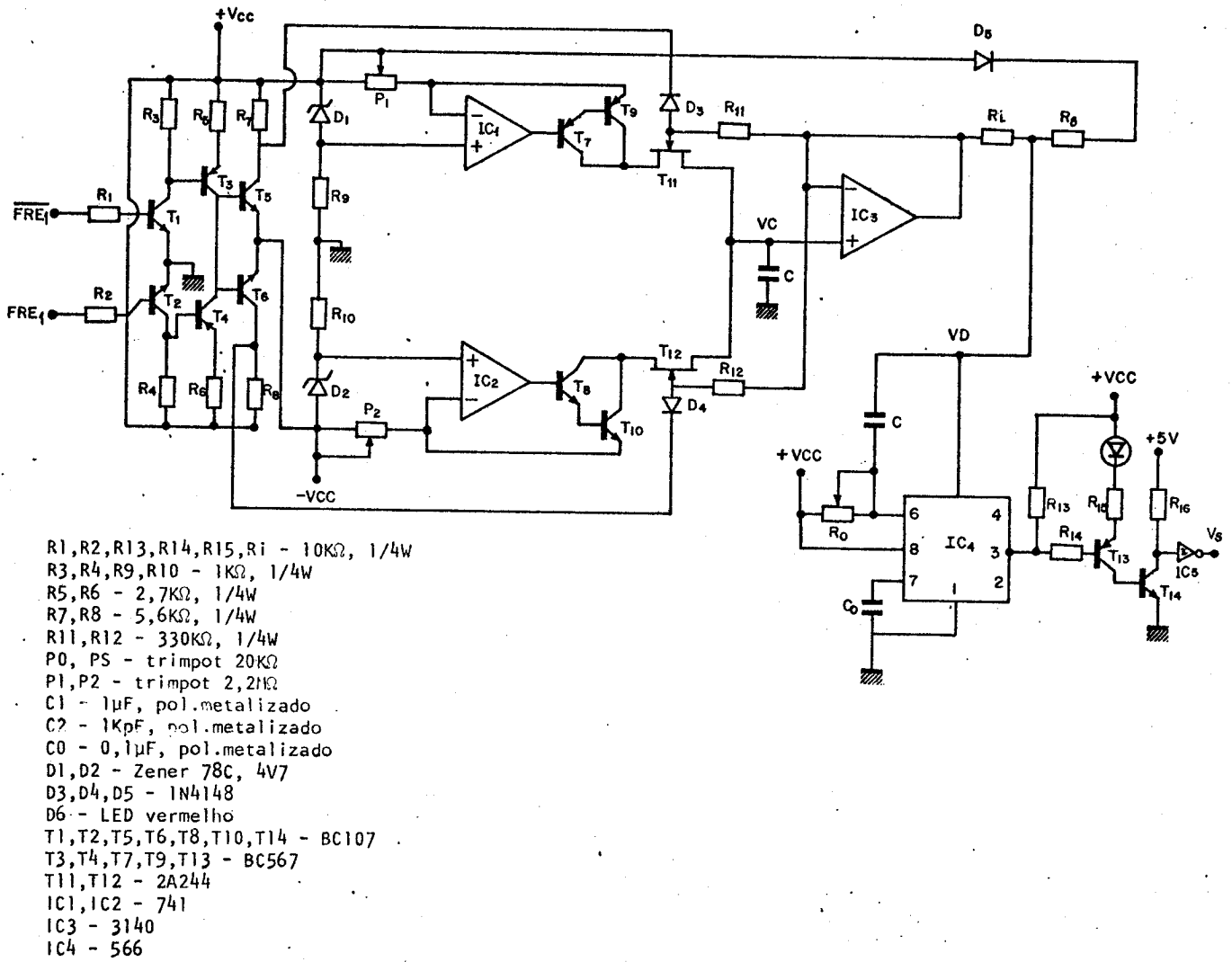


Figura 2.36a - Oscilador controlado por tensão.

MEDIDAS ESTÁTICAS

	FRE I	FRE I	VC	VD	f(Vs)
OSAF	<0,8V	>2,7V	9V	13,6	600Hz
	>2,7	<0,8V	-9V	9,5V	2500Hz
OSBF	<0,8V	>2,7V	9V	14,5V	600Hz
	>2,7	<0,8V	-9V	13,9V	1200Hz

MEDIDAS DINÂMICAS

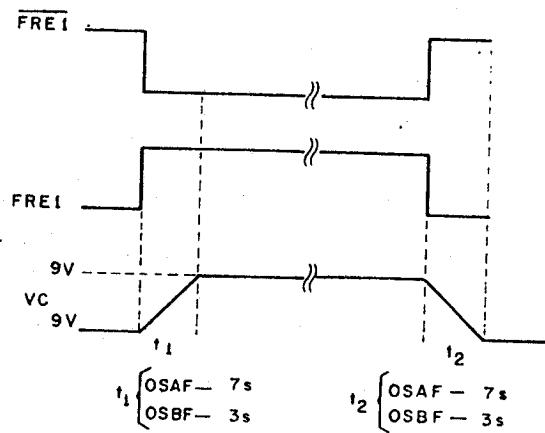


Figura 2.36b. Condições de operação do oscilador controlado por tensão mostrado na figura 2.36a.

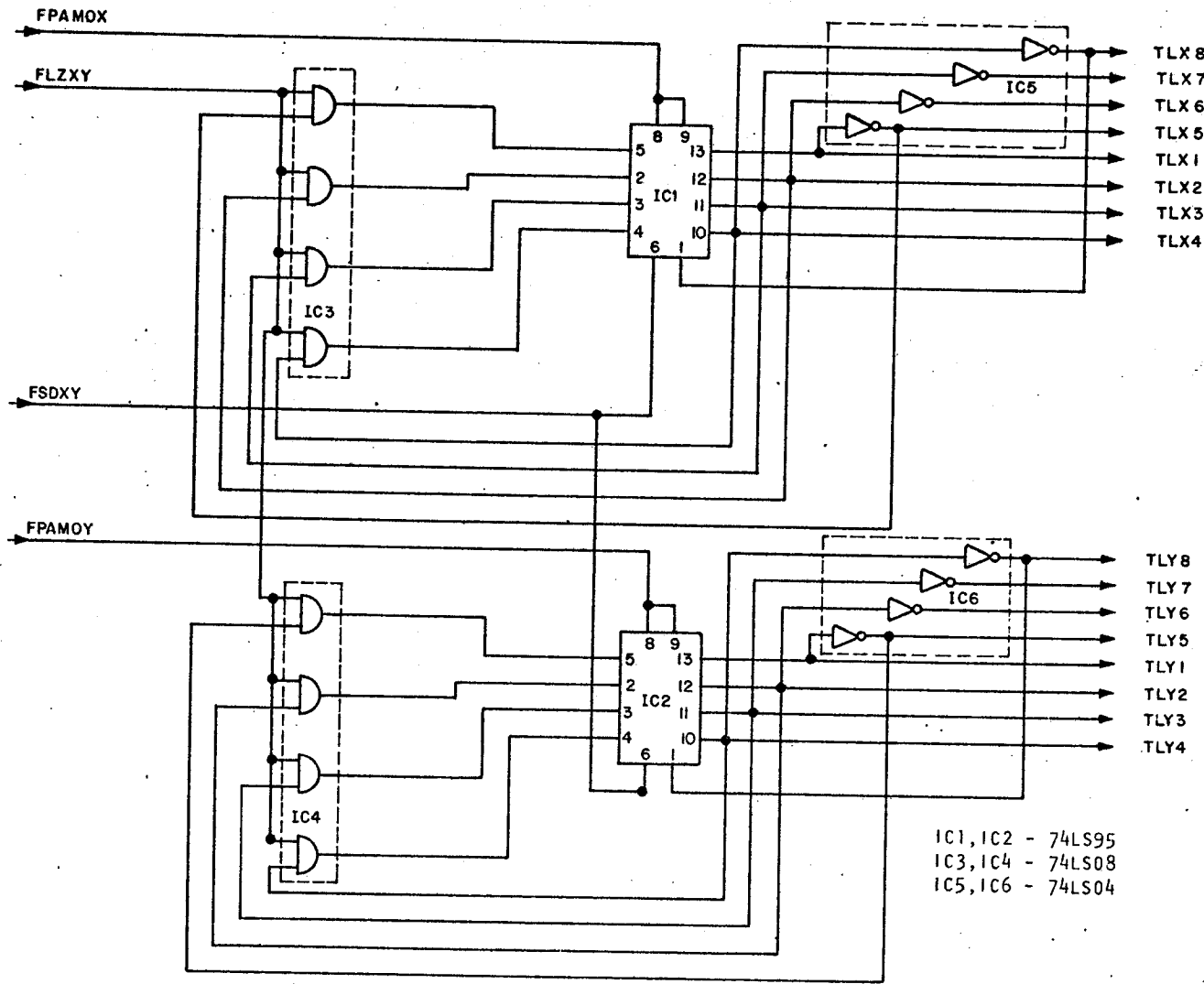


Figura 2.37. Circuito Lógico do "Tradutor".

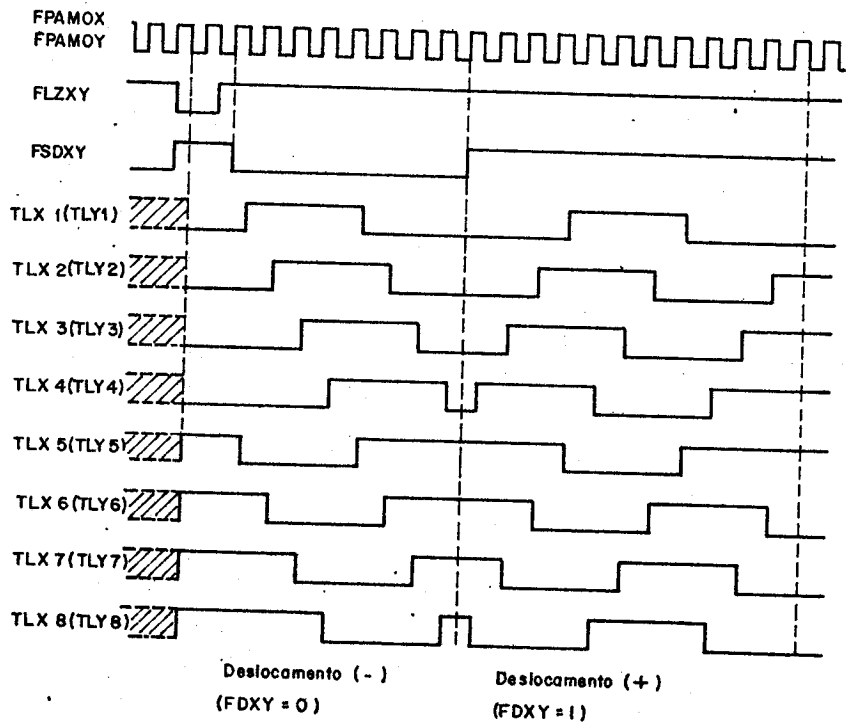


Figura 2.38. Diagrama de tempo correspondente ao Circuito Lógico da Figura 2.37.

2.4.5.3.2. Controle da Lógica de Excitação dos Motores de Passo

Neste trabalho optou-se pela utilização da lógica de excitação "Two-Phase Drive", definida no item I.5.1., realizado pelo circuito lógico mostrado na Figura 2.37.

Um pulso na linha LZXY leva as saídas de IC₁ e IC₂ ao estado lógico zero.

O circuito lógico apresentado executa a função de um contador em anel com possibilidade de reversão de sentido de contagem, determinada pelo estado da linha FSDXY.

As linhas TLX<1:8> e TLY<1:8> são usadas para excitar os motores X e Y, respectivamente.

Na Figura 2.38 é mostrado o diagrama de tempo correspondente.

2.4.5.3.3. Controle da Potência de Excitação dos Motores de Passo

Na Figura 2.39 é mostrado o esquema do circuito de excitação utilizado para cada enrolamento. O circuito escolhido opera com resistência série e atende às características de frequência máxima de chaveamento estabelecidas na Tabela 2.7.

As formas de onda da corrente pelo enrolamento do motor x tempo são mostradas na Figura 2.40.

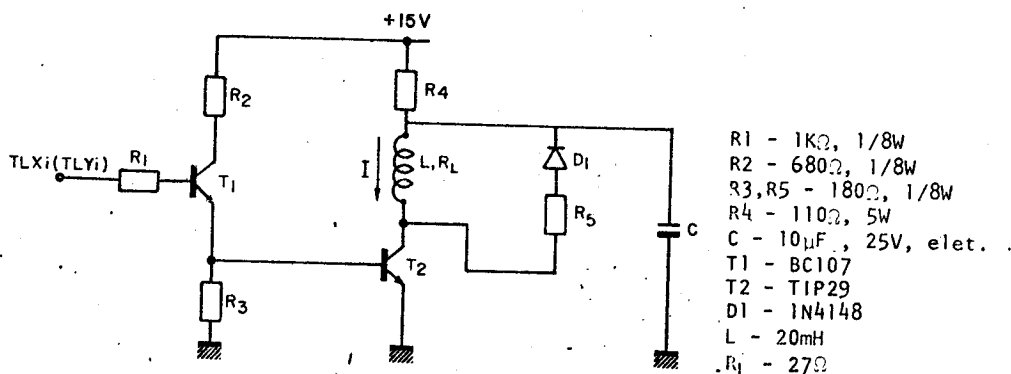


Figura 2.39. Esquema do circuito de Excitação utilizado.

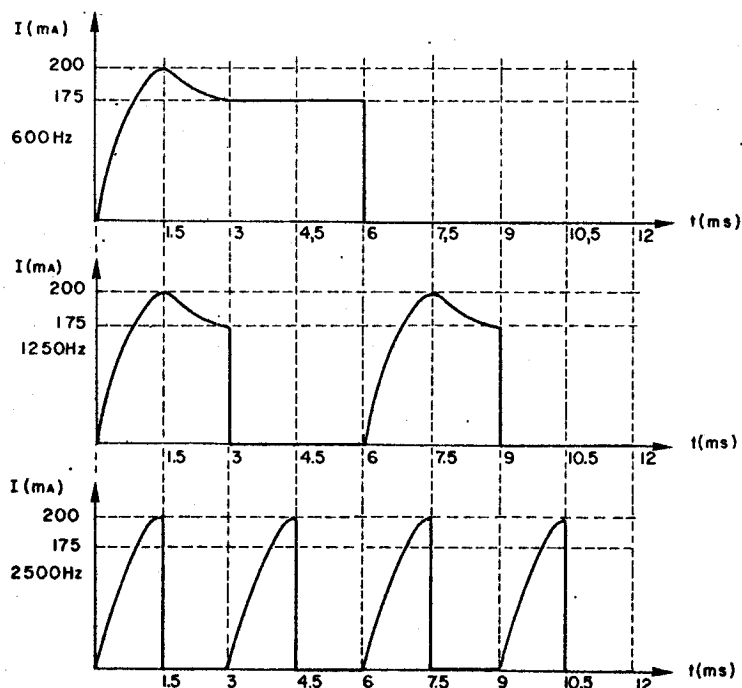


Figura 2.40. Forma de onda da corrente pelo enrolamento do motor de passo para várias frequências de excitação.

2.4.5.4. Excitador de Ferramenta para Corte/Desenho

Como foi descrito no item 2.1.2. a ação de levantar ou abaixar a FCD é conseguida com o controle sobre o SOLENOIDE do Adaptador de FCD ao Coordenatôgrafo, destacado na Figura 2.3.

O circuito utilizado para a excitação de corrente no SOLENOIDE é mostrado na Figura 2.41.

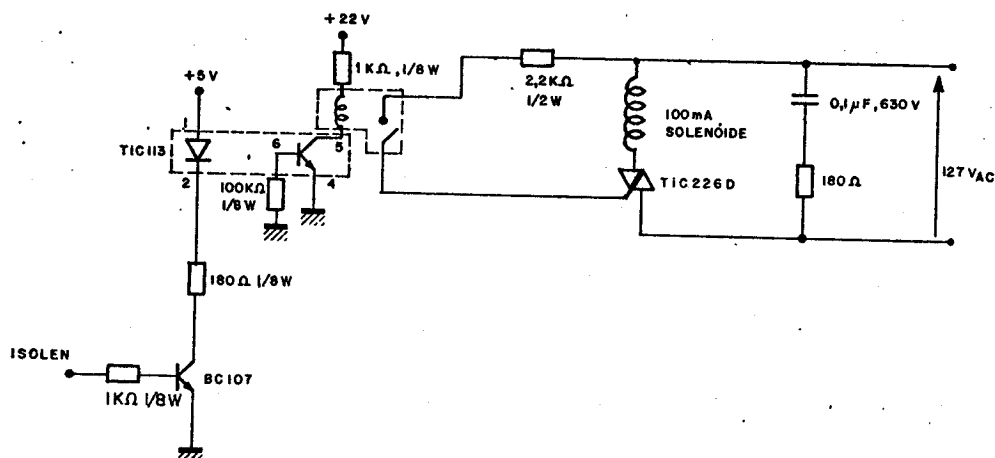


Figura 2.41. Circuito para excitação de corrente no SOLENÓIDE do adaptador de FCD ao Coordenatôgrafo.

Quando a linha ISOLEN é mantida no nível lógico 1 é suprida potência ao SOLENÓIDE, permitindo com que a FCD seja abaixada. Com a linha ISOLEN no estado 0, o SOLENÓIDE é desativado e a FCD é levantada.

2.4.5.5. Excitador para o Sistema de Sensibilização de Fotolito [6]

Na Figura 2.42 é mostrado o Diagrama de Blocos do EXCITADOR para o SISTEMA DE SENSIBILIZAÇÃO DE FOTOLITOS.

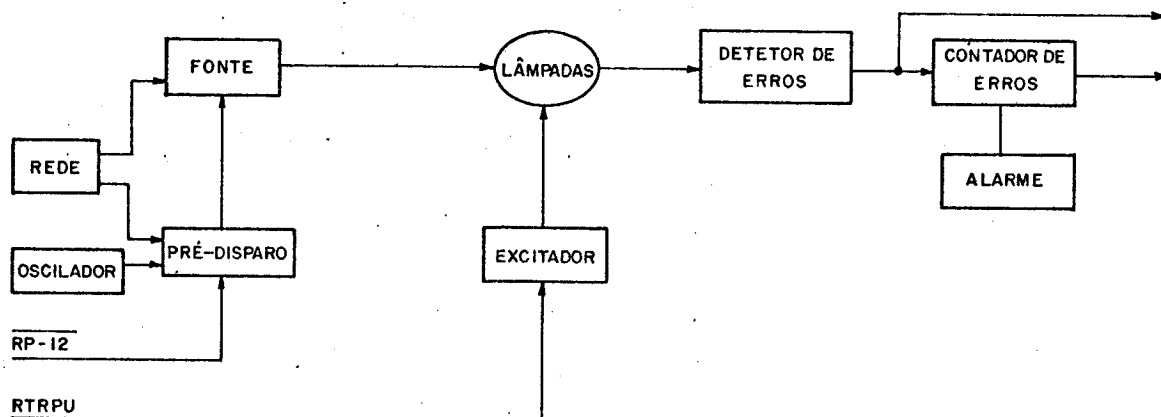


Figura 2.42. Diagrama de blocos do Controle Elétrico do Sistema de Sensibilização de Fotolitos.

A forte luminosidade produzida pelas lâmpadas de descarga gasosa de Xenônio é conseguida através da descarga de um capacitor ligado em paralelo com a lâmpada.

Numa situação estática a lâmpada se comporta como um circuito aberto para o capacitor carregado, devido à alta resistência apresentada pelo gás não ionizado nela contido como é ilustrado na *Figura 2.43a*.

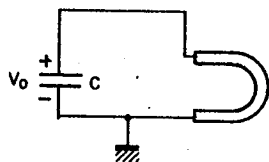


Figura 2.43 (a) Lâmpada com gás não ionizado: circuito aberto

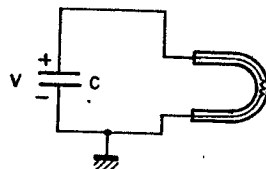


Figura 2.43 (b) Lâmpada com gás ionizado: baixa impedância

Quando o gás da lâmpada, de alguma forma, for ionizado, será estabelecida uma condição de baixa impedância em paralelo com o capacitor, que assim se descarregará produzindo a necessária luminosidade na lâmpada, *Figura 2.43b*.

No sistema utilizado no LED são usadas quatro lâmpadas que operam simultaneamente. A cada uma das lâmpadas corresponde um capacitor como mostra a *Figura 2.44* que compõem o bloco FONTE da *Figura 2.42*.

A linha RTRPU e PRÉ-DISPARO controlam respectivamente a descarga e a recarga dos capacitores. Os sinais nessas linhas devem ser sincronizados de tal forma

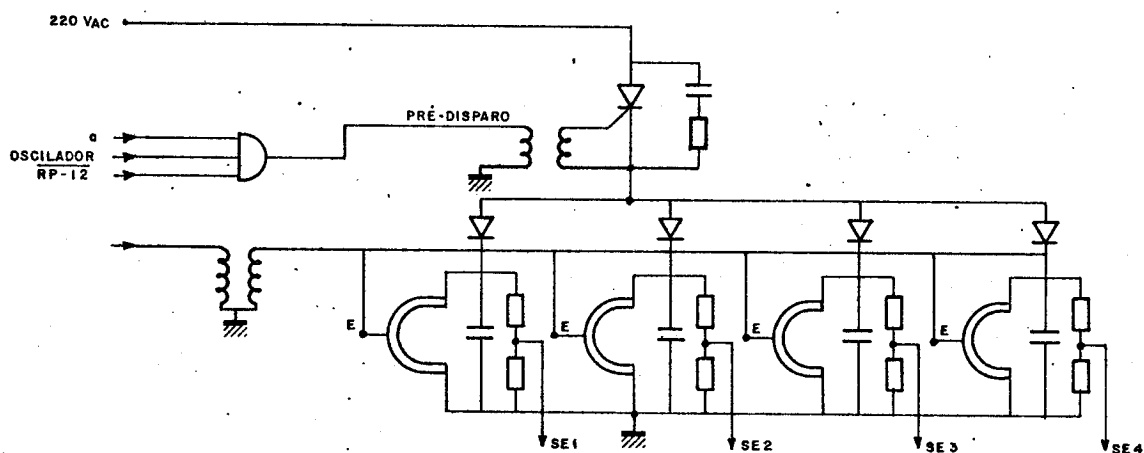


Figura 2.44. Conjunto lâmpadas - capacitor que compõe o bloco FONTE do circuito de potência do Sistema Óptico de Projeção de Quadrados Luminosos.

que quando for pedida a ativação das lâmpadas (pulso na linha RTRPU) a linha PRÉ-DISPARO esteja inibindo a carga dos capacitores. Esta carga, feita durante o primeiro semi-ciclo positivo do potencial da rede, é controlada por um trem de pulsos na linha de PRÉ-DISPARO. O trem de pulsos é mantido ativo em PRÉ-DISPARO durante 4 ms, controlado pela saída (sinal a da *Figura 2.45*) de um monoestável ativada no cruzamento de zero da rede, como é ilustrado no diagrama de tempos da *Figura 2.45*.

O pedido de ativação das lâmpadas não é sincronizado com a rede e pode ocorrer em qualquer tempo, independentemente de seu potencial. Dessa forma é necessário saber com antecedência quando haverá um pedido de ativação, para que, se ele ocorrer no primeiro semi-ciclo positivo da rede os capacitores não estejam sendo recarregados.

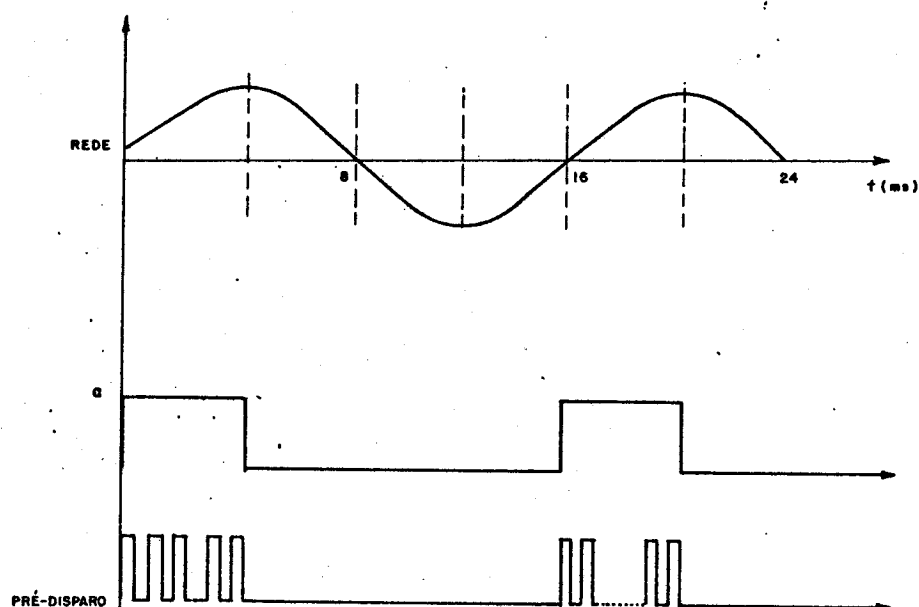


Figura 2.45. Diagrama de tempo ilustrando o sinal PRÉ-DISPARO em relação ao potencial de rede.

A sincronização dos pedidos de ativação é feita com o trem de pulsos enviados aos motores de passos do sistema posicionador digital. A máxima frequência desse trem de pulsos é de 2,5 KHz ou seja, o menor período é de 400 μ s. O pior caso do pedido de ativação, mostrado na Figura 2.46, é quando ele ocorre próximo ao pico do potencial de rede. Este caso requer que se tenha a informação do pedido de ativação com 4 ms de antecedência, no mínimo, ou seja, cerca de 10 passos antes quando a frequência de excitação é máxima. Foi estabelecido utilizar a marca de 12 passos através da linha $\overline{RP-12}$, como ilustrado na Figura 2.46.

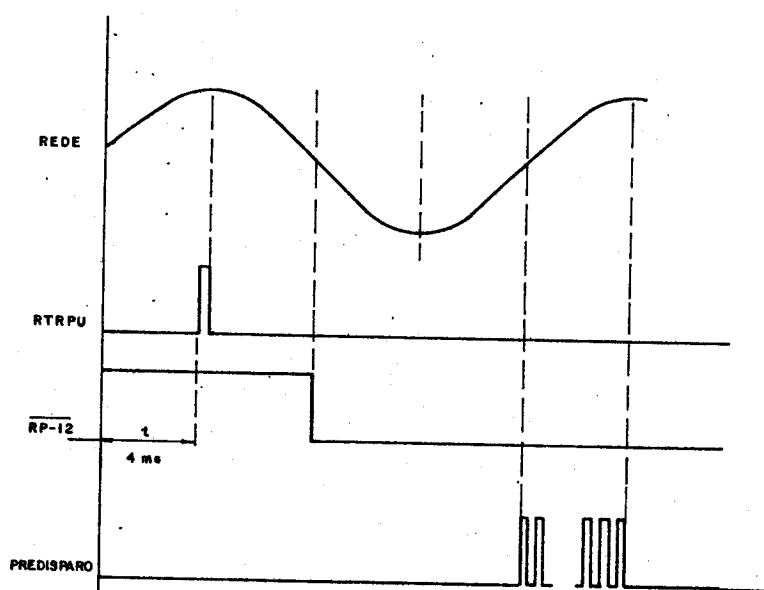


Figura 2.46. Diagrama de tempo ilustrando o pedido de ativação das lâmpadas no pior caso, e o sinal $\overline{RP-12}$ inibindo a recarga dos capacitores.

Após a ativação das lâmpadas a próxima ativação só poderá ser pedida, no pior caso, cerca de 20 ms depois ou seja, 50 passos, à frequência de 2,5 KHz ou 25 passos à frequência de 1,25 KHz (MP de 1 mm de lado).

No circuito da *Figura 2.44* são destacadas quatro saídas SE<1:4>, referentes às quatro lâmpadas. Essas saídas identificam se houve ou não descarga de cada um dos capacitores após o pedido de ativação das lâmpadas. A não descarga de capacitor significa que o feixe de leiz projetado não tem energia suficiente para sensibilizar o filme, o que equivale a um erro no desenho. Quando isso acontece é gerado um pulso na linha ERRO que é anotado pelo CONTADOR 3 (*Figura 2.42*). Os trechos de desenho onde é detectado erro devem ser varridos novamente com o pincel luminoso.

A ocorrência de 9 falhas seguidas indica a necessidade de reposição das lâmpadas. O operador é comunicado desse evento através da linha ALARME.

2.4.5.6. Processadores de Atuação Z

Tendo em vista a natureza diferente do controle necessário sobre a FCD e sobre o SISTEMA DE SENSIBILIZAÇÃO DE FOTOLITO é proposto um PROCESSADOR DE ATUAÇÃO Z para trabalho de corte/desenho e outro para sensibilização de fotolito. A informação de qual processador deve ser utilizado para uma instrução qualquer é dada pela UNIDADE DE CONTROLE.

2.4.5.6.1. Processador de Atuação Z para Operação de Corte/Desenho

O PROCESSADOR DE ATUAÇÃO Z para operação de corte/desenho realiza o programa especificado no diagrama de blocos da *Figura 2.47*, através do circuito lógico mostrado na *Figura 2.48*. O diagrama de estado correspondente à função executada pelo circuito é mostrada na *Figura 2.49*, onde :

$$\begin{aligned} J1 &= BPID \cdot BIXY \\ J2 &= BPID \cdot \overline{BIXY} \\ S &= \overline{SOPER+INIC} \end{aligned}$$

Dessa forma, IMUDI ($IMUDI = Q_1 + Q_2 + MOTR$) está normalmente no estado 1. Só é levada a 0 quando Q_1 e Q_2 forem colocados no estado 0, desde que se esteja operando com corte/desenho ($MOTR=1$). Isso acontece quando após terem sido feito(s) corte(s)/traço(s) na direção x ($BPID \cdot BIXY=1$) é solicitado corte/desenho na direção Y ($BPID \cdot \overline{BIXY}=1$), ou vice-versa. Enquanto IMUDI está no estado 0 o sistema fica inibido. A volta à operação normal ($IMUDI=1$) é feita através de pulso na linha SOPER ou na linha INIC que ativam a linha S.

A excitação do SOLENOIDE é controlada por ISOLEN ($ISOLEN=IMUDI \cdot ICUID$). ICUID é colocada no estado designado por BPID, no início do deslocamento por pulso em FLB. No final do deslocamento é sempre levada para 0. Isso quer dizer, a FCD só é abaixada durante o deslocamento e desde que BPID esteja no estado 1.

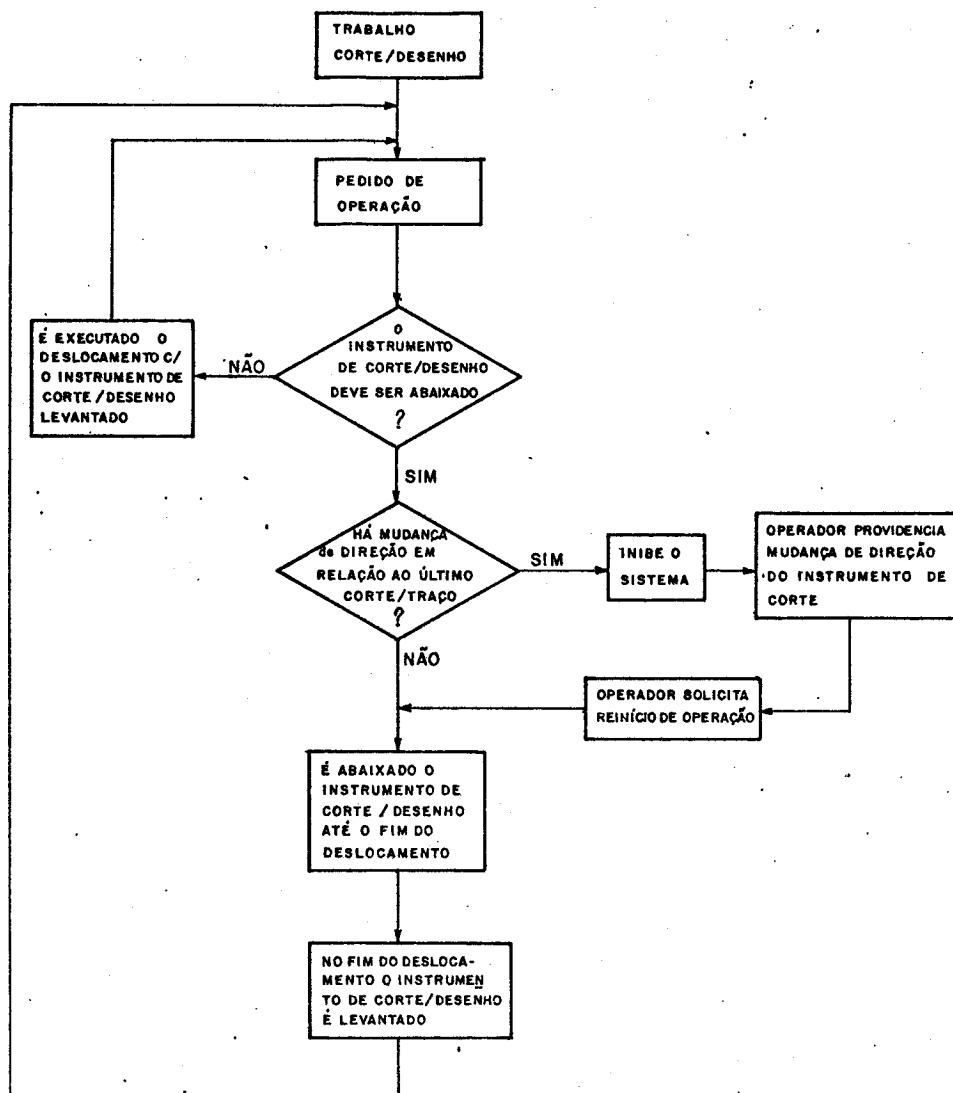


Figura 2.47. Diagrama de blocos do Programa de Controle da FERRAMENTA DE CORTE/DESENHO.

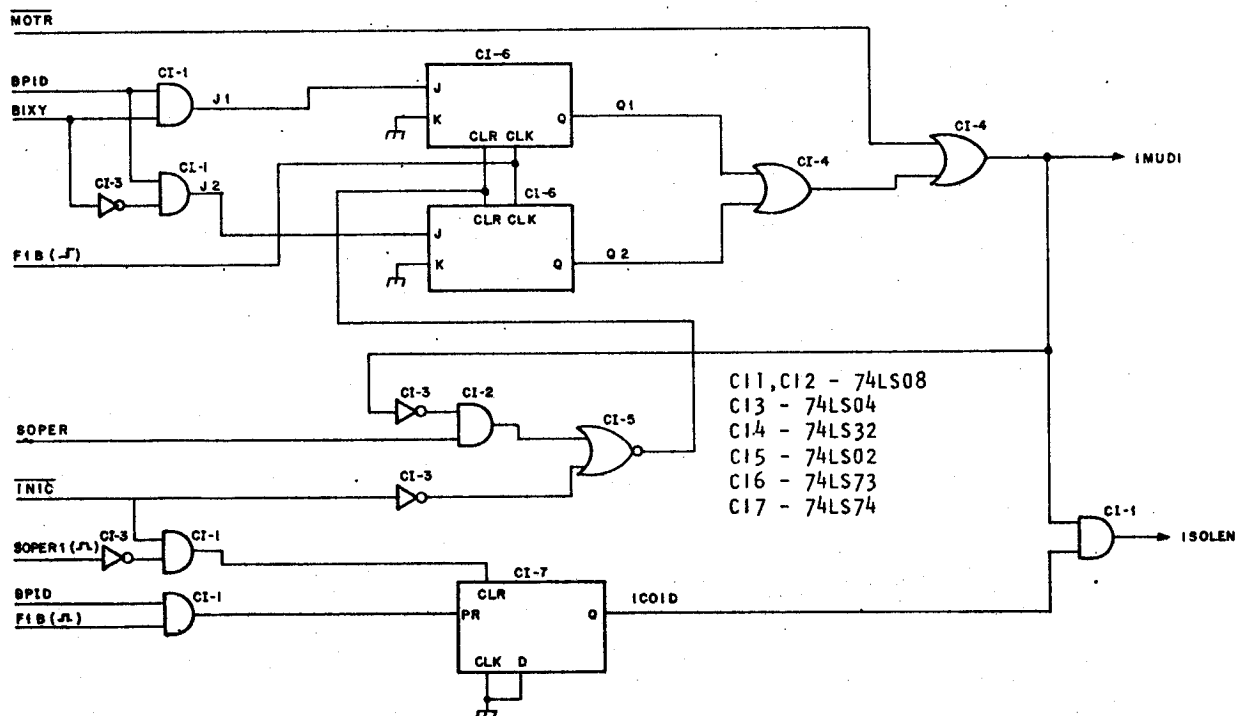


Figura 2.48. Circuito Lógico do Controle da FERRAMENTA DE CORTE/DESENHO.

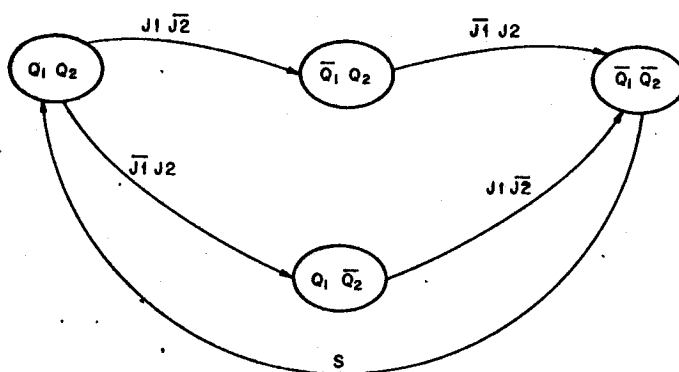


Figura 2.49. Diagrama de estado para o Controle de FERRAMENTA CORTE/DESENHO.

2.4.5.6.2. Processador de Atuação Z para Operação de Sensibilização de Fotolito

Na Figura 2.50 é esquematizado o diagrama de blocos do programa executado pelo PROCESSADOR DE ATUAÇÃO Z para operação de sensibilização de fotolito.

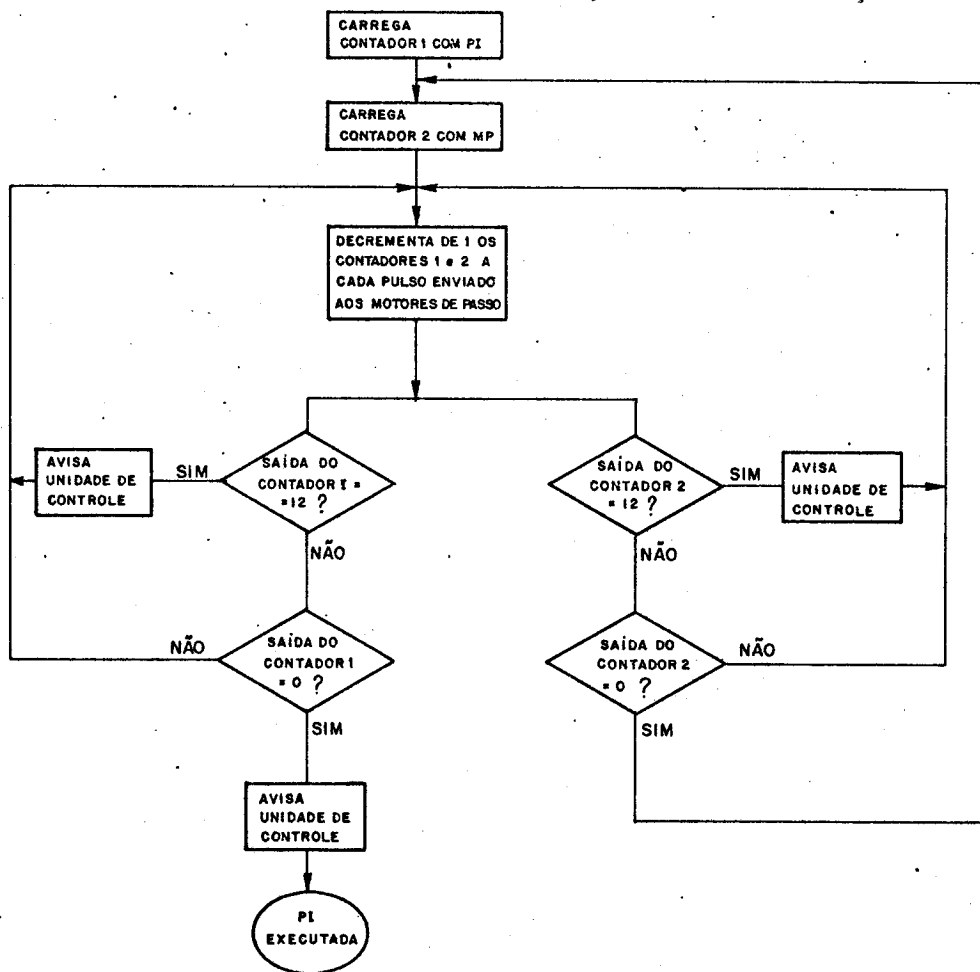


Figura 2.50. Diagrama de blocos do Programa executado pelo Interpretador de Instruções para Desenho.

O programa explicitado na *Figura 2.50* é realizado pelo circuito lógico mostrado, de forma simplificada na *Figura 2.51*.

O campo da PI presente na saída da UNIDADE DE MEMÓRIA referente à dimensão de deslocamento é carregado no CONTADOR 1 por um pulso na linha $\overline{3LA}$ ($\overline{LJ}$), comandada pela UNIDADE DE CONTROLE. Cada pulso enviado aos motores de passo é notado pela linha FPUC01 que faz decrementar a saída de CONTADOR 1 e também a do CONTADOR 2. Este contador é carregado, através de pulso na linha RLG1 com o número de passos equivalente ao lado do MP em uso ($1\text{ mm} \equiv 100$, $2\text{ mm} \equiv 200$, ..., $5\text{ mm} \equiv 500$). Os COMPARADORES 1 e 2 monitoram, respectivamente as saídas dos CONTADORES 1 e 2 e detetam, com pulsos nas linhas RCP11 e RCP21 a passagem dessas saídas por $\neq 12$, e com pulsos nas linhas RCP12 e RCP22, a passagem por zero. Essas linhas são utilizadas para gerar RSL1 ($RSL1 = \overline{RCP21} + RCP11$) e RAT1 ($RAT1 = RCP22 + RCP12$).

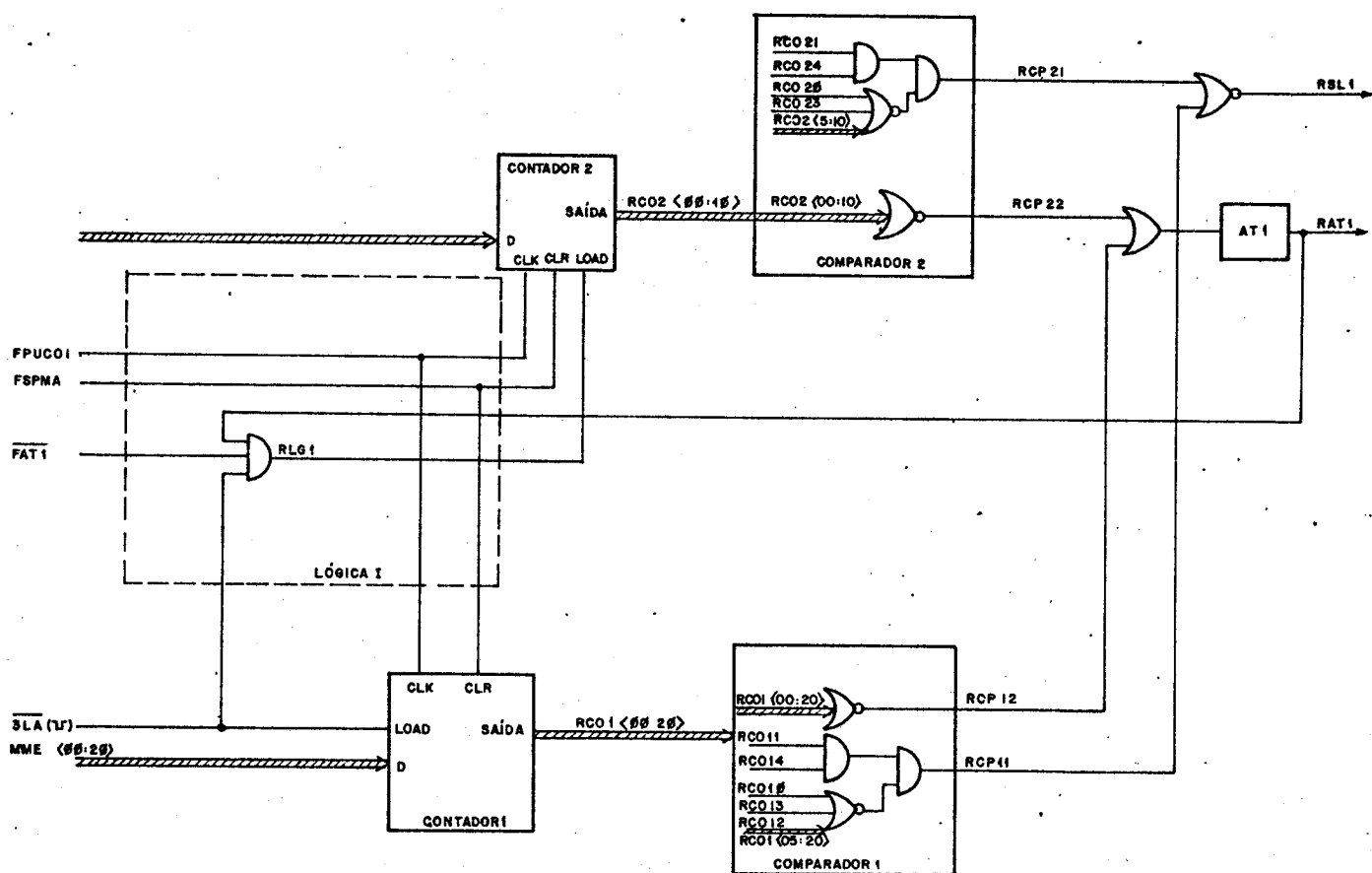


Figura 2.51 - Esquemática do Circuito Lógico usado para realizar o Programa do Interpretador de Instruções para Desenho.

O circuito lógico mostrado na *Figura 2.52* é utilizado para gerar a partir de RLSI os sinais $\overline{RP-12}$ e RTRPU utilizados, como descrito no item 2.4.5.5, pelo sistema de Sensibilização de Fotolito.

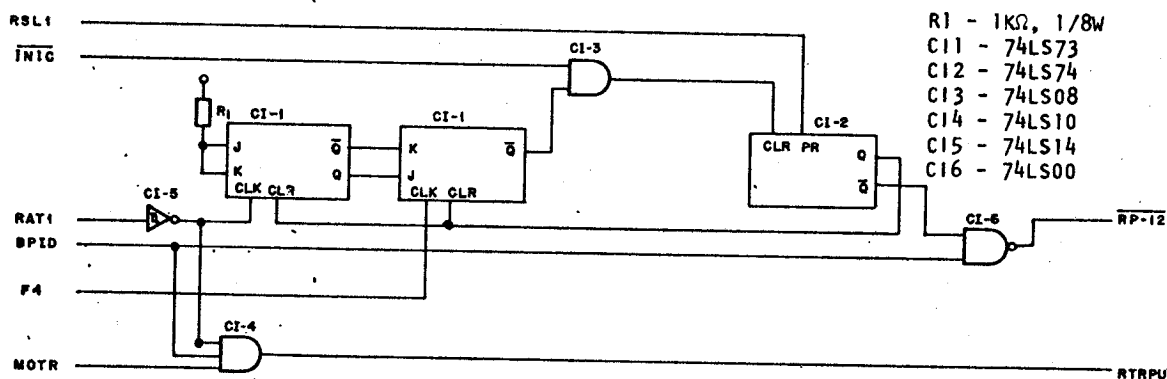


Figura 2.52. Diagrama de circuito lógico usado para ativar o sistema de sensibilização de fotolito.

2.4.5.7. Interface entre a UNIDADE DE DESENHO e a UNIDADE DE CONTROLE

Esta interface permite que sejam trocadas entre a UNIDADE DE DESENHO e a UNIDADE DE CONTROLE as informações anotadas abaixo:

- a) o INTERPRETADOR DE INSTRUÇÃO recebe da UNIDADE DE CONTROLE comando para ler e interpretar a PALAVRA DE INSTRUÇÃO presente na saída da UNIDADE DE MEMÓRIA;
- b) o INTERPRETADOR DE INSTRUÇÃO informa à UNIDADE DE CONTROLE se a PALAVRA DE INSTRUÇÃO lida é ou não palavra identificadora de fim de bloco de instruções na MEMÓRIA;
- c) o PROCESSADOR DE DESLOCAMENTOS X,Y recebe da UNIDADE DE CONTROLE comando para iniciar o processamento de PALAVRAS DE INSTRUÇÃO para deslocamento e devolve a ela a informação correspondente ao fim do processamento;
- d) os PROCESSADORES DE ATUAÇÃO Z recebem da UNIDADE DE CONTROLE informação correspondente ao tipo de trabalho: se é sensibilização de fotolito ou corte/desenho, além do comando para iniciar o processamento de PALAVRA DE INSTRUÇÃO de atuação sobre o sistema de sensibilização de fotolito ou sobre o excitador do adaptador do FCD ao coordenatógrafo;
- e) os PROCESSADORES DE ATUAÇÃO Z informam à UNIDADE DE CONTROLE quando ocorre o fim do processamento de PALAVRA DE INSTRUÇÃO de atuação Z;
- f) o EXCITADOR PARA O SISTEMA DE SENSIBILIZAÇÃO DE FOTOLITO comunica à UNIDADE DE CONTROLE quando há ocorrência de falha de alguma lâmpada da fonte de luz durante o procedimento de sensibilização de fotolito.

2.4.6. Painel do Console

São atribuídas ao PAINEL DE CONTROLE as funções de permitir ao operador acompanhar a posição da FCD ou do MP sobre o coordenatôgrafo durante a execução de um programa de desenho; de informá-lo sobre os estados da máquina durante a operação; além de indicar o MP em uso quando a operação é de sensibilização de fotolito.

Na Figura 2.53 é apresentado o diagrama de blocos de circuito de controle dos "displays" que apontam a posição (x,y) da FCD (MP) sobre o coordenatôgrafo.

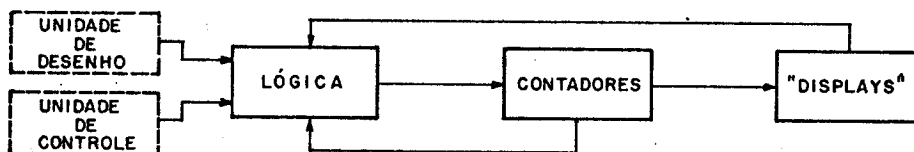


Figura 2.53. Diagrama de blocos do circuito de controle dos "displays" indicadores de posição X,Y.

O bloco LÓGICA estabelece para os CONTADORES de acordo com as condições do deslocamento e da posição inicial da FCD (MP) o modo de contagem: se crescente ou decrescente. Além disso controla o sinal da posição, em relação a uma referência: se positivo ou negativo, como ilustrado na Figura 2.54. A saída do CONTADOR é apresentada no "DISPLAY".

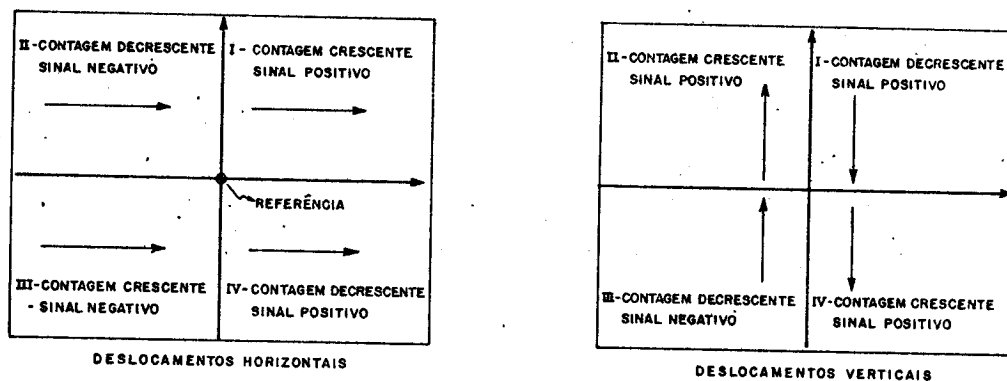


Figura 2.54. As condições de deslocamentos da FCD(MP) sobre o coordenatôgrafo em relação a uma referência são indicadas pelas setas.

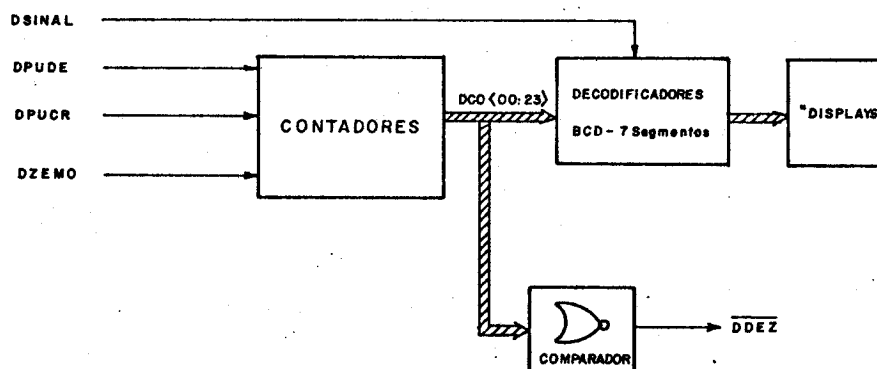


Figura 2.55. Diagrama esquemático de circuito destacando os CONTADORES, COMPARADOR com zero, DECODIFICADOR BCD-7SEGMENTOS e "DISPLAYS".

O início de cada deslocamento é informado pela UNIDADE DE CONTROLE através da linha SANN. A informação de sentido de deslocamento é recebida pela linha BISD. Cada pulso de comando dado ao motor de X é percebido pela linha PUMX. Os comandos aos motores de Y são percebidos pela linha PUMY. Os pulsos recebidos pela linha PUMX(PUMY) são liberados para os CONTADORES pelas linhas DPUDE e DPUCR, implicando em contagem decrescente e crescente, respectivamente, em modo decimal. A linha DSINAL controla o sinal no "display": se está no estado 0 o sinal é negativo; no estado 1 implica em sinal positivo. A mudança do sinal, referente a uma direção (- para + ou + para -) é feita quando a FCD (MP) passa pela posição definida como zero do eixo correspondente. Essa passagem é detetada pela linha DDEZ. Pulsos nas linhas SLMO ou ILMO levam a saída dos CONTADORES a zero, e por consequência fazem o "display" mostrar o número 0.

CONDIÇÕES ESTÁTICAS
DURANTE O DESLOCAMENTO

CONDIÇÕES DINÂMICAS
DURANTE O DESLOCAMENTO

ZEMO	BISC	DDEZ	ESTADO ANTERIOR (DSINAL)	PUMX (PUMY)	SANN	NOVO ESTADO (DSINAL)
	x	x	x	x	x	1
0	1	0	1	1		1
0	1	1	1	1		1
0	1	0	0	1		1
0	1	1	0	0		0
0	0	0	0	1		0
0	0	0	1	1		0
0	0	1	0	1		0
0	0	1	1	0		1
0	1		0		0	1
0	0		1		0	0
* ANTES DE APOS → CONTAGEM DECRESCENTE → CONTAGEM CRESCENTE						
** ANTES DE APOS → CONTAGEM DECRESCENTE → CONTAGEM CRESCENTE						

Tabela 2.8. Resumo das Condições para o Circuito da Figura 2.56.

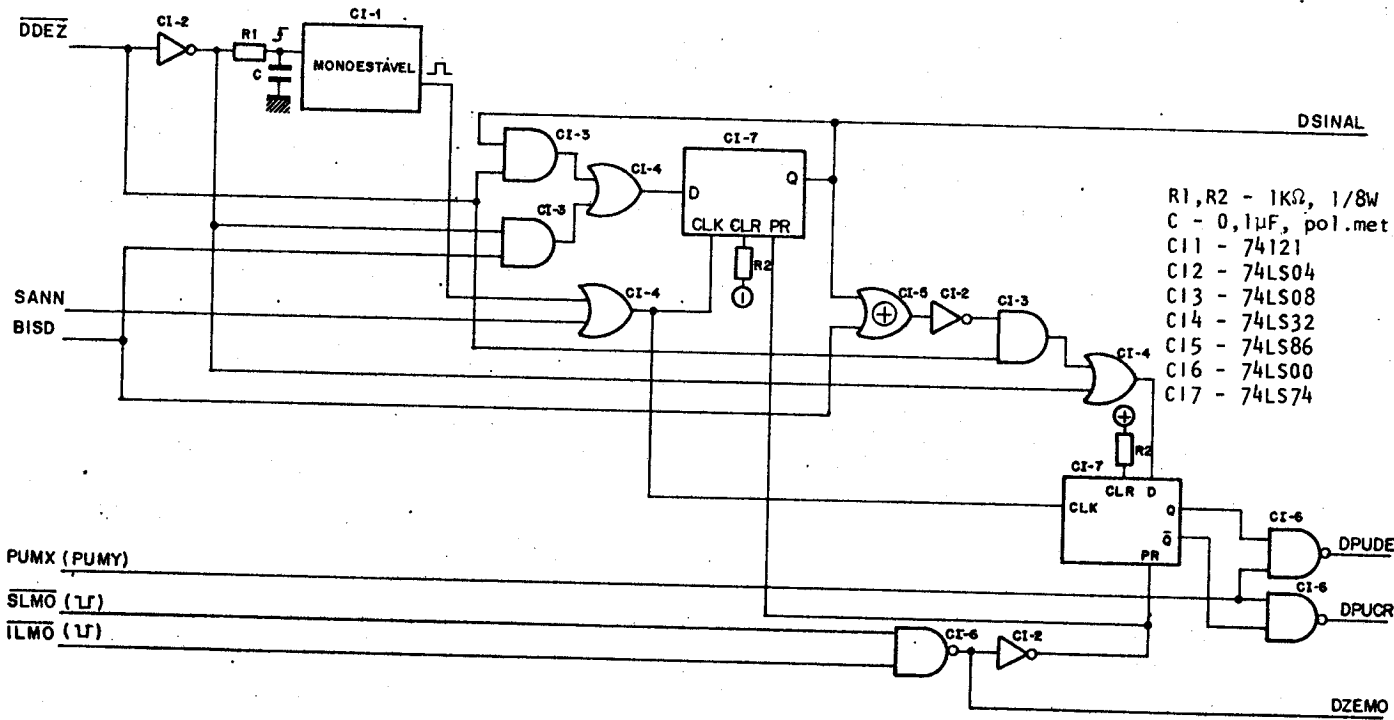


Figura 2.56. Diagrama de circuito lógico do bloco LÓGICA do controle de "displays".

O bloco DISPLAYS recebe a saída dos CONTADORES dígitos BCD, faz a conversão de código BCD - 7 segmentos e apresenta nos "displays".

Os diagramas de circuitos esquemáticos do Controle dos "displays" são apresentados nas Figuras 2.55 e 2.56. É utilizado um circuito para cada conjunto de "displays" e portanto para cada direção $\hat{x}$ ou $\hat{y}$.

Estes circuitos cumprem as condições estabelecidas na Tabela 2.8.

A composição do PAINEL DO CONSOLE foi apresentada no item 2.1.3. e mostrada na Figura 2.4.

O valor do MÓDULO PROJETOR, registrado na UNIDADE DE MEMÓRIA em BCD, tem seu código convertido para 7 SEGMENTOS e é mostrado em "display" quando o trabalho em realização é de sensibilização de fotolito.

Os 6 LED's indicadores de estado de operação da máquina tem seus circuitos de excitação, "buffers" TTL com coletor aberto, comandados pela UNIDADE CONTROLE.

2.4.7. O PAINEL do Teclado

O controle associado ao PAINEL DO TECLADO é apresentado no diagrama de blocos da Figura 2.57.

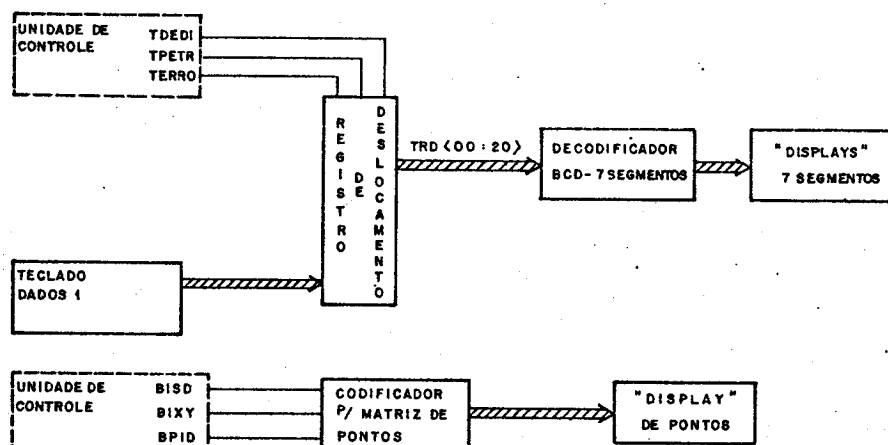


Figura 2.57: Diagrama de blocos do "hardware" associado ao PAINEL DO TECLADO.

Cada dígito da PALAVRA DE INSTRUÇÃO digitado no TECLADO é registrado na UNIDADE DE MEMÓRIA sob o controle da UNIDADE DE CONTROLE. Esta unidade também comanda o registro da informação que corresponde a esse dígito no PAINEL DO TECLADO, através das linhas TDEDI e TPETR, num REGISTRO DE DESLOCAMENTO de 4 bits de entrada e 20 bits de saída. A linha TDEDI é usada para liberar o registro, que é feito com pulso na linha TPETR. A linha TERRO é usada para colocar as saídas do REGISTRO DE DESLOCAMENTO no estado 0.

A informação em código BCD presente na saída do REGISTRO DE DESLOCAMENTO correspondente à dimensão de deslocamento da PALAVRA DE INSTRUÇÃO é codificada para 7 SEGMENTOS e mostrada ao operador nos "displays" de 7 SEGMENTOS.

Os três bits restantes da PALAVRA DE INSTRUÇÃO são apresentados ao operador pelos "displays" de pontos, codificados como é mostrado na Figura 2.58.

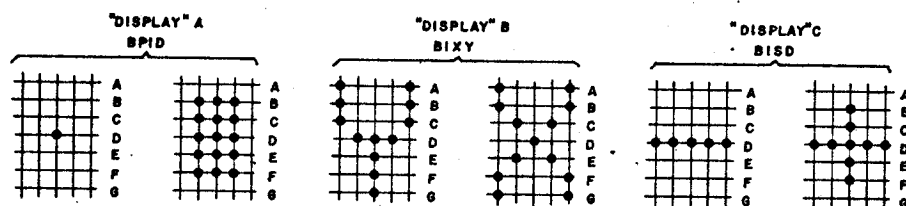


Figura 2.58. Codificação adotada associando os estados de BPID, BIXY e BIRD aos "displays" de pontos do PAINEL DO TECLADO.

2.4.8. Realização da Lógica do CONTROLE do SAD

A lógica necessária ao CONTROLE do SAD foi realizada com circuitos lógicos da família 74LS.

As artes finais usadas na preparação dos circuitos impressos foram confeccionados com a utilização do sistema SACCO-Versão LED/2 |18| implantado no PDP-10 do CCUEC da Unicamp.

CAPÍTULO 3 - CONCLUSÕES

3.1. ESTADO ATUAL DO ELEMENTO DE "SOFTWARE"

Os programas de interface entre o SAD e o PAC-1 estão totalmente desenvolvidos. O programa RUBY foi testado durante a confecção de artes finais em "Rubylith" e de desenhos de artes finais, no processamento de, aproximadamente, 75000 traços/cortes. O programa FOTO foi testado com a geração de configurações de testes em fotolito, equivalendo ao processamento de área de $25 \times 25 \text{ cm}^2$.

3.2. ESTADO ATUAL DO ELEMENTO DE "HARDWARE"

A avaliação do estado atual deste elemento é feita sob vários aspectos, como segue.

3.2.1. Repetibilidade de Posicionamento

A repetibilidade de posicionamento da FCD/MP sobre o coordenatôgrafo foi verificada com cerca de 150.000 comandos de deslocamentos dados através do CONTROLE ao conjunto MOTOR DE PASSOS/COORDENATÔGRAFO sem que tenham sido constatados erros de posicionamento.

3.2.2. Operacionalidade do SAD

O SAD tem se mostrado um sistema fácil de ser operado. Técnicos sem noções anteriores operam-no fluentemente, sendo que o tempo médio de aprendizagem da operação é de aproximadamente uma hora.

3.2.3. O Controle do Elemento de "Hardware"

Os programas de operação MODO 1, 3, 5 e 6 foram testados com a confecção de artes finais em "Rubylith" e de desenhos, num total de aproximadamente 100 horas de operação. Os programas de operação MODO 2, 4 e 7, de sensibilização de fotolito, foram testados com cerca de 5 horas de operação.

Durante a execução desses programas, foram notados erros eventuais no processamento de instruções, num total de 20 falhas para as 150.000 instruções processadas durante as 100 horas de operação de corte de "Rubylith" e desenho.

Essas falhas, atribuídas a condições ruidosas às quais a máquina ainda é sensível, não comprometeram a qualidade das artes finais executadas em "Rubylith", as quais foram efetivamente utilizadas na confecção de máscaras.

3.3. ESTADO ATUAL DO ELEMENTO DE ÓPTICA

As artes finais realizadas em fotolito, embora em número reduzido, demonstram que a qualidade obtida permite garantir que essa alternativa pode ser usada operacionalmente para a geração das artes finais de circuitos integrados.

3.4. A OPÇÃO ADOTADA PARA A REALIZAÇÃO DO CONTROLE DO SAD

Este trabalho, com a opção de realização do controle em "hardware", teve como objetivo a familiarização com a definição de uma estrutura de processamento; com a procura de como fazer o interrelacionamento das partes básicas de um processador, com o projeto lógico e implementação de suas partes componentes e com os proble-

mas associados à realização do "hardware" de uma máquina, envolvendo escolha de família de circuitos lógicos adequada, interconexão desses circuitos lógicos e seu acondicionamento mecânico.

A estrutura estabelecida para o MONITOR do controle suportar os programas de operação adotados, descritos no item 2.4.1, foi a de uma máquina sequencial assíncrona com programa fixo.

3.5. PROPOSIÇÕES

Acreditamos que, numa nova versão, o MONITOR da Unidade de Controle do SAD possa ser reestruturado e reprojetoado, tornando-o uma máquina sequencial síncrona. Podem, também, ser incorporados testes de paridade nas instruções para desenho, tanto na sua leitura da fita de papel quanto no seu envio, a partir da memória para o processamento.

Um recurso adicional de escalamento será muito útil, se implantado no SAD.

Para desenhos que envolvem uma grande massa de dados a manipulação de arquivos em fita de papel, devido ao seu comprimento, torna-se bastante difícil; a confecção da máscara de metalização de um sistema integrado em média escala com cerca de 1000 transistores, para ser processado em tecnologia P ou N-MOS envolve cerca de 40.000 comandos de posicionamento o que consome cerca de 320 metros de fita de papel. Uma solução para o particionamento do arquivo de dados, necessário nesses casos, pode ser conseguida com a substituição da LFP por uma leitora de registros magnéticos, fita ou disco.

Um outro recurso que deverá agilizar o SAD no que diz respeito a desenhos durante a fase de projeto será sua ligação, através do terminal gráfico GT-40 disponível no LED, com o sistema DEC-10 da Unicamp.

Outro caminho que pode ser seguido para a realização de controles, como o apresentado neste trabalho, é o do uso de microprocessador. Com o seu uso é facilitada a implantação de recursos como o de processamento simultâneos de instruções para deslocamentos nas direções $\hat{x}$ e $\hat{y}$, como também se torna viável a concepção de controles dedicados a sistemas de desenhos que tenham associado a eles o processamento de linguagens gráficas tipo LPG [19,24] ou CIF [20], por exemplo.

3.6. AVALIAÇÃO

A implantação do SAD, alcançou os objetivos propostos, tanto no que refere à atuação do LED para formação de pessoal na área técnica de construção de equipamentos, quanto à finalidade precípua de capacitar o LED para a geração de artes finais das máscaras usadas nos processos de fabricação de circuitos integrados e na confecção de desenhos associados a essas artes finais.

3.7. EXEMPLOS

Nas figuras 3.1 e 3.2 são mostradas cópias de artes finais executadas pelo SAD.

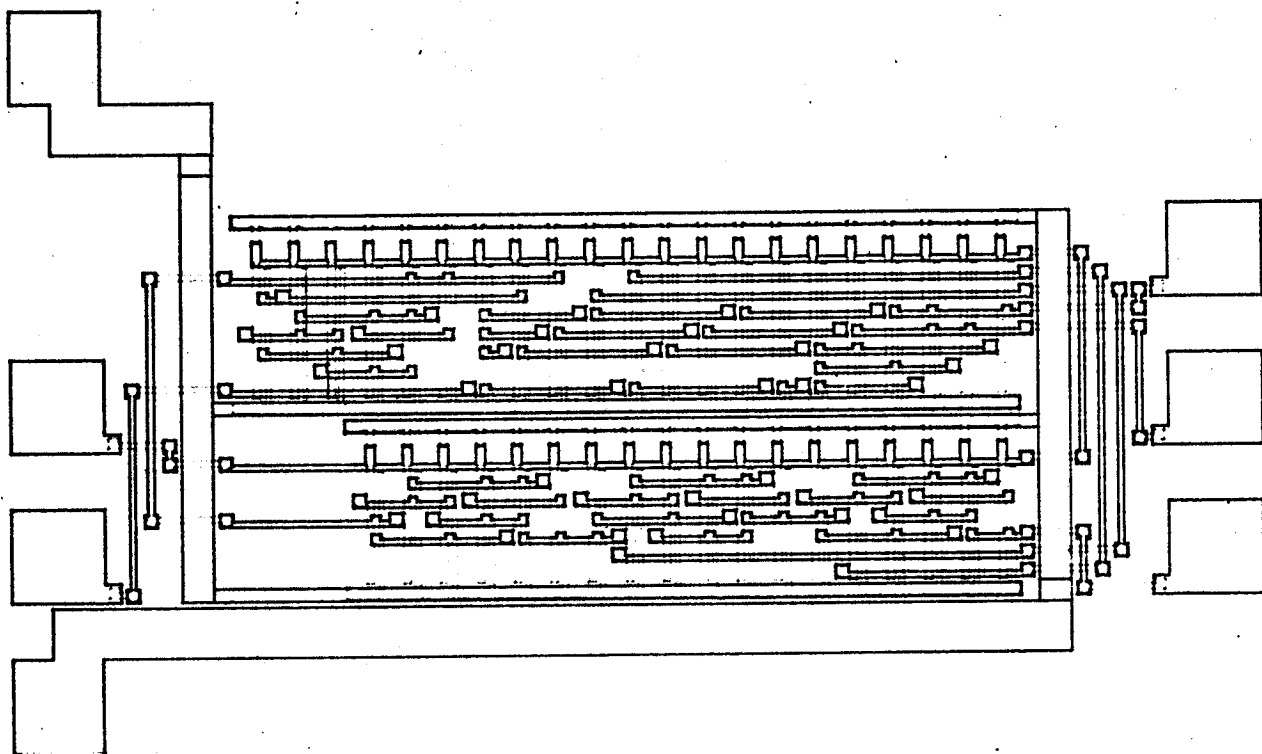


Figura 3.1 - Cópia de desenho executado com o SAD.

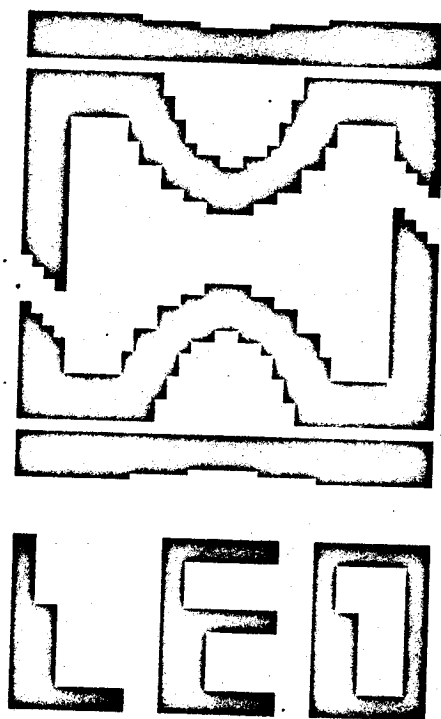


Figura 3.2 - Cópia de arte final em fotolito executada com o SAD.

ANEXO I - MOTOR DE PASSO : OPERAÇÃO E UTILIZAÇÃO

O motor de passo é um dispositivo eletro-mecânico que converte pulsos elétricos digitais em movimento mecânico. O eixo do motor gira de um ângulo determinado e preciso, chamado PASSO, a cada pulso elétrico de excitação. Isso resulta na capacidade dos motores de passo serem utilizados em sistemas de posicionamento que requerem precisão e repetibilidade, além de poderem ser atuados diretamente por sistemas digitais. Além disso, o controle desses sistemas pode ser feito sem necessidade de realimentações.

I.1. TIPOS DE MOTORES DE PASSO E PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO

Podem ser identificados cinco tipos básicos de motores de passo, classificados de acordo com o princípio de operação e construção. [21]

I.1.1. Motor de Passo Tipo Solenóide - Catraca ("Solenoid and Ratchet Type")

Na Figura I.1. é mostrado um esquema simplificado deste dispositivo.

Os solenóides estão permanentemente ativados; portanto, sem

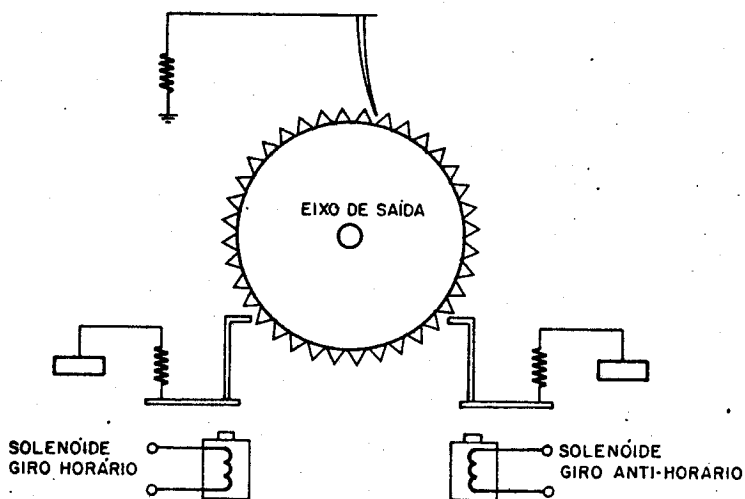


Figura I.1. - Esquema Simplificado do Motor de Passo Tipo Solenóide-Catraca

pre tracionam as molas. Cada vez que um dos solenóides é desenergizado, a mola empurra a alavanca, que faz com que o eixo dentado avance um passo. O sentido de rotação é determinado pela seleção do solenóide.

Este tipo de motor opera com baixa taxa de pulsos e tem vida limitada em razão de desgaste mecânico. Por outro lado, é livre de oscilações e apresenta alto torque.

I.1.2. Motor de Passo Com Atuador Harmônico ("harmonic drive")

É também conhecido por motor de passo "Responsyn". Na Figu-

ra I.2. É mostrado um diagrama esquemático desse motor.

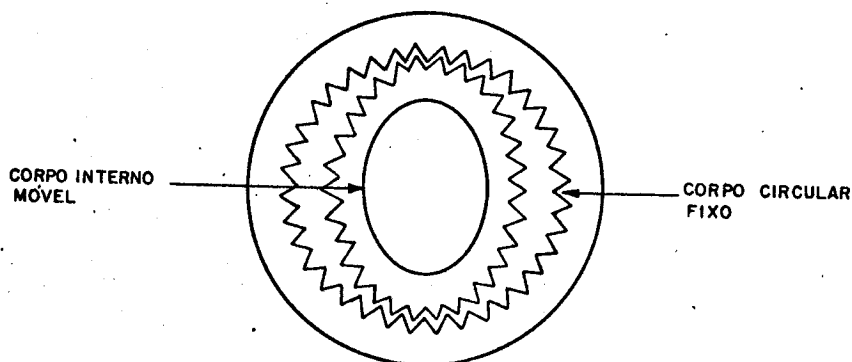


Figura I.2. Diagrama Simplificado de um Motor de Passo com Atuador Harmônico

Ele é composto por um corpo circular fixo dentado internamente, e por uma parte móvel menor, dentada externamente, de material ferromagnético. Externamente à parte fixa é disposto um conjunto de polos eletromagnéticos. Com a excitação desses polos em sequência é criado um campo magnético rotativo que o corpo móvel tende a seguir. Um período do campo rotativo num sentido faz com que a parte móvel gire, em sentido contrário, de uma distância igual à diferença entre os perímetros das partes que se tocam. Dessa forma, a rotação do campo magnético é convertido diretamente em movimento de rotação de um eixo, em pequenos passos.

Este motor trabalha com baixa taxa de pulsos e tem vida limitada devido ao atrito entre as partes. Permite passos muito pequenos e possui baixa inércia.

I.1.3. Motor de Passo Tipo Síncrono de Fase Pulsada ("Phase-pulsed synchronous type")

É também denominado "cyclonome".

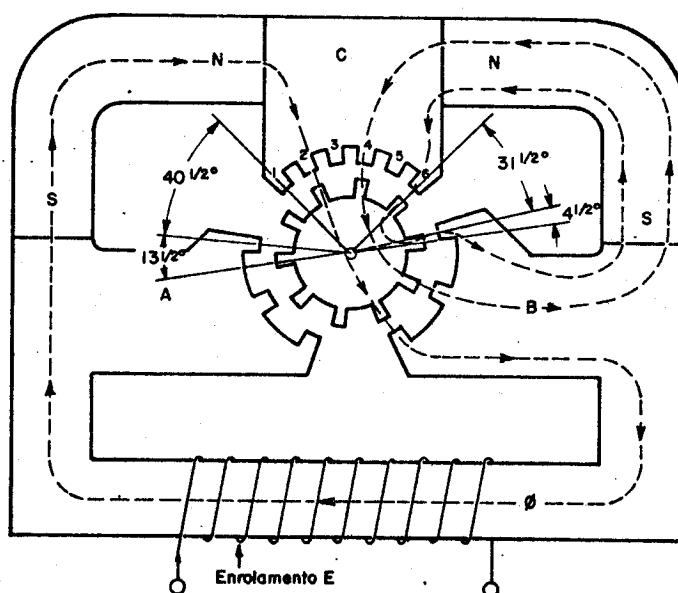


Figura I.3. Diagrama Esquemático do Motor de Passo Síncrono de Fase Pulsada mostrando a conformação de fluxo quando não há corrente no enrolamento do Estator.

Como é mostrado na *Figura I.3.*, o estator é composto por dois ímãs permanentes separados por peças dentadas de material ferromagnético. O rotor também é dentado e de material ferromagnético.

Quando não há corrente no enrolamento do estator fica estabelecido um caminho de fluxo magnético como é mostrado na *Figura I.3.* Os dentes da parte "C" e da parte "B" se alinham com os dentes do rotor. A parte "A" nessa condição está totalmente desalinhada.

Durante a aplicação de corrente no enrolamento, com o sentido indicado na *Figura I.4.*, há um rearranjo das posições relativas entre rotor e estator para equilíbrio na nova condição de fluxo magnético induzido.

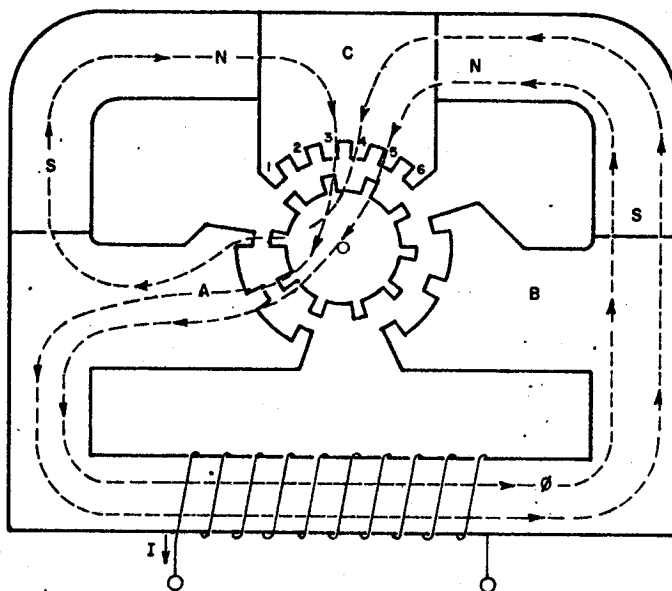


Figura I.4. Diagrama Esquemático do Motor de Passo Síncrono de Fase Pulsada mostrando a conformação de fluxo quando há corrente no enrolamento no sentido indicado.

A retirada da corrente elétrica leva o rotor a uma nova condição de equilíbrio, mostrada na *Figura I.5.* Em relação à *Figura I.3.* pode ser observado o deslocamento havido no rotor.

Para que se tenha novo passo, é necessário que a corrente no enrolamento seja aplicada em sentido contrário ao indicado na *Figura I.4.*

Este tipo de motor é unidirecional, responde a baixa taxa de pulsos, apresenta oscilação e necessita de amortecimento.

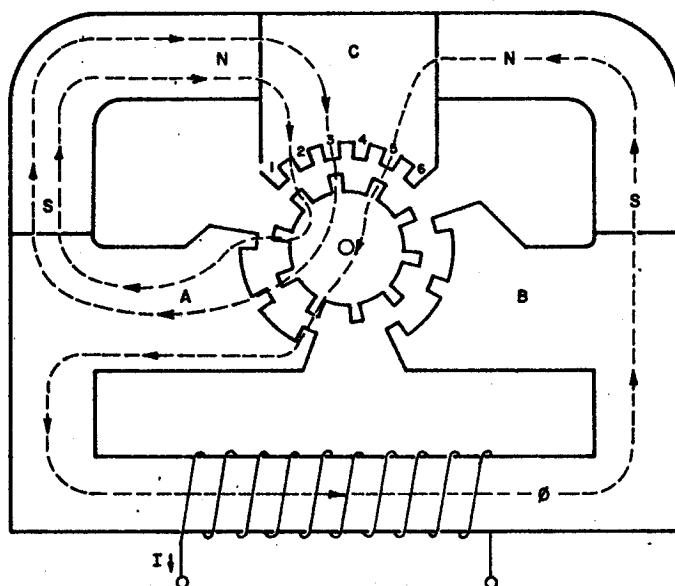


Figura I.5. Diagrama Esquemático do Motor de Passo Síncrono de Fase Pulsada a conformação do fluxo magnético após a retirada de corrente pelo enrolamento.

I.1.4. Motor de Passo de Relutância Variável ("VR Step Motor")

Este motor opera sob o princípio da relutância variável e funciona, de certa forma, como um solenóide.

As Figuras I.6., I.7. e I.8. mostram esquemas ilustrativos da construção e operação do motor de relutância variável.

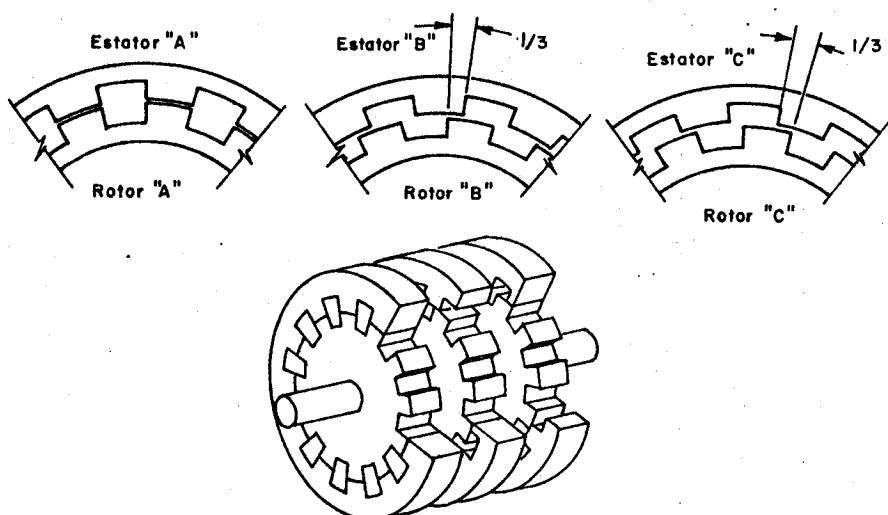


Figura I.6. Diagrama Esquemático do Rotor e Estator de um Motor de Passo de Relutância Variável de 3 estágios.

Cada estágio é composto por um estator dentado, que tem associado a ele um conjunto de dentes no rotor (*Figura I.6. e Figura I.7.*).

Como é mostrado na *Figura I.8.*, se um enrolamento é energizado com tensão constante, no caso o enrolamento "C", os dentes do estator se alinham com os correspondentes no rotor. Esta é uma posição de relutância mínima na qual o motor per

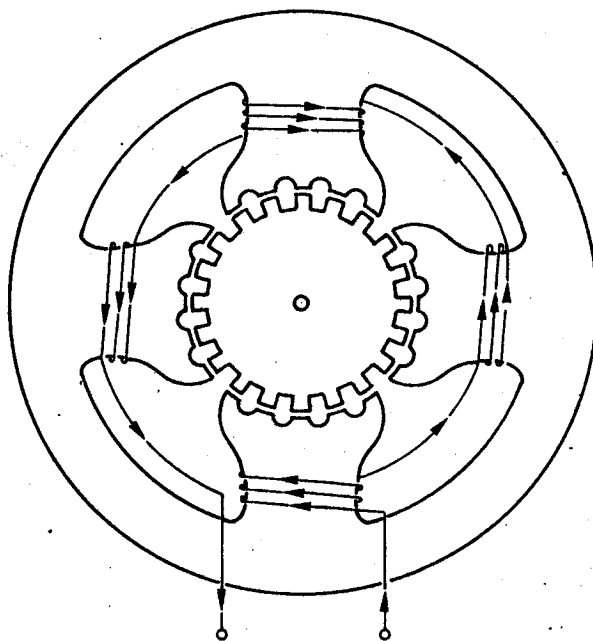


Figura I.7. Vista de um Estágio de um Motor de Passo de Relutância Variável

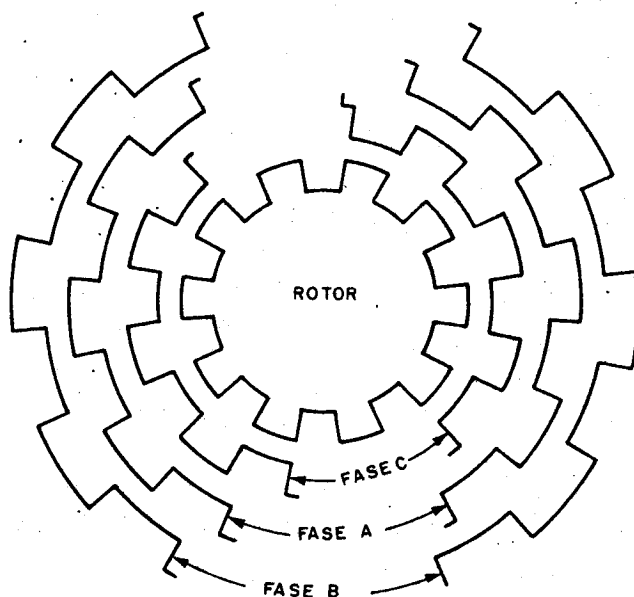


Figura I.8. Arranjo Esquemático de Rotor e Estator num Motor de Passo de Relutância Variável.

manece em equilíbrio estável. As posições relativas mantidas pelos estágios "A" e "B" nessa condição de excitação são importantes para que o motor possa girar. Se, num instante posterior, o estágio "A" é energizado, o rotor tenderá a girar no sentido horário para se alinhar com os dentes do estágio "A", e permanecerá girando nesse sentido se for observada a sequência de comandos CABACB... O giro em sentido contrário será conseguido com uma sequência de comandos BACBAC...

Este tipo de motor pode responder a altas taxas de pulsos e apresenta alta relação torque/inércia. Sua construção mecânica é simples.

I.1.5. Motor de Passo de Imã-Permanente

Este motor tem operação semelhante a de um motor síncrono. A construção é simples: contém um conjunto de enrolamentos (estator) circundando de maneira conveniente um rotor de imã-permanente, com polos fixos. Cada enrolamento é chamado de fase. [22]

A excitação das fases com tensão, de maneira adequada, cria um campo magnético rotativo que o rotor pode seguir.

A velocidade de rotação do rotor é controlada pela taxa de chaveamento de tensão nas fases.

Há dois modos de construção dos enrolamentos dos estatores, como é esquematizado na Figura I.9., sugerindo a divisão dos motores de passo de imã-permanente em duas classes: unipolares e bipolares.

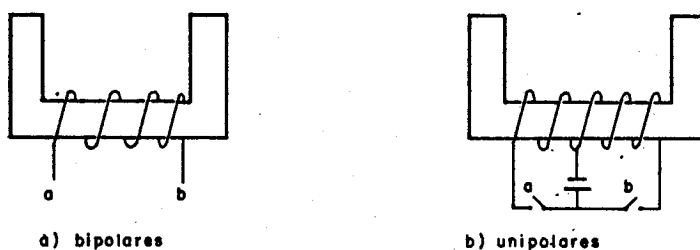


Figura I.9. Esquema dos tipos de enrolamentos em Motores de Passo de Imã-Permanente

Nos motores bipolares, a reversão de campo magnético no estator é feita com a mudança do sentido da corrente pelo enrolamento.

Nos motores unipolares cada enrolamento tem uma derivação central que é conectada a um dos polos da fonte de alimentação. A reversão de campo magnético neste caso é conseguida pela comutação sincronizada das chaves A e B.

A operação de um motor unipolar de 8 fases é ilustrada nas Figuras I.10 e I.11.

A Figura I.10 mostra os enrolamentos P,R,T,V, energizados e a posição de equilíbrio do rotor nessa condição.

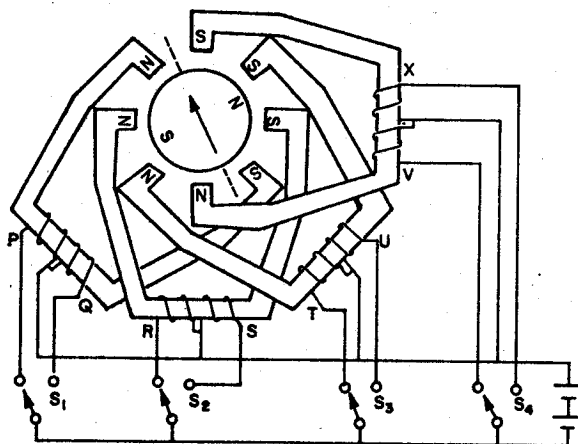


Figura I.10 Ilustração esquemática de um Motor de Passo de Imã-Permanente Unipolar de 8 Fases.

Se a chave S_1 é comutada, o enrolamento Q é energizado em lugar de P (Figura I.11), e o rotor é deslocado para uma nova posição de equilíbrio, correspondendo a um passo de 45° no sentido anti-horário.

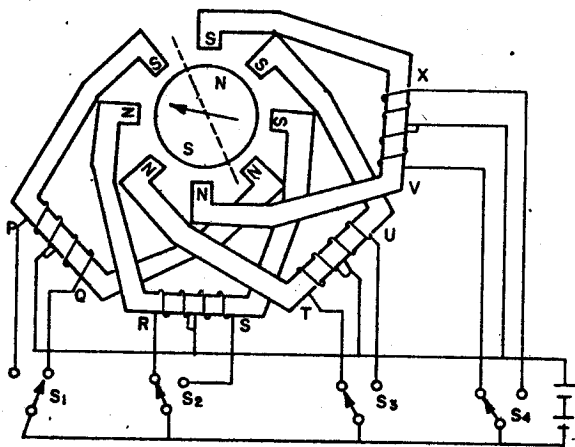


Figura I.11. Ilustração esquemática de um Motor de Passo de Imã-Permanente de 8 Fases

Uma possível sequência de chaveamentos $S_1, S_2, S_3, \dots$ faz o motor girar no sentido anti-horário. O giro no sentido horário é conseguido com a sequência $S_4, S_3, S_2, \dots$

I.2. TERMINOLOGIA ASSOCIADA A MOTORES DE PASSO DE IMÃ-PERMANENTE

É mostrada na Figura I.12 a curva típica torque x frequência de um motor de passo de imã-permanente, ilustrando a terminologia usada.

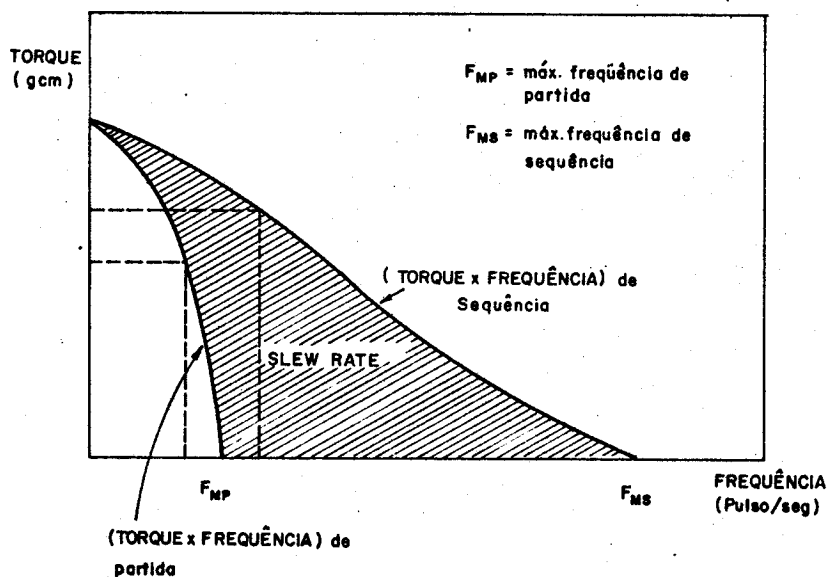


Figura I.12. Curva Típica de um Motor de Passo ilustrando a terminologia utilizada.

- Torque de Retenção ("Detent Torque")

Máximo torque que pode ser aplicado ao eixo de um motor de passos não excitado, sem girá-lo. Unidade: gcm.

- Desvio ("Deviation")

Mudança na posição do eixo quando um certo torque é aplicado ao eixo de um motor não excitado. Unidade: graus.

- Torque de Sustentação ("Holding Torque")

Máximo torque que pode ser aplicado ao eixo de um motor excitado sem causar rotação contínua. Unidade: g.cm.

- Máxima Frequência de Partida ("Maximum Pull-in Rate")

Máxima frequência de chaveamento com que um motor, sem carga, pode partir sem perder passos. Unidade: passos/seg.

- Máxima Frequência de Sequência ("Maximum Pull-out Rate")

Máxima frequência de chaveamento que um motor, sem carga, pode seguir sem perder passos, em regime. Unidade: passos/seg.

- Máximo Torque de Trabalho ("Maximum Working Torque")

O máximo torque que pode ser obtido do motor. Unidade: gcm.

- Fase ("Phase")

Cada enrolamento do estator.

- Frequência de Partida ("Pull-in Rate")

A máxima frequência de chaveamento com que um motor, com carga, pode partir sem perder passos. Unidade: passos/seg.

- Frequência de Sequência ("Pull-out Rate")

A máxima frequência de chaveamento que um motor, com carga, pode acompanhar, em regime, sem perder passos. Unidade: passos/seg.

- Torque de Partida ("Pull-in Torque")

O máximo torque que pode ser aplicado ao motor quando excitado com a Frequência de Partida.

- Torque de Sequência ("Pull-out Torque")

O máximo torque que pode ser aplicado ao motor quando excitado com a Frequência de Sequência.

- Faixa de Partida ("Start Range")

Faixa de frequências de chaveamento na qual o motor pode começar a girar sem perder passos.

- Ângulo de Passo ("Step Angle")

O ângulo nominal que o eixo do motor gira entre duas posições adjacentes.

- "Slew Rate"

A faixa de frequências de chaveamento na qual o motor gira sem perder passos.

I.3. ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR DE PASSO PD-12 DA PHILIPS

No presente trabalho foram utilizados motores de passo PD-12 da Philips, com as especificações dadas a seguir:

Motor Unipolar de Imã-Permanente:

- Consumo de Potência do Motor	3,5W
- Máximo Torque de Trabalho	150 gcm
- Máxima Frequência de Partida	1200 passos/seg.
- Máxima Frequência de Sequência	16000 passos/seg.
- Número de Fases	8
- Número de Polos do Rotor	24
- Resistência por Enrolamento	27 ohms
- Indutância por Enrolamento	20 mH
- Corrente por Enrolamento	175 mA
- Resistência de Isolação a 500 V cc	100 MΩ (ou ohms)
- Ângulo de Passo	3° 45'
- Tolerância no Ângulo de Passo	± 20', não cumulativo
- Número de Passos por Revolução	96
- Direção de Rotação	Reversível
- Inércia do Rotor	7 gcm ²

As Figuras I.13, I.14, e I.15 mostram as curvas características do motor PD-12.

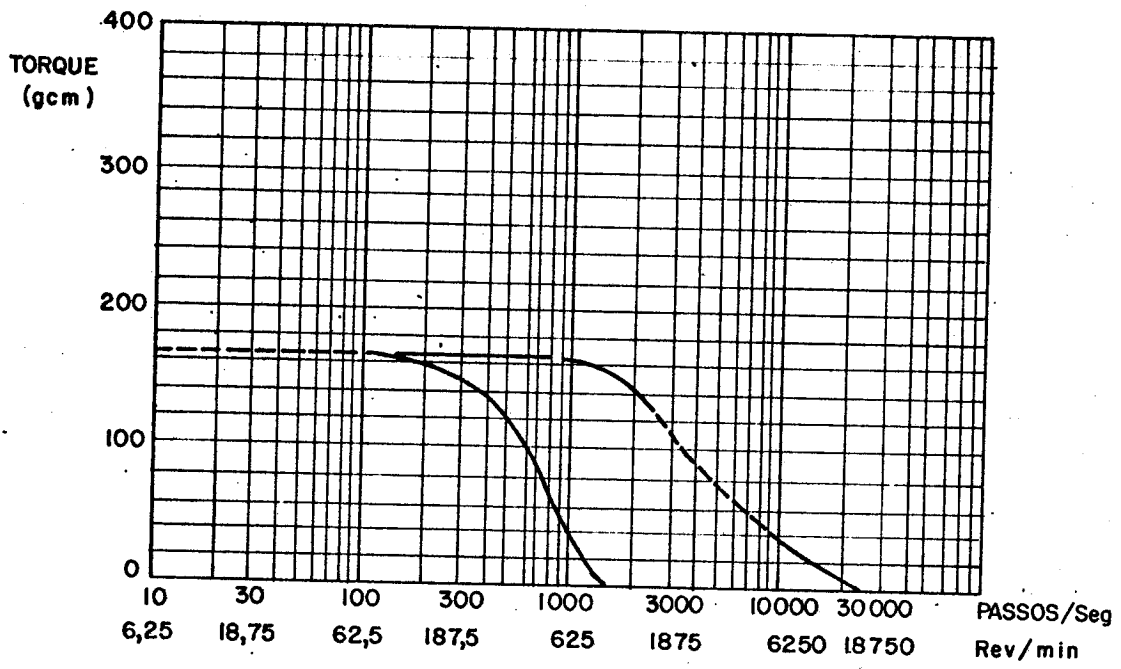


Figura 1.13 - Torque x Frequência para os Motores de Passo PD-12 da Philips.

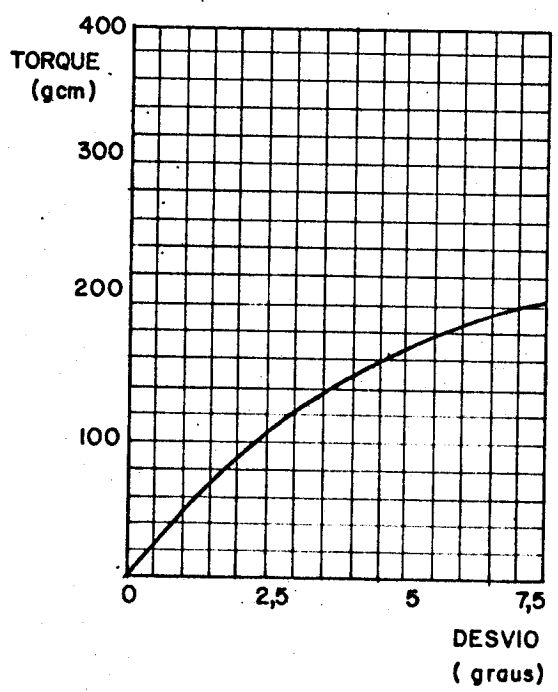


Figura 1.14 - Torque x Desvio para os Motores de Passo PD-12 da Philips.

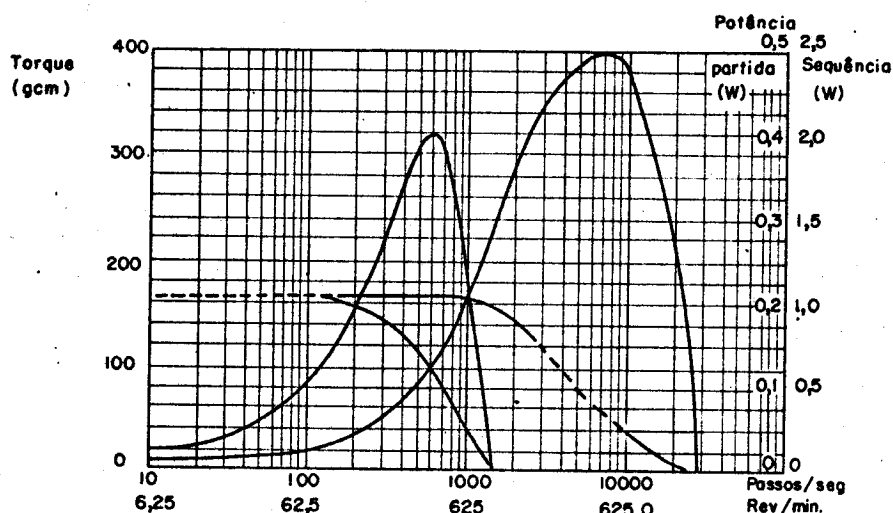


Figura I.15. Torque e Consumo de Potência x Frequência para os Motores de Passo PD-12 da Philips.

I.4. CONDIÇÕES DE CONTORNO

Os motores de passo costumam apresentar instabilidade no desempenho, principalmente quando o motor é excitado na região de "slew rate". As linhas tracejadas nas Figuras I.13 e I.15 indicam os pontos de instabilidade.

Entre os parâmetros mais importantes do motor está a máxima frequência de excitação. Para que ele possa operar nessa frequência, partindo e parando sem perder ou avançar passos excita-se o motor com frequência baixa na partida e aumenta-se gradativamente a frequência até a desejada. De forma semelhante; diminui-se gradativamente a frequência quando a carga se aproxima da posição final do deslocamento. Evitando-se aceleração e desaceleração bruscas o motor permanece sincronizado com o trem de pulso de excitação, sem que haja perdas de passos.

I.5. EXCITAÇÃO DE MOTORES DE PASSO DE IMÃ-PERMANENTE

A excitação de motores de passo de imã-permanente deve ser considerada sob três aspectos diferentes:

- Lógica
- Potência e
- Frequência.

I.5.1. Lógica de Excitação

O motor de passos de imã-permanente gira em resposta a variações na interação entre o campo magnético criado pelo rotor e o campo induzido no estator. A função da Lógica de Excitação é estabelecer a sequência adequada de excitação de

corrente nos enrolamentos do estator, em resposta a um trem de pulsos lógicos. O circuito que executa essa função é denominado tradutor ("translator").

Dentre as possíveis lógicas de excitação que fazem o motor girar, três podem ser destacadas: [23]

- "Wave-Drive"
- "Two-Phase Drive" e
- "Half-Step Drive"

1.5.1.1. "Wave Drive"

A Figura I.16 ilustra a forma de onda requerida para esta lógica, referida ao esquema de motor de passo mostrado na Figura I.10.

A corrente I_1 energiza a fase P; I_2 energiza R; I_3 energiza T e I_4 energiza V. Durante a energização é criado um campo norte-sul no estator onde está o enrolamento. O rotor tende a acompanhar esse campo. De forma semelhante I_5 , I_6 , I_7 e I_8 energizam, respectivamente, as fases Q, S, V e X, criando campos sul-norte nos estatores.

Esta lógica de excitação é a que permite a melhor relação de torque desenvolvido pelo motor e a potência entregue a ele, ou seja é a mais eficiente.

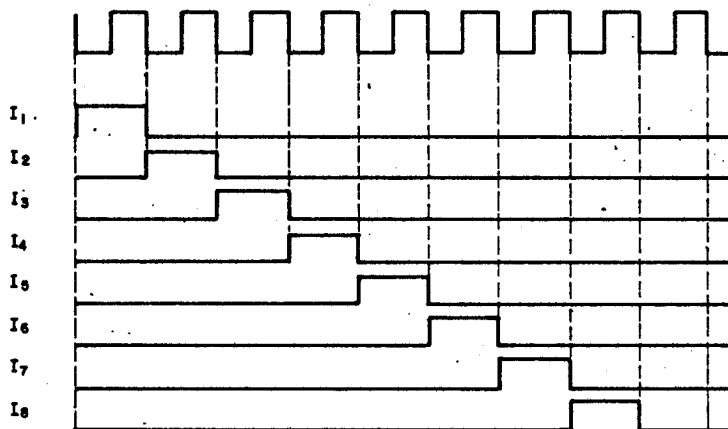


Figura I.16. Forma de Onda (a) e Tabela da Verdade para a Lógica de Excitação "Wave Drive"

1.5.1.2. "Two-Phase Drive"

A Figura I.17 ilustra a forma de onda requerida para esta lógica, também referida à Figura I.10.

Neste caso, as fases P, R, S e T são energizadas a um só tempo, por I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , respectivamente no início. Depois, a cada pulso da sequência, uma fase é comutada para inverter o campo no respectivo estator, obedecendo às correntes I_5 , I_6 , I_7 e I_8 .

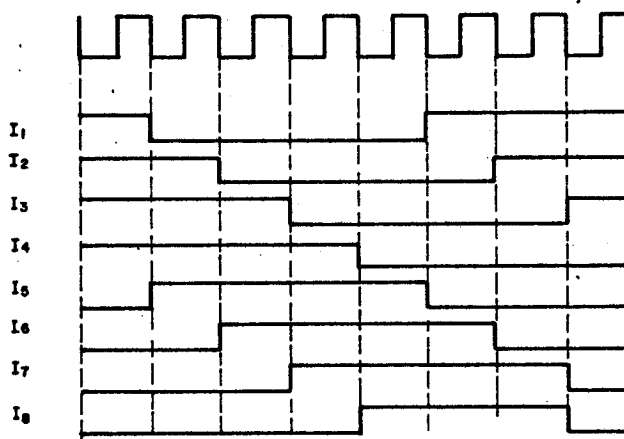


Figura I.17. Forma de Onda (a) e Tabela da Verdade (b) para a Lógica de Excitação "Two-Phase Drive"

Embora não seja a mais eficiente, esta lógica é a mais utilizada por possibilitar ao motor desenvolver maior torque.

I.5.1.3. "Half-Step Drive"

A Figura I.18 ilustra a forma de onda requerida para esta lógica, também referida à Figura I.10.

Pode ser definida como um híbrido entre as lógicas de excitação citadas anteriormente. Tem a característica de fazer o motor girar de apenas meio passo a cada pulso da sequência de excitação.

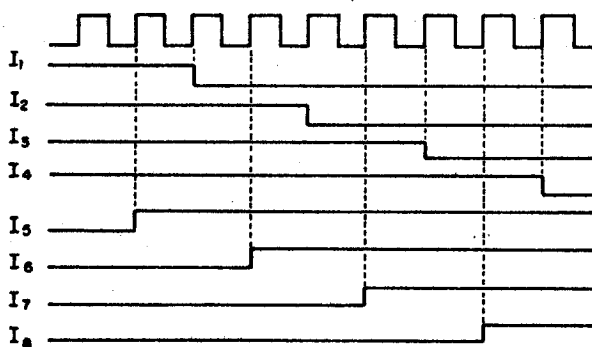


Figura I.18. Forma de Onda (a) e Tabela da Verdade para a Lógica de Excitação "Half-Step Drive"

I.5.2. Frequência de Excitação

A curva característica de torque x frequência do motor de passos de imã-permanente (Figura I.13 e I.14) estabelece para cada torque uma frequência máxima de partida, acima da qual poderá haver perda de sincronismo com o trem de pulsos. A mesma curva característica mostra que a máxima frequência de sequência permitida é bem mais elevada que a de partida.

Uma característica mostrada pela utilização de motores de passos é a de que existe também uma frequência máxima de parada, acima da qual se o motor parar poderá avançar passos.

Essas características do motor de passo sugerem que a frequência de excitação seja estabelecida de forma que o motor ao partir seja acelerado e, pouco antes de parar, seja desacelerado, como ilustram as Figuras I.19. e I.20.

Na Figura I.19. é mostrado o caso em que o deslocamento total (N_T passos) não permite tempo suficiente para que a frequência de excitação atinja o patamar de máxima frequência de sequência: o motor é acelerado até a metade do deslocamento, e desacelerado no restante.

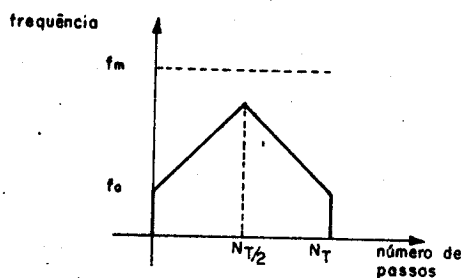


Figura I.19. Gráfico de Frequência de Excitação x Número de Passos em que a Máxima Frequência de Sequência não é alcançada.

Na Figura I.20. é mostrado um caso em que o patamar de máxima frequência de sequência é alcançado: o motor é acelerado durante N_A passos até atingir o patamar e permanece nesse patamar até que falem N_D passos para o final do deslocamento, sendo então desacelerado.

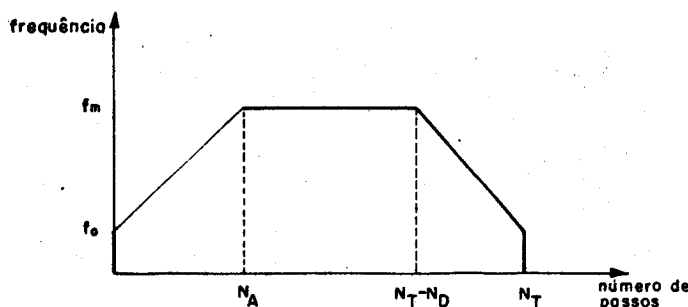


Figura I.20. Gráfico de Frequência de Excitação x Número de Passos em que a máxima frequência de sequência não é alcançada.

I.5.3. Potência de Excitação

Cada enrolamento de um motor de passo pode ser modelado por uma indutância (L) em série com uma resistência (R), portanto com uma constante de tempo L/R .

Especificamente para o motor de passo PD-12 da Philips, deve ser considerado para cada enrolamento o circuito apresentado na Figura I.21.

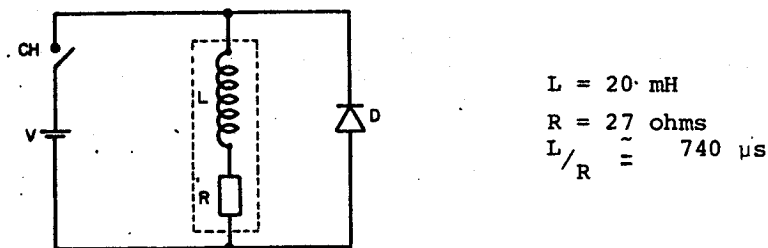


Figura I.21. Circuito de Excitação de Enrolamento do Motor PD-12 da Philips

O diodo D é utilizado para dar o caminho de descarga do enrolamento quando a chave CH é aberta. Ele garante a mesma constante de tempo L/R para a descarga.

Sendo o PD-12 um motor unipolar de 8 fases, conforme foi visto no item I.5.1.2., deve ser aplicada potência ao enrolamento durante intervalos de tempo equivalentes a quatro períodos da sequência de pulsos enviada ao motor e durante outros 4 períodos a potência deve ser retirada do enrolamento (Figura I.22). Dessa forma, considerando o tempo equivalente a 3 constantes de tempo (L/R) como o necessário para a tensão no indutor atingir 95% da tensão V da fonte, a frequência f limite de envio de pulsos ao motor é dada por:

$$f = \frac{8}{T_0} = \frac{8}{6} \cdot \frac{R}{L} = 1,8 \text{ KHz}$$

$$f = 1,8 \text{ KHz}$$

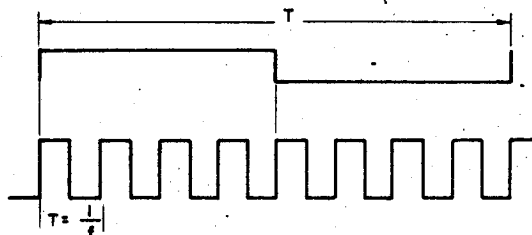


Figura I.22. Ilustração da Relação entre a Frequência do trem de pulso e a de Excitação de cada fase.

Isso representa uma limitação em velocidade para um motor que potencialmente responde a taxas de pulsos de até 15 KHz.

Existem várias propostas, algumas das quais discutidas a seguir, para sobrepor essa limitação. [21]

1.5.3.1. Excitação com Resistência Série

Uma resistência de valor conveniente é colocada em série com o enrolamento para diminuir a constante de tempo. Na Figura 1.23. é mostrado o circuito básico utilizado e os circuitos equivalentes para carga e descarga do enrolamento.

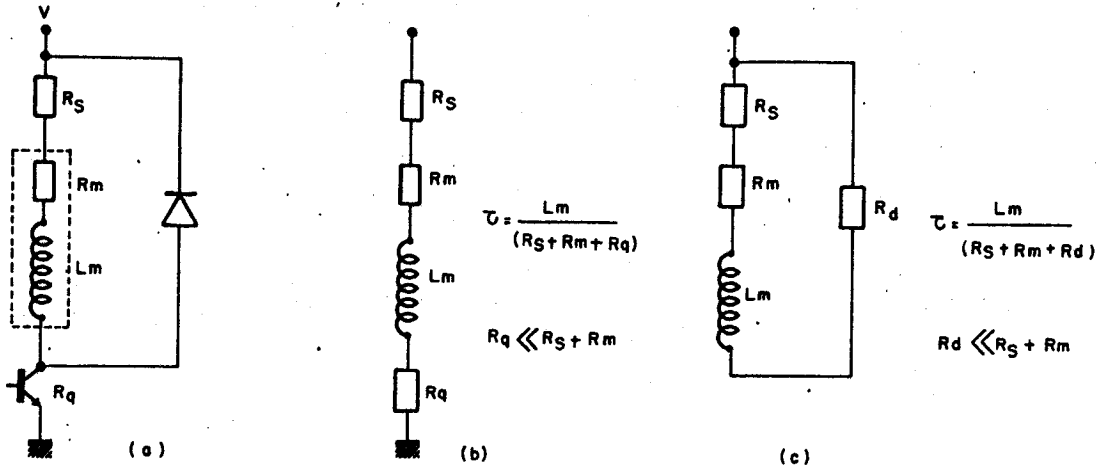


Figura I.23. Circuito Básico (a), Circuitos Equivalentes para Carga (b) e para Descarga (c)

I.5.3.2. Excitação com Dois Níveis de Tensão

Para alcançar aceleração rápida e alta velocidade é viável a utilização de um circuito onde sejam usados dois níveis de tensão, como o da Figura I.24.

Para o enrolamento L ser energizado é necessário que os transistores T_1 e T_2 conduzam. Dessa forma AV é aplicada sobre o enrolamento permitindo que a corrente aumente rapidamente (tanto mais rápido quanto maior for a tensão AV) até atingir um valor pré-estabelecido pelo sensor de corrente, quando então T_1 é cortado e a fonte de tensão BV é usada para manter a corrente pelo enrolamento. Quando T_2 é cortado o enrolamento se descarrega pela fonte AV .

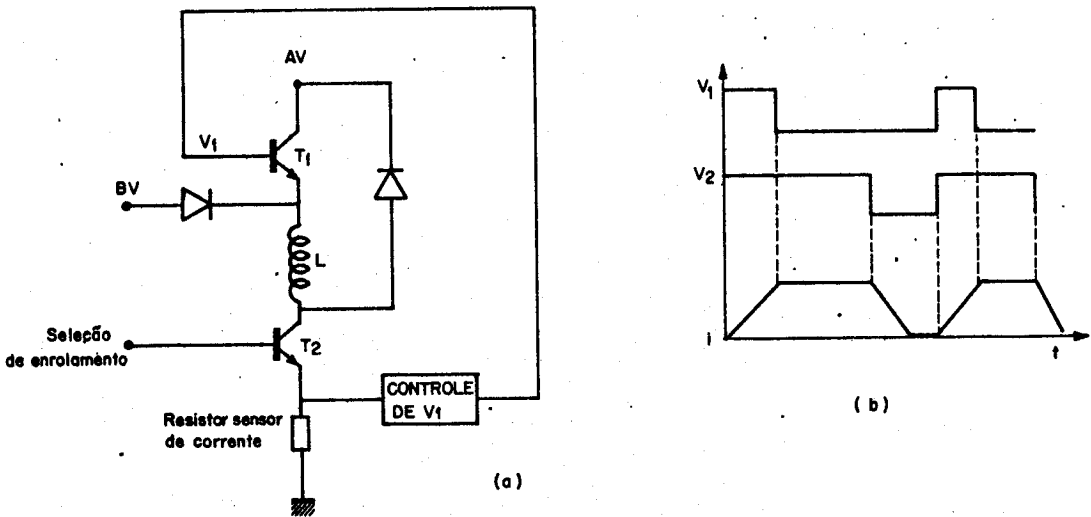


Figura I.24. Circuito para Excitação com Dois Níveis de Tensão (a) e Formas de Onda de Corrente pelo enrolamento e Tensões de Controle V_1 e V_2

I.5.3.3. Excitação com Tensão Chaveada

Outro modo eficiente de transferir potência aos motores de passo é o do circuito mostrado na Figura I.25.a.

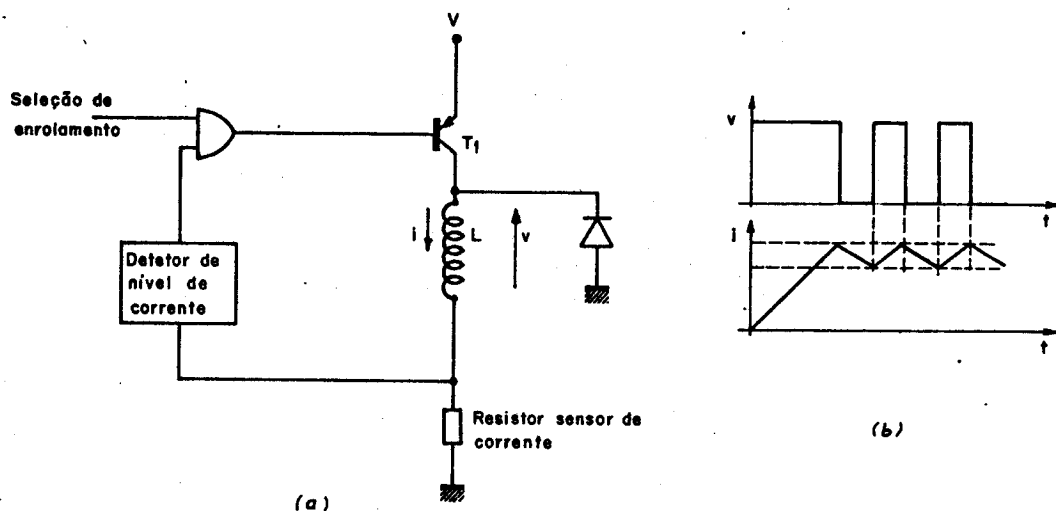


Figura I.25. Circuito para Excitação com Tensão Chaveada (a) e Formas de Onda de Corrente e Tensão sobre o enrolamento.

O detetor de nível de corrente é um circuito com histerese.

Partindo de uma corrente nula pelo enrolamento, quando T_1 é colocado em condução a corrente pelo enrolamento aumenta a uma taxa determinada por V/L até atingir o valor limite determinado pelo detetor de nível de corrente, quando então T_1 é cortado. A corrente pelo enrolamento então diminui até um valor permitido pelo detetor de nível, quando novamente T_1 é colocado em condução. As formas de onda de tensão e corrente pelo enrolamento estão representadas na Figura I.25.b.

REFERÊNCIAS

- | 1| Mammana, C.I.Z., "Processos de Construção de Microcircuitos", Revista Dados & Idéias, vol. 3, nº 5, Abril/Maio 1978, pgs. 47-71.
- | 2| De Forest, W.S., "Photoresist: Materials and Processes", 1975, McGraw-Hill.
- | 3| Jone, S., "Lithography for Artists", 1967, Oxford University Press.
- | 4| Gordon, E.I., Herriott, D.R., "Pathways in Device Lithography", IEEE Transactions on Electron Devices, vol. ED-22, nº 7, Julho 1975, pgs. 371-375.
- | 5| Chang, T.H.P., "Instrumentation for Electron Beam Lithography", Solid State Technology, Julho 1975, pgs. 33-37.
- | 6| Reis Fº, C.A., "Gerador Automático de Máscaras Usadas na Confecção de Circuitos Integrados II: Sistema Óptico de Projeção e Controle da Fonte de Luz", Publicação FEC 27/78, UNICAMP, 1978.
- | 7| Brito, A.S., "Projeto e Construção de uma Fotorrepetidora Usada para Fabricação de Máscaras de Circuitos Integrados", Tese de Mestrado a ser publicada, FEC/ UNICAMP, 1981.
- | 8| Mammana, C.I.Z., "Tecnologia Eletrônica-Referências", Publicação FEC 13/76, UNICAMP, 1976.
- | 9| Mammana, C.I.Z., "Um Sistema de Implantação de Tecnologias de Confecção de Circuitos Integrados", VII SEMISH, Campinas, Julho 1980.
- | 10| Dill, F.H., "Optical Lithography", IEEE Transactions on Electron Devices, vol. ED-22, nº 7, Julho 1975, pgs. 440-444.
- | 11| Sullivan, P.A., McCoy, J.H., "Determination of Wavelength and Excitation Voltage for X-Ray Lithography", IEEE Transactions on Electron Devices, vol. ED-23, nº 4, Abril 1976, pgs. 412-418.
- | 12| O'Malley, A.J., "Technological Implications in the Photomasking Process", Solid State Technology, Junho 1975, pgs. 40-45.
- | 13| Sousa, M.F., "Sistema Digital de Posicionamento para Geração de Artes Finais", VI SEMISH, São Paulo, Julho 1979.
- | 14| Weber, H.I. e outros, "Desenvolvimento de Tecnologia Própria em Periféricos de Computador", Relatório Final do Contrato de Pesquisa FINEP/UNICAMP-GÉPROM IF/193, 1978.
- | 15| Bezerra, P.C., "PAC-1: Um Sistema de Auxílio a Projetos de Circuitos Integrados", V SEMISH, Rio de Janeiro, Julho 1978.
- | 16| Bezerra, P.C., Sousa, M.F., "Um Algoritmo para Preenchimento Rápido de Figuras", VIII SEMISH, Florianópolis, Julho 1981.

- [17] Hill, F.J. e Peterson, G.R., "Digital Systems: Hardware Organization and Design", John Wiley & Sons, 1978.
- [18] Sousa, M.F., "O SACCO - A Versão LED-002", VII SEMISH, Campinas, Julho 1980.
- [19] Mammana, C.Z., "Linguagem para Geração de Figuras e Texturas", Codex RG-005, 1976.
- [20] Mead, C., Conway, L., "Introduction to VLSI Systems", Addison-Wesley, 1980.
- [21] Kuo, B.C., "Theory and Applications of Step Motors-Step Motor as Control Devices", West Publishing Co., 1974.
- [22] Philips, "Data Handbook of Electronic Components and Materials - Part 6-B", 1972.
- [23] Beling, T.E., Kuo, B.C., "Theory and Applications of Step Motors: Permanent Magnet Step Motors", West Publishing Co., 1974.
- [24] Bezerra, P.C., "SPA-D: Um Sistema de Projetos Automatizados de Circuitos Integrados Digitais", Codex RT-021, 1980.