

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

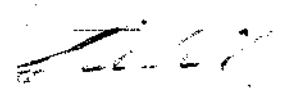
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA

Este exemplar pertence à redação final da tese
defendida por _____

_____ pela Comissão

Julgadora _____


Orientador

TESE DE MESTRADO

Título : SISTEMA AUTOMÁTICO PARA AVALIAÇÃO
DE CAMPOS IONIZANTES

Autor : Nilmar Lins Pimenta

Orientador : Saide Jorge Calil

Campinas, São paulo, 1992.

À minha mãe Maria Auxiliadora
Pimenta, irmãos e família.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer aos amigos que durante esses três últimos anos deram à vida e a este projeto seu verdadeiro significado.

Ana Cláudia de Almeida Delfini, Adriano Lopes Cruz, Adriana Ioels, Alexandra Sergenti, Alberto Carvalho Pimenta, Antonio Alvarenga, Carlos Eduardo Mello, Celina, Eddie Alonso Junior, Elsie Lins, Herbert e Renata, Hernán Gomez, Hélio Leitão, José Antônio Nê, Marly e Cícero Guimarães, Marisa Pereira, Marlene Lins, Marta Costa, Maria Augusta Leão, Niomar Lins Pimenta, Rosana Rocha, Roberto Ferraz, Simone Dias, Reinaldo Akikubo, Silvana Dias, Walter Gentil Filho.

Agradecimentos aos amigos do Centro Técnico de Pesquisas e Experimentos do Instituto "Dante Pazzanese" de Cardiologia, em especial:

Eng^{os}. Hernán Gomez, Eddie Alonso, Reinaldo Akikubo, Rodrigo Farias, Dra. Anency Gianotti, técnicos Francisco Tadeu Vieira, Wilson e Lourdes Trópico.

Agradecimentos aos amigos do Centro de Engenharia Biomédica, em especial:

Engº. Alexandre Hermíni, Rita, Luzia, Patrícia, Marta e Gérson, pela amizade e apoio.

À Fundação Centro de Pesquisas e Inovação Tecnológica e a Fundação Universidade do Amazonas que financiaram este projeto.

À Universidade Estadual de Campinas - Departamento de Engenharia Biomédica na pessoa do profº. Dr. Saide Jorge Calil, orientador desta tese.

" Penso a vida como é e pergunto por que ?

Penso a vida como a quero e pergunto por que não ?"

Bernard Shaw

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um sistema automático para avaliação de campos ionizantes e não ionizantes. O sistema é constituído por um acionador cartesiano projetado para operar automaticamente, com três graus de liberdade. Dessa forma fica possível o posicionamento de um transdutor, capaz de executar a leitura de campos ionizantes ou não, em um ponto qualquer de um meio de interesse. No caso de campos ionizantes, tal dispositivo permite a leitura da dose absorvida no meio, e consequentemente a análise das curvas de isodose. Dessa forma, é possível o conhecimento do comportamento real do equipamento radioterapêutico quanto às suas curvas de isodose, permitindo sua operação com maior segurança e confiabilidade. O equipamento desenvolvido possibilita ainda que sejam realizados estudos não só na física médica, bem como no desenvolvimento de estudos no campo da robótica e controle, que venham a otimizar o desempenho deste projeto. Como não existe até o momento nenhum fabricante nacional deste produto sua produção no país, em escala industrial, permitirá que centros radiológicos possam contar com essa ferramenta de vital importância para o trabalho correto no campo da radiologia.

ABSTRACT

It is presented in this work , an automatic system for studying the ionizing fields. The system is composed by a cartesian maipulator designed to operate with three degrees of freedom. This way it becomes possible to position the transducer, that is able to read the ionizing fields ,wherever desired in a simulator medium . This equipment permits the reading of the absorbed dose in the medium, and the consequent analisys of the isodose curves. With this information is possible the knowledge of the real behavior of the radiotherapeutic equipment refering to its isodose curves, permitting operation with safe and confiability. The equipment developed gives the possibility that not only studies in medical physics could be accomplished, but also the studies in control and robotics that can otimize the performance of this design. As there isn't any brazilian manufacturers of this device, the production in industrial scale, will permit that radiological centers can use this important device for correct work in radiological fields.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMENTOS.....	1
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 2- FUNDAMENTOS TEÓRICOS	
2.1 Introdução.....	05
2.2 Fundamentos da física nuclear.....	05
2.3 Absorção de energia.....	07
2.4 Unidades de medida de radiação.....	10
2.5 Energia transferida por uma fonte de radiação e a dose absorvida pelo meio.....	13
2.6 Métodos para medida de dose.....	16
2.7 Câmara de ionização padrão.....	17
2.8 Câmara de ionização comercial.....	20
2.9 Funções usadas no cálculo de dose.....	23
2.10 Porcentagem da dose.....	27
2.10.1 Influência da profundidade e energia do fóton na medida da dose.....	27
2.10.2 Influência da área do campo na dose.....	30
2.11 Medida da dose.....	32
2.12 Traçado das curvas de isodose.....	34
2.13 Superfícies de isodoses- Curvas de isodose em tres dimensões.....	36

CAPÍTULO 3- O MANIPULADOR CARTESIANO

3.1	Formulação do projeto.....	40
3.2	Concepção do projeto.....	42
3.2.1	Motor de passo.....	43
3.2.1.1	Características do motor de passo....	43
3.2.1.2	Tipos de motor de passo.....	47
3.3	Escolha do tipo de transmissão.....	59
3.4	Configuração do manipulador cartesiano.....	65
3.5	Projeto básica.....	72
3.5.1	Modelagem matemática das partes mecâni- cas.....	72
3.5.2	Análise da sensibilidade.....	81
3.5.3	Especificação das partes mecânicas.....	81
3.5.4	Projeto executivo.....	85

CAPÍTULO 4- SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS

4.1	Introdução.....	88
4.2	"Hardware " de controle e acionamento do mo- tores de passo.....	89
4.2.1	Introdução.....	89
4.2.2	Circuito de controle.....	91
4.2.3	Circuitos de "buffer" e endereçamento....	103
4.3	"Hardware para aquisição de dados.....	115
4.4	"Software" do sistema.....	121

CAPÍTULO 5- RESULTADOS E CONCLUSÕES

5.1 Procedimento de testes para o manipulador car-	
tesiano.....	127
5.2 Procedimento de teste do circuito de aquisi-	
ção de dados e "software" gráfico.....	142
BIBLIOGRAFIA.....	147
ANEXOS.....	149

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O tratamento de doenças que necessitam da utilização de equipamentos radioterapêuticos, requer fundamentalmente a máxima precisão possível, visando atingir apenas os tecidos cancerígenos e evitando assim a destruição dos sadios, causando sequelas irreversíveis ao paciente (1). O uso de equipamentos radioterapêuticos com capacidade de fornecimento de energia da ordem de megavolts representa um grande avanço na melhoria da qualidade do tratamento de tecidos cancerosos (6). A utilização de tais equipamentos requer, de forma mais apurada, o conhecimento da dose distribuída pela fonte de radiação no meio de interesse. Tal conhecimento, não se restringe apenas à dose aplicada sobre o tecido canceroso, mas à que atinge os órgãos normais presentes na região irradiada. Apesar da referência a fontes de extra-alta energia, onde a necessidade das características das curvas de isodose (regiões do espaço irradiado com mesma dose) são mais críticas, tal critério aplica-se com igual rigor a fontes de alta e baixa energia.

Dessa forma, pode-se afirmar que o objetivo fundamental da medida da radiação (dosimetria) é o de determinar, com precisão, a dose absorvida em todos os pontos de interesse no paciente (2). Já que a medida direta

é raramente possível, métodos indiretos foram desenvolvidos e vem sendo aplicados com frequência.

Entre os métodos indiretos para determinação da dose, o mais utilizado consiste em aplicar-se uma fonte de radiação ionizante sobre um meio que simule um tecido biológico. Água e tecidos biológicos úmidos possuem a mesma característica de atenuação e espalhamento de fótons, sendo por essas razões utilizada como meio simulador(13). Para execução da medida de dose em todo o volume simulador, é necessário que se mova a câmara de ionização dentro desse meio. A cada posição de interesse, para estudo das curvas de isodose (vide capítulo 2 item 2.8), se efetuará a leitura da dose absorvida. Para a execução dessa tarefa com precisão e segurança é necessário que se desenvolva um dispositivo mecânico que opera automaticamente, evitando a presença de qualquer pessoa nas proximidades da radiação.

O dispositivo mecânico, bem como seu acionamento, devem ser capazes de posicionar, automaticamente e com precisão, a câmara de ionização em qualquer ponto do volume do meio simulador. À cada posição alcançada, o equipamento deverá armazenar, em memória digital, os valores lidos e traçar em terminal de vídeo as curvas de isodose do equipamento radioativo em estudo. Obtendo-se tais curvas pode-se compará-las com o padrão do fabricante, verificando-se o comportamento real do equipamento.

Seu desenvolvimento justifica-se, sobretudo, pela necessidade de suprir centros radiológicos do país com tais

equipamentos de aferição além de substituir importações visto não haver, até o momento, um similar nacional .

O trabalho de confecção desse equipamento englobou desde o desenvolvimento do dispositivo mecânico de acionamento (constituído por um manipulador cartesiano com tres graus de liberdade), o "hardware" digital, "hardware analógico e "software" de controle e aquisição de dados e tratamento gráfico.

Apesar desse trabalho ter sido direcionado especialmente para o estudo de campos ionizantes, sua aplicação se estende também a campos ultra-sônicos, ou qualquer outra aplicação onde se deseje posicionamento tridimensional com precisão. Para o estudo de campos ultra-sônicos faz-se necessário apenas a utilização de placa A/D com resolução superior a utilizada neste projeto(8bits), suficiente para o estudo de curvas de isodose (vide capítulo 4 item 4.3) .

Esta dissertação está organizada em seis capítulos.

No capítulo 2(Fundamentos Teóricos), apresenta de forma sucinta, os conceitos empregados em dosimetria, bem como a metodologia prática pra construção das curvas de isodose. O capítulo 3(O Acionamento Mecânico) descreve todo desenvolvimento das estruturas mecânicas, procedimentos e métodos empregados no projeto. O capítulo 4(Hardware e Software do Sistema) contem a descrição dos sistemas eletrônicos desenvolvidos para acionamento do dispositivo mecânico , do circuito de aquisição de dados, bem como o

software implementado no projeto. O capítulo 5 apresenta os testes realizados e resultados obtidos em cada segmento do projeto , além das sugestões para otimização do equipamento.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Introdução :

A dosimetria da radiação ou simplesmente dosimetria, trata da dose absorvida, resultante da interação da radiação ionizadora com a matéria (2). Neste capítulo, serão apresentados conceitos físicos que justificam a utilização de câmaras ionizadoras de ar, bem como a metodologia aplicada na prática para aquisição dos dados necessários para o levantamento das curvas de isodose, de fontes radioativas baseados na fundamentação dos autores apresentados na referência bibliográfica deste trabalho.

2.2 Fundamentos da física nuclear:

2.2.1 Radioatividade natural e artificial:

A radiação é um fenômeno físico, que ocorre quando ocorre a liberação de energia do átomo na forma de fótons ou partículas aceleradas (3). O núcleo de um átomo não possui suas partículas (neutrons e prótons) em estágio de repouso, mas sim em constante movimento. Tais movimentos ocasionam diversas colisões, o que irá provocar transferência de energia entre elas. Em núcleos estáveis, a energia adquirida

em tais colisões é muito menor que as forças de coesão entre elas não permitindo que partículas se liberem, criando dessa forma uma nova estrutura nuclear.

Já em núcleos radioativos sempre existe a probabilidade de que, após determinado número de colisões, as partículas nucleares adquiram suficiente energia para escaparem do núcleo. À medida que o número de prótons e neutrons aumenta, fica evidente que a probabilidade de desintegração do núcleo também aumentará.

Na maior parte dos elementos com número atômico menor que 82 existe, pelo menos, uma configuração do núcleo que é estável. Neste caso, as forças de atração entre as partículas não permite desintegração do núcleo.

Com o desenvolvimento de equipamentos de alta energia como cyclotron, betatron, gerador de Van Graff, acelerador linear e o reator nuclear, muitos novos isótopos radioativos foram descobertos. Esses novos isótopos são produzidos, bombardeando-se núcleos estáveis com neutrons e prótons de alta energia, deuterons, partículas alfa ou raios gama. Devido a ínfima secção transversal do núcleo (10^{-28} cm²), apenas uma pequena porcentagem dos projéteis lançados colidem com as partículas nucleares provocando a absorção ou ejeção de alguma partícula, formando uma nova substância. Dessa forma para conseguir-se uma quantidade apreciável de material radioativo, ou seja, uma quantidade capaz de ser separada quimicamente, o núcleo deve ser bombardeado por um longo tempo, sob intensa radiação. Nesse caso, como num

reator nuclear, é possível se produzir um novo material, capaz de ser separado quimicamente.

2.3 Absorção de energia

Quando um feixe de fótons, emitido por um material radioativo passa por um meio, como por exemplo, o tecido biológico, parte da energia carregada pelo feixe é transferida para o meio onde pode causar graves problemas ao organismo (6). Os efeitos causados por tal interação são muito complexos. No entanto, para os objetivos deste trabalho, pode-se descrever tais efeitos, através do modelo simplificado apresentado na figura 2.1. Inicialmente, ocorre a colisão entre fótons e um elétron do tecido biológico, provocando uma radiação que se espalha por todo tecido, ainda fazendo com que elétrons se movimentem em alta velocidade (fase A da figura 2.1). Em sua trajetória através do tecido, o elétron em alta velocidade provoca ionização, excitação dos átomos e quebra de moléculas. Todos esses efeitos provocam destruição biológica. Na verdade, um elétron em alta velocidade, dentro de um meio pode ter sua trajetória alterada, como mostra a figura 2.2. Na figura 2.2.a o elétron sofre uma série de colisões que vão alterando sua trajetória e produzindo a ionização do meio.

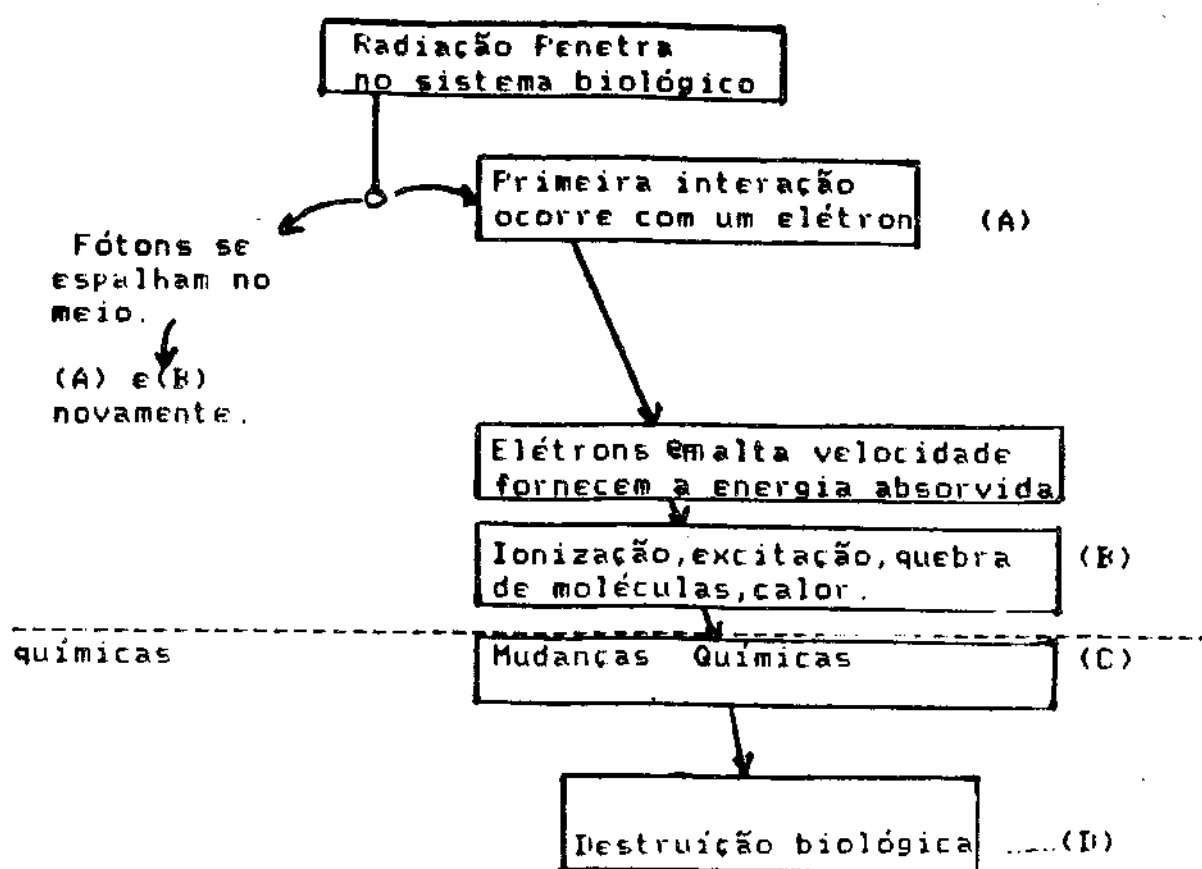


Fig. 2.1- Modelo simplificado da trajetória de um feixe de fótons em um meio biológico.

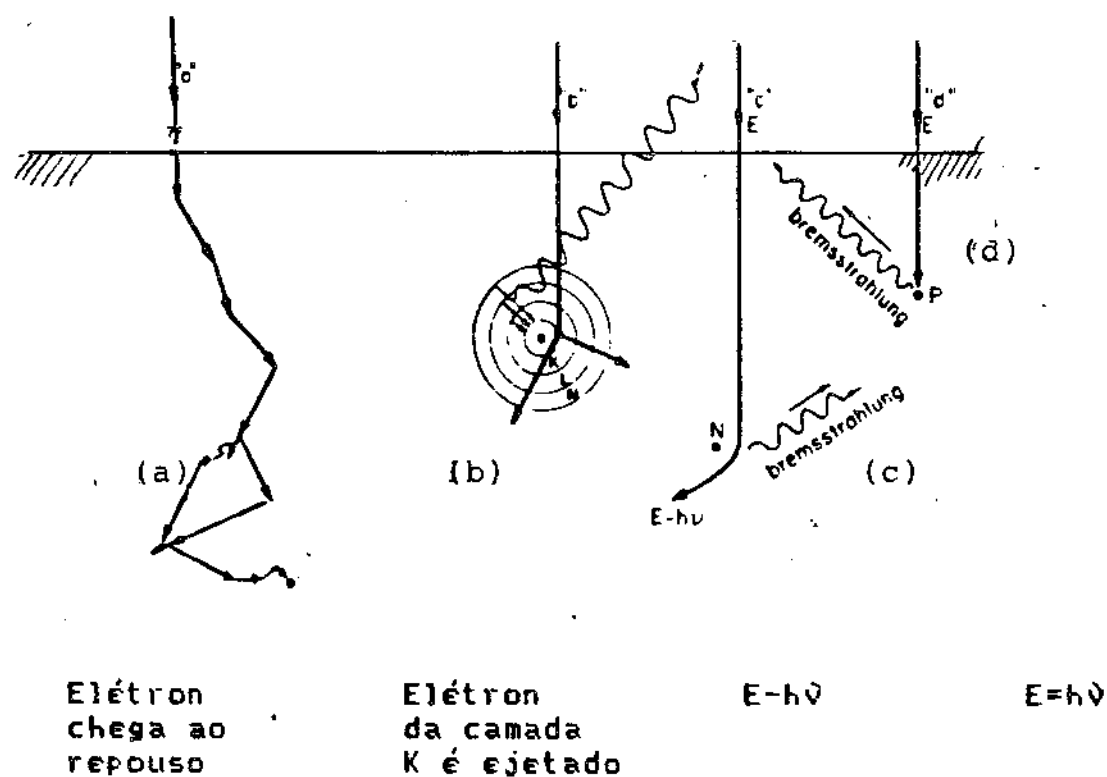


Fig. 2.2-Modelo simplificado da trajetória de um elétron em um tecido biológico.

Em cada colisão, certa quantidade de energia é fornecida aos elétrons. Por exemplo, um elétron que esteja com 100 KeV sofrerá até 1000 interações, até que atinja o repouso, sendo que toda essa energia será dissipada na forma de calor.

Na trajetória da fig. 2.2.b, o elétron colide diretamente com um outro elétron da camada K. Caso o elétron em movimento tenha suficiente energia para arrancá-lo, haverá um "buraco" nessa camada, sendo que os elétrons das camadas L ou M irão preenchê-la, emitindo para tal uma radiação característica do elemento.

Pode ser que eventualmente, um elétron passe muito próximo ao núcleo do átomo sofrendo um desvio na sua trajetória (fig. 2.2.c), ocasionando emissão de radiação. A perda de energia aparecerá como um fóton com energia $h\nu$ e a trajetória do elétron irá se curvar com uma resultante $E-h\nu$. Essa radiação recebe o nome de "bremsstrahlung" (radiação branca) (6).

No caso da trajetória d, mostrada na fig. 2.2.d, o elétron choca-se diretamente com o núcleo e pára completamente, provocando dissipação de energia. Esta energia dissipada chama-se também "bremsstrahlung". Esse tipo de interação é muito rara, devido ao pequeno tamanho do núcleo, mas estatisticamente é possível de ocorrer.

Todas essas interações podem acontecer no tecido biológico, sendo que grande parte da energia é convertida em calor.

Do que foi exposto até o momento observa-se que a utilização de radiação em aplicações médicas requer cuidados que evitem a destruição de tecidos sadios ou qualquer outro dano ao organismo devido as mudanças químicas que ocorrem. Dessa forma faz-se necessário o conhecimento preciso da energia depositada no tecido. Assim, devem ser conhecidas as grandezas de medida de radiação, bem como métodos para análise qualitativa da mesma, possibilitando tratamentos radioterapêuticos com maior segurança.

2.4 Unidades de medida e radiação :

A medida de radiação ou dosimetria tem por finalidade quantificar a energia depositada em um meio, descrever o fluxo de radiação na sua forma e as influências do ambiente que o modificam (7). Serão apresentadas a seguir as unidades de medida, que auxiliam a quantificação do fluxo radioativo.

Fluência.

A radiação de um gerador de raio X, consiste de um fluxo de fótons com espectro contínuo de energia. Se o fluxo fosse monoenergético, um meio de descrevê-lo seria especificar o número de fótons dN que cruzarão uma determinada área dA , tomada perpendicularmente ao fluxo. A relação entre o número de fótons e a área que este feixe atravessa, é denominada pela International Commission on

Radiological Units and Measurements (ICRU) de fluência ou foto-fluência, representada pela letra grega Φ . Em termos matemáticos é representada pela equação .

$$\Phi = dN/dA \quad (1)$$

Fluência da energia:

Uma alternativa e também um bom caminho para a descrição de um fluxo radiativo seria fazê-lo em termos da energia do fluxo . A quantidade de energia que cruza uma unidade de área é chamada energia da fluência e é representada pela letra grega Ψ . Sua representação matemática é dada pela equação 2 onde $h\nu$ é a energia de um fóton :

$$\Psi = dN \cdot h\nu / dA \quad (2)$$

Razão de fluência.

Também é interessante se conhecer a quantidade de fótons que passa por uma unidade de área num dado intervalo de tempo. Assim a razão de fluência é definida matematicamente pela equação 3:

$$\text{Razão de fluência} = d\Phi / dt = dN/dA \cdot dt \quad (3)$$

Razão de fluência da energia :

A energia que flui através de uma unidade de área em um dado intervalo de tempo é chamado de razão de fluência de energia, sendo sua expressão matemática definida pela equação 4.

$$\text{Razão de fluência da energia} = d\Psi / dt \quad (4)$$

Embora esses conceitos sejam bastantes simples, a representação de um feixe de radiação baseado nos mesmos é difícil, tendo em vista que, o fluxo radioativo sempre contém fótons de diferentes níveis energéticos. Para se descrever um feixe radioativo de forma real com essas grandezas, é necessário conhecer-se o número e a energia de todos os fótons do mesmo(13). Essa dificuldade levou a que se medisse a radiação pelo efeito que causa ao meio (forma indireta). Dessa forma definiu-se parâmetros que avaliam a intensidade de ionização do meio e a energia consequente, devido à passagem de um fluxo radioativo. Esses parâmetros são a exposição e a dose absorvida.

Exposição:

A exposição, medida em roetgens, é a habilidade que uma fonte de radiação possui de ionizar o ar. Segundo o ICRU, exposição como $X=dQ/dm$ (5) onde dQ é o valor absoluto

das cargas presentes em um volume de ar com massa dm conhecida, quando um raio de fótons incide nesse espaço, provocando total ionização do meio.

Dose absorvida:

é a medida da dose absorvida de uma fonte de radiação por uma unidade de massa de um determinado meio (2).

2.5 Energia transferida por uma fonte de radiação e a dose absorvida pelo meio :

Em termos de absorção e transferência de energia, pode-se utilizar como modelo para interação entre um fóton e um determinado meio, aquele apresentado na figura 2.3. Através desse modelo, pode-se entender melhor o conceito físico de kerma e dose absorvida.

A transferência de energia de um raio de fótons para um meio qualquer, ocorre em dois estágios (figura 2.3). No primeiro estágio, um fóton com energia $h\nu$ ao incidir em um meio interage com um elétron transferindo parte de sua

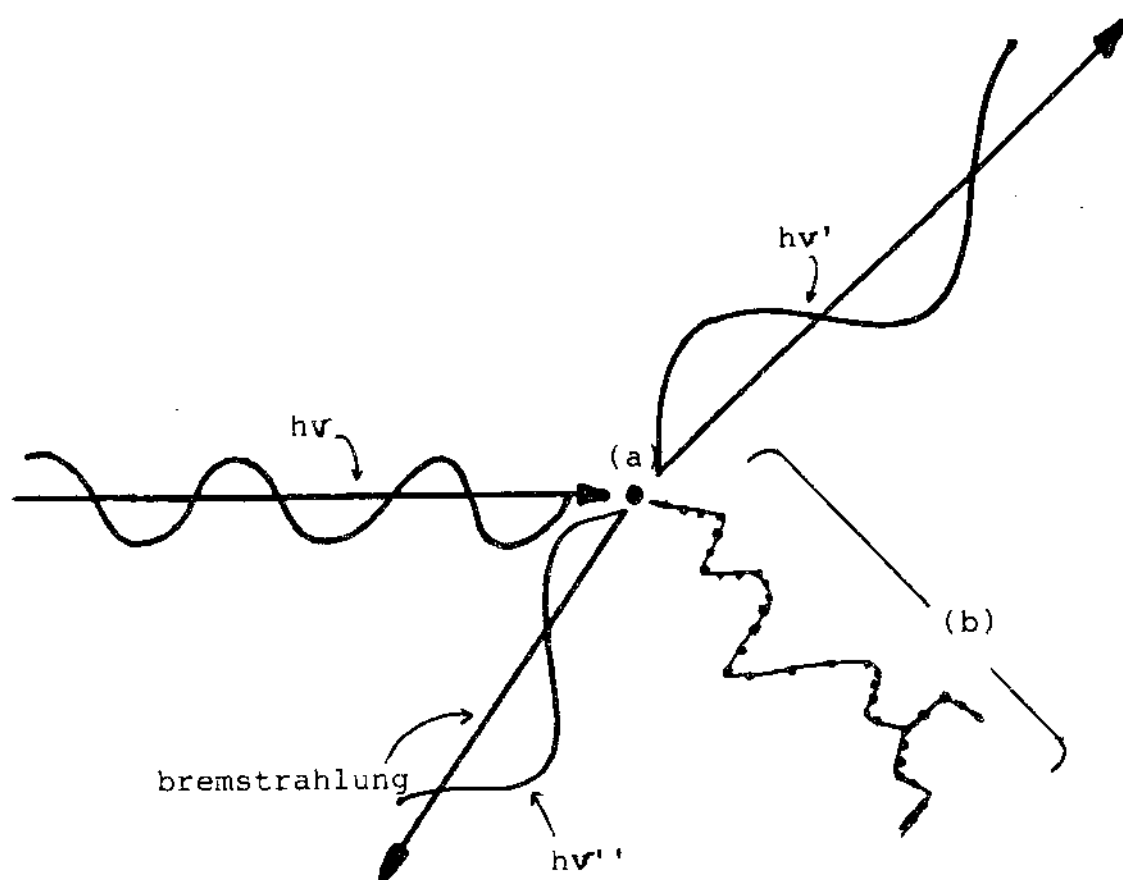


Fig. 2.3- Modelo de transferência de energia entre um raio de fótons e um meio.

energia para a partícula, sob a forma cinética (ponto a). No estágio seguinte, o elétron, com alta energia, escapa do átomo e inicia uma trajetória b, onde irá colidir com outros elétrons, transferindo energia para o meio.

A transferência de energia que ocorre no ponto "a" (fóton-elétron) é chamada KERMA, e a transferência que ocorre ao longo da trajetória "b" é chamada DOSE ABSORVIDA.

O kerma é a unidade de medida introduzida pelo ICRU, para descrever a interação inicial entre fótons e o meio. A palavra kerma, é a sigla de "kinetic energy released in the medium". Sua expressão matemática é dada pela equação $K = E_{kr} / dt$ (5) onde E_{kr} é a energia cinética fornecida pelos fótons aos elétrons num volume cuja massa é dm .

É possível observar na figura 2.3, que nem toda energia inicial do fóton é transmitida ao meio. Através da figura esquemática, vemos que um fóton de energia $h\nu'$ é espalhado no ponto "a" e que na trajetória "b", ocorre radiação "bremsstrahlung". Pode-se afirmar que a dose absorvida é igual ao kerma menos a energia perdida, devido ao efeito "bremsstrahlung".

Dose absorvida é considerada a grandeza de maior significado em radioterapia e radiobiologia (2). A diferença entre kerma e dose absorvida pode ser notada tomando-se novamente a figura 2.3. Conforme descrito, nem toda energia transferida no ponto "a" pelo fóton é retida no meio. A dose absorvida é a energia que fica realmente retida no meio e que produzirá ionizações e excitações ao longo de

toda trajetória "b" do elétron. A dose absorvida é definida pela equação (6):

$$\text{Dose absorvida} = dE_{mb} / dm \quad (6)$$

dE_{mb} é a energia depositada no meio com massa dm . É importante observar que a massa incremental dm deve ser tão pequena que possa ser considerada pontual. Dimensionalmente, a dose absorvida é definida como Joule/kg definida pelo ICRU como Gray.

2.6 Métodos para medida da dose absorvida

O único método direto para medida de dose absorvida é por calorimetria, no qual a elevação da temperatura de uma massa isolada de um meio é medida. Tal elevação de temperatura ocorre pelo fato de que ao se bombardear um meio com um feixe radioativo, a maior parte da energia absorvida elevará a temperatura, enquanto apenas uma pequena quantidade provocará mudanças químicas. Apesar de ser um método já intensamente estudado, não foi adotado por laboratórios de padronização. Dessa forma, as medidas de dose absorvida são realizadas até hoje, levando-se em consideração apenas a medida do nível de ionização do meio (7).

2.7 Câmara de ionização padrão

Apesar de um grande número de efeitos físicos (termoluminescência, fluorescência, fotocondutividade) terem sido utilizados para desenvolvimento de dosímetros, no atual estado da arte da radiologia, as câmaras de ionização ainda se manterão como principal ferramenta no estudo de dosimetria (13).

A câmara de ionização padrão é utilizada em grandes laboratórios em todo o mundo, para aferição de câmaras mais simples utilizadas para leitura de radiação de equipamentos radioativos.

Uma câmara de ionização padrão está representada na figura 2.4. Um feixe de raio X, que vem de um "spot" focal limitado por um diafragma D, de área A, penetra uma câmara de ionização padrão. Elétrons entram em movimento em todo cone FQR, mas não ficam confinados neste cone. Alguns desses elétrons, são projetados na direção de seu ponto de origem, enquanto outros, se deslocam num ângulo qualquer em relação ao fluxo. Logo, íons serão produzidos numa região muito maior que a representada pelo cone FQR. Esta região se estenderá a partir do volume FQR até uma distância x em todas as direções. O valor de x define a distância máxima onde o elétron ainda possui suficiente energia para ionizar o meio.

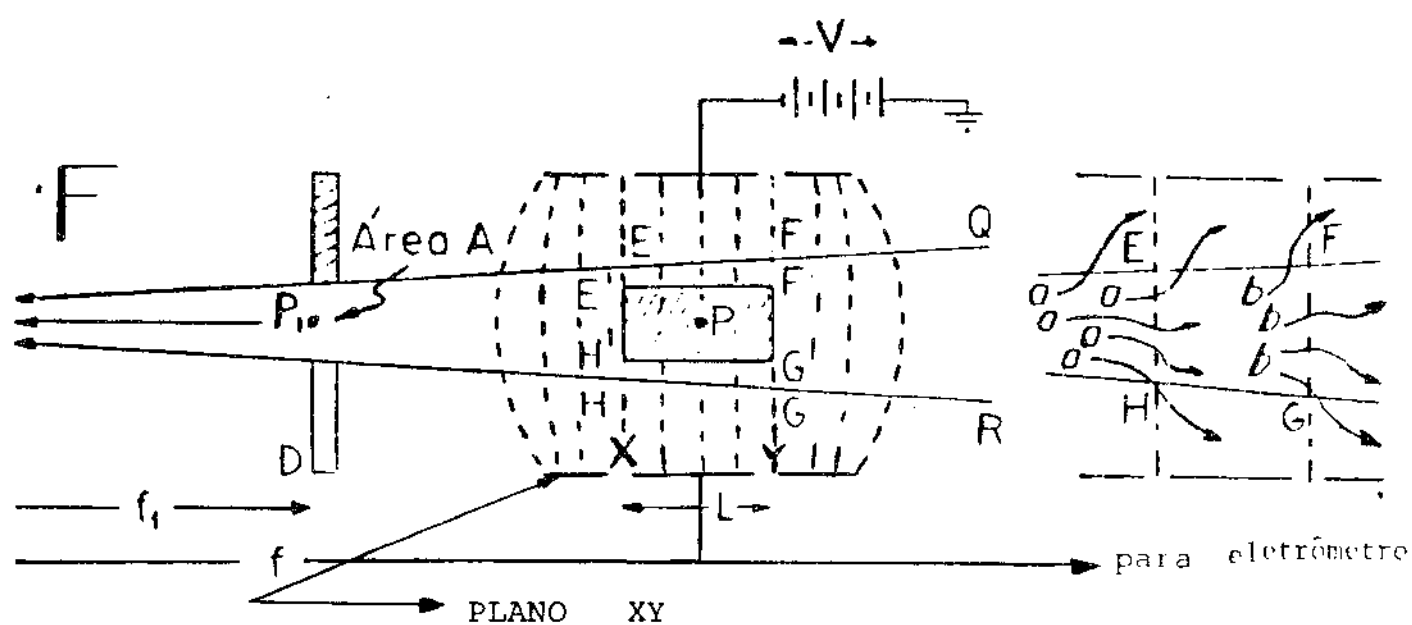


Fig. 2.4-Esquema básico de uma câmara de ionização padrão. (The physics of radiology-Johns & Cunningham)

Através da figura 2.4 , pode-se observar que os íons produzidos pelo feixe de raio X, serão coletados por duas superfícies metálicas, colocadas paralelamente ao fluxo do raio X, a uma distância maior que o alcance máximo x . O prato inferior é constituído por tres secções, sendo as duas mais externas aterradas e, a secção do meio, conectada a um eletrômetro medidor de carga. O prato superior é conectado ao um borne negativo de uma bateria. Dessa forma, o prato inferior receberá cargas negativas, incluindo o prato central não aterrado. A direção em que os íons se movem está representada pelas linhas de força pontilhadas. Na região central, as linhas de força são tão fortes, que todos os íons negativos, entre os planos x e y indicados na fig.2.4 , serão coletados pelo eletrômetro.

Pode-se agora tomar uma massa de ar e medir a ionização produzida pelos elétrons em movimento dentro dela e determinar a exposição de acordo com a equação $x = dQ/dm$. Deseja-se calcular a exposição em um ponto(P) no eixo a meio caminho de x e y . Pode-se observar que íons são coletados do volume EFGH, cuja dimensão é dada pela expressão $Af * L$, onde L é o comprimento do prato coletor e Af é a área da secção transversal do fluxo no plano de P, a uma distância f da fonte. Se dQ é a carga coletada e ρ é a densidade do ar, tem-se que a exposição em P será :

$$E_p = dQ/dm = dQ / \rho * Af * L \quad (B)$$

A medida da exposição requer no entanto, alguns cuidados para que se consiga a precisão necessária. Se os pratos da câmara estiverem muito próximos do volume EFGH da figura 2.4, então os elétrons em movimento atingirão as placas antes de alcançarem o equilíbrio eletrônico, ou seja, antes de terem alcançado seu campo máximo de atuação, não tendo ainda dissipado toda sua energia e produzido todos os íons possíveis. Dessa forma, a carga recebida pelos pratos seria menor que a relativa ao nível de radiação em estudo. Essa necessidade leva a grandes problemas construtivos, já que o alcance máximo dos elétrons excitados por fótons, com energia de até 3MeV, chega até a 1,5 m. Esse fator se complica quando sabemos que em radioterapia usa-se equipamentos com energia muito superior a 3MeV.

2.8 Câmara de ionização comercial :

A maior parte das câmaras padrão perdem em mobilidade e não podem ser usadas com o propósito de calibração, exceto em circunstâncias especiais ou em padronizações de laboratório. Isso levou ao desenvolvimento de câmaras de ionizações práticas que, embora convenientes, devem ser padronizadas regularmente, tomando como base uma câmara padrão (20).

As câmaras de ionização práticas são construídas normalmente no formato esférico ou cilíndrico. De uma maneira geral, essas câmaras são chamadas tipo dedal. Para

sua utilização são colocadas em ângulo reto com relação ao fluxo irradiado, quando então raios monodirecionais são medidos(4).

Para o funcionamento dessas câmaras, um campo elétrico é produzido pela aplicação de uma alta tensão (110 a 220 V) às paredes da câmara de ionização (fig. 2.5) , estando o coletor das cargas ionizadas ligado a um eletrômetro. Para evitar o aparecimento de correntes de fuga entre as paredes da câmara e a haste conectora, são colocadas peças isolantes confeccionadas de poliestireno ou teflon (fig. 2.5). Para medida de dose, as paredes da câmara devem ter um espessura capaz de manter fora da cavidade, qualquer carga originada externamente.

A carga de ionização (Q) produzida na massa de gás (M) pode ser relacionada com a dose absorvida pela expressão :

$$D_0 = (Q / M) * (W/e) \quad (9)$$

onde (W/e) é a energia necessária para causar uma ionização no ar. Essa energia depende do gás utilizado na câmara.

Se a câmara foi projetada para medir a dose absorvida num ponto de interesse, o volume deve ser pequeno, e as

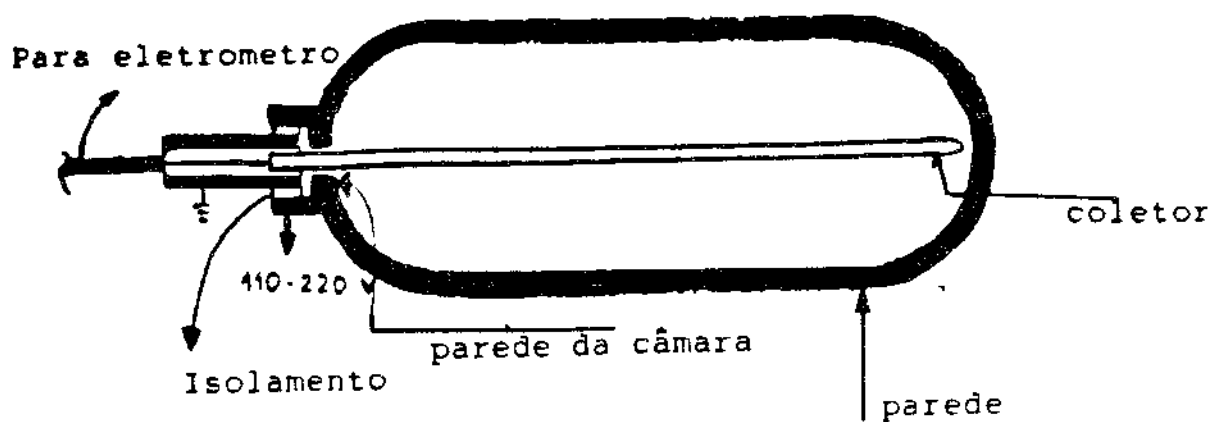


Fig. 2.5-Esquema básico de uma câmara de ionização tipo dedal. (Introduction to radiological physics and dosimetry-Attix).

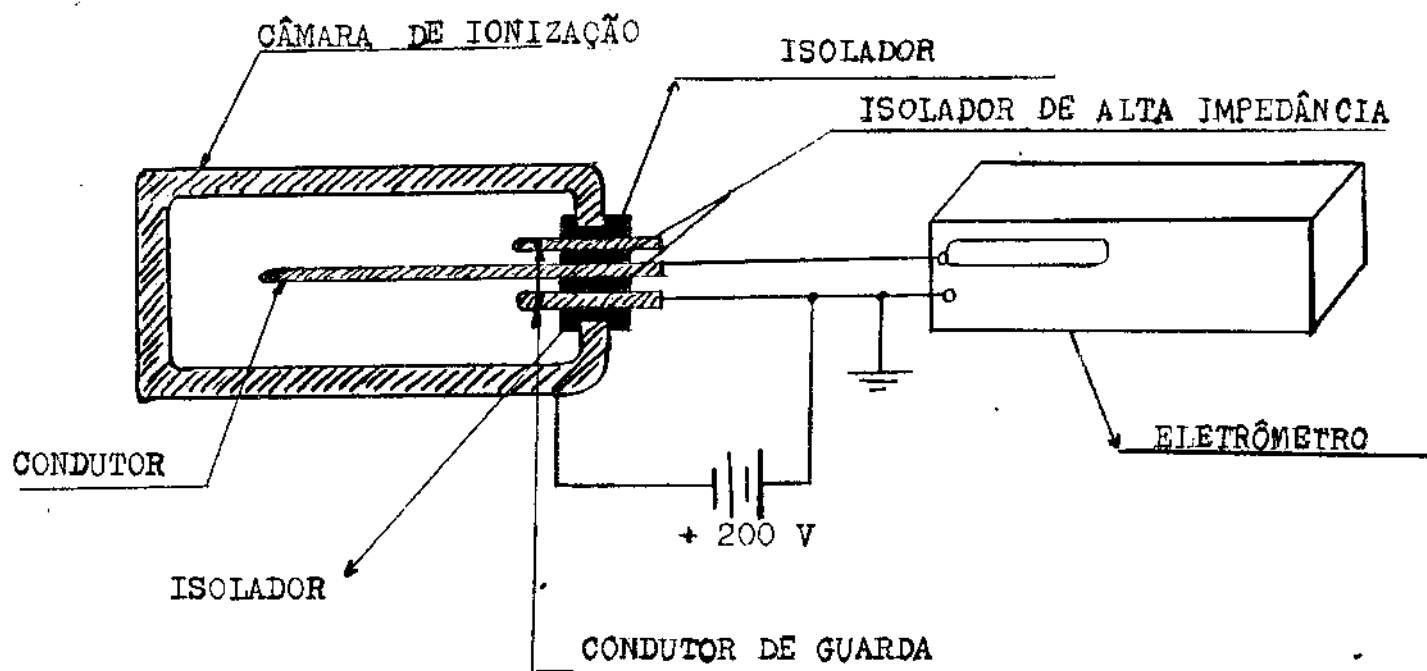


Fig. 2.6-Sistema prático para leitura de radiação conjunto câmara de ionização-eletrômetro.

paredes devem ter uma espessura tal que, conforme descrito para as câmaras padrão, as partículas de radiação incidentes atinjam seu equilíbrio eletrônico(6).

Devido ao baixo valor das cargas ionizadas tomadas no ponto de leitura da dose, faz-se necessário a amplificação desse sinal através de um equipamento mais sofisticado que os convencionais. O eletrômetro é o equipamento capaz de medir a tensão, por exemplo, em um capacitor de 500 picofarads sem que ocorram perdas significativas. Esse equipamento é capaz ainda de medir correntes de valor inferior a 10^{-12} amperes e cargas de até 5×10^{14} coulombs. Dessa forma, sua utilização é fundamental na leitura de grandezas radiológicas (8).

Um sistema prático para leitura de radiação utilizando-se uma câmara de ionização e eletrômetro, é apresentado na fig. 2.6. No sistema mostrado na fig. 2.6 a camada mais externa da câmara de íons é conectada através de um resistor a uma fonte polarizadora presente no eletrômetro. O eletrômetro possui frequentemente um mostrador digital e possibilidade de seleção da faixa necessária para medição.

2.9 Funções usadas no cálculo de dose :

Quando um paciente é colocado em um fluxo de fótons de quantidade e distribuição conhecidas, os fótons serão absorvidos e espalhados e ambas as características são modificadas. Este efeito deve-se às diferenças de absorção

de cada material, causadas pelas diferentes composições químicas. Para estudar estas mudanças, experimentos foram realizados utilizando-se um meio que se assemelhasse aos tecidos biológicos. Esse meio auxiliar é conhecido como simulador. O simulador deve ser constituído de um tipo de material que absorva e espalhe fótons da mesma maneira que tecidos biológicos. Para que se tenha efeitos radioativos semelhantes, o material deve ter a mesma densidade de um tecido biológico e o mesmo número de elétrons por grama (4). Água tecidos moles absorvem fótons quase que da mesma forma, e por essa razão vem sendo usada em muitas investigações sobre o comportamento de fluxos radioativos no tecido humano. O único problema prático vem das câmaras de ionização apresentarem problemas de efeito de corrente de fuga quando úmidas (5). No entanto, na maior parte das aplicações a água vem sendo o material mais usado.

A figura 2.7.b, mostra um fluxo de radiação incidente num simulador e a figura 2.7.a, mostra o mesmo fluxo de radiação sem o simulador. O tipo de fluxo radioativo é usualmente caracterizado, pela verificação das dimensões do campo, a uma distância específica da fonte.

Na figura 2.7.b, o campo tem uma largura W_s a uma distância F ou uma largura W_m a uma distância $(F+d_m)$, ou uma largura W_d a uma distância $(F+d)$.

Considerando-se dois pontos no eixo do fluxo radioativo, no ponto Y a uma profundidade d_m , encontra-se a dose máxima, enquanto o ponto X está a uma profundidade qualquer d . Para

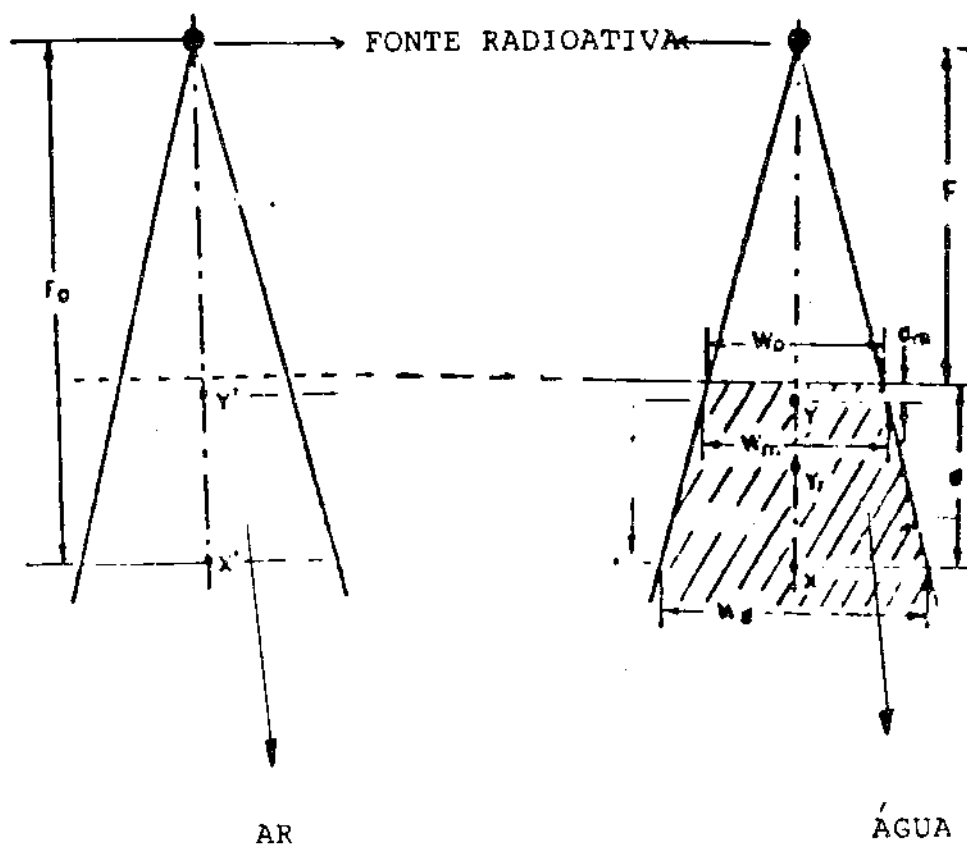


Fig. 2.7.a

Fig. 2.7.b

Fig. 2.7.a-Fluxo de radiação incidente no ar.

Fig. 2.7.b-Fluxo de radiação incidente em um meio simulador.

(The physics of radiology-John & Cunnihnam).

radiações geradas acima de 250 KeV o ponto Y estará na superfície do simulador, enquanto que para energias acima umas poucas centenas de KeV a dose máxima estará abaixo da superfície.

A radiação de Cobalto 60, é aproximadamente monoenergética com uma energia de 1,25 MeV. A profundidade da dose máxima aumenta com a energia, alcançando um valor de 5 cm para um spectrum contínuo com pico de energia de 25 MV. Os pontos Y' e X' mostrados na figura 2.7.a, estão na mesma posição do espaço que Y e X mas estão no ar, ou seja sem a presença de um meio simulador. Para se efetuar uma medida da dose no ar, um ponto qualquer de interesse deve possuir suficiente material para que ocorra um equilíbrio eletrônico. Depois de uma dada irradiação, a dose distribuída nos pontos X e Y serão definidas como D_x e D_y respectivamente enquanto que para o meio sem simulador serão, de forma similar, D'_x e D'_y .

Quatro funções, relação ar-tecido, fator backscatter, porcentagem de dose e a lei do quadrado inverso, são usadas para interrelacionar as doses nos quatro pontos. Para o traçado e análise das curvas de isodose, interessa apenas a análise mais cuidadosa da porcentagem da dose absorvida. Verifica-se especialmente, a variação que ocorre à medida que se afasta da fonte, o que será de grande auxílio em tratamentos médicos.

2.10 Porcentagem da dose :

Porcentagem de dose P , é a razão da dose no ponto X e dose no ponto Y , estando ambos localizados no mesmo simulador (fig. 2.7) . Esse valor é expresso em porcentagem, podendo ser descrito matematicamente pela expressão abaixo :

$$P(d, W_m, F, hv) = 100 * D_x / D_y \quad (1)$$

A porcentagem da dose, depende da profundidade d , da largura do fluxo W_m , da distância F da fonte até a superfície do simulador, e da intensidade de energia da radiação hv (6). Para melhor entendimento da influência de cada um desses parâmetros no cálculo de dose, estuda-se a seguir cada um deles detalhadamente.

Mantendo-se a mesma geometria do campo (d, W_m, F) constante, pode-se variar a intensidade $h\nu$ aplicada que para um mesmo ponto no espaço, a porcentagem da dose terá o mesmo valor.

2.10.1 Influência da profundidade e energia do fóton na medida da Dose :

As figura 2.8 e 2.9 a seguir, mostram a variação da dose com a profundidade para uma gama de radiações. A figura 2.8 mostra a dose para profundidades até 16 mm e a figura 2.10 para profundidades até 25 cm.

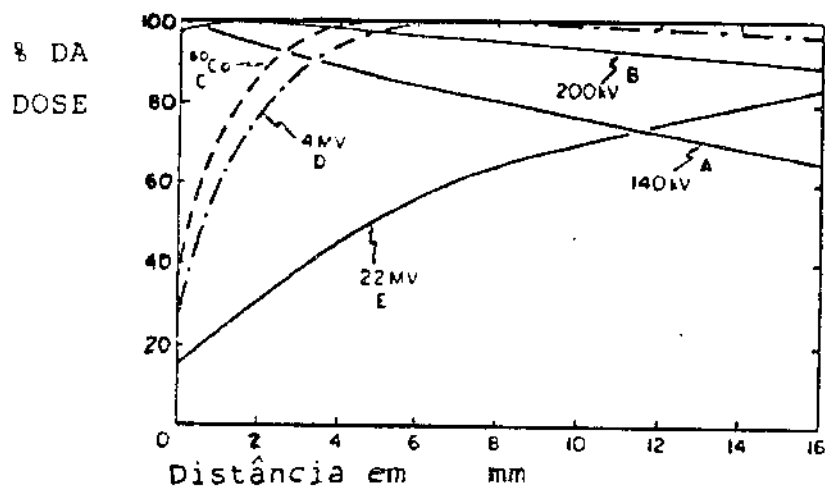


Fig. 2.8- Porcentagem da dose em regiões próximas a superfície de um simulador. (Cunningham & Johns).

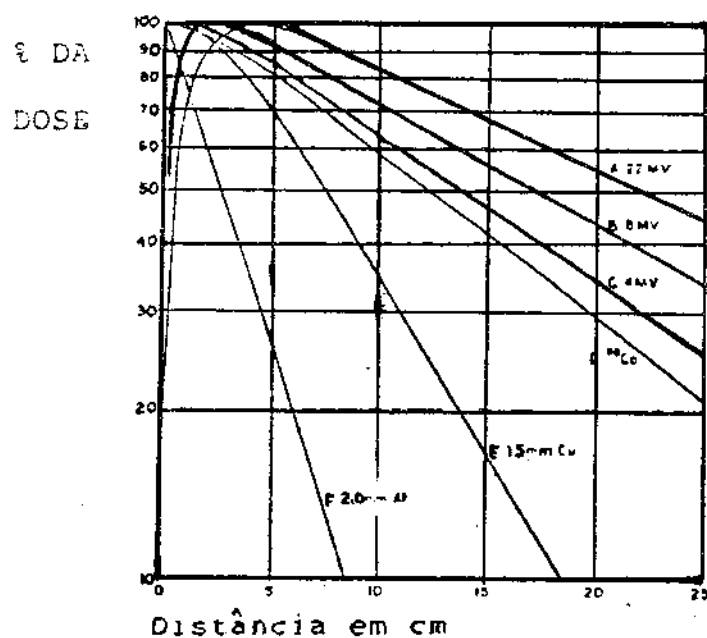


Fig. 2.9- Porcentagem da dose em regiões mais distantes da superfície de um simulador. (The physics of radiology-Johns & Cunningham).

Pela fig. 2.8 observa-se que para radiações de baixa energia, conforme mostrada na curva A, a dose decresce com a profundidade atingindo 80% a 6 mm. A dose de radiação mais forte (curva B, 200 KeV), é praticamente constante nesse intervalo de profundidade. Já radiações mais energéticas como o cobalto 60, apresentam elevação na dose (curva C), para os primeiros milímetros e após atinge o valor máximo que se estende por vários milímetros. À medida que a energia aumenta, ainda mais a dose na superfície se torna menor e o valor máximo ocorre em profundidades maiores. Com a radiação do betatron 22 MeV a dose na superfície é menor que 20% e o valor máximo ocorre entre 4 e 6 cm de profundidade.

A mudança da posição no espaço onde ocorre a dose máxima de acordo com o nível da radiação, é devido à que o tipo de interação varia com a intensidade. Com alta energia de radiação, os elétrons que entram em movimento, após interagirem com os fótons, são projetados inicialmente na direção do fluxo, até atingirem seu alcance máximo. Desta forma, o número de elétrons aumenta com a profundidade, até que a energia dos fótons começa a ser atenuada, quando então a dose passa a decrescer, já que cada vez menos elétrons serão excitados. Com isso, a dose primeiramente irá crescer e após diminuir.

Em baixas energias, no entanto, o alcance dos elétrons é muito pequeno e nesse caso a dose cai continuamente com o aumento da profundidade.

A figura 2.9, mostra a porcentagem da dose que pode ser obtida para uma fonte de energia de fótons alta, média e baixa, desenhadas em papel semi-logarítimo. Para os diferentes níveis de radiação, nota-se que as curvas são aproximadamente retas para pontos distantes do valor máximo, mostrando que a atenuação é essencialmente exponencial. A curva A é representativa das radiações de alta energia apresentando uma atenuação mais suave, comparando com os outros níveis de radiação. A curva B, para radiações de * MV é consideravelmente menos penetrante, atingindo 50 % a uma profundidade de 17 cm. As curvas C e D para 4 MV e radiação de cobalto 60 tem sua dose em 50 % a uma profundidade de 12 a 14 cm. A curva E é típica de dose que podem ser obtidas de máquinas de raio X de 200 a 250 KV e produzem uma dose de 50 % a uma profundidade de 7 a 8 cm.

2.10.2 Influência da área do campo na dose :

Quando a área seccional do campo é muito pequena a dose D_x recebida em um ponto é devida inteiramente a radiação primária, já que o volume que poderia espalhá-la é muito pequeno. À medida que a área do campo aumenta, tanto D_x quanto D_p no ponto de referência Y, aumentarão devido ao espalhamento da radiação, mas o aumento será maior em profundidades maiores.

A variação da porcentagem da dose com a área depende da qualidade da radiação. A fig. 2.10 ilustra o

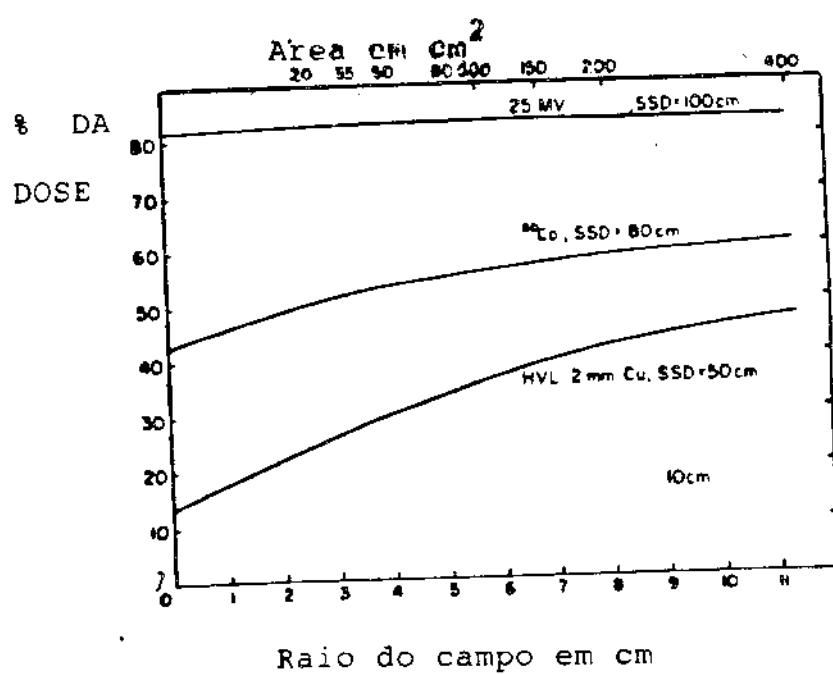


Fig. 2.10-Variac   da porcentagem da dose em func   da área do campo.

exposto, onde a dose a 10 cm de profundidade é desenhada versus o raio do campo para radiações típicas média, baixa e alta (6).

A dose para área do meio igual a zero é devido apenas a radiação primária. Com grandes áreas a dose é devida a radiação primária mais o espalhamento. No caso de radiação de 25 MV, o espalhamento é muito pequeno e a dose fica sempre próxima aos 83 % para todos os tipos de campos. Com fonte do tipo HVL 2mm Cu, a dependência da área é considerável, chegando a aumentar de 12 a 46% dentro dos tipos de campos apresentados. Fica evidente que radiação de alta energia oferece grande vantagem sobre baixa energia, especialmente com campos pequenos (6).

2.11 Medida da Dose :

A medida da porcentagem da dose pode ser realizada de diversas maneiras. Uma forma é mover uma câmara iônica ao longo do eixo do fluxo radioativo e gravar a leitura para diferentes profundidades. Esses valores são após comparados com aquele obtido no ponto de referência, a fim de obter-se a porcentagem da dose. Este é o método mais comum mas é impreciso porque na maioria dos equipamentos (exceto Cobalto), ocorrem flutuações randômicas da dose com o tempo. Dentro dessas circunstâncias, a dose a uma profundidade qualquer e a dose no ponto de referência, serão medidas em instantes diferentes e a relação será imprecisa. Essa

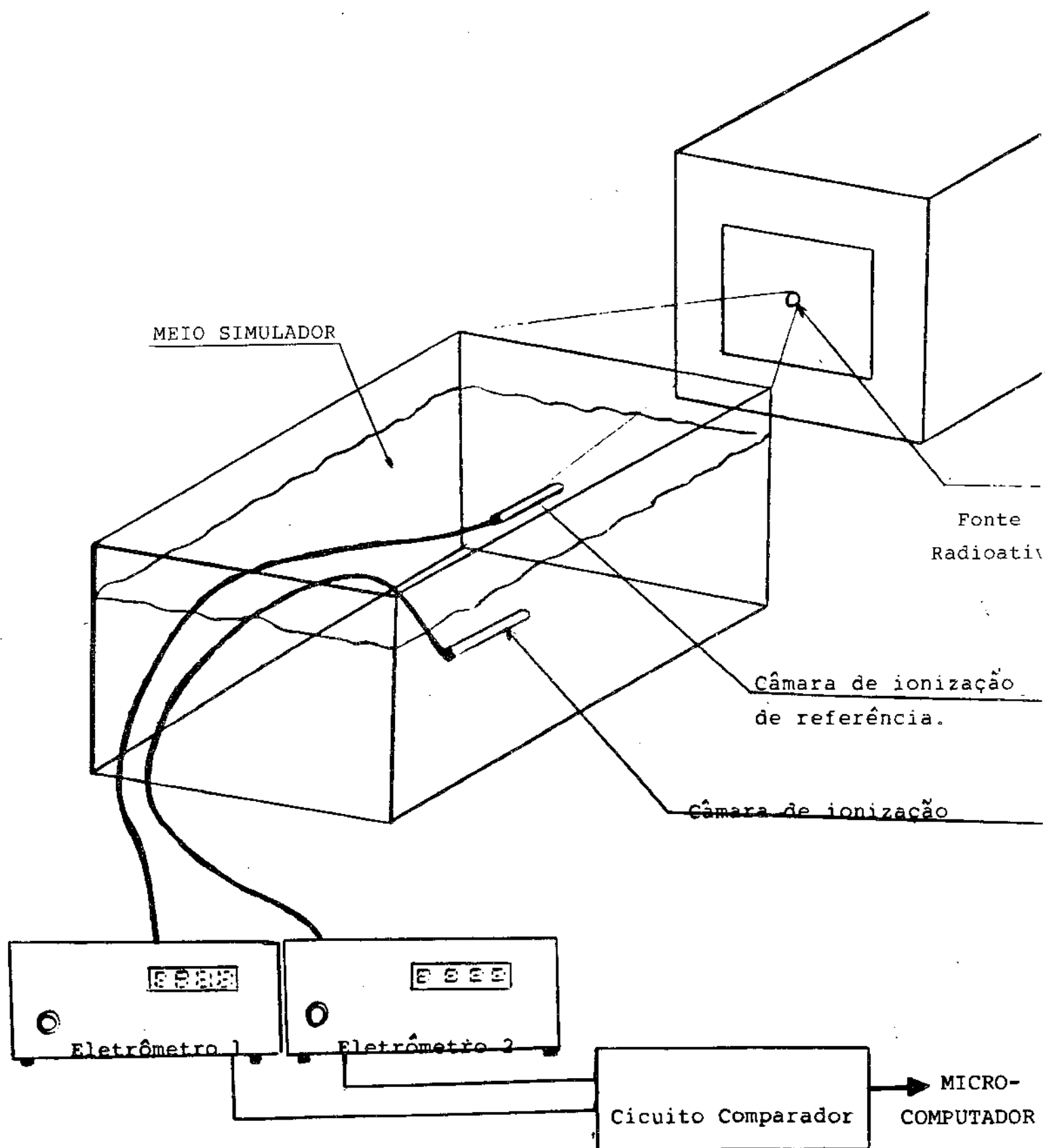


Fig. 2.11-sistema básico para leitura dose para qualquer tipo de fonte radioativa.

imprecisão pode ser evitada se uma outra câmara de ionização for colocada numa posição fixa no eixo, preferencialmente no ponto de dose máxima, e leituras simultâneas forem sendo tomadas. De uma forma geral, a fim de evitar flutuações randômicas, é costume ligar-se as saídas das duas câmaras a um circuito que as relaciona (circuito comparador) e fornece o valor final que é diretamente armazenado na memória de um microcomputador (7)(fig. 2.11) .

2.12 Traçado das curvas de Isodose:

Nos itens precedentes dedicou-se este estudo ao cálculo de dose em diferentes pontos ao longo do eixo do fluxo radioativo . No entanto é de grande importância, o conhecimento da dose em diversos outros pontos do fluxo que não o eixo, já que estes também evidentemente incidirão no tecido biológico. Da mesma forma, esses valores também devem, ser comparados com a dose recebida num ponto de referência. Quando pontos que possuem a mesma dose são unidos, obtem-se a curva de ISODOSE. Um conjunto de curvas de isodose, para uma gama de valores de doses, pode ser combinada para formar uma carta de isodose ou distribuição de isodoses. Tal distribuição dá um mapa de dose padrão em um plano desejado do fluxo de radiação.

A fig. 2.12 mostra tres distribuições de ISODOSE para baixa energia, alta energia e extra alta energia de radiação. A distribuição 200 KV é típica de curvas de

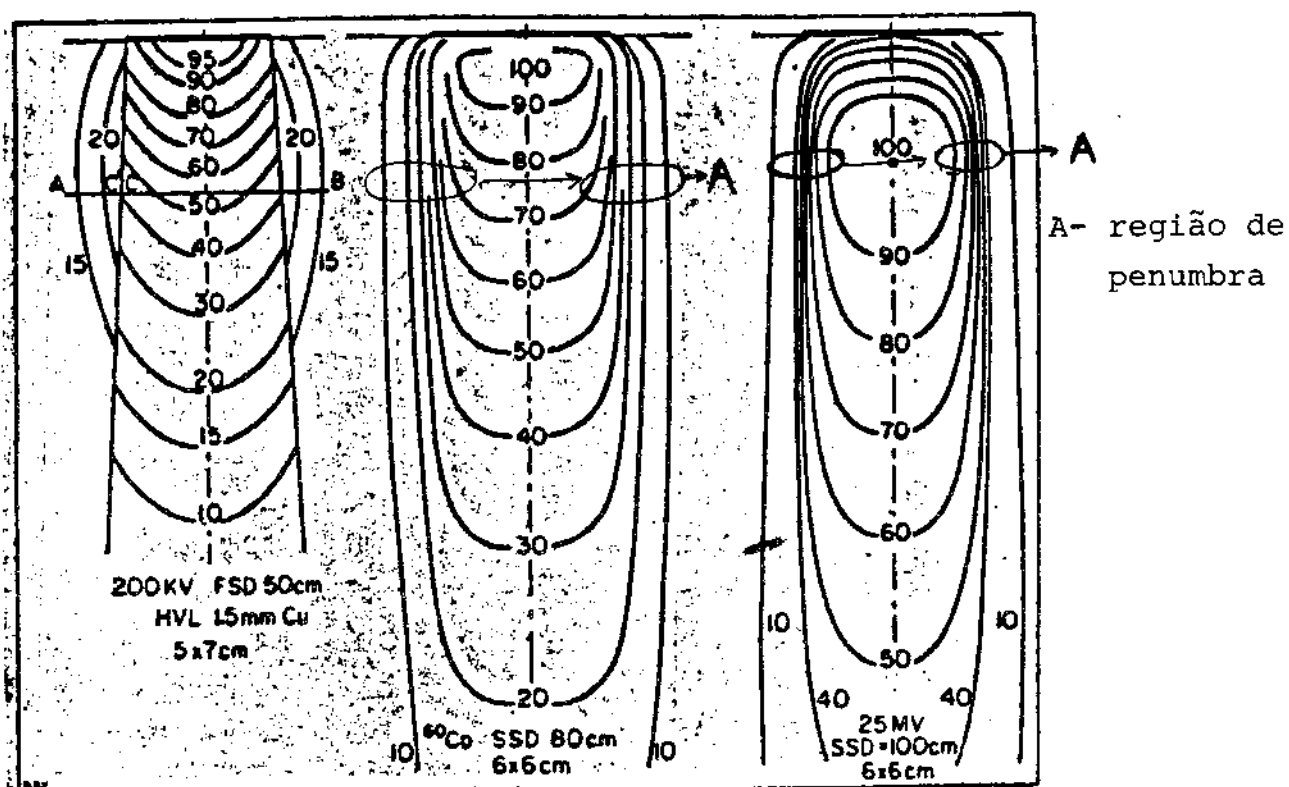


Fig. 2.12-Distribuição de isodose :esquerda 200KV HVL 1,5 mm Cu, SSD=50 cm, tipo de campo 5x7 cm; centro, Co,SSD 80 cm, tipo de campo 6x6 cm; direita 26 MV SSD 100 cm 6x6 xm.(The physics of radiology-Johns & Cunningham).

isodoses obtidas numa gama HVL de 0,5 a 3,0 cm de Cu para uma distância fonte-pele de 50 cm. A curva do cobalto 60 é típica de curvas obtidas com cobalto e acelerador linear de baixa energia, usado para distâncias fonte-pele desde 80 a 120 cm.

Apesar da água ter um comportamento quanto às características de espalhamento e atenuação de fótons semelhante aos tecidos biológicos, existirá sempre uma pequena diferença entre a dose absorvida em cada meio. Para o conhecimento real da dose absorvida em um meio biológico, foram realizados estudos diversos testes em diferentes tipos de tecidos, determinando-se o valor da dose absorvida em cada um deles(6). Dessa forma conseguiu-se definir um fator de correção ($\bar{\mu}_{ab}/\rho$) chamado coeficiente de absorção de energia da massa. Assim, conhecendo-se o valor da dose no simulador(água) pode-se calcular a dose absorvida em um tecido qualquer pela relação $D_{\text{tecido}} = D_{\text{água}} \times (\bar{\mu}_{ab}/\rho)$.

A tabela 2.1 fornece os valores característicos para diversos tipos de fontes e tecidos. Pode-se observar que para fonte radioativas tipo alta e extra-alta energia, a relação é bem próxima da unidade o que vem reafirmar a água como meio simulador ideal.

2.13 Superfícies de isodoses -Curvas de isodose em três dimensões :

As curvas de isodose mostradas nas figuras anteriores,

Spectrum do Fóton	$\left(\frac{\mu_{25}}{\rho}\right)_{\text{meio}}^{\text{Água}}$				$\left(\frac{\mu_{25}}{\rho}\right)_{\text{meio}}^{\text{Ar}}$			
	(2) Carbono	(3) Bachelite	(4) Lucite	(5) Polyst	(6) Água	(7) Músculo	(8) Gordura	(9) Osso
1. 60 kV,	2.399	1.931	1.622	2.518	1.016	1.057	.617	4.873
2. 100 kV,	2.112	1.758	1.519	2.152	1.026	1.062	.670	4.524
3. 250 kV,	1.155	1.086	1.056	1.076	1.103	1.096	1.073	1.427
4. 270 kV,	1.170	1.098	1.065	1.092	1.100	1.097	1.060	1.530
5. 270 kV,	1.372	1.253	1.181	1.303	1.073	1.085	.924	2.668
6. 400 kV,	1.129	1.065	1.040	1.050	1.108	1.101	1.095	1.217
7. ⁵⁷ Co	1.111	1.051	1.029	1.052	1.112	1.102	1.112	1.064
8. ⁶⁰ Co	1.111	1.051	1.029	1.052	1.112	1.103	1.113	1.061
9. ⁶⁰ Co	1.116	1.055	1.032	1.057	1.111	1.102	1.107	1.105
10. 6 MV	1.112	1.053	1.030	1.055	1.111	1.101	1.109	1.046
11. 8 MV	1.114	1.055	1.032	1.058	1.109	1.098	1.104	1.047
12. 12 MV	1.120	1.062	1.039	1.049	1.101	1.090	1.087	1.078
13. 18 MV	1.125	1.068	1.044	1.059	1.095	1.083	1.073	1.087
14. 26 MV	1.129	1.073	1.049	1.067	1.089	1.078	1.061	1.094
15. 26 MV	1.124	1.068	1.044	1.058	1.095	1.084	1.074	1.085
16. 35 MV	1.135	1.081	1.056	1.080	1.081	1.069	1.043	1.112
17. 45 MV	1.137	1.085	1.059	1.085	1.077	1.065	1.055	1.105

Tabela 2.1- Coeficiente de absorção de massa para diversos tipos de materiais e tecidos biológicos.

mostram a distribuição da radiação em um plano, contendo o eixo longitudinal do fluxo. Este plano é conhecido como plano principal. É importante lembrar, contudo, que a distribuição de isodose é tridimensional sendo que, pode-se pensar mais em superfícies de isodose do que em curvas de isodose. É difícil mostrar superfícies de isodose, sendo que é mais comum mostrar a distribuição em dois planos principais estando ambos a 90° um do outro. Esses planos principais também contêm o eixo do fluxo.

Esse fato está ilustrado na figura 2.13, onde duas distribuições em planos ortogonais de dimensões 10×15 cm para cobalto 60, estão mostradas em perspectiva, perpendicular um ao outro. As curvas de isodose dão a intersecção das superfícies de isodose com estes planos.

O conhecimento da natureza tridimensional das superfícies de isodose é muito importante para o planejamento de tratamentos médicos.

A característica tridimensional das curvas de isodose requer a necessidade de um acionamento mecânico capaz de posicionar a câmara de ionização em qualquer ponto do espaço XYZ. No capítulo seguinte descreve-se de forma completa o desenvolvimento de tal dispositivo.

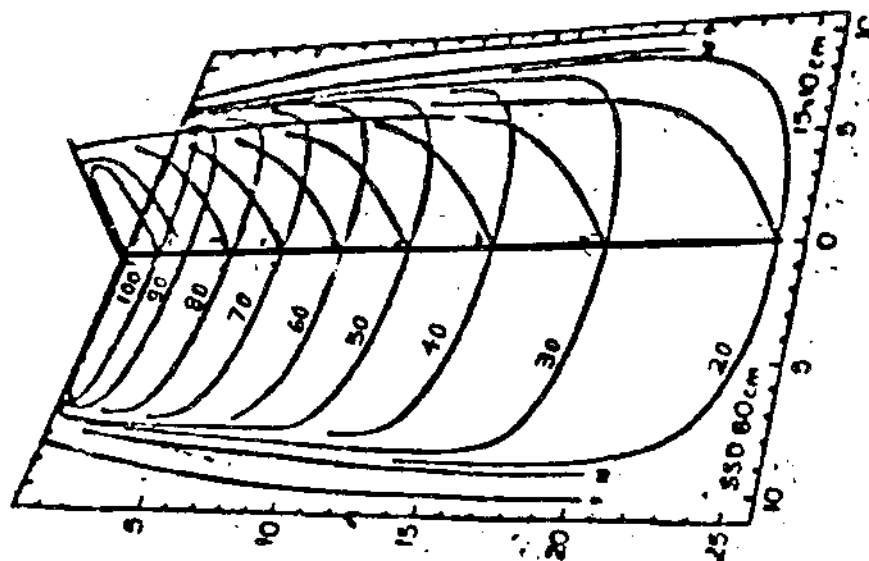


Fig. 2.13- Característica tridimensional das curvas de isodose.

CAPITULO 3

O MANIPULADOR CARTESIANO

3.1 FORMULAÇÃO DO PROJETO :

Conforme descrito anteriormente, o projeto consiste em desenvolver um equipamento que posicione uma câmara de ionização, dentro de um meio simulador (água), de forma a que se possa efetuar a leitura da radiação em qualquer ponto do espaço, com uma resolução neste caso igual a 1,0 mm.

As exigências para esta tarefa implicam essencialmente, em se possuir uma boa resolução, capacidade de posicionamento da câmara em qualquer ponto de coordenada XYZ estabelecido pelo usuário não necessitando, no entanto, grande capacidade de carga visto tratar-se do deslocamento de uma massa muito leve. Diferentemente de manipuladores cartesianos usados em linhas de montagem, não é preciso que o posicionamento ocorra em grandes velocidades, pelo contrário, sendo um deslocamento em meio líquido, altas velocidades poderiam provocar turbulências indesejáveis. A figura 3.1, mostra de forma simplificada, a estrutura básica do projeto, onde pode-se observar os braços vertical e horizontal que deslocarão a câmara de ionização.

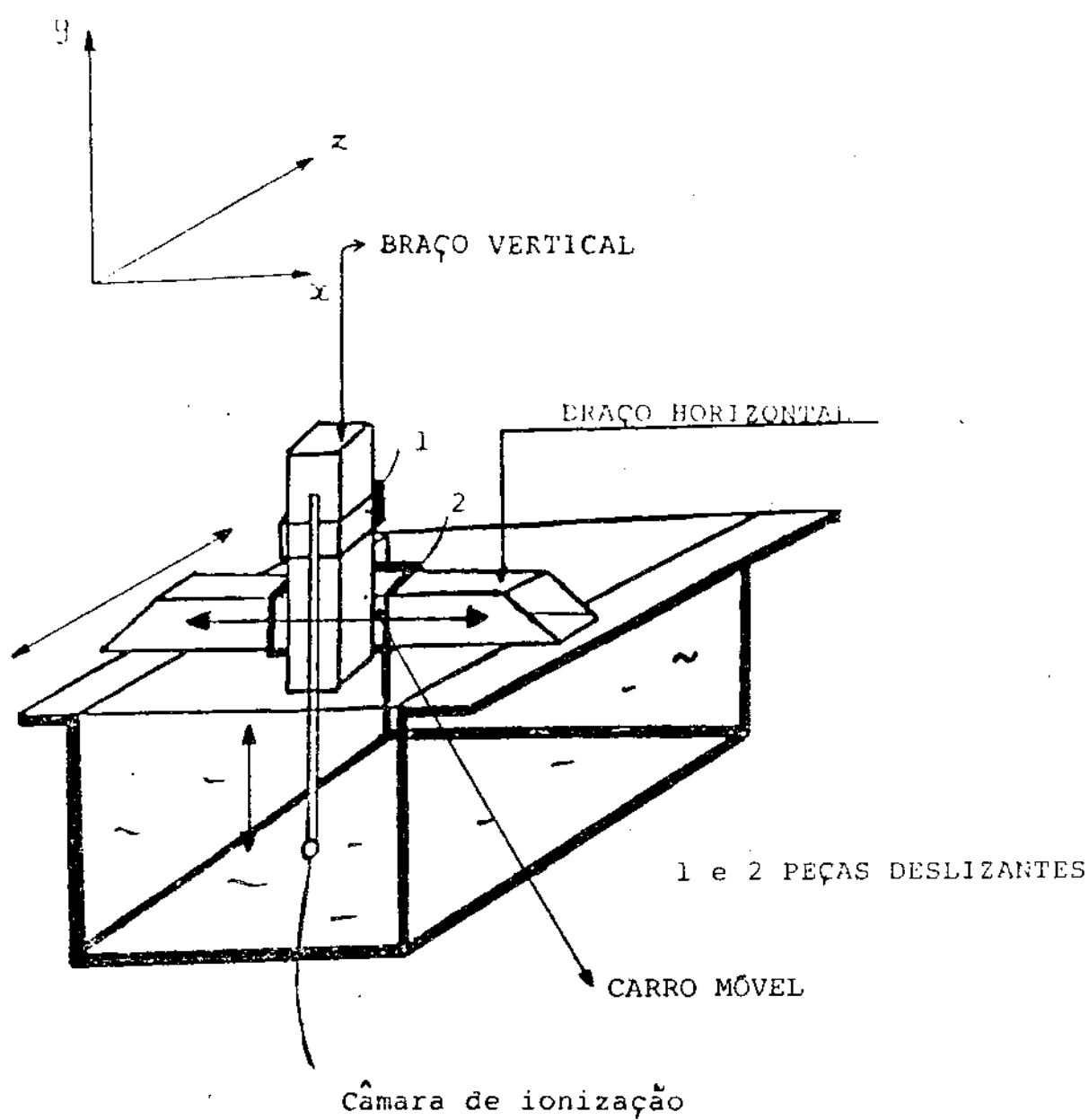


Fig. 3.1- Concepção básica do manipulador cartesiano.

As características técnicas desejadas do manipulador, são apresentadas a seguir :

- velocidade de operação..... 3,0 mm/s
- resolução nos eixos.....1,0 mm
- carga admitida.....0,5 kg
- curso do braço horizontal(eixo y)...100 cm
- curso do carro móvel (eixo x)..... 50 cm
- curso do braço vertical (eixo z).... 50 cm

3.2 Concepção do Manipulador :

Para acionamento das partes mecânicas existem opções como dispositivos hidráulicos ou pneumáticos(p.ex. pistões), ou motores elétricos. Os dispositivos hidráulicos ou pneumáticos são recomendados para altos esforços e onde se necessita uma alta relação potência/peso. O acionamento pneumático, apresenta uma baixa rigidez devido à alta compressibilidade do ar, permitindo a absorção de impactos. Entretanto devido à baixa rigidez não é recomendado quando se necessita de precisão no posicionamento. Já o hidráulico não apresenta este problema devido à baixa compressibilidade do fluido. No entanto, ambos têm a desvantagem de necessitar de sistemas de bombas e compressores .

Os motores elétricos devem ser preferencialmente, de corrente contínua ou motor de passo. Apesar dos motores de corrente contínua apresentarem grande facilidade no controle

de velocidade e alto torque, foram utilizados motores de passo no acionamento do equipamento. Esta decisão se justifica tendo em vista que nesta aplicação, o torque não é um problema primordial, além do seu baixo custo, disponibilidade no mercado nacional podendo operar com precisão em circuito de malha aberta. No item seguinte apresenta-se um estudo mais detalhado desse motor, bem como no capítulo 4 deste trabalho, o "hardware" e "software" para seu comando e controle.

3.2.1 Motor de passo :

3.2.1.1 Características do motor de passo .

Assim como os motores elétricos comuns, os motores de passo são transdutores eletromecânicos, sendo que possuem características bem diferentes. Seu movimento é incremental, ou seja, a rotação do eixo é a soma de incrementos angulares (passos), que ocorrem sequencialmente, resultantes de uma pulsos digitais. Quando corretamente alimentado, cada pulso digital na entrada corresponde a uma rotação no eixo (passo) (9) .

Tais motores não são uma novidade tecnológica, porém o baixo desempenho, quando comparados com motor AC e DC, só deixaram de ser importantes com o surgimento dos computadores e dos microcomputadores (10). Nestas

aplicações, sua utilização é a mais natural devido à sua característica incremental.

Entre suas vantagens pode-se citar a baixa inércia do rotor e não possuir erro acumulativo de posição nem amortecimento. Pelo fato de seu funcionamento ser bem definido (cada pulso na entrada corresponde a um passo no eixo de saída), não há necessidade de realimentação quando utilizados dentro dos limites de torque. Outra característica vantajosa do motor de passo está em sua mecânica muito simples, necessitando de pouca ou nenhuma manutenção.

Entre suas desvantagens a mais crucial é sua limitação de torque. Devido às características construtivas, aplicando-se mais corrente o circuito magnético satura, não aumentando o torque, razão pela qual para se ter um motor que forneça um torque maior é necessário aumentar sua massa (o que aumenta o limite de saturação), e portanto seu tamanho aumenta (1). Essa característica faz com que seja necessário o conhecimento da solicitação da carga que o motor irá sofrer, pois o mesmo não aceita picos de torque (ao contrário do motor de corrente contínua). Dessa forma, o sistema deve ter um comportamento conhecido com relação a carga, o que evidentemente ocorre em um manipulador cartesiano. Assim, os motores de passo (especialmente híbridos e de relutância variável), devem ser dimensionados pelos picos de torque para não perderem o sincronismo (10) .

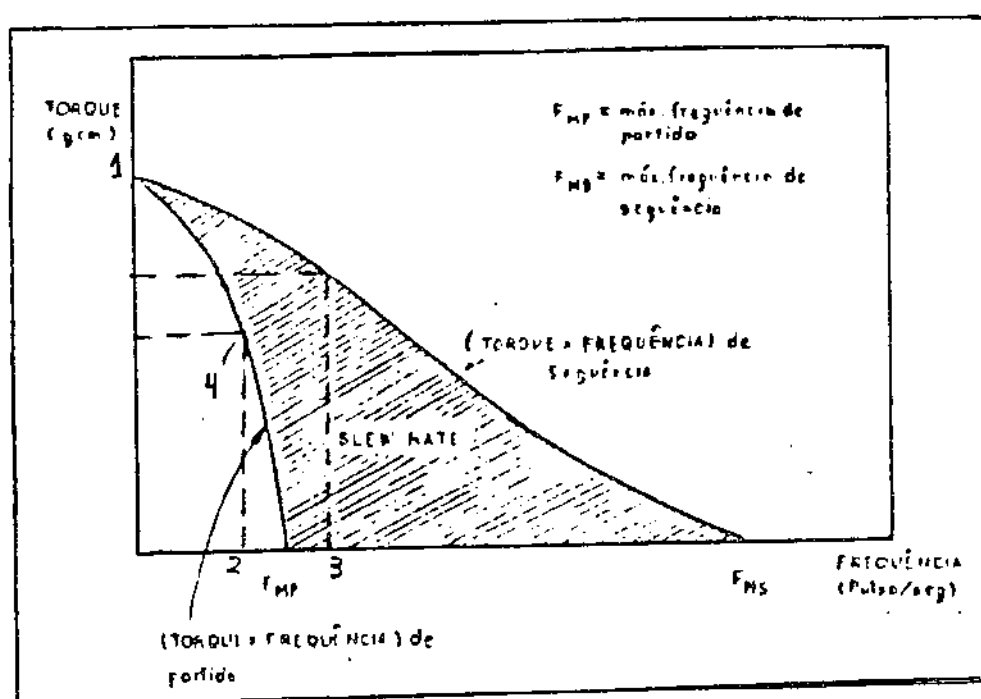


Fig. 3.2- Curva característica torque x frequência de um motor de passo.

Antes de se discutir os tipos de motores de passo, serão introduzidos alguns conceitos que facilitarão o entendimento dos métodos de dimensionamento dos motores. A figura 3.2, auxiliará no esclarecimento dos conceitos apresentados a seguir.

1. Torque de sustentação ("holding torque") : quando um motor está parado e com alimentação ligada (zero passos e corrente nominal), o torque necessário para deslocar o motor para uma nova posição de equilíbrio é chamado de torque de sustentação. Normalmente o torque de sustentação está em torno de 110% a 115% do nominal.

2. Frequência de partida ("pull-in rate") : máxima frequência de chaveamento com que um motor, com carga, pode partir sem perder passos.

3. Frequência de sequência ("pull-out rate") : máxima frequência de chaveamento com que um motor, com carga, pode seguir sem perder passos, estando em regime.

4. Torque de partida ("pull-in torque") : máximo torque no qual um motor energizado partirá com uma determinada velocidade sem perder o sincronismo.

5. Torque de sequência ("pull-out torque") : é o máximo torque que pode ser aplicado ao eixo do motor de passo sem perda de seu sincronismo, mesmo quando ocorre um aumento gradual na frequência ou no torque da carga, dentro da faixa de aceleração (slew-rate).

6. Faixa de aceleração : nesta região, um motor de passo pode responder sem perda do sincronismo, mesmo quando há um aumento gradual na frequência ou no torque, dentro desta região.

7. Torque residual : é o torque existente pela presença de ímã permanente no rotor, quando o motor está energizado. Normalmente seu valor é de 10% do torque de sustentação.

3.2.1.2 Tipos de motores de passo :

Há diversos tipos de motores de passo que podem em geral ser classificados quanto à sua construção em tres categorias .

- a) Relutância variável
- b) ímã permanente
- c) Híbrido

a) Tipo relutância variável : este motor de passo, é um dos mais comuns no uso industrial. Há dois tipos de motores de passo de relutância variável(RV): estator múltiplo e estator único.

O princípio de funcionamento está baseado no fato de que a situação de menor energia potencial do sistema estator-rotor acontece quando o caminho do fluxo magnético, possui a menor relutância.

As ilustrações esquemáticas para um motor de passo de estator múltiplo de tres fases RV, mostradas na fig 3.3.a e 3.3.b exemplificam bem o funcionamento.

Nas figuras 3.3.a e 3.3.b estão apresentadas um conjunto de tres pares de estatores e rotores elétrica e magnéticamente independentes. No caso da figura (a) os estatores estão alinhados e na (b), os rotores é que apresentam esta situação configurando construções diferentes deste tipo de motor. Observando-se a figura 3.3.b, caso a fase A esteja energizada os dentes do rotor e estator estarão alinhados, fornecendo a menor relutância ao caminho do fluxo magnético. Energizando-se agora a fase B (desenergizando simultâneamente a fase A), o rotor girará para conceder a menor relutância ao caminho do fluxo magnético.

Para o caso de um motor de passo (RV) de um único estator, o número de dentes do rotor e do estator são diferentes e as fases encontram-se no mesmo

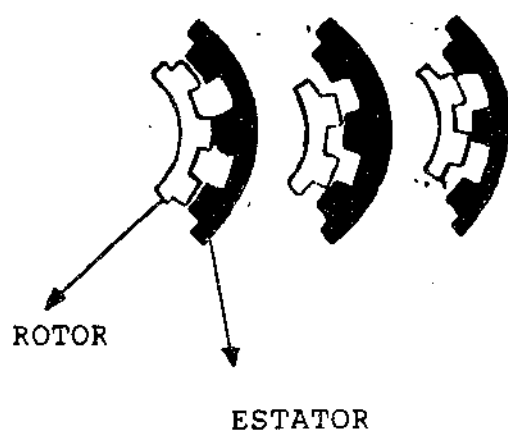


Fig. 3.3.a-Desenho esquemático de um motor de passo estator múltiplo, RV, tres fases (estatores alinhados)

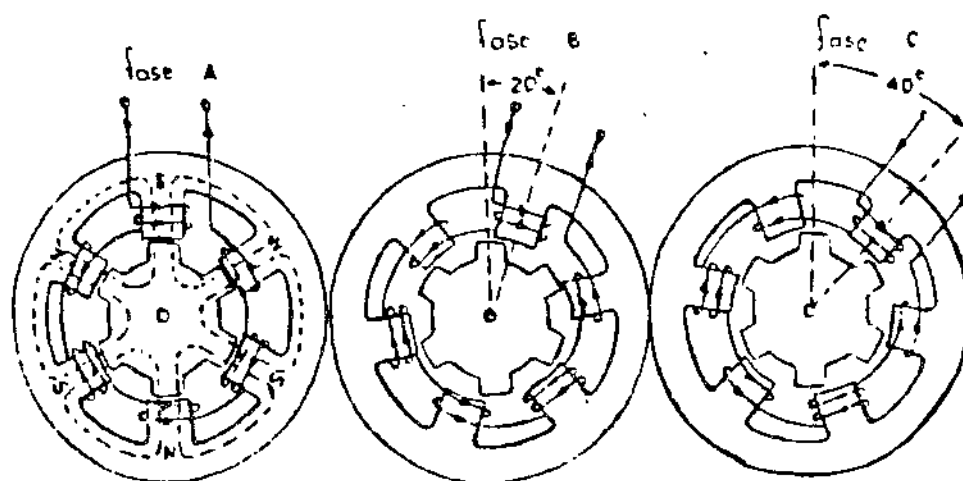


Fig. 3.3.b-Desenho esquemático de um motor de passo estator múltiplo RV, tres fases (rotores alinhados)

estator (fig. 3.4). Da mesma forma, se a fase B for energizada e a A desenergizada, o rotor girará a fim de que o fluxo magnético possua um caminho de menor relutância.

b) Tipo ímã permanente: existem dois tipos de motor de passo de ímã permanente: estator de ímã permanente e rotor de ímã permanente. Eles podem ser comparados aos motores síncronos onde um campo rotativo faz girar um rotor magnético alinhando campos do rotor e estator. A figura 3.5 mostra esquematicamente este tipo de motor.

c) Tipo Híbrido : o termo híbrido advém do fato deste motor operar segundo a combinação dos princípios do motor de ímã permanente e do motor de relutância variável.

Os motores de passo híbrido possuem em seu eixo um ímã permanente (fig.3.6.a), e um núcleo de ferro que serve para minimizar a relutância magnética do circuito.

A fig. 3.6.b, mostra a vista frontal de um motor de passo tipo híbrido, bem como o enrolamento do estator. Para melhor entendimento definiu-se algumas cores para os enrolamentos.

Os enrolamentos amarelo e branco são linhas comuns. Os terminais preto e verde são conectados às fases A e A' respectivamente, enquanto os terminais vermelho e azul são conectados às fases B e B' respectivamente.

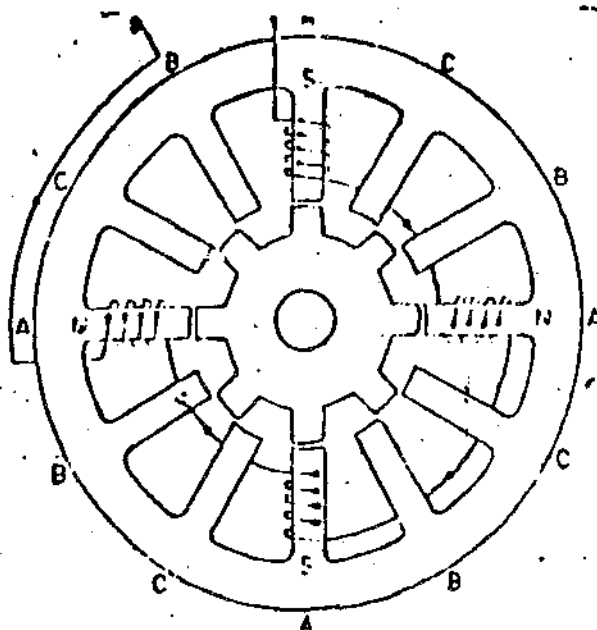


Fig. 3.4- Desenho esquemático de um motor de passo RV com um único conjunto estator-rotor.

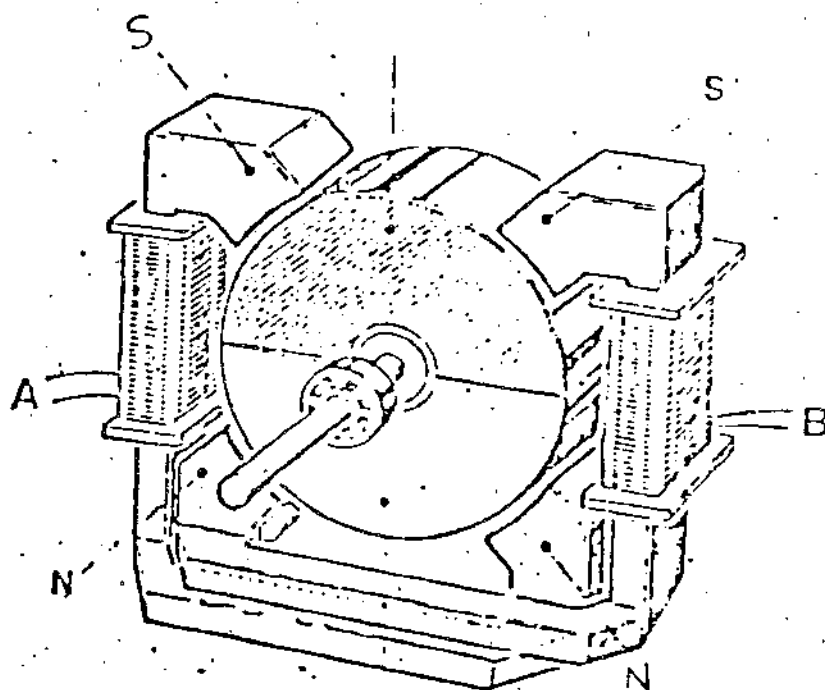


Fig. 3.5- Desenho esquemático de um motor de passo ímã permanente. (A e B fases do estator, N e S norte e sul do eletroímã.)

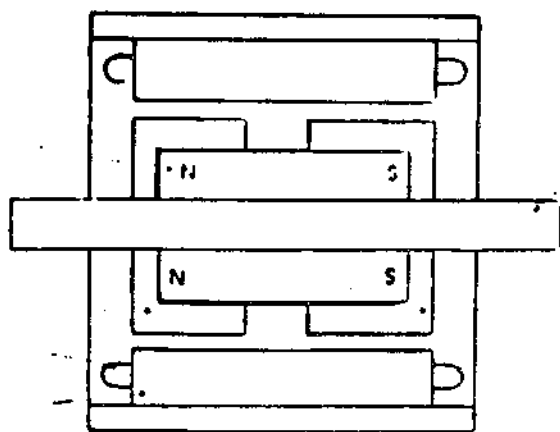


Fig. 3.6.a- Desenho esquemático de um motor de passo híbrido, vista superior.

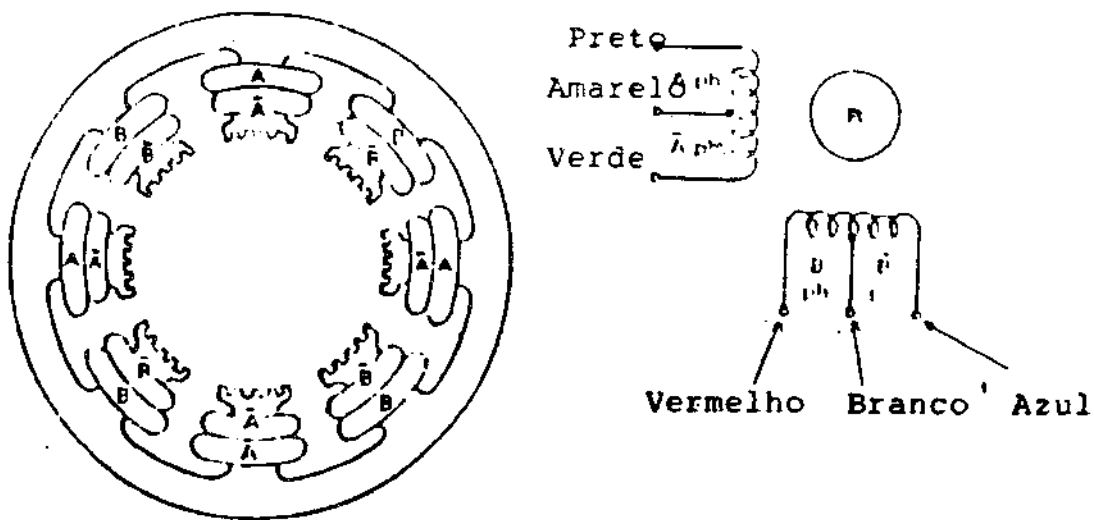


Fig. 3.6.b- Vista frontal de um motor de passo tipo híbrido.

Os enrolamentos estão localizados numa configuração quatro pólos quatro fases. A fig. 3.7 mostra a polaridade do estator, à medida que cada fase é energizada.

Como exemplo pode-se tomar um motor que tenha 48 ranhuras no rotor e 50 no estator. A relação física entre ranhuras no rotor são mostradas na fig. 3.8. Nesta figura o lado sul do rotor está mostrado, com a fase A energizada.

Como pode ser visto, algumas ranhuras estão completamente alinhadas, outras com meio alinhamento e ainda outras totalmente fora de alinhamento.

Quando a fase B é energizada, o efeito entre o enrolamento do campo magnético permanente, provoca o deslocamento da ranhura 7' do rotor para alinhar-se com a ranhura 7 do estator e a ranhura 32' do rotor por sua vez, alinha-se com a ranhura 31 do estator. Este efeito, provoca a rotação do rotor num comprimento de meia ranhura, equivalente ao deslocamento de 1,8 na direção horária. Logo à medida que a posição de energização do estator muda de 45°, o rotor se desloca de 1,8°.

Os motores de passo híbridos podem ser, de acordo com a configuração dos enrolamentos do estator, divididos em unipolares e bipolares.

Nos motores bipolares, a reversão de campo magnético no estator é feita com a mudança do sentido da corrente no enrolamento. Na figura 3.9.a, o controle da

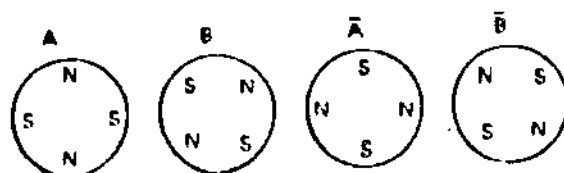


Fig. 3.7- Mudança de polaridade do estator com a variação da alimentação da fase.

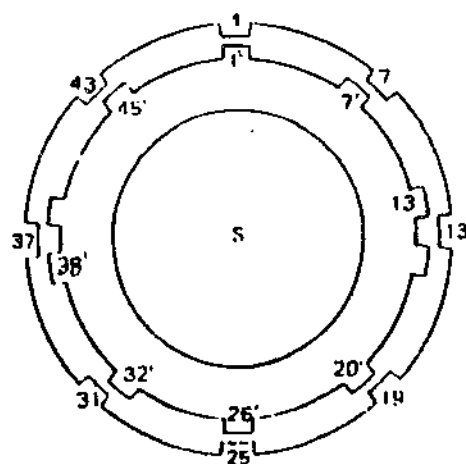


Fig. 3.8- Relação entre a posição relativa das ranhuras do rotor e estator.

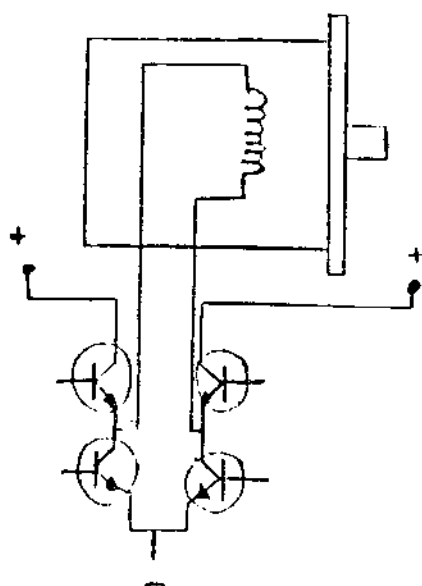


Fig. 3.9.a- Esquema de alimentação de um motor de passo bipolar.

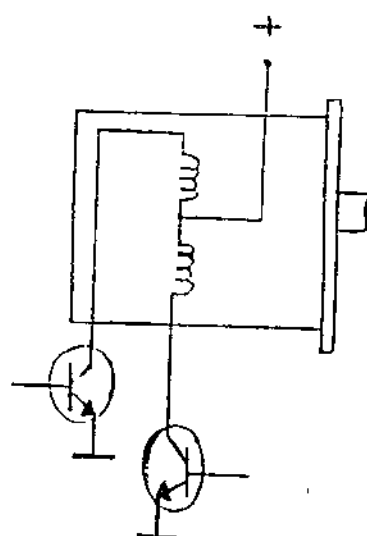


Fig. 3.9.b- Esquema de alimentação de um motor de passo unipolar.

•
•

alimentação é feita através de pontes, ou seja 4 transistores por enrolamento.

Nos motores unipolares, as bobinas são produzidas diferentemente dos motores bipolares. Neste tipo, cada fase consiste de um enrolamento com derivação central ou mesmo de dois enrolamentos separados, de forma que o campo magnético possa ser invertido sem a necessidade de inverter o sentido da corrente. Como em geral essas bobinas são alojadas na mesma carcaça utilizada para motores bipolares, fica evidente que devem empregar menos espiras ou fio de menor bitola, o que significa em ambos os casos menos ampère-espiras e, portanto, um campo magnético mais fraco. Assim sendo, os motores unipolares desenvolvem momentos inferiores aos bipolares de mesmas dimensões.

Com respeito aos circuitos de controle, observa-se que os motores unipolares permitem uma configuração bem mais simples, além de fugir de problemas inerentes à inversão de correntes em bobinas.

Outra característica importante dos motores de passo, é o regime de operação dos mesmos. Os motores de passo operam por chaveamento de tensão dc. As figuras 3.10. e 3.11, mostram o chaveamento de passo de cada fase.

A fig. 3.10 (pág. 57) apresenta um diagrama equivalente a um regime de operação chamado passo completo (full-step). No eixo das abcissas estão apresentados 10 passos, e nas ordenadas as 5 fases do motor

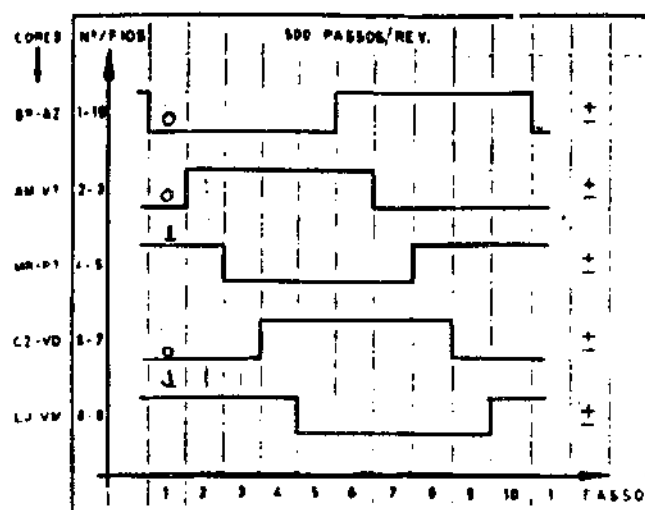


Fig. 3.10- Diagrama de operacao de um motor de passo em regime de passo completo ("full step").

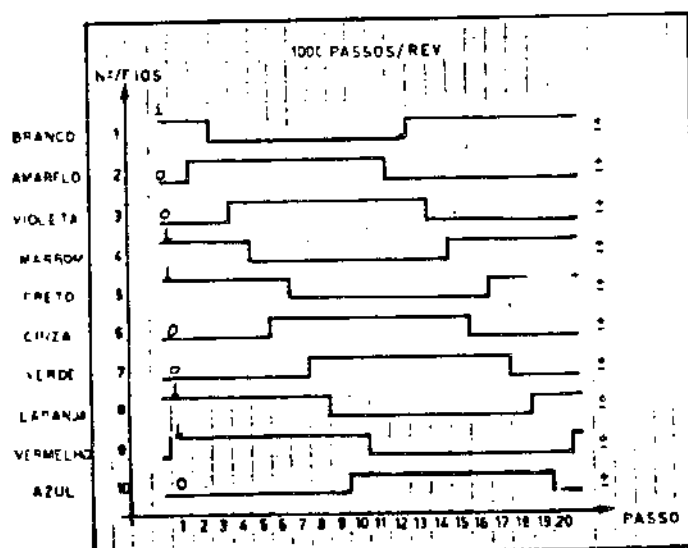


Fig. 3.11- Diagrama de operacao de um motor de passo operando em regime de meio passo ("half step").

de passo em estudo. As curvas demonstram o nível do sinal a ser aplicado em cada fase na sequência de passos, tal que ocorra a rotação do motor. Para a rotação completa desse motor (360°), é necessário que ocorra 50 vezes a sequência apresentada na fig. 3.10 (500 passos/revolução).

A fig. 3.11 (pág. 57) apresenta o diagrama do modo de operação de meio passo (half-step), onde se observa que o motor precisa de 1000 passos para completar uma rotação. Neste caso o ângulo de passo é de $0,36^\circ$ ($360^\circ/1000$), o que evidentemente denota uma melhor resolução no posicionamento do motor. De forma similar a fig. 3.10, para cada passo tem-se o nível lógico do sinal a ser aplicado em cada fase tal que se obtenha o movimento de rotação desejado.

Pode-se já nesta fase do trabalho especificar algumas das características do motor de passo a ser utilizado no manipulador cartesiano (robô). Decidiu-se por um motor de passo híbrido, devido sua facilidade de aquisição no mercado nacional bem como qualidade tecnológica comparativa aos outros modelos. Outra característica desejada é que seja unipolar pela vantagem anteriormente definida, já que o torque não é problema fundamental (carga leve). A especificação da capacidade de carga do motor, será determinada após o estudo do tipo de transmissão e deduzida expressões matemáticas que auxiliem na determinação do torque e velocidades desejadas (vide item 3.5.1).

3.3 Escolha do tipo transmissão do movimento :

Após a decisão do tipo de acionador (motor elétrico ou compressor) , bem como do motor ideal para o acionamento, defronta-se com outro problema que é a escolha do tipo de transmissão para transformação do movimento de rotação do motor em deslocamento linear dos braços horizontal e vertical (vide fig. 3.1) . As opções apresentadas pelo estado da arte atual são :

1. Fuso de esfera recirculantes
2. Pinhão -cremalheira
3. Correias sincronizadas
4. Correntes

1. Fuso de esferas recirculantes : neste tipo de transmissão eixo do motor é disposto longitudinalmente em relação ao eixo de movimentação, sendo que a relação de transmissão é dada pelo próprio passo do fuso (mm/volta) (fig. 3.12, pág. 58). São utilizadas quando se exigem elevadas precisões de posicionamento da ordem de micromilímetro . Para esta aplicação da ordem de milímetro , o custo elevado não justificaria face a precisão desejada.

2. Pinhão-cremalheira : nesse sistema uma cremalheira é disposta ao longo de todo o curso, e um pinhão fixado no carro faz a transmissão do movimento. Deve-se observar que

na transmissão o motor move-se juntamente com o carro, aumentando portanto a inércia da parte móvel. Existe neste tipo de sistema, o risco de que os dentes da cremalheira e do pião não se encaixem perfeitamente. Nesse caso, ocorrem ruídos e vibrações resultantes de folgas (3.13).

3. Correias sincronizadoras : consiste em um sistema em que um carro móvel é apoiado em um correia sincronizadora, e em uma guia plana ou cilíndrica, como pode ser observado nas figuras 3.14 e 3.15 (pág. 64). Atualmente os acionamentos por correias sincronizadoras (ou correias dentadas), vem sendo muito usados em operações industriais, devido à sua comprovada eficiência na transmissão de força mecânica. Sua aplicação substitue atualmente operações tradicionalmente ocupadas por engrenagens, correntes, correias "V" e planas. Apesar de serem preferencialmente usadas na indústria automobilística, podem ser encontradas desde aparelhos domésticos até aviões modernos. Na figura 3.15 pode-se verificar alguns componentes da correia sincronizadora.

- Elemento de tração : são cordéis em espiral, em geral fibra de vidro (ou kevlar, poliéster, fios de aço), que são responsáveis por transmitir e suportar a carga. São extremamente resistentes a tração garantindo a rigidez da correia.

- Revestimento de neoprene : a parte externa e os dentes da correia são feitos de neoprene. Esta cobertura

fina é flexível dando aos elementos de tração a proteção contra sujeira, óleo e umidade.

- Dentes de neoprene : os dentes são moldados na forma trapezoidal e semi-circular. São moldados de forma que o diâmetro da raiz dos dentes, coincida com o diâmetro primitivo da polia e de modo que o espaçamento dos dentes da correia não se altere durante a flexão.

- Revestimento de nylon : o revestimento do elemento de atrito da correia é feito com um tecido de nylon forte, resistente ao desgaste e com baixo coeficiente de atrito. Após muito tempo de operação o revestimento torna-se altamente polido e normalmente a duração excede ao dos outros componentes da correia.

A utilização da correia sincronizadora, apresenta como principais vantagens :

- Engrenamento anti-derrapante : como a transmissão de força não é baseado na fricção, e sim no engrenamento dos dentes da correias e da polia e não há escorregamento, permitindo uma inversão brusca no sentido do movimento.

- Ausência de lubrificação : não havendo contato de metal, fica evidente não haver necessidade de lubrificação .

- Verificação angular constante : não existe variação de passo como nas correntes, dessa forma não apresentam vibração.

- Folga mínima entre dentes da correia e da polia .

- Peso leve : alta relação potência/peso.

- Operação silenciosa.

Um dos problemas encontrados em correias sincronizadoras originavam de suas deformações quando submetidas a altos torques. Tais deformações ocorrem principalmente nos dentes, que se constituem na limitação da transmissão do torque, pois eles se rompem antes do elemento tensor. Estudos realizados mostram que no dente trapezoidal, a transferência de carga desde a superfície do dente da coreia ao elemento tensor toma lugar de maneira não uniforme em toda área no interior do mesmo, ou seja, o neoprene é utilizado com baixa eficácia. Após diversos experimentos, conclui-se que o perfil mais adequado para altos torques é semi-circular.

4. Correntes : são montadas na mesma configuração que as correias sincronizadoras. Entretanto essa solução apresenta várias desvantagens em relação a aplicação de correias sincronizadoras como ruídos, maior peso, necessidade de lubrificação, não sendo por isso adotada.

Do que foi exposto, verifica-se que o uso de correias sincronizadas , apresenta a melhor solução para as necessidades técnico-econômicas desse projeto .

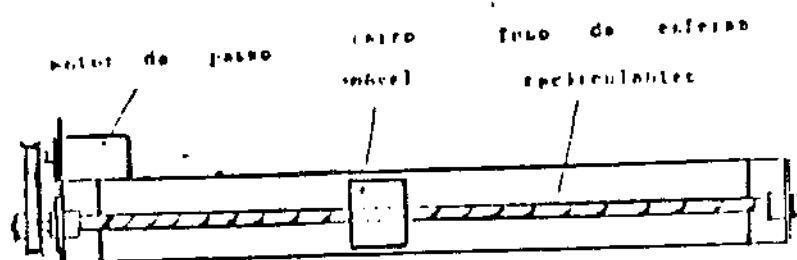


Fig. 3.12- Esquema de um acionamento por esferas recirculantes.

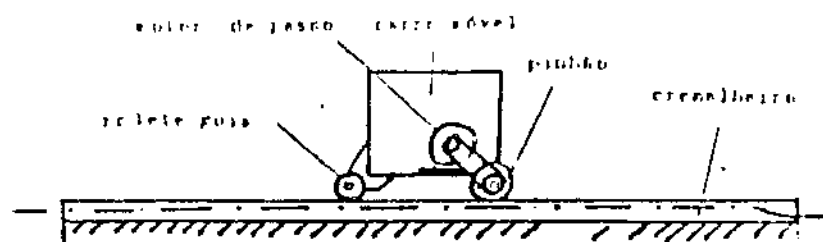


Fig. 3.13- Esquema de acionamento por pinhão-cremalheira

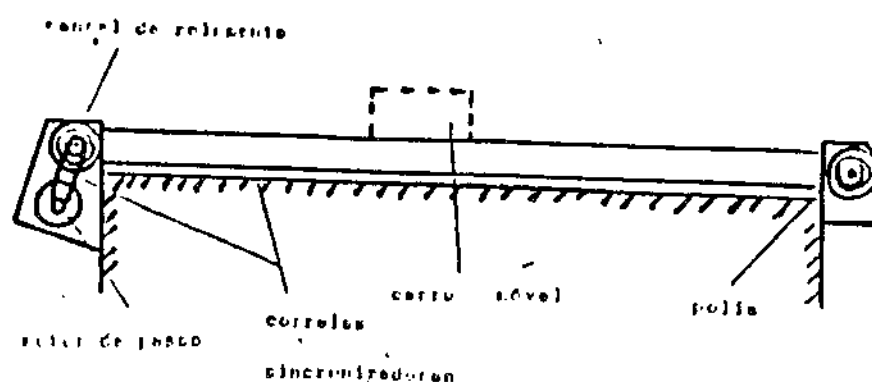


Fig. 3.14- Acionamento mecânico através de correias sincronizadoras.

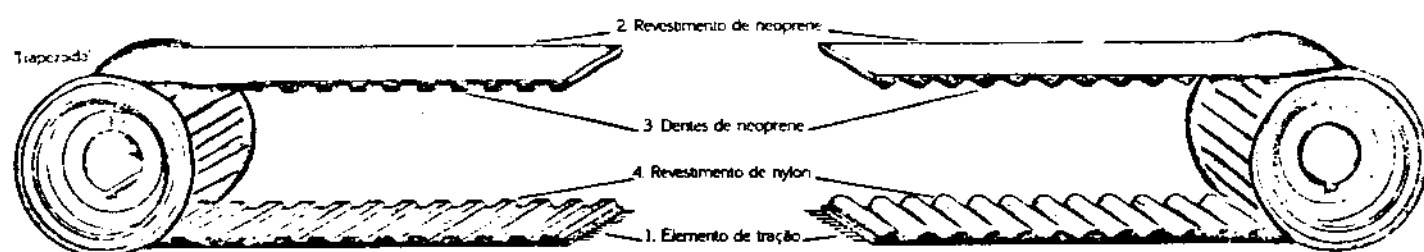


Fig. 3.15- Correia sincronizadora e seus elementos.

3.4 Configuração do manipulador cartesiano:

Para sistemas cartesianos com três movimentos translacionais, existem basicamente dois tipos de configuração conforme exposto nas figuras 3.15.a e 3.15.b.

Na configuração (a), o deslocamento no eixo Y apresenta a necessidade de movimentar uma grande massa, representada pelo conjunto da massa M mais o braço 3 (fig. 3.15.a pág. 63). Isso exigiria grandes esforços para o acionamento, o que acarretaria grandes problemas de rigidez. Dessa forma, optou-se pela configuração (b) onde a inércia a ser vencida no eixo Y é muito menor (apenas massa M), sendo esta construção a mais utilizada (vide fig. 3.15.b pág. 63).

Outro fator a ser analisado, é a disposição dos motores tanto para o braço horizontal X quanto para o vertical Y.

As figuras 3.16.a e 3.16.b (pág. 65) mostram o esquema geral do manipulador e detalhe do braço horizontal.

O braço horizontal será acionado por um motor de passo (MOTOR 1) e duas correias (1 e 2), localizadas em cada extremidade do braço. Poderia ter-se usado um motor de passo em cada extremidade (A) e (B), mas preferiu-se adotar o sistema de um eixo interligando as polias das duas correias, já que o custo do motor de passo e rolamentos é muito maior que o do eixo.

No braço horizontal será adicionado um carro constituído de chapas de alumínio que deslizarão sobre o braço conforme figura 3.17.a (pág. 68).

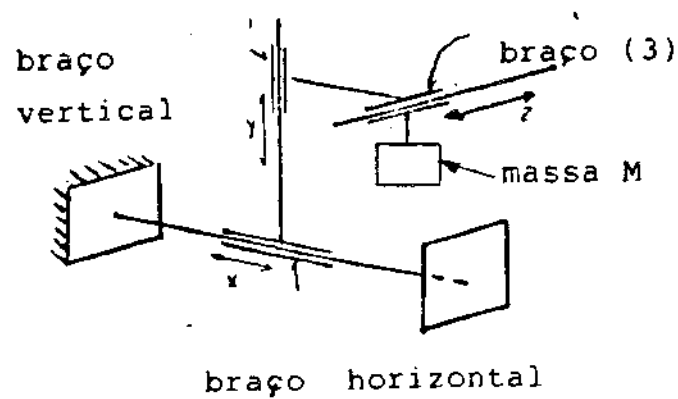


Fig. 3.15a-Configuração básica de um sistema cartesiano com deslocamento do braço z e massa M .

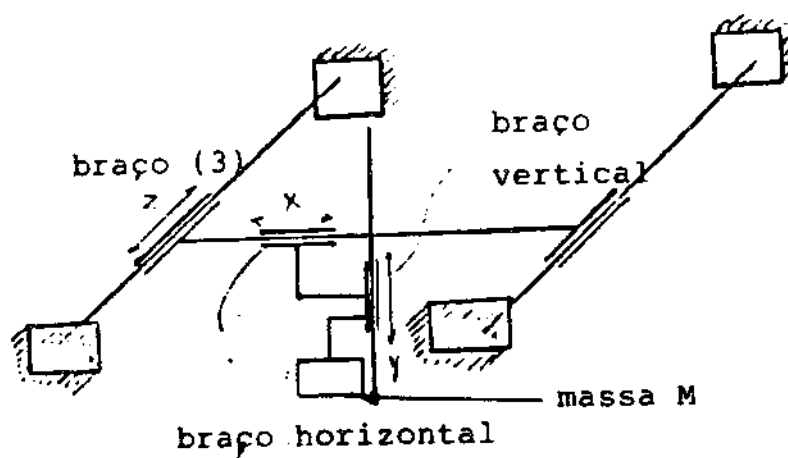


Fig.3.15.b- Configuração básica de um sistema cartesiano com deslocamento da massa M .

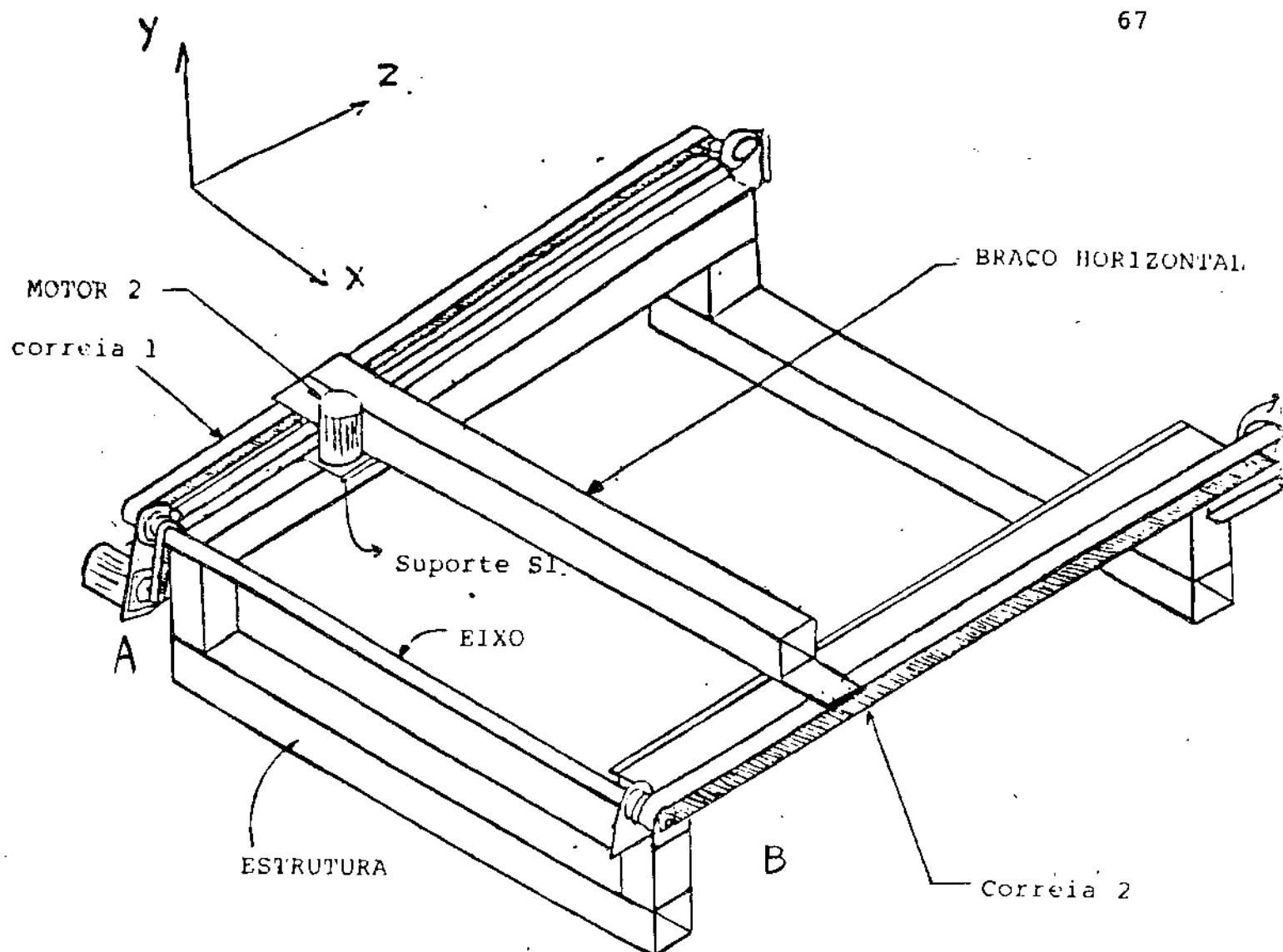


Fig. 3.16.a- Acionador mecânico e detalhe da transmissão do braço horizontal.

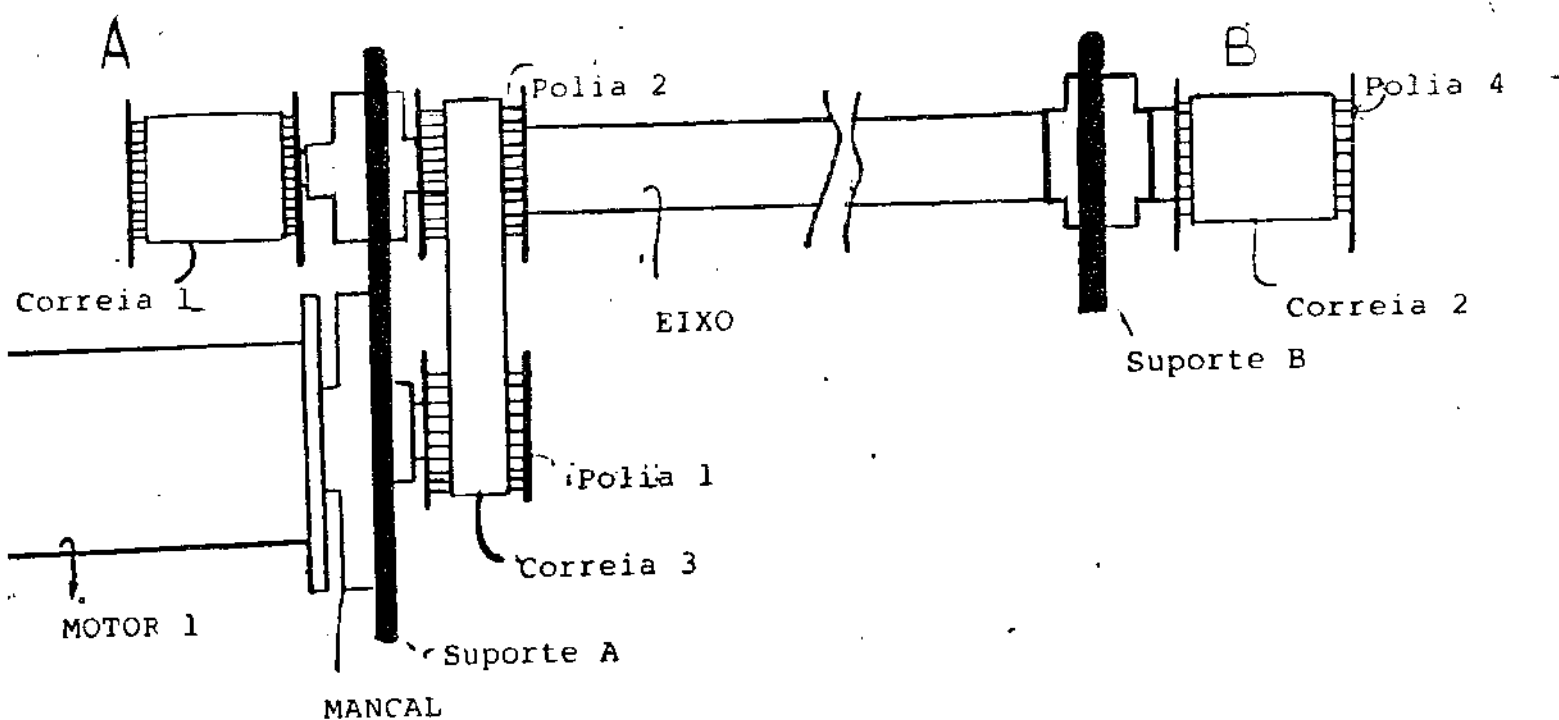


Fig. 3.16.b- Detalhe do acionamento e transmissão do movimento do braço horizontal.

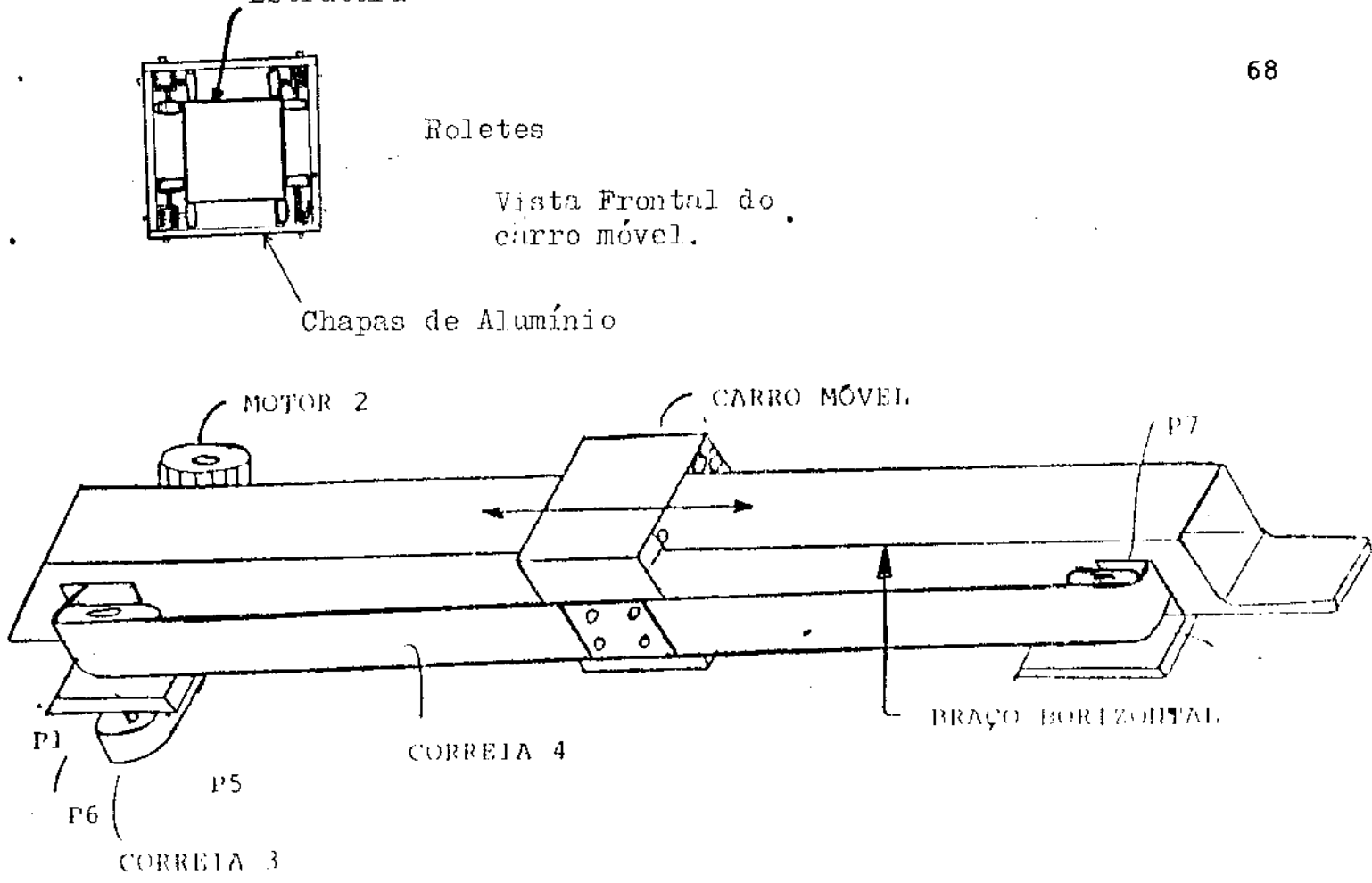


Fig. 3.17.a- Braço horizontal e acionamento do carro móvel.

VISTA INFERIOR

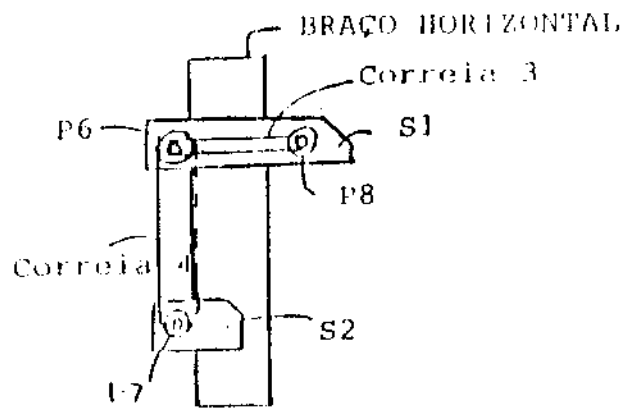


Fig. 3.17.b- Vista inferior do braço horizontal (detalhe de transmissão do movimento).

O motor de passo conforme pode ser verificado na figura 3.17.b (pág. 68) , ficará preso numa das extremidades do braço horizontal através de um suporte S1, ficando a correia presa à uma das paredes do carro. Na outra extremidade tem-se uma polia (P7), sustentada por outro suporte S2.

O suporte vertical terá o mesmo princípio de funcionamento, ficando preso ao carro móvel pela face oposta a que prende à correia.

A figura 3.18 apresenta o esquema geral do manipulador .

Através da fig. 3.18 (pág. 70) pode-se verificar que o manipulador é composto dos seguintes elementos: estrutura (1), braço horizontal (2), braço vertical (3).

Os movimentos nos três eixos cartesianos são : deslocamento do eixo horizontal sobre a estrutura (eixo Z), deslocamento do braço vertical ao longo do braço horizontal (eixo X) e deslocamento do suporte do transdutor verticalmente.

A transmissão do movimento de rotação dos motores para o movimento linear dos braços é feito por correias sincronizadoras. Todos os movimentos são acionados por uma correia, com exceção do braço horizontal que é acionado por duas correias. Cada correia está posicionada em uma extremidade do braço, sendo ambas acionadas por um único motor de passo. O braço horizontal é apoiado em ambas extremidades na estrutura, correndo em uma delas sobre uma guia linear cilíndrica e na outra numa guia plana através de

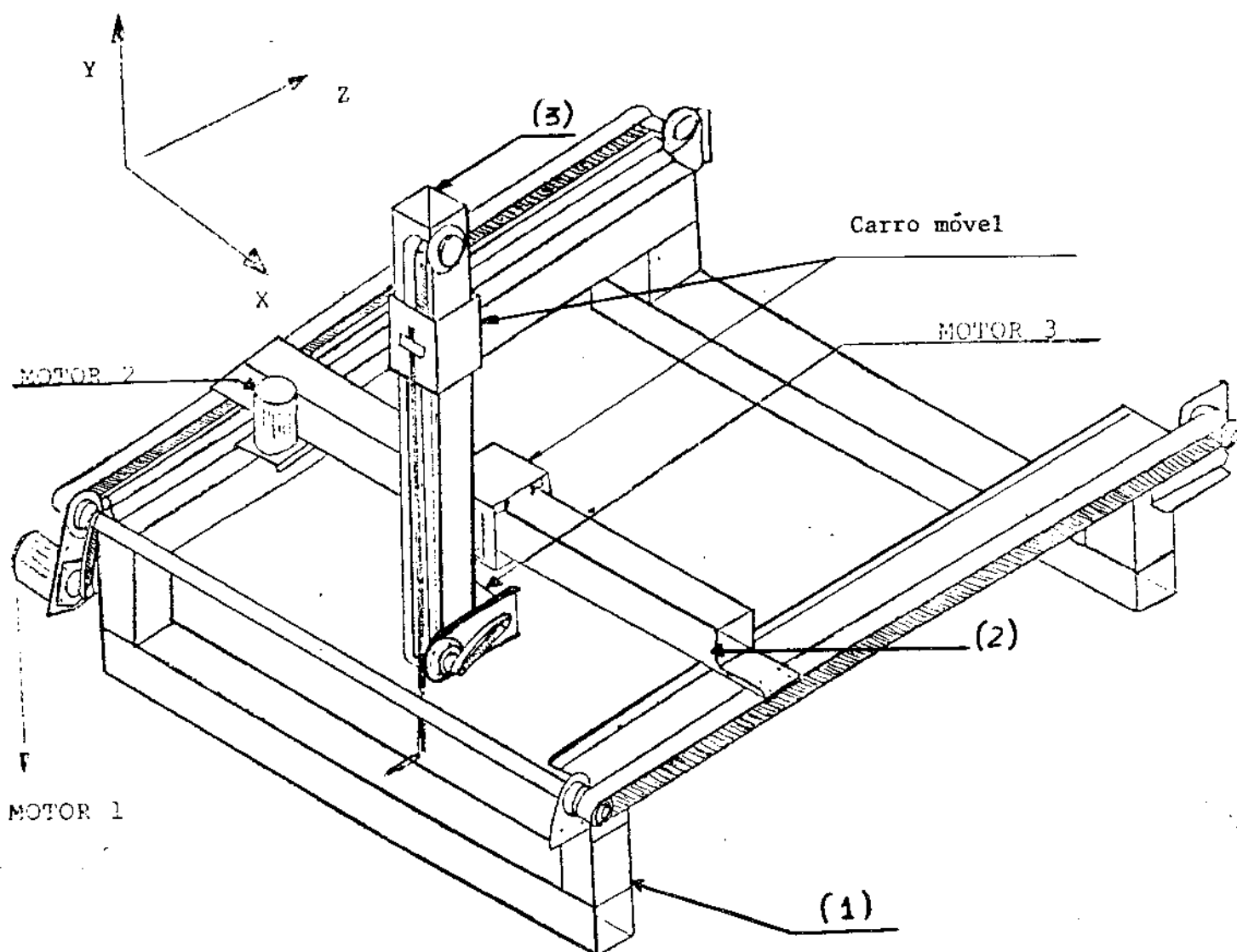


Fig. 3.18 - O manipulador cartesiano em sua configuração final inclusive braço vertical.

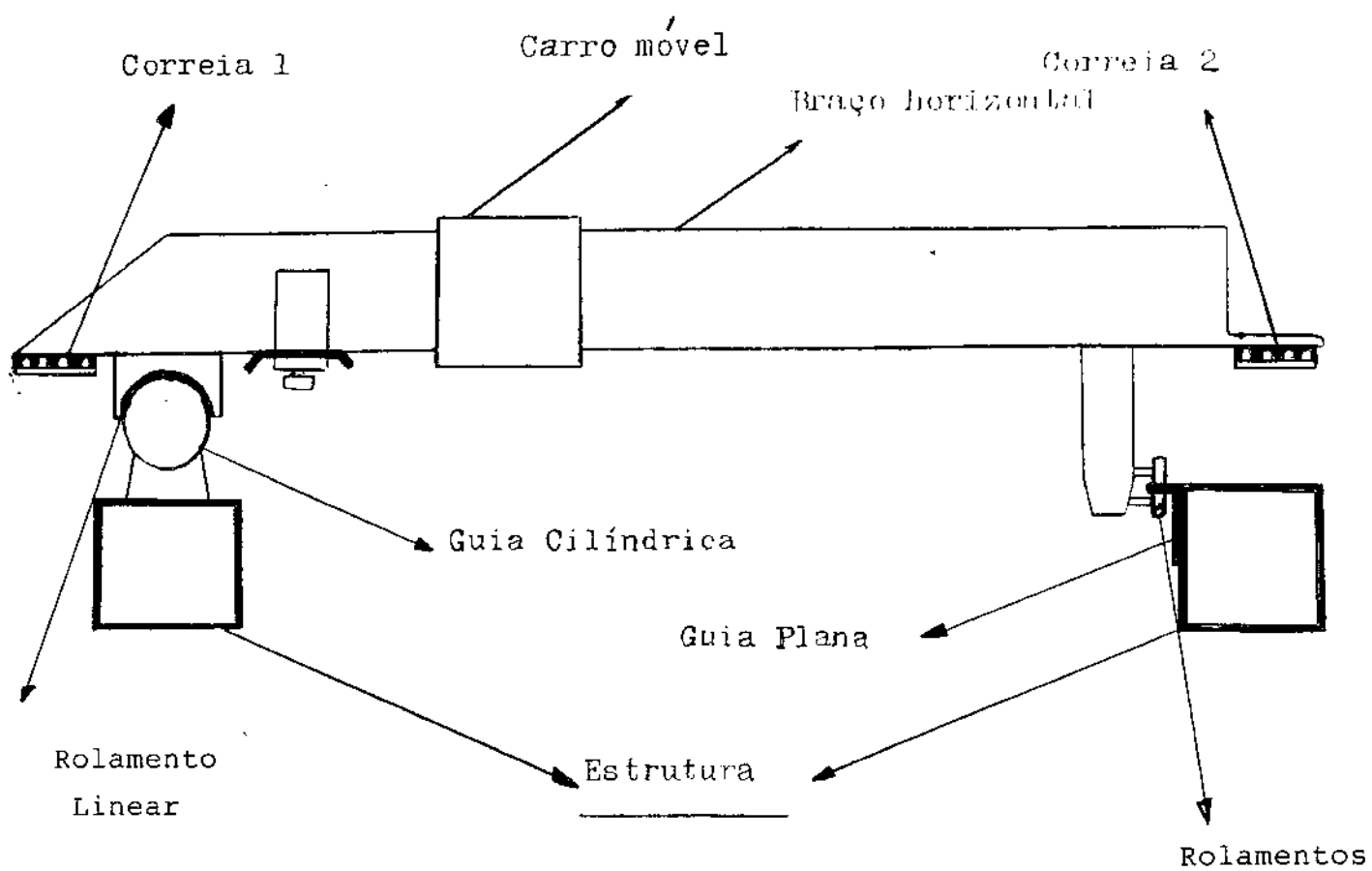


Fig. 3.19- Detalhe das guias do braço horizontal.

três roletes (rolamentos revestidos em anéis de poliacetal) que deslizam sobre uma guia linear plana (fig.3.19 pág. 71).

O braço vertical está ligado ao horizontal por meio de dois "carros" que possuem roletes no seu interior, permitindo assim o deslizamento do braço vertical na direção horizontal e vertical.

3.5 Projeto básico :

3.5.1 Modelagem matemática das partes mecânicas :

Nesta seção um faz-se um modelamento matemático que auxilie no dimensionamento das peças do manipulador (robô) cartesiano. Inicialmente tem-se na figura 3.20, um esquema do tipo de acionamento utilizado, onde vê-se na parte (b) da figura, a vista lateral dos motores de passo e polias e na parte (a) a vista frontal do conjunto de acionamento.

A vista lateral (fig. 3.20.b), mostra o motor de passo em cujo eixo é acoplada a polia 3. Esta polia, transmite o movimento para a polia 2 através de uma correia dentada. Por sua vez a polia 2 é concêntrica à polia 1, sendo que esta transmite o movimento para outra, localizada no outro extremo da estrutura (através da correia 2). Para

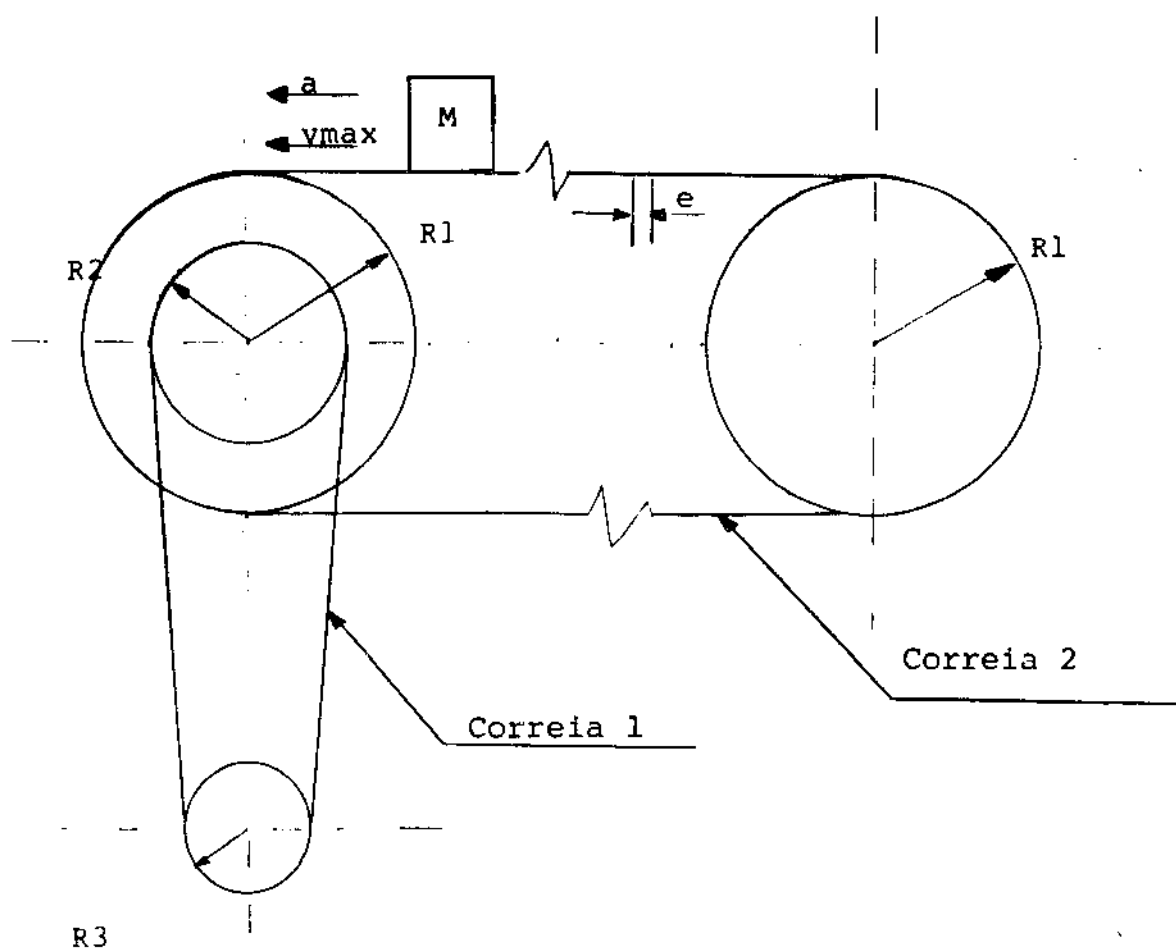


Fig. 3.20.a- Vista frontal do conjunto de polias e motor de passo do acionador mecânico.

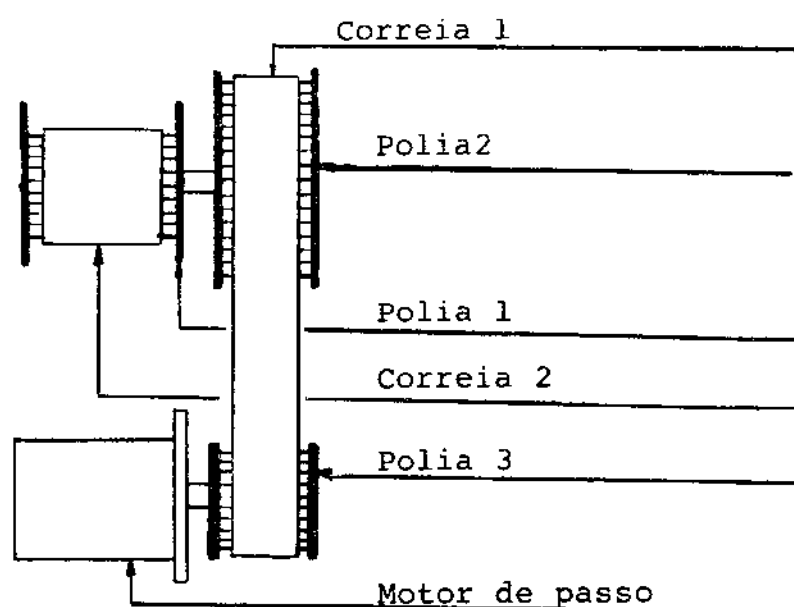


Fig. 3.20.b- Vista lateral do conjunto de polias e motor de passo do acionador mecânico.

desenvolvimento das equações utilizou-se a seguinte notação .

- g - aceleração da gravidade
- a_{max} - aceleração máxima
- α - ângulo de passo
- V_{max} - velocidade máxima dos braços
- R_1 - raio primitivo da polia 1
- w_1 - velocidade angular da polia
- n_{max} - rps máximo
- N_{max} - passos por segundo

- Análise cinemática do acionamento .

Sendo V_{max} a velocidade máxima desejada dos braços, a rotação do motor será .

$$w_1 = V_{max} / R_1 \quad (1)$$

$$w_1 = w_2 \quad (2)$$

sendo .

$$V_1 = V_2 \text{ (polias 1 e 2 são solidárias)}$$

ou .

$$w_2 \times R_2 = w_1 \times R_1$$

logo :

$$W_3 \times R_3 = (V_{max} \times R_e) / R_1$$

Mas :

$$W_3 = 2 \times \pi \times n_{max}$$

$$n_{max} = (V_{max} \times R_e) / (2 \times \pi \times R_1) \quad (3)$$

sendo :

n_{max} - número de rotações por segundo

$2 \times \pi / \alpha$ - número de passos por rotação

logo :

$(n_{max} \times 2 \times \pi) / \alpha$ será o número de passos em um segundo .

chamando :

$N_{max} = (n_{max} \times 2 \times \pi) / \alpha$ (4) e levando (4) em (3) tem-se :

$$N_{max} = (R_e \times V_{max}) / (\alpha \times R_3 \times R_1) \text{ passos/s (5)}$$

- Análise da resolução do acionamento .

Considerando-se que a resolução desejada para o acionamento seja "e", e sendo α o ângulo de passo do motor teremos :

Na polia 1 :

$$e = \alpha_1 \times R_1 \quad \text{logo} \quad \alpha_1 = R_1 / e \quad (6)$$

sendo as polias 1 e 2 solidárias .

$$\alpha_1 = \alpha_2$$

para o motor de passo .

$$\alpha_2 \times R_2 = \alpha \times R_3 \quad (7)$$

$$\alpha_1 \times R_2 = \alpha \times R_3 \quad (8)$$

levando (6) em (7) teremos :

$$e = (\alpha \times R_1 \times R_3) / R_2 \quad (9)$$

- Braço vertical :

A força máxima que deve agir na correia do braço vertical para acelerá-lo vale :

$$F_{max} = M_v * (a_{max} + g) \quad (10)$$

onde M_v é a massa do braço vertical e do carro móvel que o desloca ao longo do braço horizontal.

Para o perfeito dimensionamento do motor a ser usado no projeto, é importante a análise de sua curva de torque apresentada no item 3.1.2 deste trabalho.

A escolha do motor é feita, considerando-se o "holding torque", que como visto é o torque indicado para $n=0$ (rotor parado), (vide figura 3.21).

Após ter-se determinado o torque necessário para acelerar a carga, deve-se multiplicá-lo por um fator k que varia entre (1,5 a 2,2) para obter o "holding-torque, o qual será bem maior que o torque de trabalho nominal, dando dessa forma segurança com relação aos picos de torque, além de assegurar que não haverá perda e sincronismo, (novamente a figura 3.21 auxilia na elucidação do exposto)(10).

Na figura 3.21, tem-se a curva de torque para a condição de ter-se uma aceleração constante.

No caso do braço vertical, considerando-se as mesmas condições de aceleração constante e utilização do fator K para cálculo do "holding-torque", pode ser utilizado um motor semelhante ao do braço horizontal.

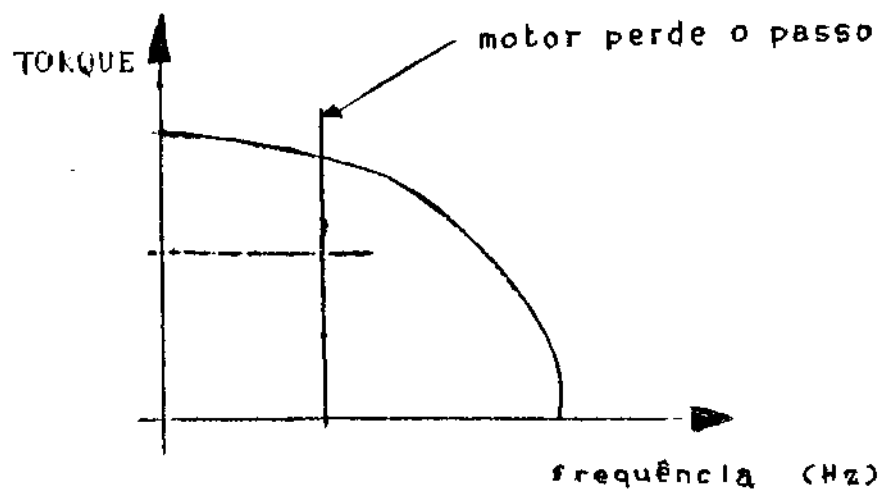


Fig. 3.21-Curva característica do motor de passo apresentando as condições de operação.

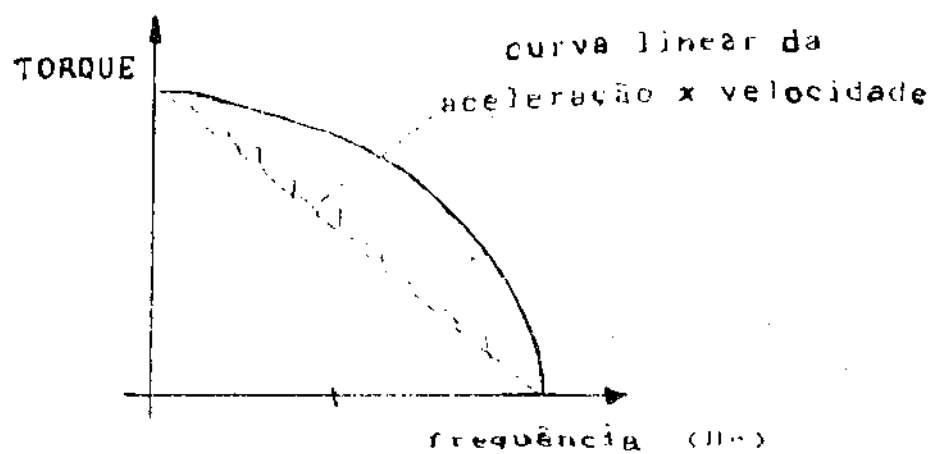


Fig. 3.22- Curva de operação do motor de passo com aceleração constante.

Assim para o braço vertical, considerando o atrito nos mancais, polias, "carros" é acrescentado ao "holding torque" em média mais 10%, sendo ainda utilizado um fator $k = 1,8$, a expressão de cálculo do "holding torque" será :

$$T_{\text{holding}} = 1,1 * 1,8 * M_v * (a_{\text{max}} + g) * R_1 * R_2 / R_e \quad (11)$$

- Braço horizontal .

Para estudo das forças que agem sobre o braço horizontal, tem-se a partir da figura 3.23:

- a máxima força inercial que age na correia é :

$$F_{\text{max}} = M * a_{\text{max}} \quad (12)$$

onde M - é a soma da massa do braço vertical e carro móvel (M_v) e o braço próprio braço horizontal (M_h) (fig. 3.23).

Portanto para o "holding-torque" do motor, considerando o atrito dos mancais dos rolamentos, das polias e dos "carros" (acrescentando-se mais 10%) o fator $k = 1,8$, a expressão de cálculo do torque será .

$$T_{\text{holding}} = 1,1 * 1,8 * M * a_{\text{max}} * R_1 * R_2 / R_e \quad (13)$$

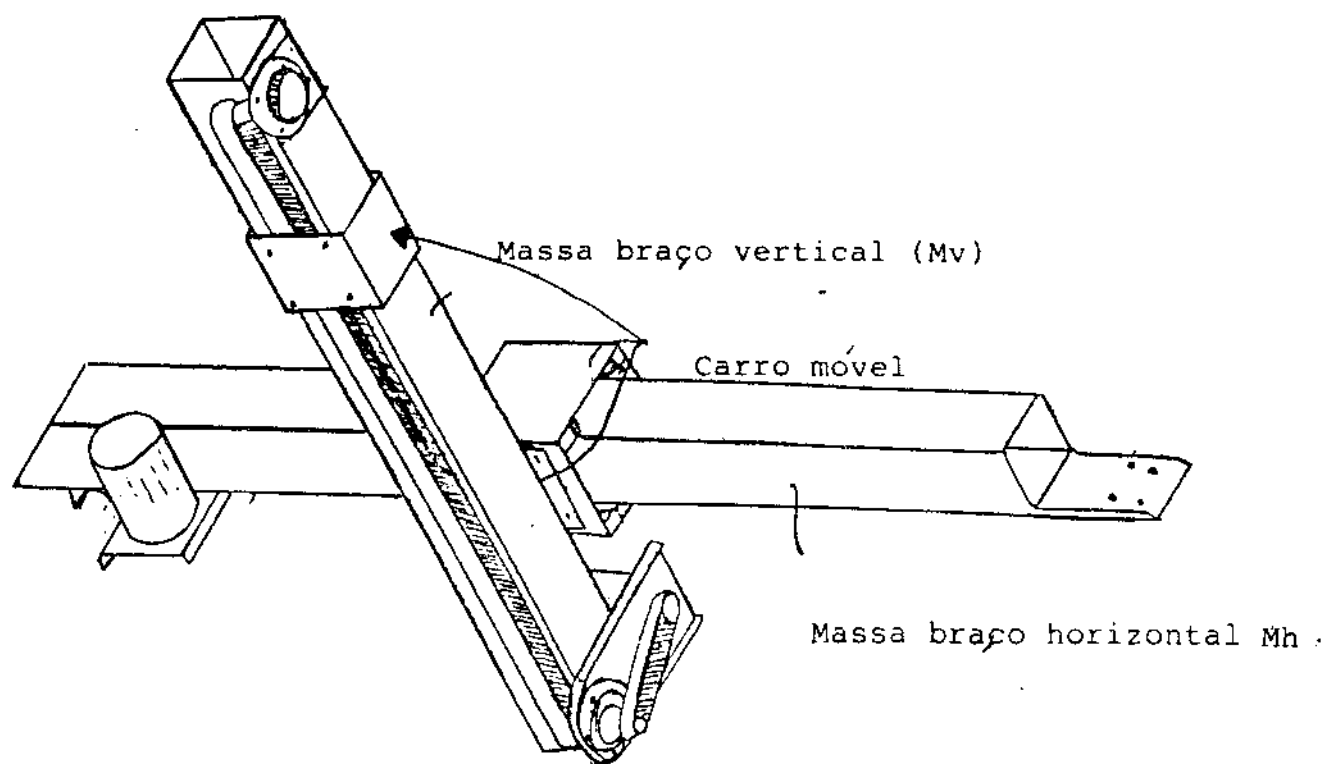


Fig. 3.23 - Configuração do conjunto braço horizontal, carro móvel e braço vertical para estudo de forças atuantes no braço horizontal

3.5.2 Análise da sensibilidade .

Após ter-se definido as equações de torque dos motores, serão analisados quais parâmetros influenciarão de forma mais acentuada o desempenho do projeto.

Conforme as equações (11) e (13), verifica-se que quanto maior a massa a ser acelerada, maior será o torque necessário no motor e consequentemente, maior será seu tamanho e peso.

Outro parâmetro que também influe no torque é a relação dos raios das polias ($R_1 * R_3 / R_2$). Nota-se que este parâmetro deveria ter o seu valor pequeno contribuindo para diminuir o torque e a resolução. Entretanto, pela equação (5) seria necessário aumentar-se a velocidade N_{max} (rotação do motor) para atingir-se a velocidade V_{max} (velocidade do braço) desejada, o que não seria teoricamente interessante por limitações do próprio projeto (turbulência no meio). Portanto a relação $R_1 * R_3 / R_2$ não deve ser muito pequena.

3.5.3 Especificação das partes mecânicas :

Para especificação das partes mecânicas foram realizados cálculos iterativos, tomando-se como base as expressões matemáticas calculadas anteriormente.

Estimou-se inicialmente, de acordo com as dimensões estipuladas, as massas de cada um dos componentes

mecânicos do acionador verificando-se após a construção destas peças a validade das estimativas. Dessa forma tem-se:

a) Braço vertical (curso 500mm)- constituído por um perfil de alumínio quadrado de comprimento igual a 800 mm, com 2 mm de espessura e 61 mm de lado, permitindo a montagem no tubo da transmissão por correias junto com os mancais. A massa após medida alcançou um valor de 3,8 kg.

b) Braço horizontal (curso 500 mm) :constituído por um perfil de alumínio quadrado de comprimento estimado em 1000 mm, com 2 mm de espessura e 61 mm de lado (pelas mesmas razões do braço vertical). Considerando-se ainda flanges, rolamentos, polias etc. a massa após medida alcançou 4,2 kg.

c) Estrutura : foi confeccionada com perfis de aço soldados, de lado 63,5 mm e 2mm de parede. Considerando-se ainda flanges, rolamentos, polias etc., a massa estimada resultou em 31 kg..

d) Carros : são constituídos por chapas de alumínio parafusadas em colunas também de alumínio. Possuem 24 rolamentos, entre outras peças. A massa dos carros que deslizam sobre os braços, ao ser medida alcançou 1,7 kg.

Dessa forma, considerando-se todas as partes componentes do manipulador tem-se um peso total de 42 kg.

A carga a ser deslocada por cada motor após a mensuração de cada componente foi a seguinte (para melhor elucidação vide figura 3.23):

motor1 = braço horizontal + braço vertical = 9,7 kg

motor2 = braço vertical + carros = 5,5 kg

motor3 = transdutor + haste = 0,5 kg (estimada).

Para especificação do torque dos três motores, serão utilizadas as expressões já deduzidas neste capítulo tanto para cálculo do torque como para especificação da resolução "e" do acionamento e rotação máxima. Pela análise dessas equações, observa-se que a massa e a relação de espiras são os parâmetros principais na escolha dos motores, já que o ângulo de passo, por exemplo, é inerente ao equipamento.

Dessa forma, para escolha dos raios das polias foi construída a tabela 3.1 com as seguintes considerações:

- Foram utilizadas os mesmos tipos de polias para todas as transmissões.

- Devido às limitações da correia, escolhida em tabelas de fabricantes em função da capacidade de carga e custo, o raio R_e deve ser $\geq 15,2$ mm (largura da polia).

- Por limitações geométricas do projeto : $R_i \leq 20,0$ mm e $R_e \leq 17,0$ mm.

- O ângulo de passo dos motores será de $1,8^\circ$ e a resolução desejada de 0,5 mm.

- Os raios das polias foram retirados do catálogo do fabricante do produto : (12)

- Foram calculados apenas o torque para o motor1 visto que as massas a serem deslocadas pelos demais motores são menores.

- A velocidade de deslocamento dos braços foi estimada para cálculo em 3,0 mm/s, o que propicia como já discutido, o não aparecimento de turbulência no meio simulador.

	R_1	R_2	R_3	N_{motor}	e	Torque do motor
	(mm)	(mm)	(mm)	(pass/s)	(mm)	N.cm
1	15,2	17,0	11,3	79	0,16	3,31
2	15,2	14,6	9,7	78	0,16	3,41
3	15,2	11,3	8,1	73	0,17	3,58
4	15,2	14,6	11,3	67	0,19	3,85
5	18,2	12,1	9,7	65	0,19	4,00
6	15,2	12,1	9,7	65	0,19	4,00
7	15,2	9,7	8,1	63	0,20	4,10

Tabela 3.1

Neste caso, a rotação que seria inicialmente um parâmetro limitador, como já discutido, não possui grande relevância. Objetivando aliar características de baixo torque e boa resolução, verifica-se que a condição 1 é a que possui melhor desempenho. Assim as dimensões das polias serão :

$$R_1 = 15,2 \text{ mm} ; \quad R_2 = 17,0 \text{ mm} ; \quad R_3 = 11,3 \text{ mm}$$

Pode-se agora definir o torque dos motores de passo a serem utilizados no projeto. Atualmente a produção nacional de motores de passo com boa qualidade é praticamente cativa, o que deixa pouca ou nenhuma opção de escolha. Para o torque necessário para o projeto (3,31 N.cm), o motor do fabricante Syncro de 4 N.cm cumpre satisfatoriamente o exigido. Por ser o de menor dimensão em sua linha deste tipo de produto, será adotado também para os outros dois acionamentos, já que a carga é muito inferior a capacidade dos motores.

Vale ainda comentar que o peso adicional destes motores (0,5 kg de acordo com o fabricante), não irá alterar substancialmente (menos de 10% do peso global), os cálculos realizados.

3.5.4 Projeto executivo .

Apresenta-se a seguir alguns critérios utilizados no projeto dos conjuntos e das peças do acionador. Entre eles temos :

- Massa : sendo um parâmetro crítico, procurou-se evitar o superdimensionamento das peças, bem como desenvolver partes mecânicas inúteis ao projeto, colocando-se apenas o essencial. No caso da estrutura, visando sua rigidez quanto a esforços mecânico não se teve tal preocupação.

- Rigidez . sendo outro parâmetro crítico, reduziu-se ao máximo a distância entre os apoios do braço horizontal. As demais peças, principalmente flanges, foram providas de dobras para terem suas rigidez aumentadas.

- Fabricação . como todas as peças são obtidas por processo de usinagem, procurou-se simplificá-las ao máximo e agilizar a fabricação.

- Os rolamentos dos roletes foram revestidos com anéis de delrim (poliacetal) com a finalidade de evitar ruídos, e no caso daqueles que correm sobre o tubo de alumínio o desgaste do mesmo. Para maiores detalhes quanto as partes e peças desenvolvidas para o acionador, o anexo 1 deste trabalho apresenta cada uma delas com suas devidas especificações técnicas.

No presente capítulo foram definidos os critérios utilizados para especificação das partes e peças mecânicas, bem como do tipo de elemento acionador e de transmissão. No capítulo seguinte introduz-se os critérios adotados para desenvolvimento do "hardware" e "software" de controle do acionamento e aquisição dos dados.

CAPÍTULO 4

SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS

4.1 Introdução :

No capítulo anterior foi apresentada a metodologia envolvida tanto na escolha do motor de passo, critérios e especificações técnicas desejadas, bem como das partes e peças mecânicas do manipulador cartesiano(robô).

Este capítulo, trata do "hardware" e o "software" desenvolvidos para controle e comando dos motores, bem como para aquisição e tratamento da leitura de radiação .

É importante observar que tanto o "hardware" quanto o "software" foram implementados para a tarefa específica de deslocar tridimensionalmente uma câmara de ionização em um meio líquido. Essa câmara realizará leituras de radiação (sempre que desejado pelo usuário), o qual conforme descrito no capítulo 2, será na verdade um sinal analógico (variação de carga, corrente ou tensão), amplificado por um eletrômetro. Em seguida, este sinal será digitalizado e armazenado na memória podendo ser lido individualmente quando desejado, ou como é mais usual, traçando na tela as curvas de isodose.

A execução dessas tarefas, onde necessita-se essencialmente de precisão de posicionamento do transdutor e

capacidade de armazenamento de dados, leva à utilização natural de microcomputadores. Optou-se pelo desenvolvimento de uma placa para controle e aquisição de dados, compatível com um microcomputador IBM, devido sua popularização, sendo encontrado em qualquer laboratório de pequeno porte, bem como pela facilidade de obtenção de informações técnicas e normas de utilização deste equipamento. Embora não seja o mais avançado tecnologicamente, a opção pela utilização de um microcomputador compatível com um IBM modelo XT foi feita, devido não haver necessidade de rápidos processamentos numéricos assim como seu baixo custo.

4.2. Hardware de controle e acionamento dos motores de passo:

4.2.1 Introdução:

Para acionamento do motor de passo, é necessário que ocorra o chaveamento do fluxo de corrente de um enrolamento para o outro. O circuito de potência deve ser capaz de executar tal função.

A fig. 4.1, apresenta um diagrama de blocos de um sistema básico de funcionamento de um motor de passo.

O circuito de controle, envia ao de potência na forma sinais digitais, a sequência de passos capaz de fazer o motor girar no sentido desejado. A fonte dc é usada para fornecer uma tensão controlada ao enrolamento do motor de passo, provocando um fluxo de corrente de valor conhecido.

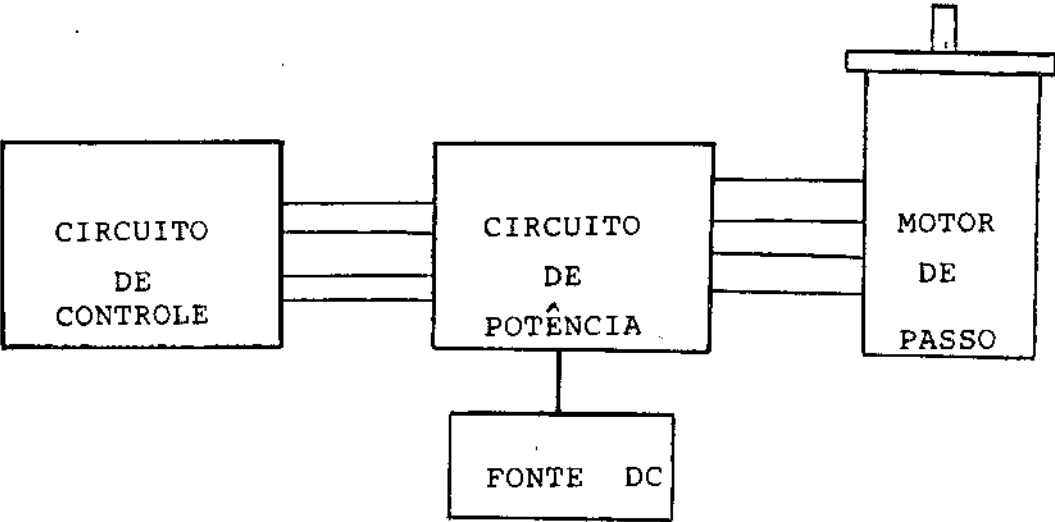
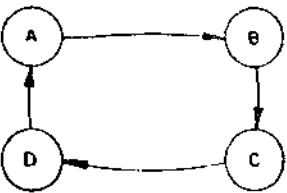


Fig. 4.1- Sistema básico para operacao de um motor de passo.



onde: A = 1010
B = 1001
C = 0101
D = 0110

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	
Rotação Horária	1	0	1	0	Rotação Anti-horária
	1	0	0	1	
	0	1	0	1	
	0	1	1	0	
	1 - Liga		0 - Desliga		

Fig. 4.2- Sequência de pala-
vras digitais pa-
ra operação de um
motor de passo.

Tabela 4.1-Sequência de palavras
para acionamento de
um motor de passo.

Em geral, é necessário o uso de regulador de tensão tal que oscilações que possam ocorrer na alimentação ac da fonte, não comprometa a qualidade dos sinais digitais. O circuito de potência, por sua vez, distribui e amplifica o trem de pulsos enviado pelo circuito de controle.

Nos itens seguintes deste capítulo, apresenta-se detalhadamente, os circuitos desenvolvidos para atividades de controle e potência dos motores do equipamento em discussão.

4.2.2- Circuito de controle :

Como já comentado no capítulo 3, existem diversos tipos de motores de passo com diferentes modos de acionamento e número de fase. Nesse equipamento, foi utilizado 3 motores de passo de 4 fases que obedecem a sequência de acionamento, mostrada nas figs. 4.2. e tabela 4.1.

A tabela 4.1, mostra a sequência de acionamento das fases do motor, para rotação horária e anti-horária. Dessa forma, obtendo-se um circuito de capaz gerar estas sequências, tem-se garantido o acionamento do motor no sentido desejado.

Poder-se-ia utilizar máquina de 4 estados implementada com flip-flop tipo D (c.i. 7474). No entanto, seriam necessários 3 circuitos com esta configuração, para

alimentação dos 3 motores. Outro ponto importante a ser lembrado, é que utiliza-se um microcomputador, o que dá mais versatilidade no projeto. Dessa forma, optou-se pela utilização de uma porta paralela programável (PPI) 8255, que apresenta entre outras vantagens, a possibilidade de controle dos tres motores de passo. A fig. 4.3, mostra o diagrama de blocos do circuito integrado (c.i.) 8255.

Este c.i., contém um registrador de controle e tres portas de entrada e saída ("I/O") de 8 bits cada, chamadas portas A, B, C. O 8255 é seleccionado para operação quando seu pino de selecção (CS), é ativado através da lógica de decodificação do sistema. Os pinos de endereçamento A_0 e A_1 , seleccionam o registador de controle ou uma das tres portas para transferência de dados.

O 8255 opera em tres modos diferentes que podem ser escolhidos através da correta programação do circuito integrado. Os tres modos são os seguintes:

- 1-Modo 0 : entrada e saída básicos.
- 2-Modo 1 : entrada e saída "strobed".
- 3-Modo 2 : barramento bidirecional.

Os detalhes quanto a programação do 8255, bem como sôbre as características de cada um dos modos podem ser encontrados nos manuais de fabricantes deste circuito integrado, os quais estão relacionados na bibliografia deste trabalho.

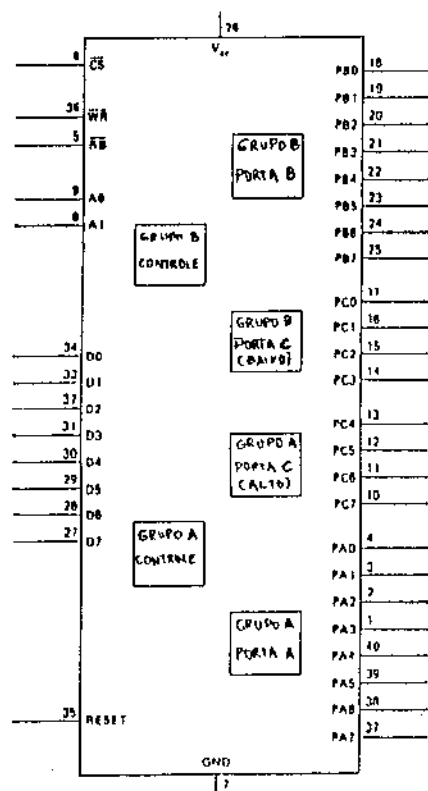


Fig. 4.3-Diagrama esquemático da porta paralela programável 8255.

Para as finalidades deste projeto , utiliza-se o 8255 para enviar as palavras de 4 bits para cada um dos tres motores que compõem este trabalho. Dessa forma, liga-se o motor 1 nos bits menos significativos da porta A (PA0,PA1,PA2,PA3), o motor 2 nos bits mais significativos dessa porta (PA4,PA5,PA6,PA7) e finalmente o motor 3, estará ligado aos bits menos significativos da porta B. O componente por sua vez, foi programado para operar no modo 0 , a fim de cumprir as tarefas desejadas. A fig. 4.4 mostra o circuito desenvolvido para este integrado.

Além da vantagem já mencionada, o 8255 é totalmente compatível para utilização direta com o barramento do microcomputador pessoal, visto que sua entrada de dados e endereçamento já é devidamente demultiplexada.

As doze saídas digitais utilizadas do 8255, comunicam este circuito integrado com o circuito de potência. No entanto, o 8255 estará inserido na placa conectada diretamente ao "slot" do microcomputador. Como a corrente média dos motores de passo chega à 1,5 A por fase , podendo alcançar valores ainda superiores no caso do travamento do rotor ou curto-circuito externo, decidiu-se acrescentar uma proteção à placa digital, bem como ao microcomputador. Utilizou-se de acoplamentos óticos para o interfaceamento entre o 8255 e o circuito de potência. A fig. 4.5 mostra os circuitos integrados utilizados para tal acoplamento.

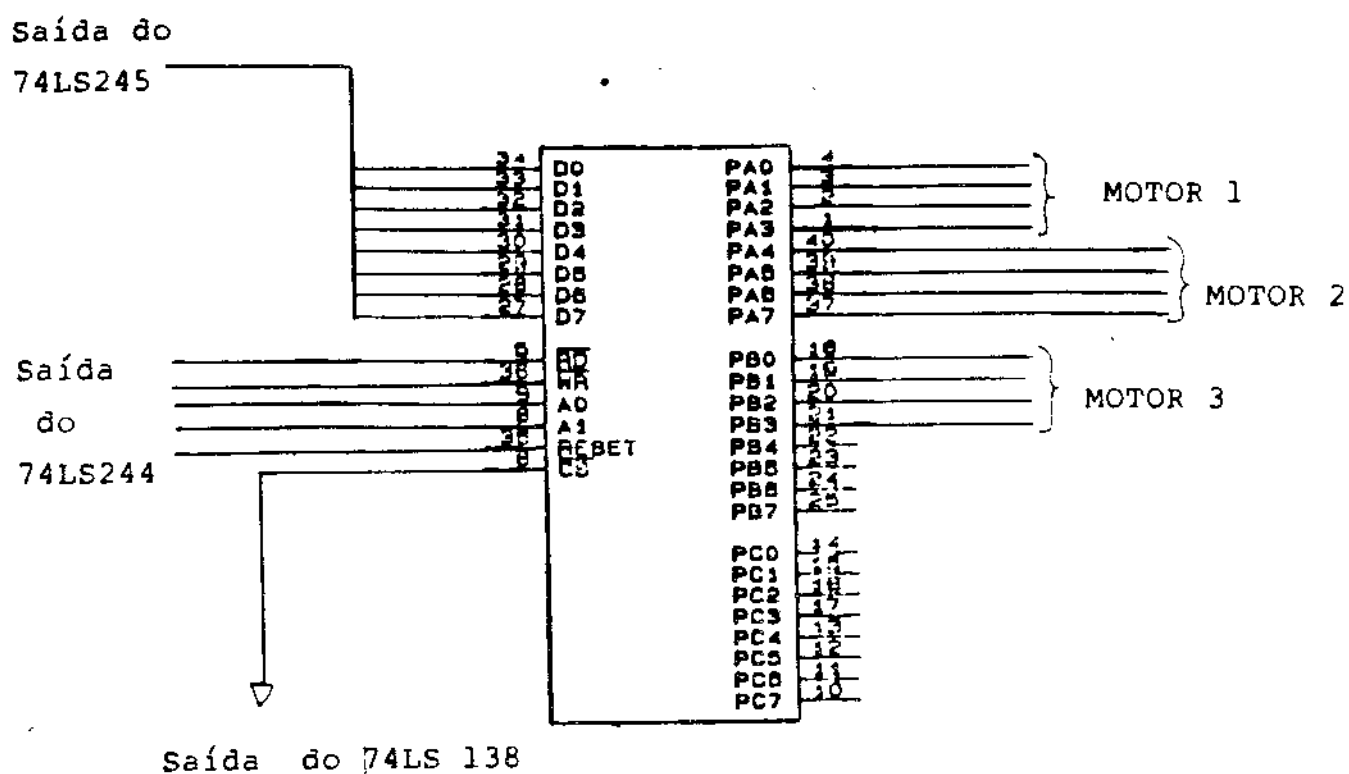


Fig. 4.4- Circuito de controle dos motores de passo usando a porta programável paralela 8255.

Fig. 4.5- Saída do 8255 e acoplamento óptico.

O c.i. CNY4.4 possui integrado 4 acopladores óticos, constituídos cada um por um diodo transmissor e um transistor, cuja base é um receptor de luz. Quando a corrente passa pelo diodo, este irradia luz o que leva à saturação do transistor. Apenas como limitadores de corrente, foram usados resistores entre os dois circuitos, o que propicia maior segurança na operação.

Um dado importante a ser analisado, seria a forma de controle da velocidade com que as palavras de comando dos motores de passo serão enviadas pelo 8255 para o circuito de potência, em síntese a velocidade de rotação dos motores.

Necessita-se de um sistema que temporize o envio destas palavras, dentro de um intervalo desejado. Poder-se-ia usar um "timer" com frequência programável por um microcomputador, cujo sinal inibisse o 8255, em intervalos conhecidos permitindo sua operação apenas em instantes determinados quando este liberaria as palavras na sequência que provocasse o giro do motor no sentido desejado (vide item 4.2.3).

O procedimento adotado para que se conseguisse a temporização do circuito, foi a utilização da interrupção por "hardware" do microcomputador. À cada momento em que o sinal do "timer" habilite a interrupção, o microcomputador interrompe o processamento em execução (programa principal) e salta para uma determinada rotina que aciona o 8255. Ao término da rotina, o micro retorna ao programa principal e

continua o processamento. A operação por interrupção, permite que o microcomputador não fique cativo, podendo efetuar outras tarefas enquanto não houver o pedido de interrupção.

O IBM-PC-XT, utiliza-se do circuito integrado 8259-A que é um controlador de interrupção programável que trata de interrupções externas e gera um código que é interpretado pelo 8088 de acordo com o tipo de interrupção requerida.

A fig. 4.6 mostra as oito interrupções aceitas pelo 8259, que são denominadas IRQ0 a IRQ7. Esta numeração indica na verdade a ordem de prioridade das interrupções, qual seja quanto menor o índice maior será a prioridade no atendimento do pedido de interrupção. No entanto, apenas de IRQ2 a IRQ7 são acessíveis ao barramento do IBM-PC. Como é previsível, o IBM-PC possui certos equipamentos que requerem processos de interrupção. O teclado, clock-calendário, disco-rígido, "floppy-disk" e LPT1, utilizam interrupções dedicadas, cujas linhas de interrupção não podem ser acessadas por outros periféricos. As interrupções IRQ2, IRQ3 estão disponíveis para utilização por outros periféricos como por exemplo a placa que conterá os circuitos em análise.

Deve-se nesse ponto observar, que os motores de passo deverão ser deslocados somente após as leituras da radiação da câmara de ionização tiverem sido devidamente processadas e armazenadas na memória do microcomputador. Assim, o sinal de término de conversão analógico-digital, é prioritário

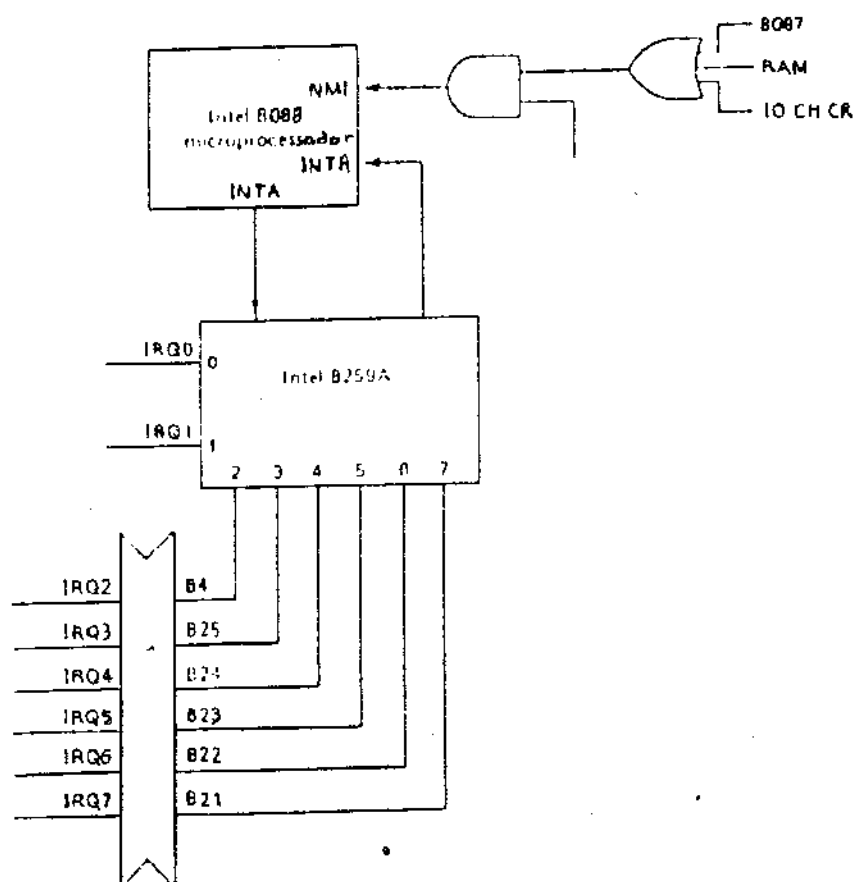


Fig. 4.6- Controlador de interrupção 8259A e as oito interrupções possíveis do PC.

sobre a habilitação de envio da palavra de controle dos motores , logo, o sinal do "timer" deverá habilitar uma interrupção de prioridade inferior. Dessa forma utilizou-se IRQ2 para o sinal de interrupção do conversor A/D e IRQ3 para o "timer".

A partir deste ponto, é discutido o tipo de circuito integrado usado como "timer". Objetivando a utilização de um componente capaz de ser reprogramado e permitindo dar grande versatilidade ao sistema em projeto, optou-se pela utilização do "timer" programável 8253. Pode-se então, definir diversas velocidades para os motores, bastando apenas variar a programação deste circuito integrado, o que pode ser executado com extrema facilidade.

O 8253 tem tres contadores independentes de 16 bits . Cada um dos contadores possui seu próprio clock, saída e linha de habilitação (gate). Os contadores podem proceder a contagem tanto no sistema binário quanto BCD, podendo operar em seis modos diferentes.

O 8253 pode operar em 6(seis) modos diferentes sendo que em cada um deles define o tipo de sinal na saída dos contadores. Dependendo do modo programado, pode-se conseguir desde um único pulso até trens de pulso de diversas larguras.

Neste caso, necessita-se de um trem de pulsos cuja frequência será variada de acordo com a palavra escrita em cada contador.

Fig. 4.7- Circuito de controle do "timer" programável 8253.

A fig. 4.7, mostra o esquema do circuito desenvolvido para o "timer" (8253) utilizado no equipamento.

Os tres contadores operam juntos em cascata, fornecendo ao sistema a possibilidade de um contador de 48 bits, que fornece uma frequência 2^{48} vezes menor que a de entrada. Como frequência de entrada usa-se o próprio "clock" do microcomputador originalmente de 4,57 MHz. No entanto tal valor é incompatível com a máxima frequência de operação do 8253, necessitando dessa forma uma redução, o que é conseguido através de um contador 74LS393. Assim, o sinal de entrada (CLK0) do c.i., será 1,1925 MHz, ou seja, um quarto do valor original e perfeitamente compatível com a operação do 8253.

Após ter-se efetuado a programação do "timer", é necessário que se comande a inicialização da operação. Para isso, basta que se habilite os "gates" do c.i., o que é realizado através de um "latch" octal 74LS373. Terminada a programação do timer, envia-se a palavra 0x01 para o endereço da porta nand 74LS02, inicializado através dos "gates", a operação do "timer".

A saída do terceiro contador do 8253, o pino 17 OUT2 é ligada finalmente ao pino de interrupção IRQ3 do microcomputador, possibilitando a variação da velocidade dos motores de passo, bastando para tanto, a alteração da frequência do sinal de saída do c.i.. O 8253 foi programado para operar no modo 2, gerando na saída dos contadores do 8253, um trem de pulso cuja frequência é programada pelo

usuário . Assim, apenas quando houver uma transição, do sinal o pedido de interrupção será percebido pelo microcomputador. Neste instante, o programa se desloca para outra rotina de interrupção, onde a palavra de controle é enviada para o motor, determinando a frequência de operação do mesmo. A figura 4.8 mostra o sinal na saída do pino 17, bem como o instante em que ocorre o pedido de interrupção .

4.2.3.-Circuitos de "buffer" e endereçamento :

O projeto dos circuitos de "buffer" e endereçamento, seguiu a normalização requerida pela IBM para utilização de barramento de microcomputadores compatíveis (13). O uso de buffers no circuito, proporciona segurança quanto à qualidade do sinal digital a ser utilizado no sistema de entrada e saída de dados.

Utilizou-se dois circuitos integrados "buffers" de tres estados 74LS244, nos quais estão conectadas as linhas de endereçamento e os sinais de controle desejados. Os dois 74LS244 são "buffers" de 8 bits cada , sempre ativados (pino "enable" está aterrado) passando sinais do barramento para o circuito, de forma unidirecional. A fig. 4.13, ajuda a elucidar o exposto.

Além dos "buffers", utilizou-se um outro circuito para tratamento do fluxo de dados no barramento . O

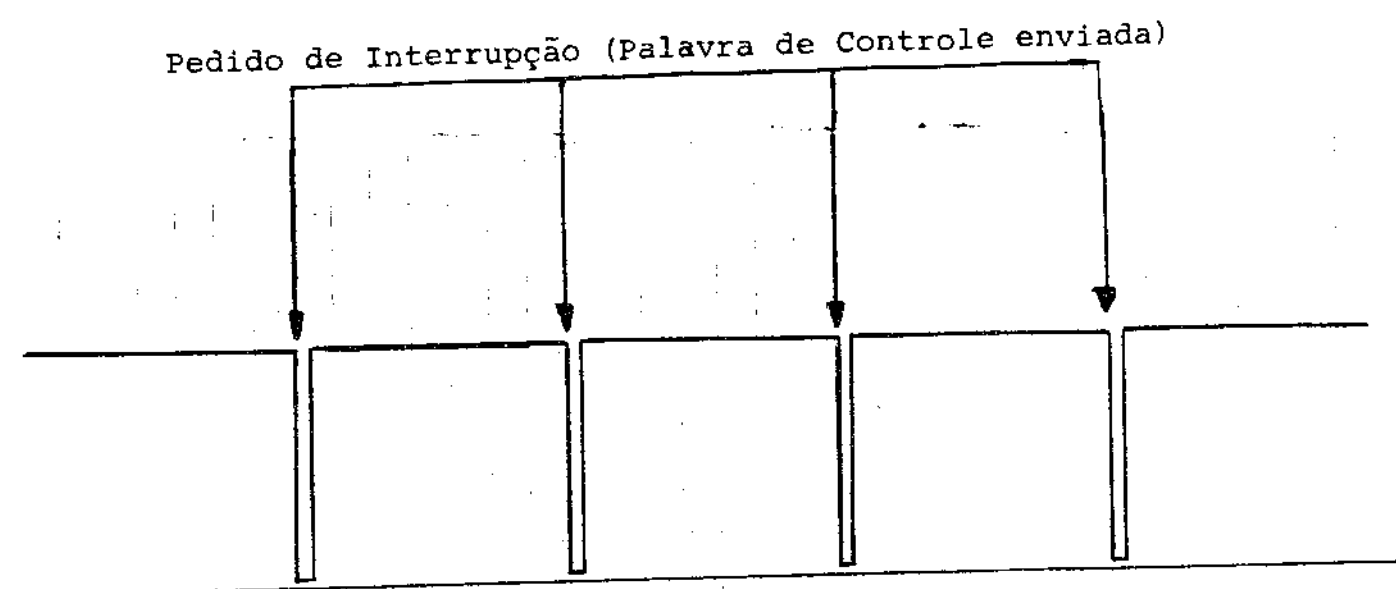
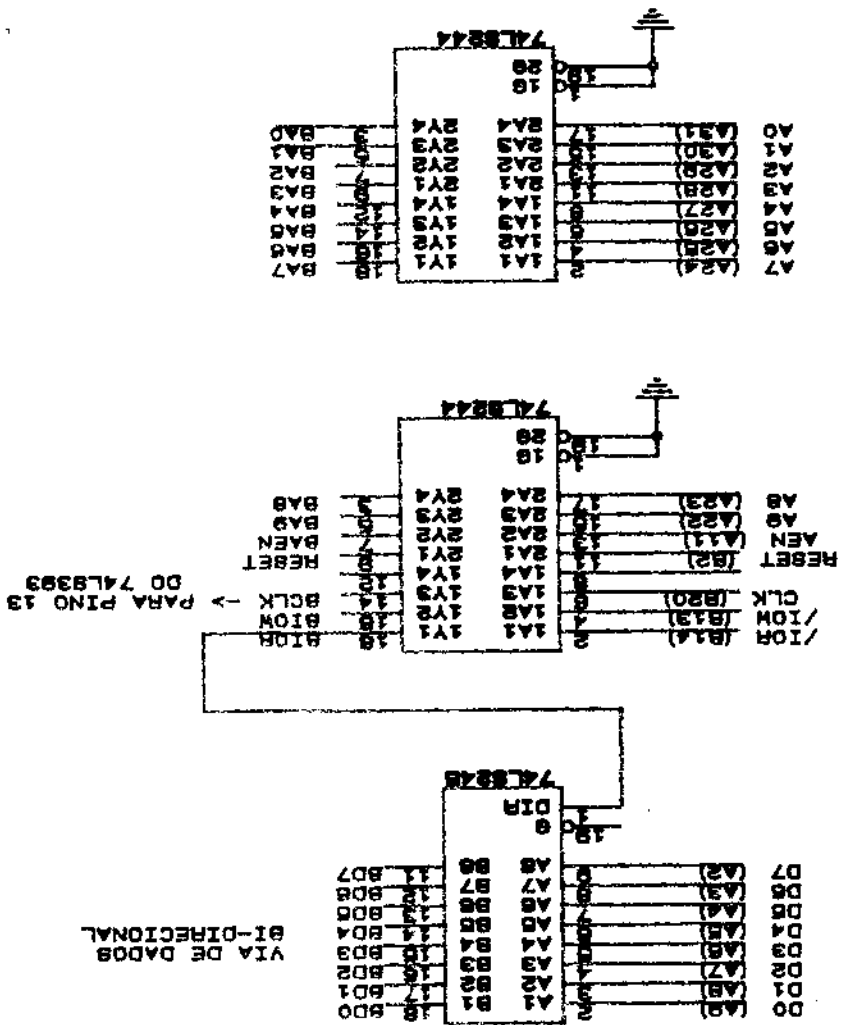


Fig. 4.8 - Sinal de saída(pino 17) do 8253.

00 00 0-1273>010>0



UNICAMP

Fig. 4.9- Circuito de "buffer" e direcionamento de dados.

74LS245, transmissor bidirecional, permitirá que dados trafeguem pelo sistema apenas se este circuito estiver habilitado (pino "outenable" em nível baixo) o que, como demonstra a fig. 4.9, ocorrerá sempre que o endereço estiver no intervalo definido anteriormente, ou não houver ciclo de DMA (acesso direto à memória para "refresh") do microcomputador. A direção do fluxo de dados no 74LS245 é determinado pelo nível lógico aplicado no pino 1 (DIR). Quando o nível lógico for 0, o dado poderá ser lido da placa e quando um poderemos escrever dados no sistema.

Para que seja possível se gerar o endereço de seleção de cada circuito integrado, é necessário que se conheça o espaço de enderêços possíveis de serem utilizados pelo sistema de entrada e saída de dados.

O barramento do microcomputador pessoal, fornece 10 bits para endereçamento de portas, bits de A_0 a A_9 para um total de 1024 enderêços de portas diferentes (14). No entanto apenas o intervalo de enderêços entre 200(hexa) a 31F(hexa), pode ser usado para placas de entrada e saída de dados sendo que os enderêços entre 300(hexa) e 31F(hexa), são dedicados ao desenvolvimento de novos periféricos.

Nesta aplicação fêz-se a seguinte distribuição dentro do espaço de enderêços disponíveis apresentado na tabela 4.1 a seguir:

ENDEREÇO	NOME	FUNÇÃO
300	Porta A	Entrada e saída Porta A 8255
301	Porta B	Entrada e saída Porta B 8255
302	Porta C	Entrada e saída Porta C 8255
303	Controle	Habilita palavra de controle do 8255
304	Contador 0	Habilita contador 0 do 8253
305	Contador 1	Habilita contador 1 do 8253
306	Contador 2	Habilita contador 2 do 8253
307	Controle	Habilita palavra de controle do 8253
308	Conversor A/D 0803	Habilita endereços e dados do 0803
30C	Porta nand 7402	Habilita porta Nand 7402

Tabela 4.1

Para decodificação de endereços, foi utilizado um circuito comparador 74LS85 que decodifica o endereço de entrada e saída do circuito. Este possui duas entradas de 4 bits, uma conectada as linhas de endereço e outras 4 ligadas de tal forma que definam o valor do endereço desejado. Quando estas duas entradas possuírem o mesmo valor, um sinal de nível lógico 1 aparece no pino 6 (denominado de IOA). Também utiliza-se a linha de endereço A9 para ativar/desativar este c.i., desta maneira aumentando a faixa de decodificação de endereço do circuito. A fig. 4.10 mostra a topologia do circuito de endereçamento desenvolvido para este projeto.

As linhas de endereço A5, A6, A7 e A8, são comparadas com os níveis lógicos (através do 74LS85) presentes nos pinos B0, B1, B2 e B3. Estes pinos estão ligados conforme a fig. 4.11, onde apenas B0 está em Vcc enquanto os demais estão aterrados. Assim para ocorrer um nível lógico 1 no pino 6 do 74LS85, é necessário que a palavra presente nas linhas de endereço de A5 a A8 esteja conforme a tabela 4.2.

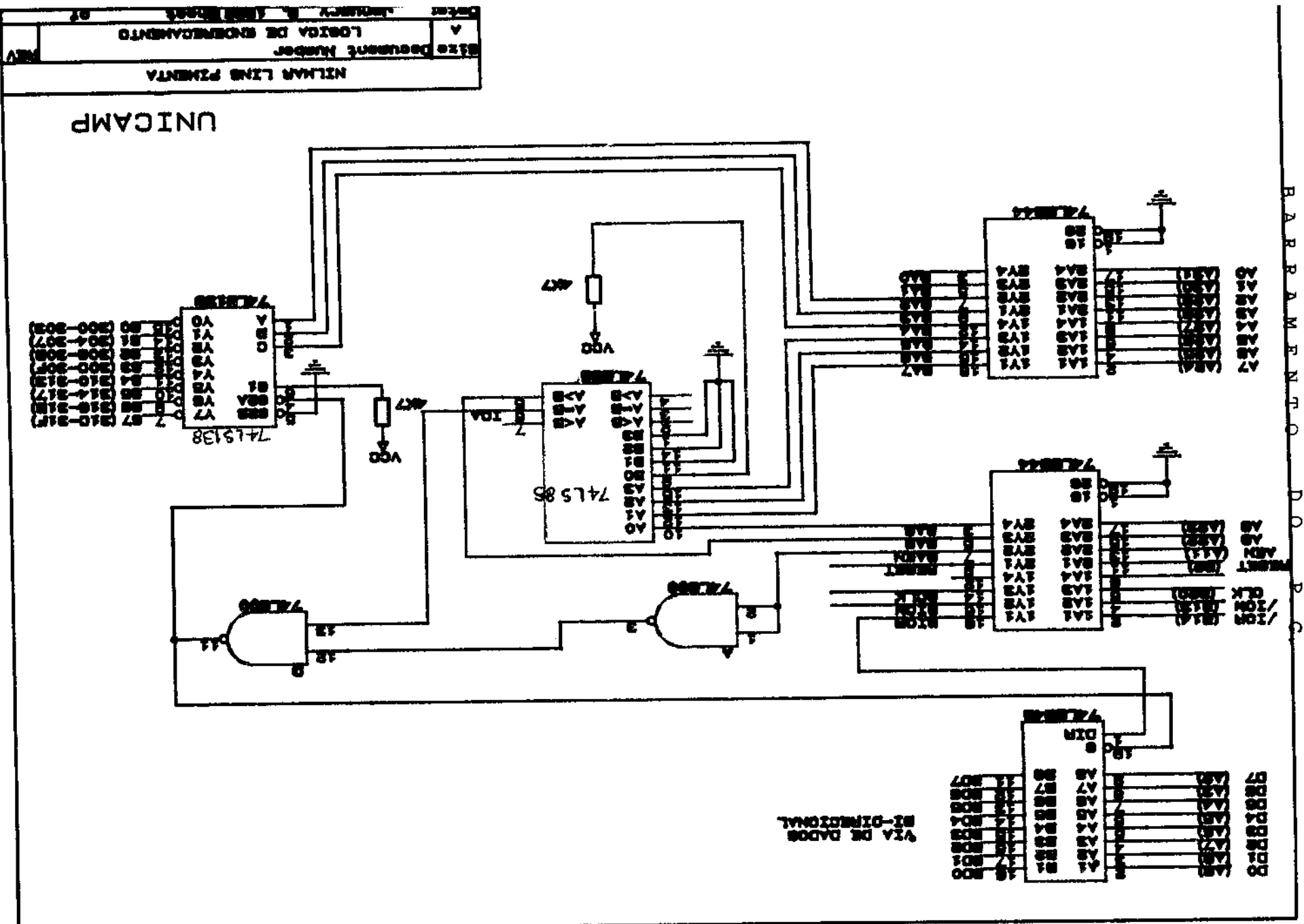


Fig. 4.10- Circuito de endereçamento do 8255, 8253 e conversor AD.

A ₇	A ₆	A ₅	A ₄	A ₃	Faixa de entrada e saída
1	1	0	0	0	300-31F
1	1	0	0	1	320

Tabela 4.2

Verifica-se através da tabela 4.2, que os enderêços estão compatíveis com os valores projetados.

Para que seja possível discretizar a faixa de enderêços, usa-se um integrado 74LS138 o qual decodifica tres entradas binárias em 8 saídas independentes (S0 a S7), através dos enderêços gerados por A₄, A₅, e A₆. Cada saída do 74LS138 permite a decodificação de 4 enderêços contínuos de entrada e saída. Por exemplo, quando o pino 14 do 74LS138 está em nível lógico zero, ou seja ativado, seleciona-se a faixa de enderêços que vai de 304(hexa) até 307(hexa).

É importante ainda observar, que o sinal de habilitação do 74LS138, é fornecido pela lógica NAND do 74LS00, onde na entrada está o sinal AEN e IOA, o que permite a habilitação deste integrado, apenas no intervalo

de enderêço desejado, bem como no instante em que não ocorra acesso direto à memória (DMA).

4.2.4- Circuitos de potência :

Existem dois tipos de circuitos de potência, determinados pelo sentido da corrente através dos enrolamentos do estator. Pode-se ter circuitos de potência unipolar ou bipolar (vide item 3.1.2.2 capítulo 3).

A fig. 4.11 apresenta um circuito simples para um motor híbrido de quatro fases unipolar, similar ao utilizado em neste projeto.

Com o objetivo de melhorar a sua resposta, no que se refere à estabilização da corrente, vários circuitos foram criados, cada qual com suas vantagens e desvantagens as quais serão analisadas a seguir.

Simplificadamente, pode-se modelar o motor de passo (apenas uma fase) como mostra a fig. 4.12 . O enrolamento da fase é modelado por uma reatância indutiva (L_m).

Ao se tentar interromper a corrente em um indutor, ocorre a geração de tensão proporcional à variação da corrente no tempo (1). Como decorrência, pode haver danificação do circuito. Diversas formas são utilizadas para evitar este problema.

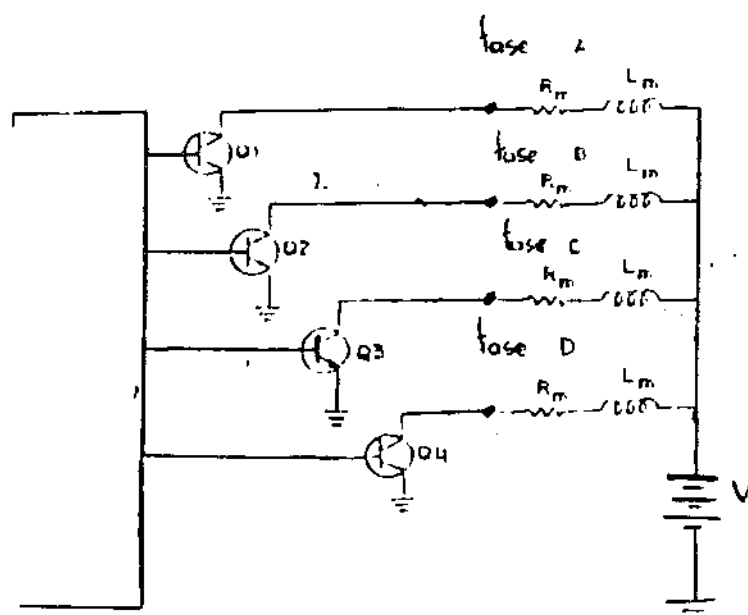


Fig. 4.11 - Circuito de potência padrão para alimentação de motores de passo.

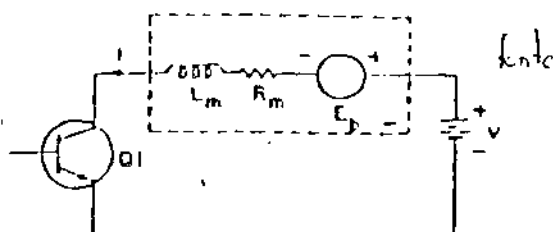


Fig. 4.12 - Circuito de modelamento de um motor de passo.

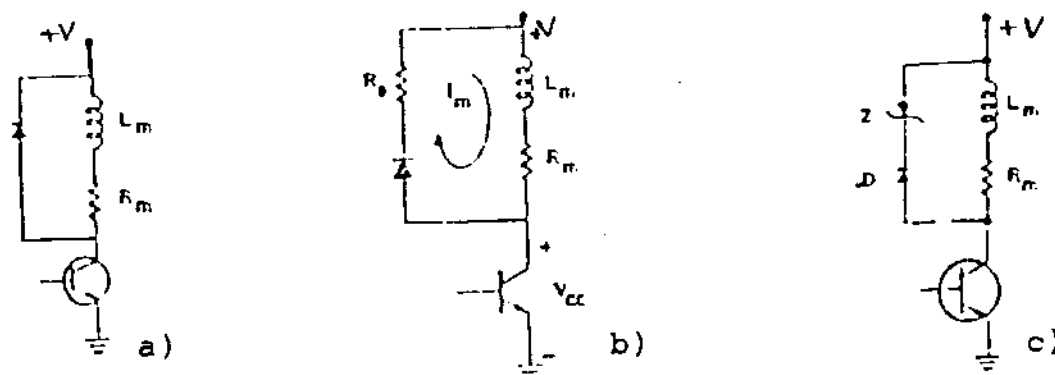


Fig. 4.13 - Circuito auxiliar para otimizar comutação.

- (i) circuito com diodo : oferece passagem da corrente quando do chaveamento da fase (fig. 4.13.a).
- (ii) circuito com diodo e resistor : segue a mesma idéia anterior, sendo que a constante de descarga é menor, dada por: $L_m / (R_m + R_z)$. (fig. 4.13.b)
- (iii) circuito com diodo e zener . caracteriza-se pela baixa constante de tempo para decaimento da corrente. Quando a tensão no indutor atinge o valor de avalanche do zenner, este conduz e dissipa potência sobre ele mesmo (fig. 4.13.c).

Outra implementação que possibilita melhor desempenho quando se necessita de altas rotações, é a utilização de resistores em série com a indutância dos enrolamentos. Ao energizar-se uma fase, a impedância L_m torna-se teóricamente infinita, causando certa vagarosidade na alimentação do motor. Como é de conhecimento da teoria dos circuitos, para se diminuir as oscilações pode-se utilizar um capacitor em paralelo com o resistor (vide fig. 4.14).

Para aplicação neste sistema, foi utilizado o circuito integrado L9222, que já possui 4 transistores, o que vem a reduzir de forma significativa as dimensões do circuito de potência. Sua corrente nominal por fase é de

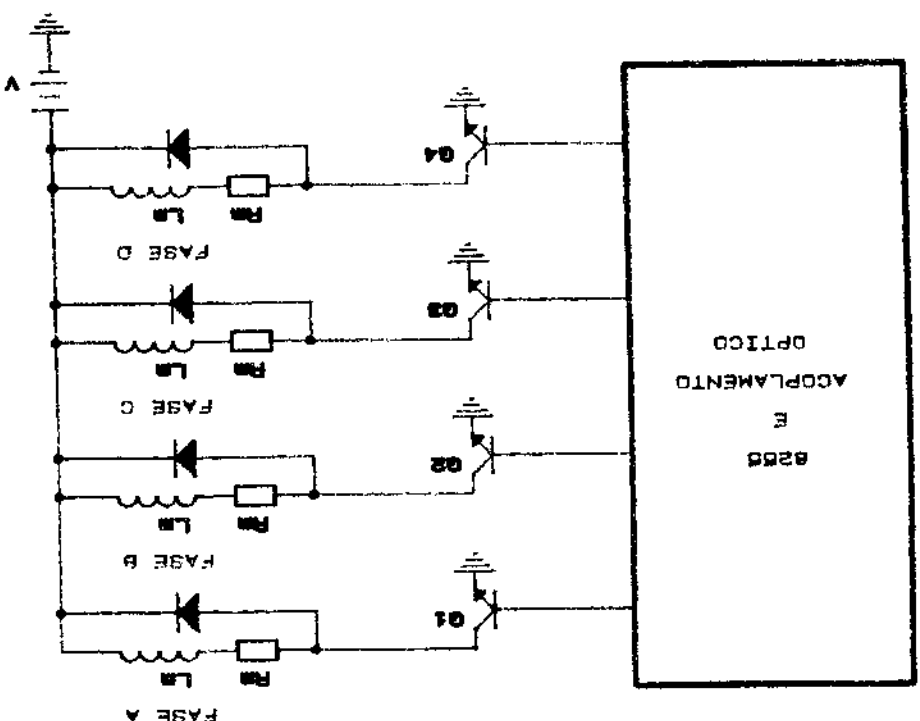


Fig. 4.14 - Circuito de potência com diodo de supressão , resistores e capacitores para redução de oscilações.

1,5 A o que possibilita sua utilização com o motor de passo definido para o projeto, cuja corrente máxima é de 1 A/fase. A fig. 4.15 mostra o esquema elétrico do C.I. em discussão, observando-se no entanto, a necessidade dos diodos de supressão em paralelo com as bobinas do motor de passo, bem como o zener objetivando o exposto anteriormente. Para esta aplicação, foram usados diodos ultra-rápidos modelo SK 01 para corrente de chaveamento de até 2 A.

A fig. 4.15, apresenta o circuito de potência completo, desde a fonte de alimentação. Utilizou-se um transformador 110/12 V para 15 A, ponte retificadora de onda completa com diodos de potência com corrente nominal 2A cada. Para alimentação do L9222, foi usado um regulador de tensão 7805 com característica de regulação de 5 V $\pm$ 10%. A tensão de 12 V, alimenta ainda as fases dos motores de passo. Na fig. 4.15 pode-se observar a presença de resistores de pull-down.

Como opera-se com baixas velocidades, não é necessária a utilização de resistores em série com a bobina, não sendo dessa forma aplicados ao projeto.

4.3.- Hardware para aquisição de dados.

Um sistema de aquisição de dados, deve realizar a função de receber o sinal de um transdutor, codificá-lo em

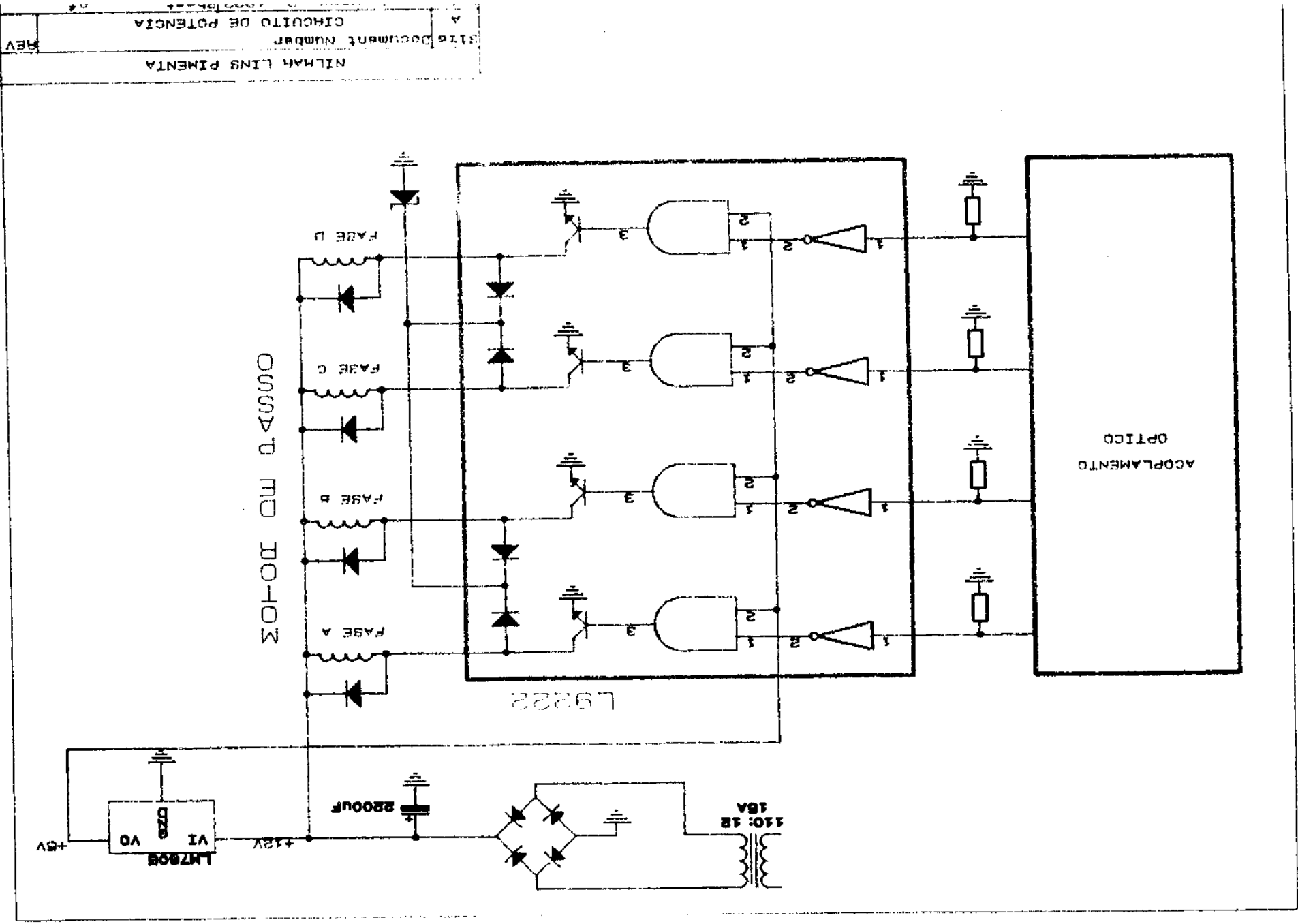


Fig. 4.15- Circuito de potência usando c.i. L9222 e diodos.

um sinal digital equivalente, à fim de ser utilizado tanto para futuros processamentos como para simples apresentação em tela de vídeo ou display.

Os conversores analógicos-digitais, possuem um vasta gama de tipos e modelos. O tipo de técnica de conversão (aproximação sucessiva, "dual slope", etc) e a tecnologia usada na fabricação do circuito integrado, determinam as características essenciais de velocidade, resolução e custo.

Conversores analógicos-digitais (AD) de aproximação sucessiva, oferecem a maior gama de opção, sendo desta forma o mais comumente usado. Os conversores AD monolíticos, são os de menor preço. Atualmente os ADs são fabricados em tecnologia CMOS e bipolar. O CMOS tem a vantagem de um baixo consumo de potência. Contudo, sua precisão e velocidade de conversão não são significativas. A tecnologia bipolar pode conseguir estas características, mas é difícil atingir uma alta densidade de integração. Aquisições de alta velocidade e alta resolução são apenas conseguidos com conversores híbridos, os quais combinam mais de um componente monolítico em um único invólucro.

Para a seleção de um conversor AD, é importante que se conheça características tais como resolução, tempo de conversão e erro permissível.

Neste caso, a leitura de radiação não será computada em seu valor absoluto, mas como já definido neste trabalho (capítulo 2), pela porcentagem de um valor de referência

(a)		HVL 1.0 mm Al. ()						
Area (cm ²)		0	3.1	7.0	15.6	28.3	50	100
(cm)		0	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.64
d (cm)								
ESD 15 cm	0	100	100	100	100	100	100	100
	0.8	61	71	79	84	88	90	91
	1	44	60	68	73	77	80	82
	2	23	32	36	39	41	42	43
	3	13	18	21	23	25	26	27
	4	8	11	13	15	16	17	18
	5	5	7	8	9	10	10	11
	6	3	4	5	5	6	6	6
	7	2	3	3	3	4	4	4
	8	1	2	2	2	3	3	3
ESD 20 cm	0	100	100	100	100	100	100	100
	0.8	62	73	80	84	88	90	91
	1	45	61	69	74	78	81	83
	2	24	33	37	41	43	45	46
	3	14	19	22	24	26	27	28
	4	9	12	14	16	17	18	19
	5	6	8	9	10	11	11	12
	6	4	5	6	6	7	7	7
	7	3	4	4	4	5	5	5
	8	2	3	3	3	4	4	4

Tabela 4.2- Valores típicos de porcentagem de dose para uma fonte Cobalto 60, distância 15 cm e 20 cm.

(6). A tabela 4.2 mostra valores percentuais de dose para uma fonte radioativa de Co 60 (6). Observa-se que interessam apenas valores percentuais inteiros. Em termos de resolução, os conversores AD são encontrados em versões de 8, 10 e 12 bits os quais apresentam na sequência apresentada um aumento nesta característica. Para aplicação neste projeto não tem-se necessidade de uma resolução maior que duas casas decimais já que acima desse valor, não se obtém qualquer diferença no resultado desejado. Para uma entrada analógica máxima de 5V, sendo utilizado um AD de 8 bits, é possível uma variação de 0,02 V por bit. Supondo um valor de entrada analógica de 3,52 V para um máximo de 5 V a porcentagem de dose de interesse seria 70%, o mesmo valor caso a resolução permitisse que o AD percebesse variações de até 3 casas decimais (AD de 10 e 12 bits). Dessa forma, optou-se por um conversor analógico-digital de 8 bits, modelo 0803. A fig. 4.16 mostra a topologia usada para o circuito em discussão.

Outro dado importante a ser analisado é o tempo de conversão, que para o AD 0803 é de 100 s, sendo tal valor suficientemente pequeno comparativamente ao conjunto transdutor-eletrômetro.

O conversor analógico-digital 0803, começa a executar a conversão após ter chegado o sinal analógico à entrada $V_{in}(+)$, estando os pinos CS e WR em nível lógico baixo. Terminada a conversão, ocorre a mudança no sinal lógico do pino INTR (de alto para baixo), informando que o

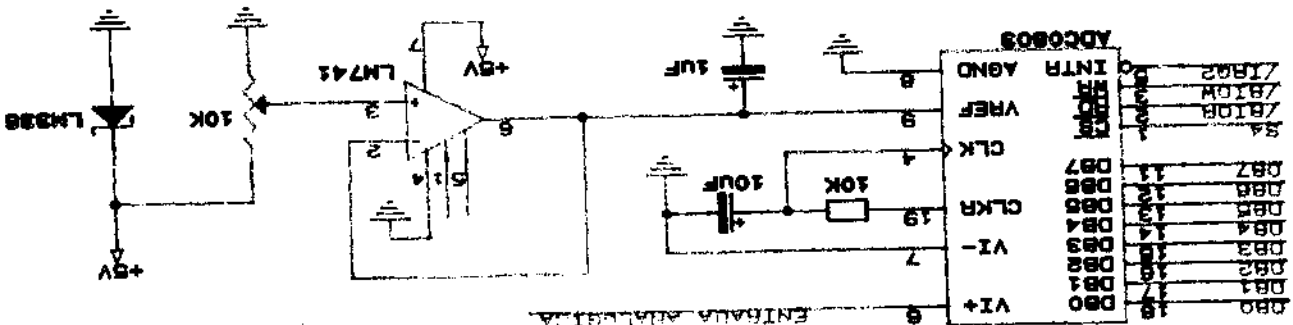


Fig. 4.16- Circuito para aquisição de dados analógicos e conversão para digital através do AD 0803.

dado está pronto para ser lido no barramento D_0-D_7 . No caso de operação de leitura, a combinação de sinais lógicos baixos, deverão aparecer nos pinos CS e RD. O sinal INTR é ligado diretamente ao pino IRQ2 do barramento do PC, em razão dos motivos já expostos sobre a hierarquia de interrupção do microcomputador.

A entrada analógica de tensão de referência $V_{ref/e}$, permite que se utilize valores que variam na faixa de 5V a 2,5 V. Tal recurso permite que se opere com diferentes valores máximos de tensão. Para utilização de tal recurso foi utilizado um potenciômetro ligado à entrada não inversora do operacional, o zenner LM336 estabiliza a tensão referencial evitando que oscilações indesejáveis sejam percebidas pelo integrado (vide fig. 4.16).

O "clock" do conversor pode ser derivado do próprio microcomputador, ou pode-se acrescentar um circuito RC que fornecerá um "clock" diferente ao integrado. Para a obtenção de uma frequência de operação igual a nominal, ou seja 100 MHz, utilizou-se um circuito RC com $R=10\text{ K}$ e $C=10\text{ F}$, conforme pode ser verificado na fig. 4.16.

É importante observar que só após terminado todo o processo leitura e digitalização do sinal analógico fornecido pelo eletrômetro, o motor de passo se deslocará para a posição seguinte em função do nível hierarquico que ocupam o AD (IRQ2) e o "timer" (IRQ3).

4.4-Software do sistema:

O software para procedimento das tarefas do equipamento, foi totalmente desenvolvido em linguagem C 2.0, objetivando com isso facilidade no entendimento, visto tratar-se de uma linguagem de alto nível, tendo no entanto a habilidade de operar diretamente nos bits e bytes da memória do computador substituindo facilmente a utilização de linguagem assembler.

O software desenvolvido para este projeto realiza as seguintes tarefas .

a) guarda os valores de dose lidos e digitalizados pelo conversor AD , em uma matriz de dados tal que possam ser acessados pelo usuário, sempre que necessário.

b) desloca o motor de passo desejado para a posição de interesse, ou realizando a operação de rastreamento do plano desejado .

c) terminada a operação de rastreamento é realizada uma busca na matriz de dados, dos valores de dose desejados. Após, através das rotinas gráficas da linguagem C, são traçadas as curvas de isodose na tela, podendo ser impressas quando desejado.

O programa desenvolvido, permite ao usuário tres opções para manipular o manipulador cartesiano, quais sejam.

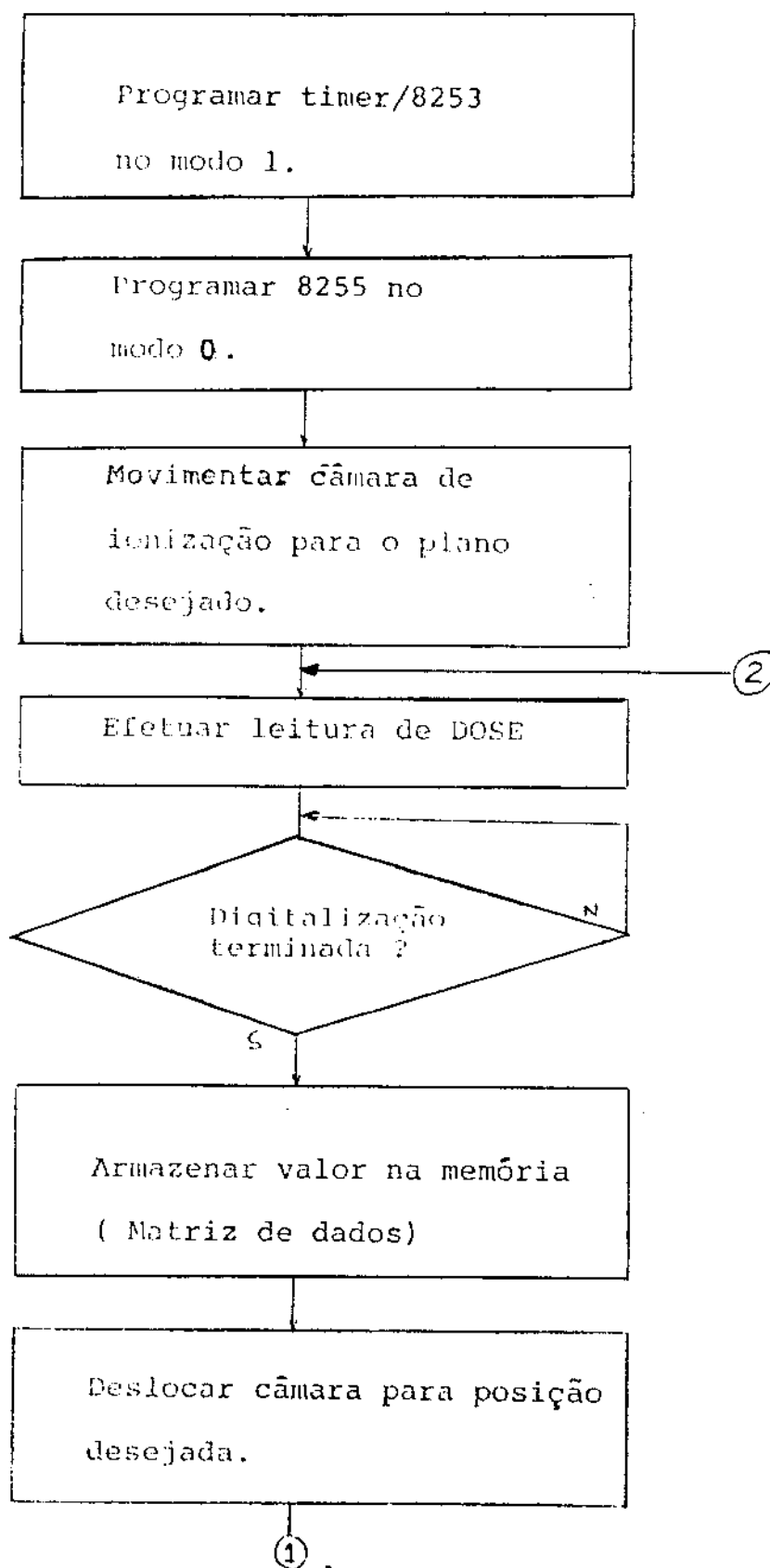
1- Rastreamento de um plano (XY) (XZ) ou (YZ) do espaço.

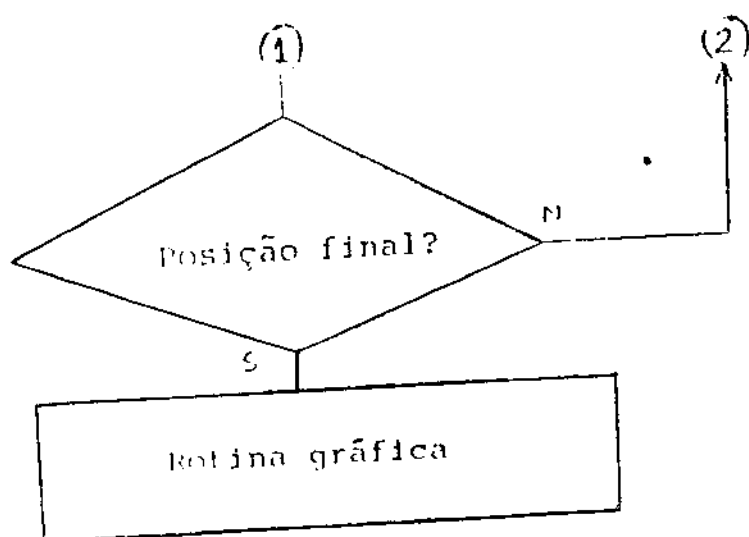
2- Leitura de um ponto qualquer no espaço.

3- Posicionamento em um ponto passo a passo, através de comandos em teclas do microcomputador.

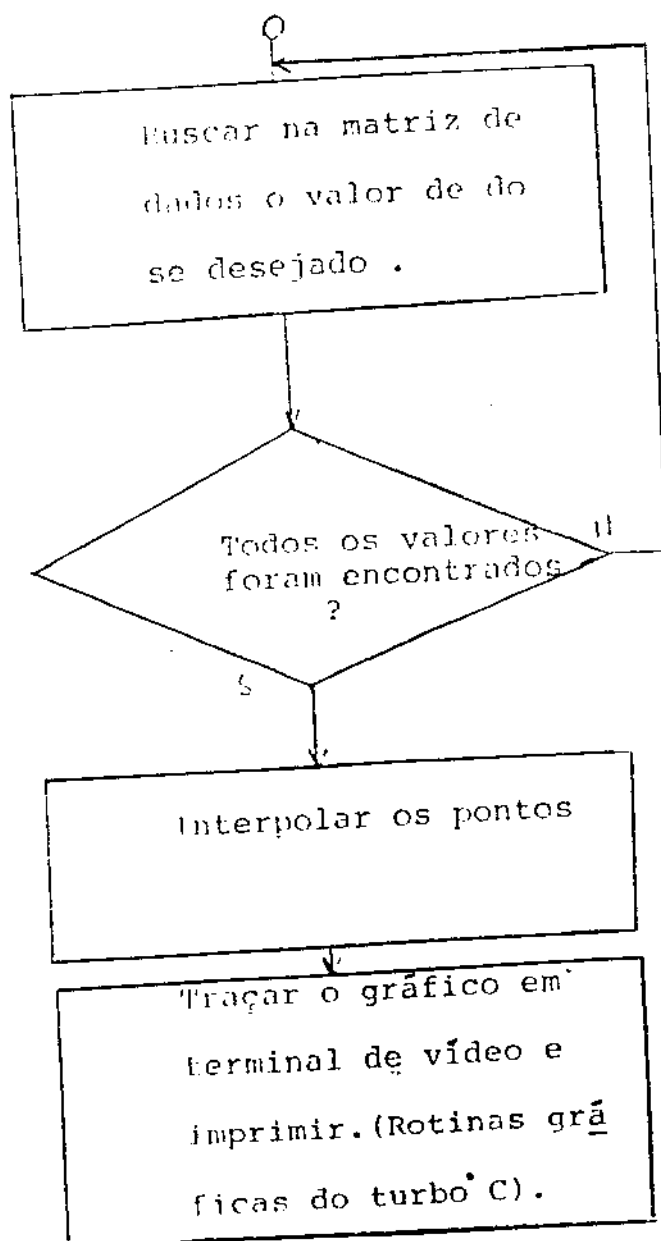
O diagrama de blocos 1 a seguir apresenta a sequência de operação executadas pelo programa tal que se obtenha o resultado esperado pela opção 1. O diagrama de blocos 2 define a sequência lógica para realização da opção 2 e 3, do software desenvolvido para esse sistema. A listagem do programa desenvolvido é apresentado no anexo 2 deste trabalho.

- Para a primeira opção o diagrama de blocos deverá ser o seguinte:

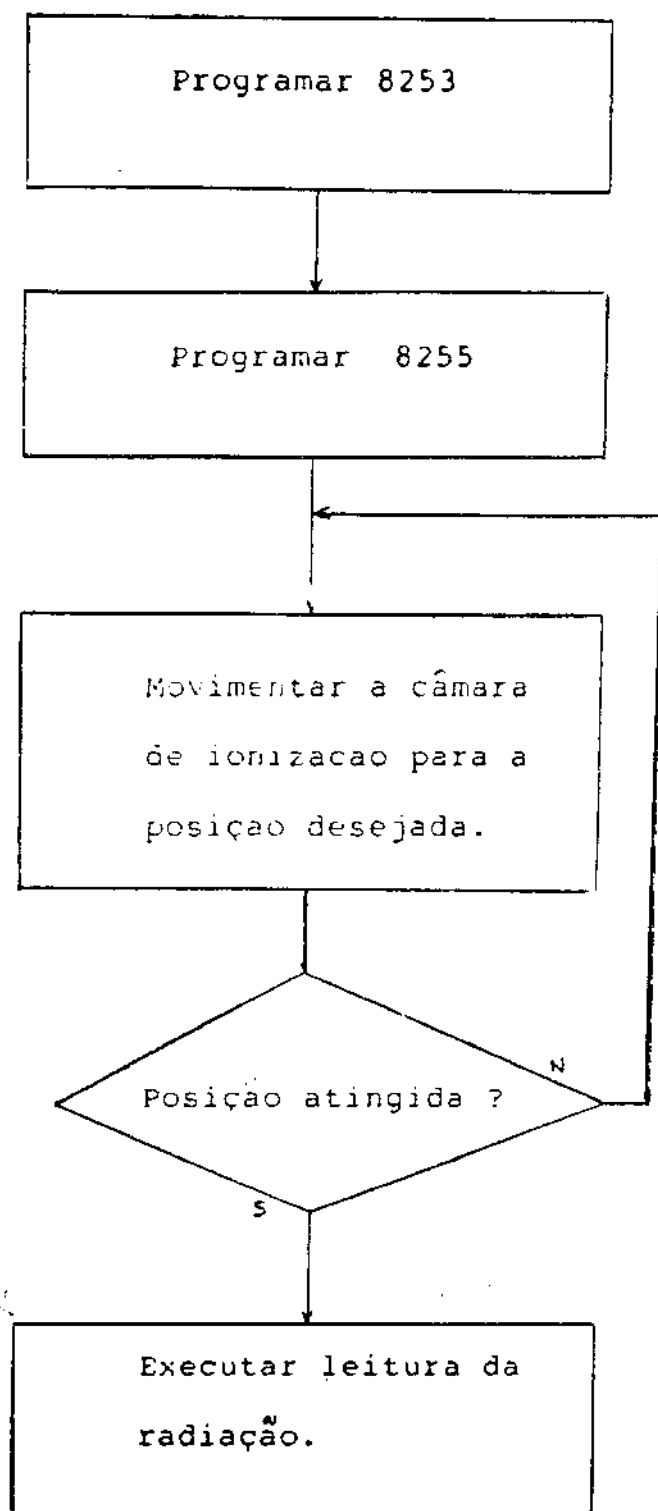




ROTINA GRÁFICA



Para a opção dois o diagrama de blocos é o seguinte: 126



CAPÍTULO 5

RESULTADOS E CONCLUSÕES

5.1 Procedimento de teste para o manipulador cartesiano:

Neste capítulo serão apresentados os teste realizados para verificação da precisão do posicionamento dos braços mecânicos que compõem o manipulador, bem como as rotinas gráficas e de busca do sistema. Devido ao curto prazo para término deste projeto, bem como diante das dificuldades para financiamento do equipamento, não foi possível concluir-se o braço vertical no prazo desejado. Dessa forma, os testes foram realizados para o braço horizontal e carro móvel. No entanto vale ressaltar que a construção do braço vertical, obedece os mesmos critérios do horizontal valendo dessa forma, os procedimentos de teste a serem realizados quando de sua conclusão.

A precisão do manipulador cartesiano é necessidade premente para o perfeito estudo de campos, ionizantes ou não. O procedimento de teste objetivou assegurar que, a precisão esteja dentro das necessidades para a realização dos estudos desejados com a devida segurança. Analisando-se as curvas de isodose (capítulo 2), pode-se observar que na região de penumbra (laterais da curva), onde os diferentes valores de dose estão muito próximos, é importante que se

efetuem leituras suficientes para ter-se segurança quanto a veracidade do formato das curvas a serem obtidas. Como não existem normalizações que orientem quanto ao número de pontos a serem lidos, nem quanto à distância entre eles, resolveu-se inicialmente iniciar a leitura de dose, pelo menos na região de penumbra, a cada 1 mm. Com a utilização do equipamento pode-se efetuar estudos que no futuro otimizem este valor. Dessa forma interessa que a precisão seja, pelo menos neste trabalho, de 1 mm.

Para estudo da precisão do aparelho, realizou-se uma sequência de testes inicialmente para o braço horizontal. Conforme fig. 5.1, após a colocação do braço em uma determinada posição inicial 1, foi enviada a palavra de controle equivalente a um passo. Com um relógio comparador marca MITUTOYO com precisão igual a 0.01 mm verificou-se qual o deslocamento linear equivalente, cujo valor foi igual a 0,246 mm. Dessa forma obteve-se o número de passos necessários para que se tenha o deslocamento desejado, através da relação $\text{número de passos} = \frac{\text{deslocamento desejado}}{0,246 \text{ mm}}$. Em seguida tomando o mesmo ponto de referência 1, deslocou-se o braço para diversos pontos, verificando-se através de uma régua graduada de resolução igual a 0.5 mm, a precisão do deslocamento. A tabela 5.1 a seguir mostra os valores desejados e os resultados obtidos (a cada novo valor de posição o braço foi deslocado para a origem 1) (fig. 5.2)..

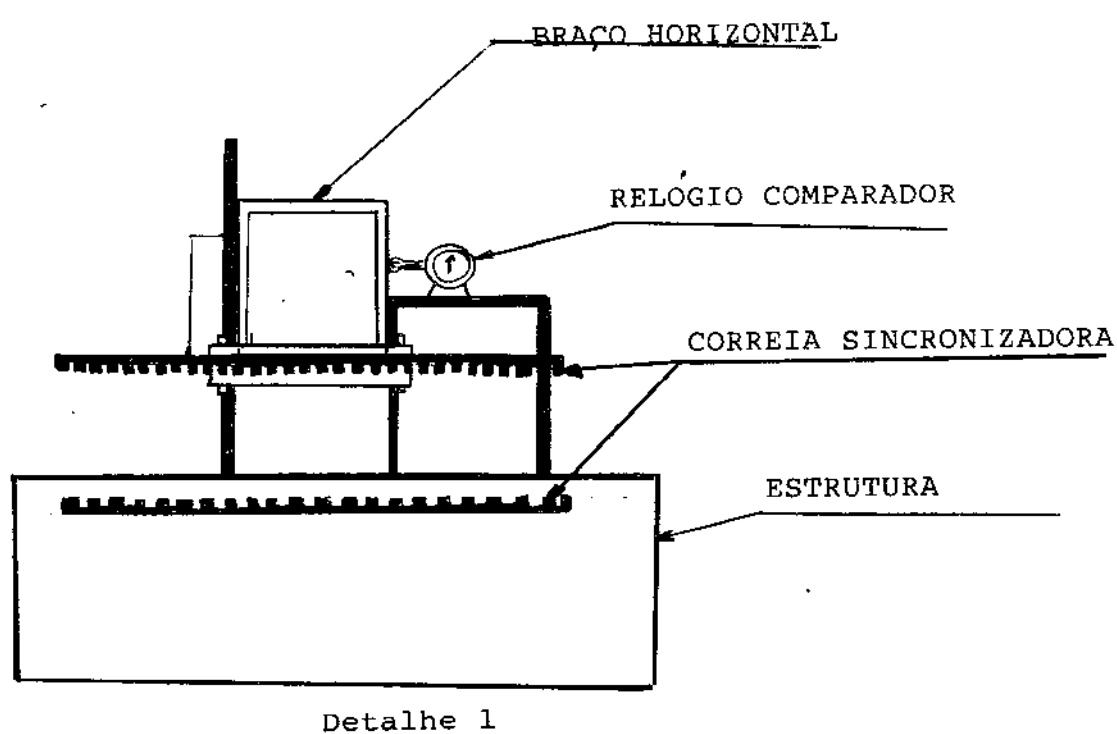
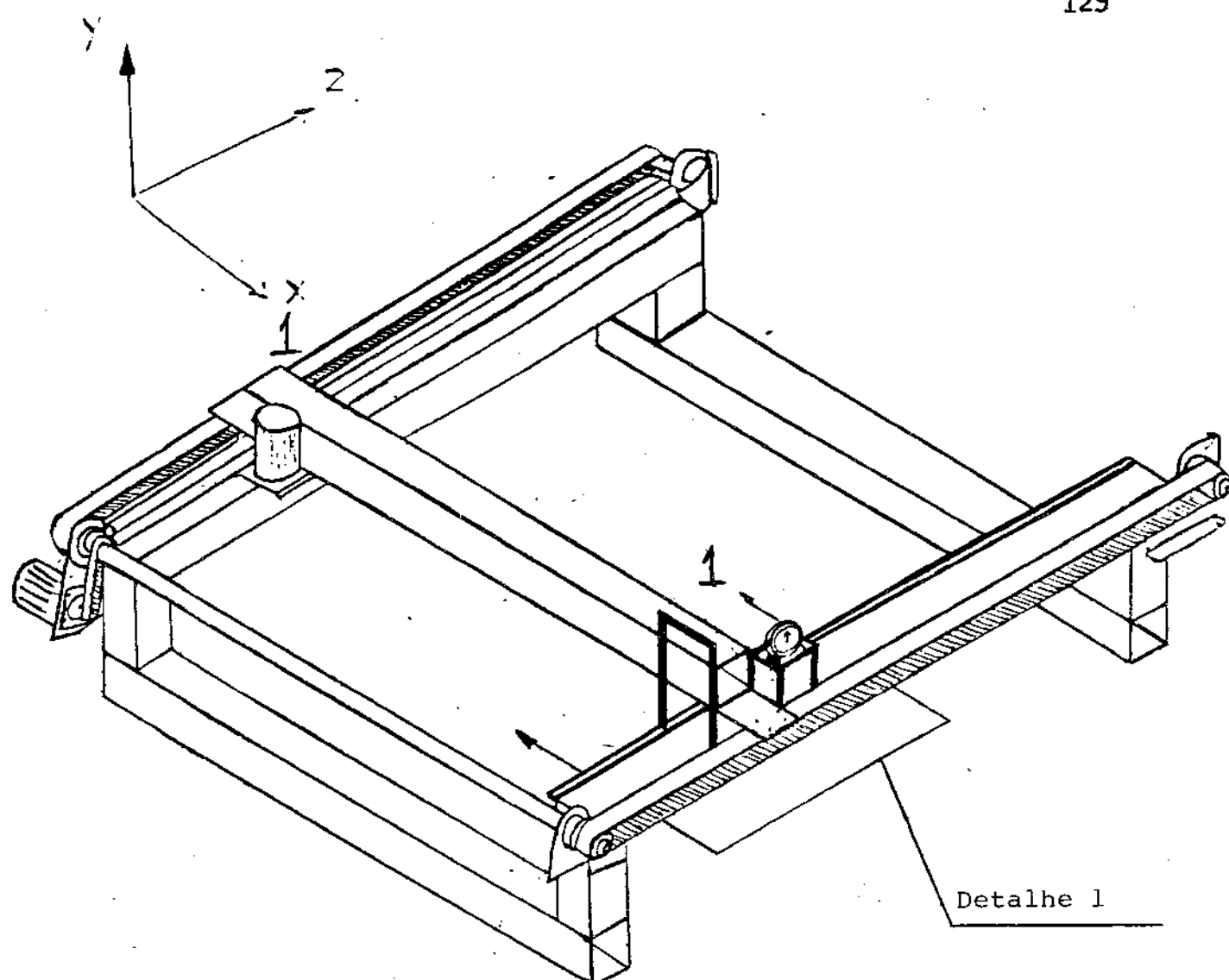


Fig. 5.1- Esquema para medida do deslocamento linear referente a um passo do motor

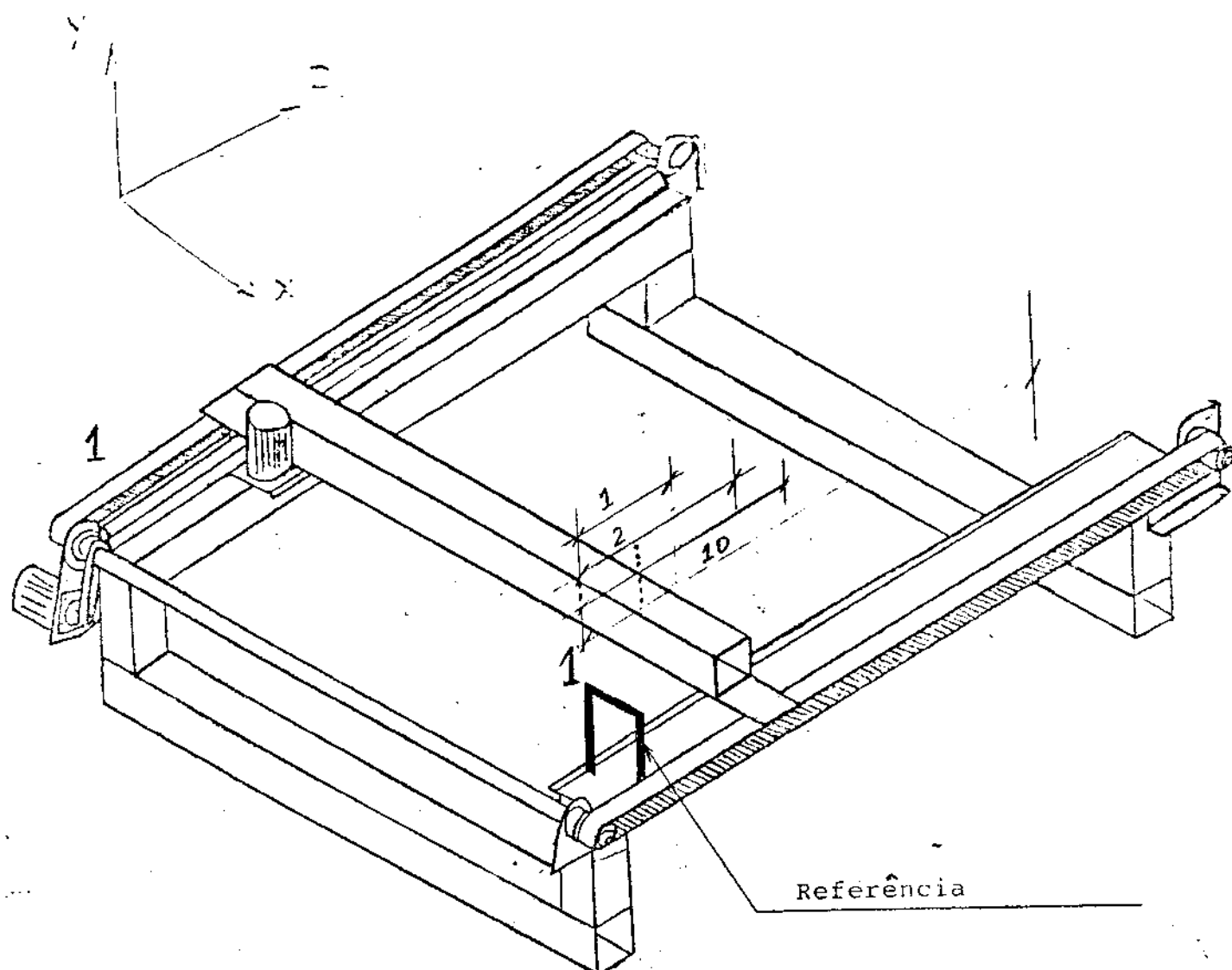


Fig. 5.2- Esquema básico para verificação da precisão do deslocamento do braço horizontal para dez valores diferentes de distância.

	POSIÇÃO DESEJADA mm	POSIÇÃO ATINIGIDA mm
1	1,0	1,5
2	3,0	3,5
3	5,0	5,5
4	21,0	21,0
5	135,0	135,0
6	552,0	552,0
7	750,0	750,0
8	800,0	800,0
9	820,0	820,0
10	840,0	840,0

Tabela 5.1 - Valores desejados e atingidos pelo braço horizontal.

Objetivando verificar também a repetibilidade do dispositivo mecânico, a operação descrita acima foi refeita para os mesmos valores encontrando-se respostas idênticas.

Outro teste foi realizado, para verificação da precisão e repetibilidade quando o manipulador é submetido a um longo período de operação. Foi utilizado novamente o relógio comparador colocado a uma distância de 500mm da origem (fig. 5.3). O braço foi então programado, para que fôsse até o ponto desejado e retornasse seguidas vezes à origem durante um intervalo de 2 horas. A cada 5 minutos, observava-se o valor marcado no relógio quando o braço o atingia, obtendo-se a tabela 5.2 a seguir.

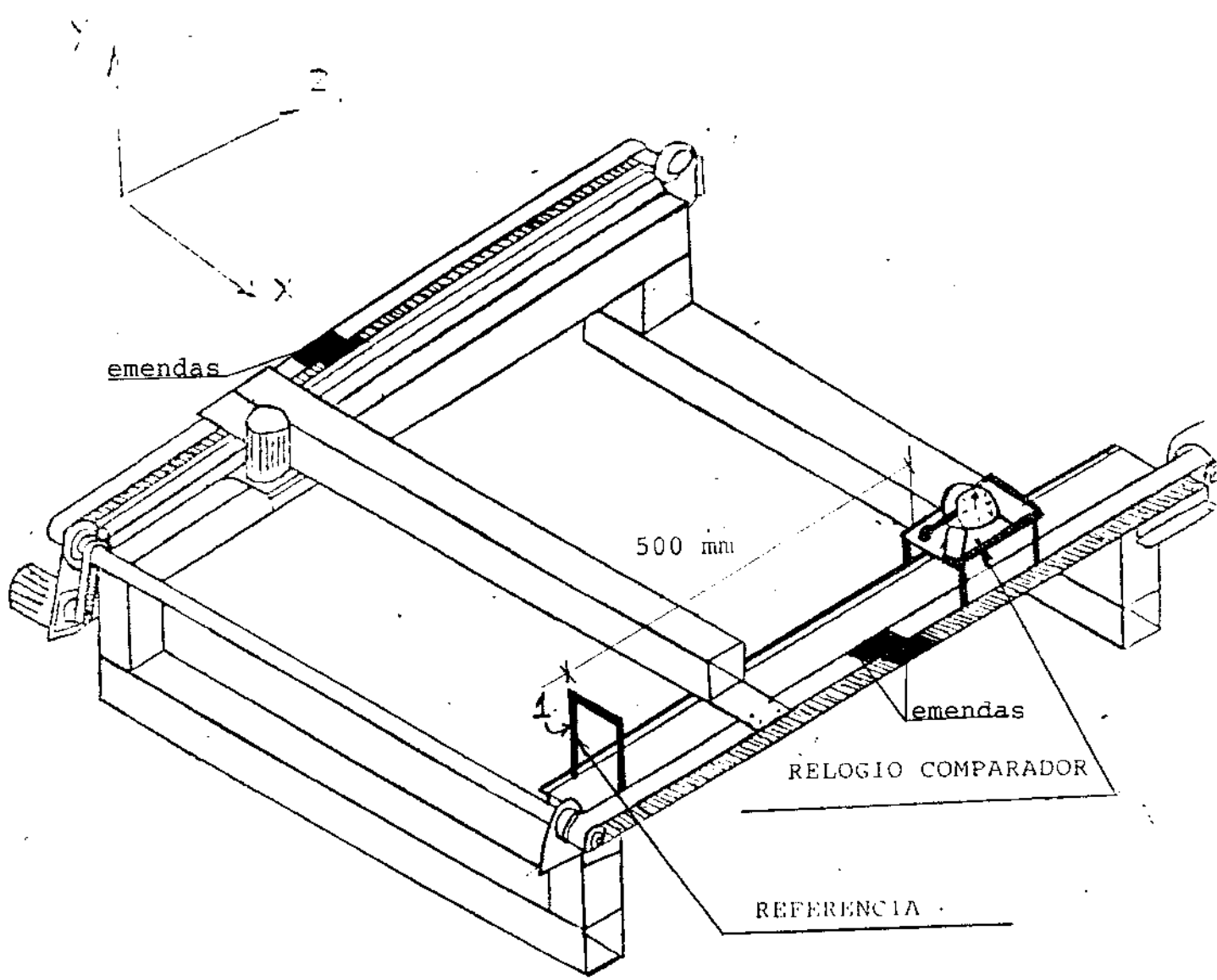


Fig. 5.3- Esquema para estudo da repetibilidade do braço horizontal.

VALOR LIDO mm		VALOR LIDO mm	
1	500,1	13	500,2
2	500,3	14	500,3
3	500,5	15	500,2
4	500,3	16	500,1
5	500,2	17	500,0
6	500,1	18	500,5
7	500,5	19	500,8
8	500,6	20	500,5
9	500,2	21	500,4
10	500,5	22	500,7
11	500,8	23	500,9
12	500,6	24	500,7

Tabela 5.2- Teste da precisão e repetibilidade do braço horizontal para distância da referência igual a 500mm para 24 amostragem num período de 2 horas.

Pode-se observar pela tabela 5.2, que os valores obtidos foram satisfatórios para a precisão desejada no equipamento.

Foi realizado em seguida deslocamentos do braço para diferentes distância, sem no entanto retorná-lo a posição de origem. A distância alcançada foi medida com uma régua graduada, sendo a operação repetida para os demais valores (fig. 5.4) . Neste teste foi observado um erro de precisão a partir do segundo deslocamento conforme tabela 5.3 a seguir.

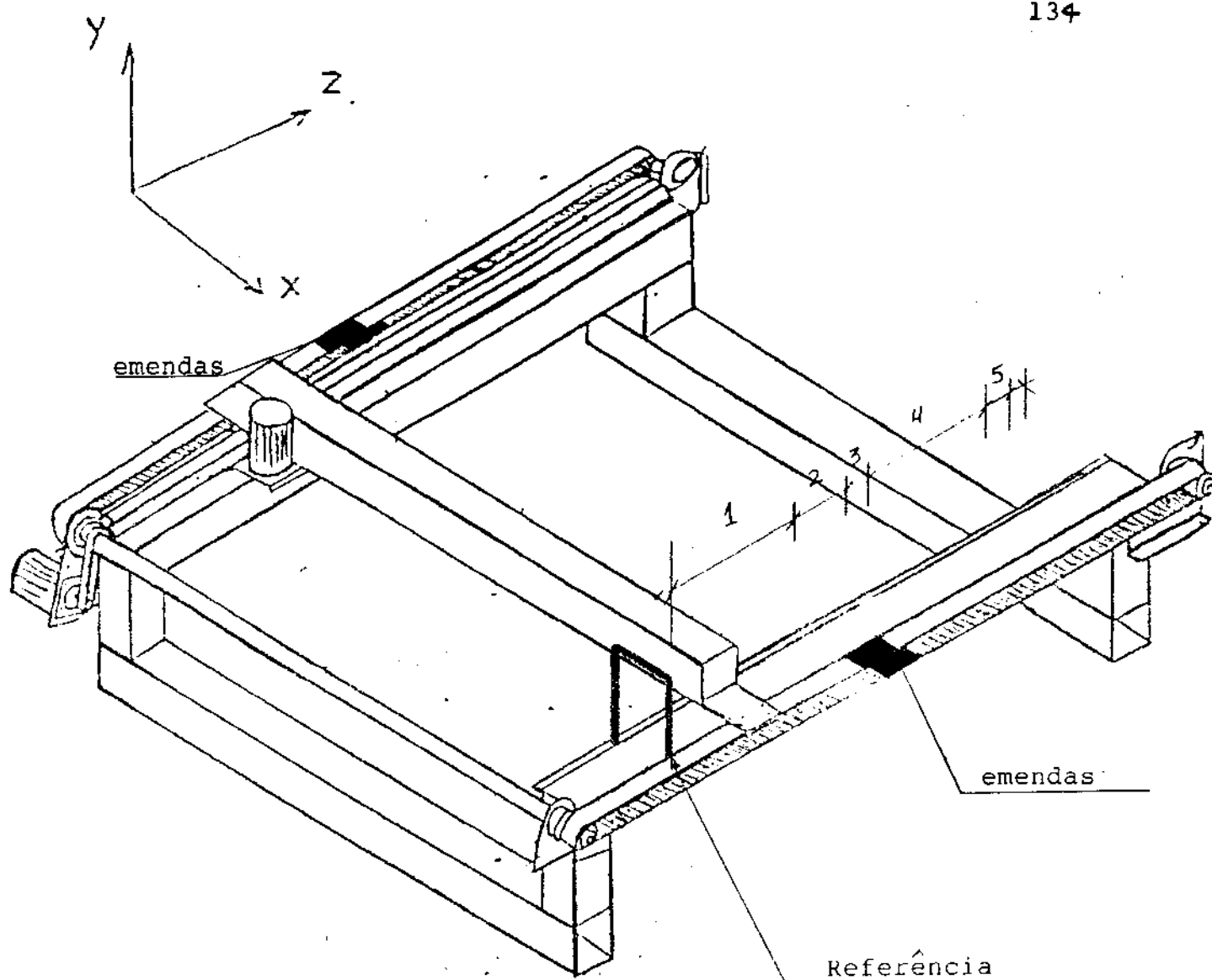


Fig. 5.4- Esquema para testar a precisão deslocamento do braço horizontal para cinco valores diferentes de distância, sequencialmente.

	POSIÇÃO DESEJADA mm	POSIÇÃO ATINIGIDA mm
1	85,0	85,0
2	15,0	14,5
3	5,0	6,0
4	185,0	186,0
5	3,0	4,0

Tabela 5.3 - Comparação entre diversas posições desejadas e atingidas pelo braço horizontal.

Os erros apresentado nos testes realizados, são causados pela dificuldade encontrada para se tensionar perfeitamente as correias que movimentam o braço horizontal. O tensionamento correto das correias evita que deformações ocorram nos dentes, e a folga e o sulco da polia alterem a precisão do movimento.

As correias sincronizadoras foram especificadas para o tipo extra-leve e leve, onde o maior comprimento é de 520 mm. Dessa forma foram necessárias duas emendas o que tornou o tensionamento das correias muito difícil. Este tensionamento, no entanto, provoca a deformação nos mancais. Na verdade conforme a fig. 5.5, a deformação ocorre nas flanges que sustentam os mancais. As flanges estão presas à estrutura por apenas tres parafusos. Como solução recomenda-se aumentar a espessura da chapa, bem como o número de parafusos que fixam as flanges. No caso das flanges da

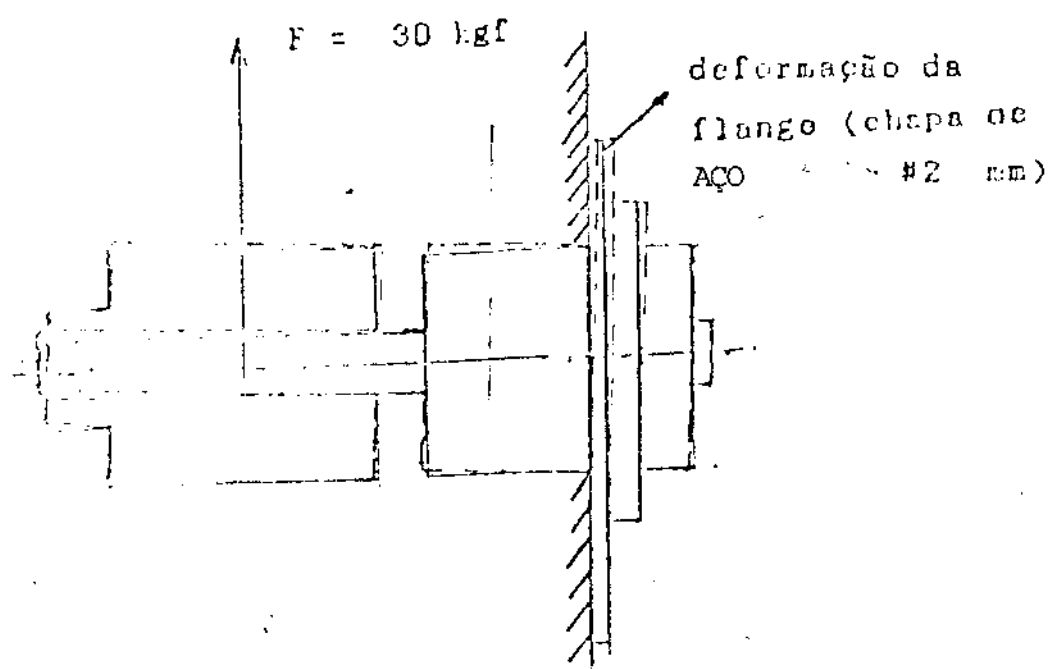


Fig. 5.5- Detalhe da deformação da flange devido ao tensionamento das correias.

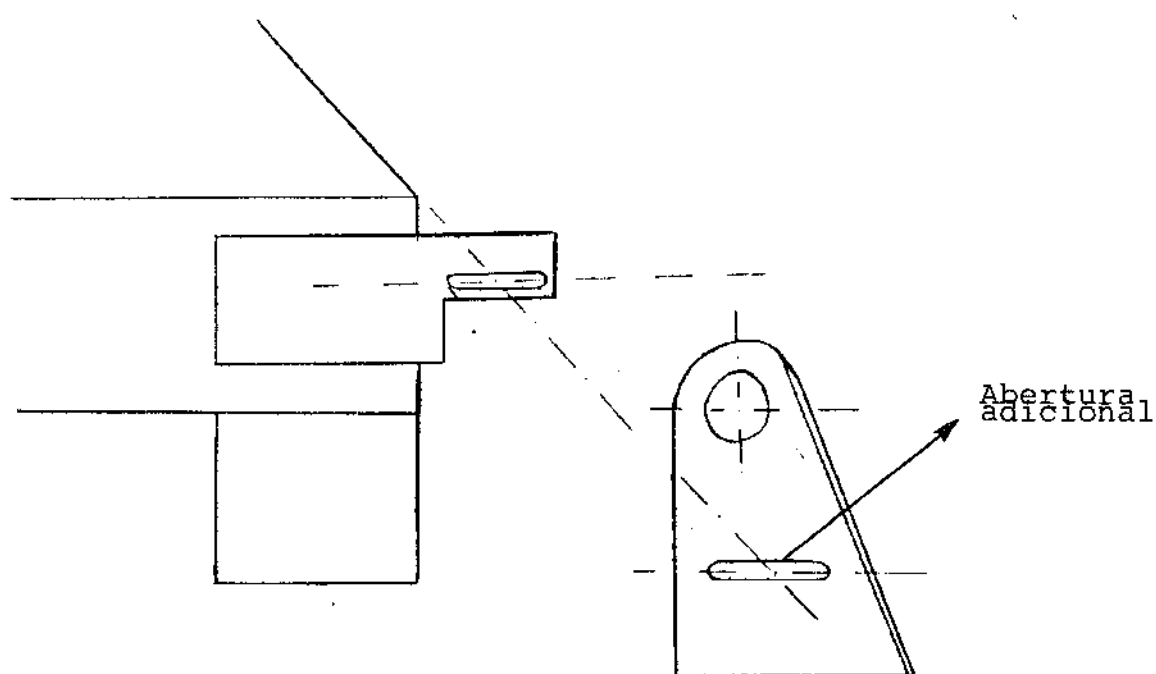
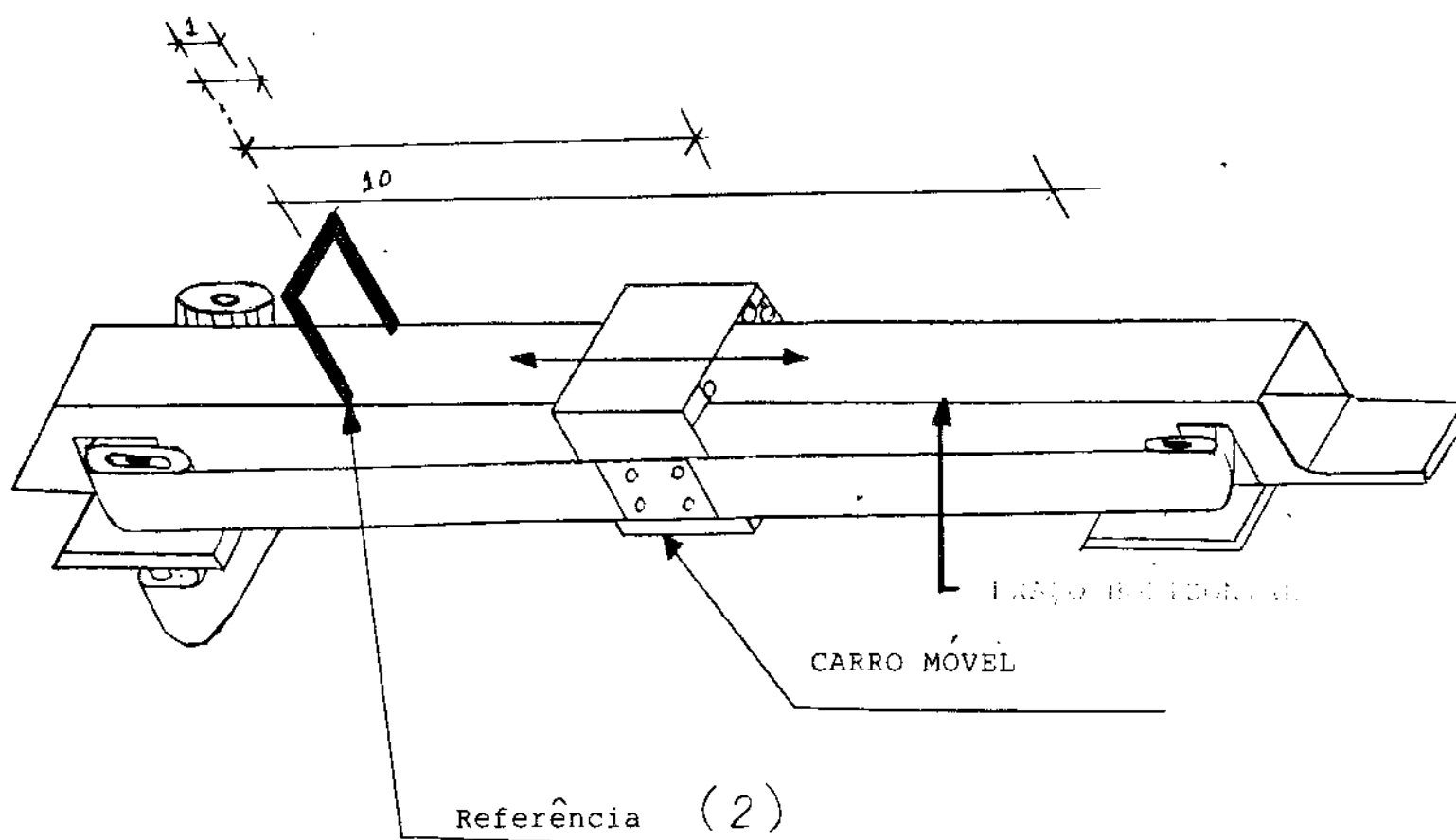


Fig. 5.6- Flange com abertura adicional e estrutura.

estrutura, o problema pode ser resolvido utilizando-se chapas de aço mais espessas (# 3mm) e com dobras para aumentar a rigidez. No caso das correias pode-se utilizar modelos para cargas pesadas o que no entanto, representaria um aumento no custo, bem como no redimensionamento de toda estrutura. Para as dimensões do projeto a utilização de flanges com capacidade de deslocamento ao longo do sentido do movimento do braço horizontal, tal que se consiga esticar as correias, bem como a utilização de flanges de chapas mais espessas, resolverá o problema do tensionamento (fig. 5.6).

Para o carro móvel, observou-se o mesmo procedimento de teste, realizado para o braço horizontal.

Tomando como referência o ponto 2 (fig. 5.7), o carro foi deslocado para diversas posições, efetuando-se após as mesmas operações quando obteve-se resultados melhores que para o braço horizontal. O fato da correia de acionamento estar melhor tensionada não apresentando qualquer folga, propiciou este melhor resultado. A tabela 5.4 mostra o que foi afirmado.



5.7- Esquema básico para verificacao da precisao do deslocamento do carro movel, para dez valores diferentes de distância.

	POSIÇÃO DESEJADA mm	POSIÇÃO ATINGIDA mm
1	1,0	1,0
2	3,0	3,0
3	5,0	5,0
4	20,0	20,0
5	85,0	85,0
6	122,0	122,0
7	235,0	235,0
8	388,0	388,0
9	405,0	405,0
10	422,0	422,0

Tabela 5.4- Valores desejados e atingidos pelo carro móvel

O teste com relógio comparador obteve resultados precisos sendo que para este teste realizou-se a mesma operação discutida para o braço horizontal, posicionando-se o relógio conforme indica a fig. 5.8. Para um deslocamento constante e igual à 300 mm, em um período de tempo de 2 horas e leituras efetuadas a cada 5 min, obteve-se os resultados apresentados na tabela 5.5 .

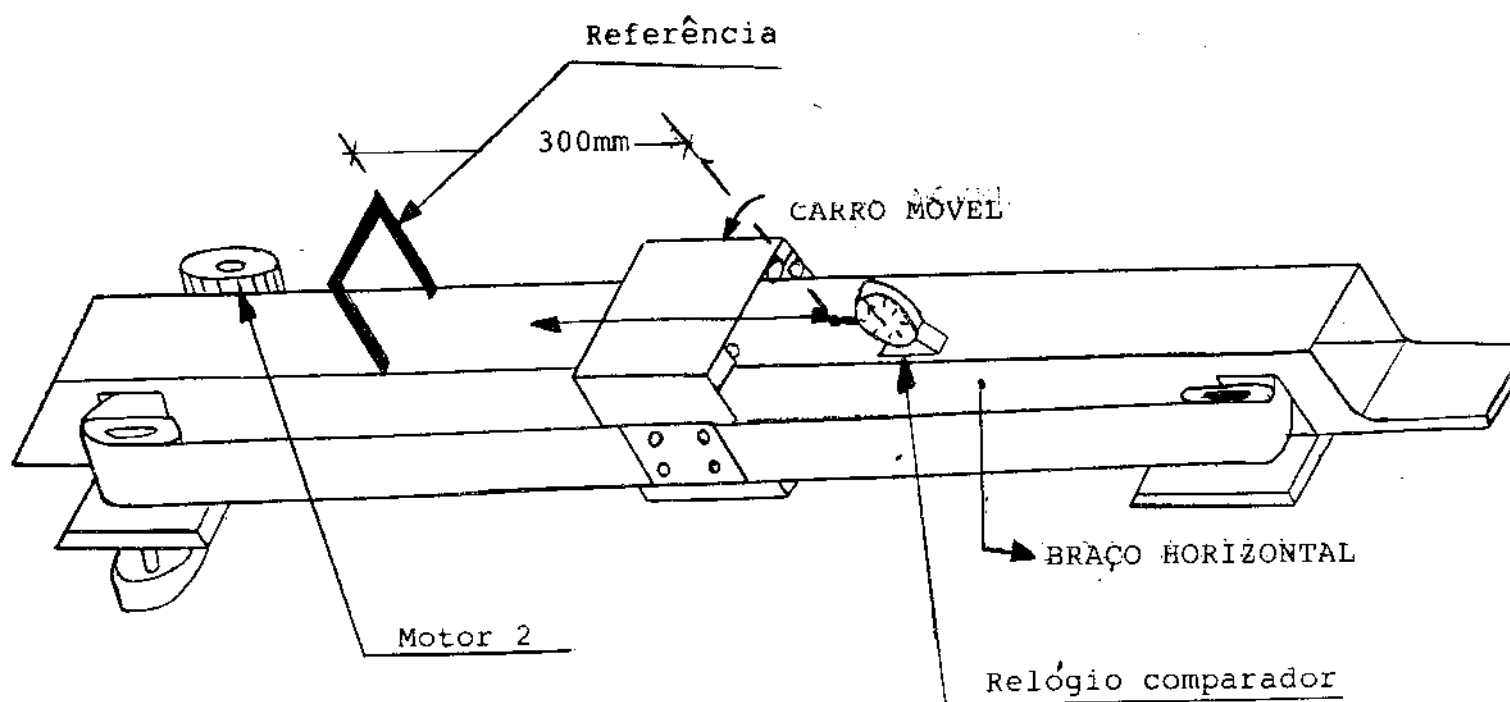


Fig. 5.8- Esquema basico para verificacao da repetibilidade do movimento do carro móvel .

	VALOR LIDO	mm		VALOR LIDO	mm
1	300,0		13	300,4	
2	300,2		14	300,5	
3	300,5		15	300,6	
4	300,3		16	300,4	
5	300,2		17	300,4	
6	300,0		18	300,3	
7	300,5		19	300,4	
8	300,3		20	300,2	
9	300,7		21	300,6	
10	300,1		22	300,3	
11	300,7		23	300,4	
12	300,5		24	300,6	

Tabela 5.5- Teste de precisão e repetibilidade do braço móvel para a distância em relação à referência de 300mm para 24 amostragens num período de 2 horas.

Para o carro móvel, o teste realizado para o deslocamento em diferentes distâncias sem retorno à origem, não ocorreu o erro acumulativo com a mesma intensidade do braço horizontal. A tabela 5.6 abaixo mostra os resultados para diversas posições sequenciais.

	POSIÇÃO DESEJADA mm	POSIÇÃO ATINGIDA mm
1	123,0	123,0
2	11,0	11,5
3	5,0	5,5
4	3,0	3,5
5	15,0	16,0

Tabela 5.6- Comparação entre diversas posições desejadas e atingidas pelo carro móvel.

A razão para o erro apresentado deve-se ao fato de que os 8 rolamentos do carro móvel não apresentarem um alinhamento perfeito. Tres deles estão tocando no braço o que não ocorre com outros dois. Os restantes em contato com o braço horizontal não rodam, provocando atrito, travando o movimento do carro. O posicionamento correto dos rolamentos, certamente diminuirá o atrito e o desbalanceamento do movimento.

5.2 Procedimento de teste do circuito de aquisição de dados e software gráfico :

Para a execução ideal dos testes para o circuito de aquisição de dados, seria necessário a utilização de um eletrômetro (capítulo 2). Apesar da existência deste aparelho no hospital da Unicamp, sua utilização para o sistema necessitaria de um circuito auxiliar que permitisse

amplificar o sinal para um valor tal que pudesse ser aplicado ao AD da placa desenvolvida. Seriam necessários alguns ajustes no próprio eletrômetro, para que fôsse possível se obter o sinal desejado. Devido ao curto prazo para desenvolvimento deste trabalho, bem como pela utilização intensa do equipamento nestes últimos meses, o que não permitiria qualquer dano ocasional ao eletrômetro, tornou-se inviável os testes diretamente com a bomba de cobalto do Hospital da Unicamp. Sendo o objetivo dos testes verificar a capacidade de armazenamento de dados bem como o traçado correto das curvas de isodose a partir desses dados, partiu-se para um trabalho que simulasse o efeito dos campos ionizantes. Para isso utilizou-se uma fonte de tensão variável, valor máximo 5 V e resolução de 0,01 V marca Techtronics, controlável manualmente. Tomando-se a opção de varredura em um plano, a cada 1 cm de deslocamento aplicou-se um valor de tensão tal que a matriz de dados ficou igual à figura 5.9. A partir destes dados o programa calculou os percentuais de dose, tendo como valor máximo 5 V. Por exemplo, para tensões de 3,5 V e 0,5 V, os percentuais de tensão serão 70% e 10 % respectivamente. Em seguida foram traçadas, com o auxílio dos programas de busca e tratamento gráfico, as curvas de porcentagem da tensão máxima conforme pode ser observado na figura 5.10. Para verificação da capacidade de armazenamento de dados do sistema, gerou-se uma matriz com 10.000 valores aleatórios, sem que ocorressem problemas quanto à capacidade de memória do microcomputador.

Y	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X																					
0	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,00	5,00	4,50	4,00	3,50	3,00	2,50	2,00	1,50	1,00	0,50
1	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	4,75	5,00	4,50	4,00	3,50	3,00	2,50	2,00	1,50	1,00	0,50
2	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,25	4,50	5,00	4,90	4,50	4,00	3,50	3,00	2,50	2,00	1,50	1,00	0,50
3	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,25	4,35	4,50	4,90	4,50	4,00	3,50	3,00	2,50	2,00	1,50	1,00	0,50
4	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,25	4,40	4,45	4,50	4,90	4,00	3,50	3,00	2,50	2,00	1,50	1,00	0,50
5	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	3,75	4,00	4,45	4,35	4,35	4,00	3,50	3,25	3,00	2,50	2,00	1,50	1,00	0,50
6	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	3,75	3,75	4,00	4,00	4,00	3,90	3,50	3,00	2,25	2,50	2,00	1,50	1,00	0,50
7	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,25	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,00	2,75	2,50	2,40	2,00	1,50	1,00	0,50
8	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	2,75	3,00	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,00	2,75	2,50	2,25	2,00	1,75	1,50	1,00	0,50
9	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	2,75	2,75	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,25	2,50	2,30	2,00	1,75	1,50	1,40	1,00	0,50
10	0,50	1,00	1,50	2,00	2,25	2,50	2,75	2,75	2,75	2,90	2,90	2,90	2,50	2,25	2,00	1,75	1,50	1,25	1,25	1,00	0,50
11	0,50	1,00	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,25	2,00	1,75	1,50	1,25	1,25	1,25	1,00	0,50
12	0,50	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,00	1,75	1,50	1,40	1,25	1,25	1,00	0,75	0,50
13	0,50	1,00	1,25	1,50	1,75	1,75	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,75	1,50	1,25	1,25	1,25	1,00	0,75	0,75	0,50
14	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,50	1,25	1,25	1,25	1,00	0,75	0,75	0,75	0,50
15	0,50	0,75	0,75	1,00	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,25	1,25	1,25	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,50
16	0,50	0,75	0,75	0,75	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,50
17	0,50	0,75	0,75	0,75	0,75	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,50
18	0,50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,50
19	0,50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,50
20	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,25

Fig. 5.9- Valores de tensão aplicados ao AD 0803 (valor máximo = 5,0 N/mm²)

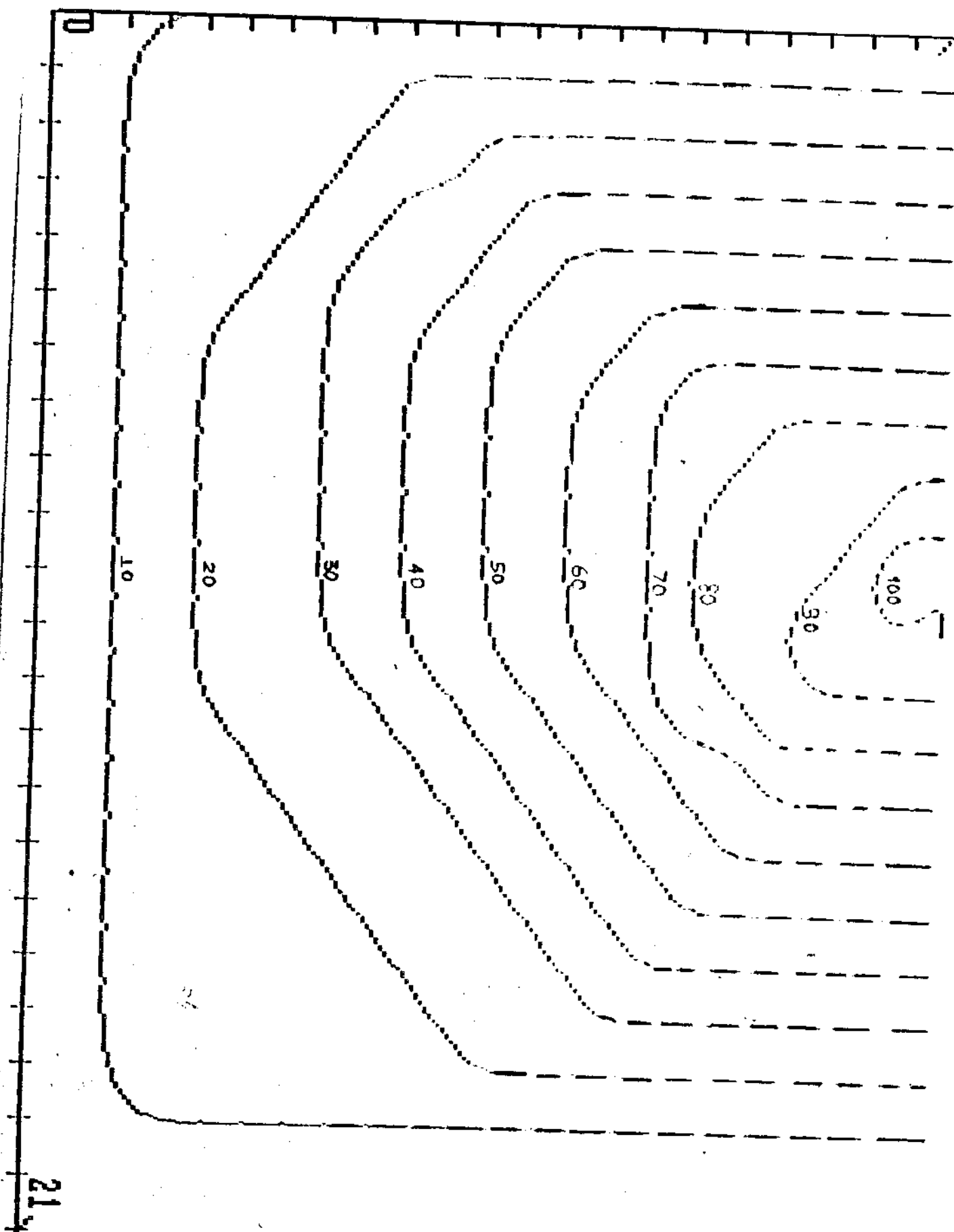


Fig. 5.10- Curvas de valores percentuais de tensão aplicadas ao AD 0803, de acordo com a matriz da fig. 5.9.

Do que foi exposto neste trabalho, fica evidente que devido a complexidade do equipamento, este necessita ainda de ajustes e estudos mais detalhados que possam otimizar e melhorar suas partes mecânicas. A utilização de fuso de esferas seria uma solução caso se necessite uma melhor precisão do sistema. As considerações feitas a respeito das flanges e cuidados quanto ao tensionamento das correias irão eliminar os problemas apresentados nesse primeiro protótipo. Quanto ao tratamento gráfico vale esclarecer que todos seu desenvolvimento foi realizado em placa CDA, disponível na época do desenvolvimento, o que limita a definição das curvas de isodose, devido ao número de pixels na tela. A adaptação do software a sistemas VGA ou HERCULES, fornecerá maior precisão e definição às curvas de isodose. Também pode-se realizar estudos, que otimizem o método de busca utilizando novos algoritmos, bem como novas funções gráficas em linguagem C.

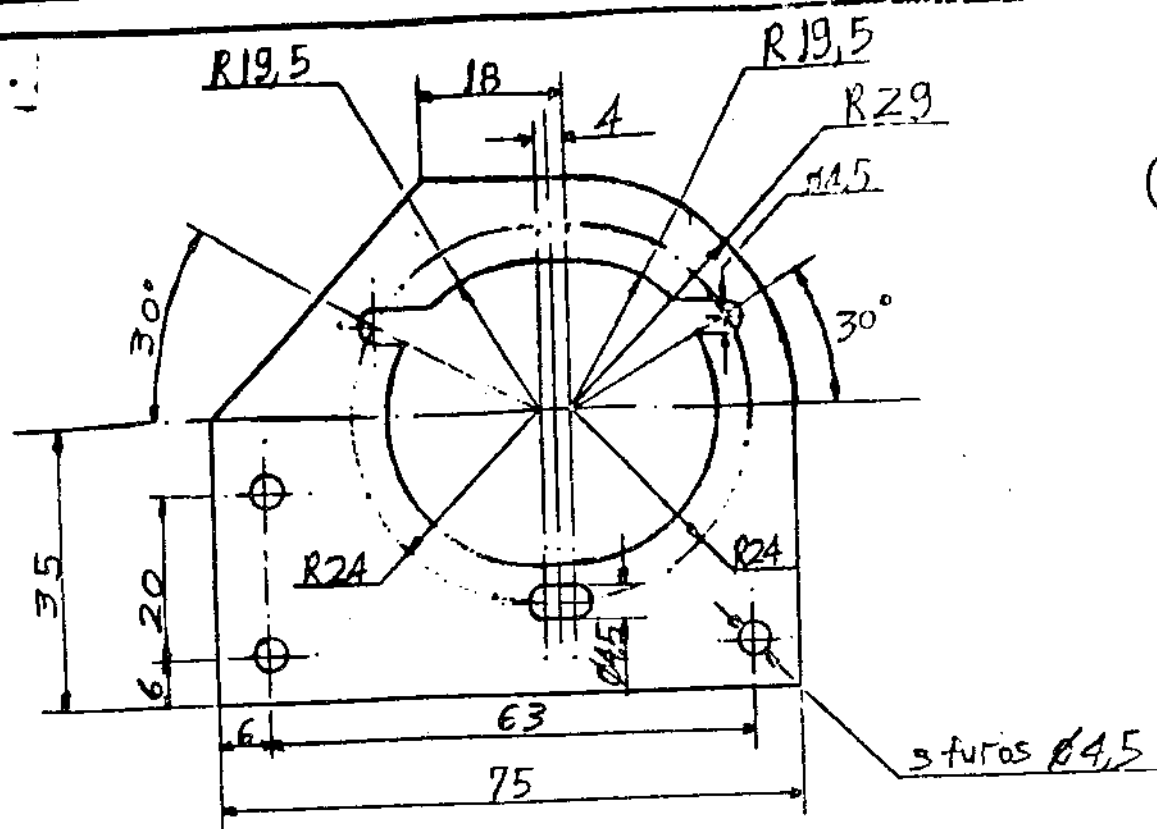
Apesar dos problemas descritos, o desenvolvimento do manipulador cartesiano, abre a chance além da execução dos estudos a que se destina originalmente, a pesquisas na área de robótica com o estudo de novos tipos de acionamento, a serem empregados em outros equipamentos biomédicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

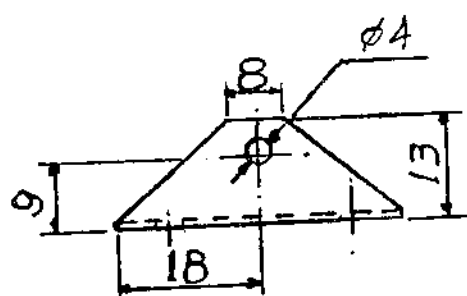
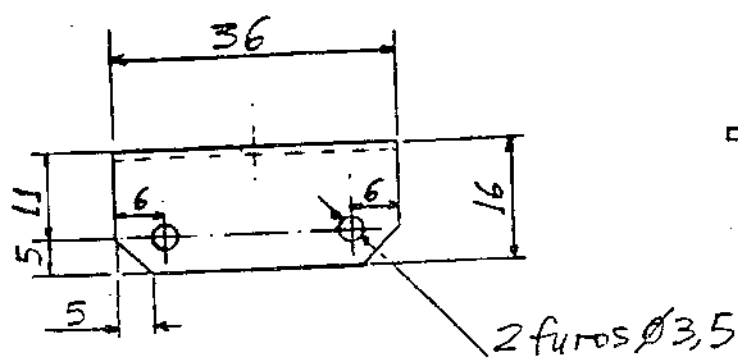
1. ATTIX, FRANK HERBERT (1986), Introduction to Radiological Physics and Radiation dosimetry New York, John Wiley & Sons
2. BELING, TE KU B.C. (1988) , Theory and applications of step motors, San Jose Ca. West Publishing Co.
3. BOAG, J. W. (1966) Radiation dosimetry Vol. 2 New York , Academic Press.
4. GUPTA, S.K., J.R. CUNNIGHAM (1966), Measurement of tissue-air ratios and scatter functions , British Journal of Radiology vol. 39 pag. 7.
5. HETTINGER G., N.STARFELT (1959), Energy and angular distribution of scattered radiation in a water tank irradiated by X-ray , Arkh. Fys. vol. 14 pag. 497.
6. INTERNATIONAL COMISSION ON RADIATION UNITS AND MESUREMENTS (1973) , Measurement of absorbed dose in a phantom irradiated by a single beam of X-ray or Gamma ray, Washington D.C., ICRU.
7. JOHNS HAROLD ELFORD, CUNNINGHAM J.R. (1983) The Physics of Radiology 4 ed., Springfield Ill., Charles Thomas.
8. KUO B.C. (1990), Incremental motion control Vol.1, San Jose Ca., SRL Publishing.
9. LAUGHLIN, J.S.(1954), Physichal aspects of betatron therapy" , Springfield Ill., Charles Thomas.
10. NAHUM,A.E. (1978), Water/air mass stopping power ratios for megavoltage photon and eletrons beams Phys. Medicine Bio. vol. 23 pag. 24.

11. NORDIC ASSOCIATION OF CLINICAL PHYSICS ,
 Procedure in external radiation therapy
 dosimetry with electron and photon ener-
 gies between 1 and 50 Mev" Acta Radio-
 logical Oncology Radiat. Phys. Biology
 (Preprint from L. Lindborg National Ins-
 titute of Radiation Protection ,Estoco-
 lmo Suécia).
12. ORIENTAL MOTORS (1989), Technical informa-
 tion of step motor , Torrance Ca., Ori-
 ental Motors.
13. P. WOOTTON,, P.R. ALMOND, J.G. HOLT, D.B.
 HUGHES , C.J. KARZMARK , R.J. SCHULZ
 (1975) Code of practice for X-ray the-
 rapy linear accelerators Medical Phy-
 sics vol. 2 pág. 3.
14. P.G. ORCHAD (1964) Decrement lines :a new
 presentation of data in cobalt 60 beam
 dosimetry ,British F. Radiology vol.37
 pág.756.
15. PFEIFFER ERICH A., CROMWEL LESLIE , FRED
 J. WEIBELL(1980) Biomedical Instrumen-
 tation and Measurements , Englewood
 Cliffs, Prentice-Hall Inc.
16. RODER T. STEVENS (1989), Graphics pro-
 gramming in C, Redwood, Ca. M & T.
17. SCHULZ, M.D.(1975), The supervoltage, Ame-
 rican Journal of Rontgenology, vol.124
 pág. 541.
18. Silva, Emílio Nelli (1990) , Projeto de um
 robô destinado à inserção de circuitos
 integrados em placa de circuito impres-
 so , São Paulo EPUSP.
19. TOMPKINS WILLIS J., WEBSTER JOHN G. (1981)
 Design of microcomputer-based medical
 instrumentation, 1 ed. ,Englewood Cliffs
 N.J., Prentice-Hall.
20. TOMPKINS WILLIS J., WEBSTER JOHN G. (1988)
 Interfacing sensors to the IBM PC,1 ed.
 Englewood Cliffs N.J. , Prentice Hall.

A N E X O 1



material: Chapa de Alumínio $\# 1,5\text{mm}$
Aço



material: chapa de
Alumínio $\# 1\text{mm}$
Aço $1,5\text{mm}$

tolerâncias não especificadas: $\pm 0,1$

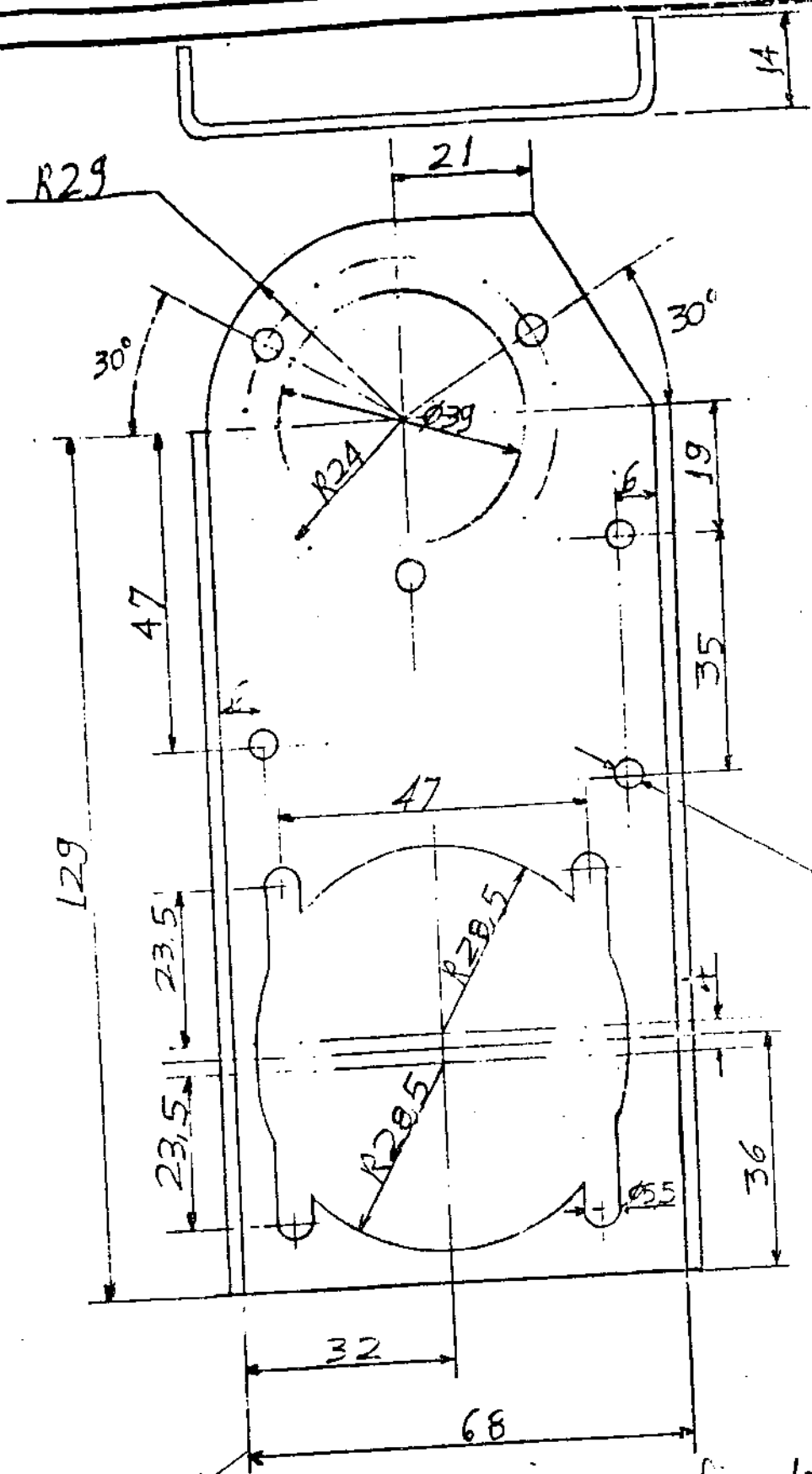
no	des	verif	data
1	Emílio	Emílio	20/12/13

título:
a - flange-braco horizontal
b - suporte

Escala:
1:1

QUANTIDADE:

Quantidade:
a - 1
b - 2



6 furos Ø4.5

68 medida interna ou externa

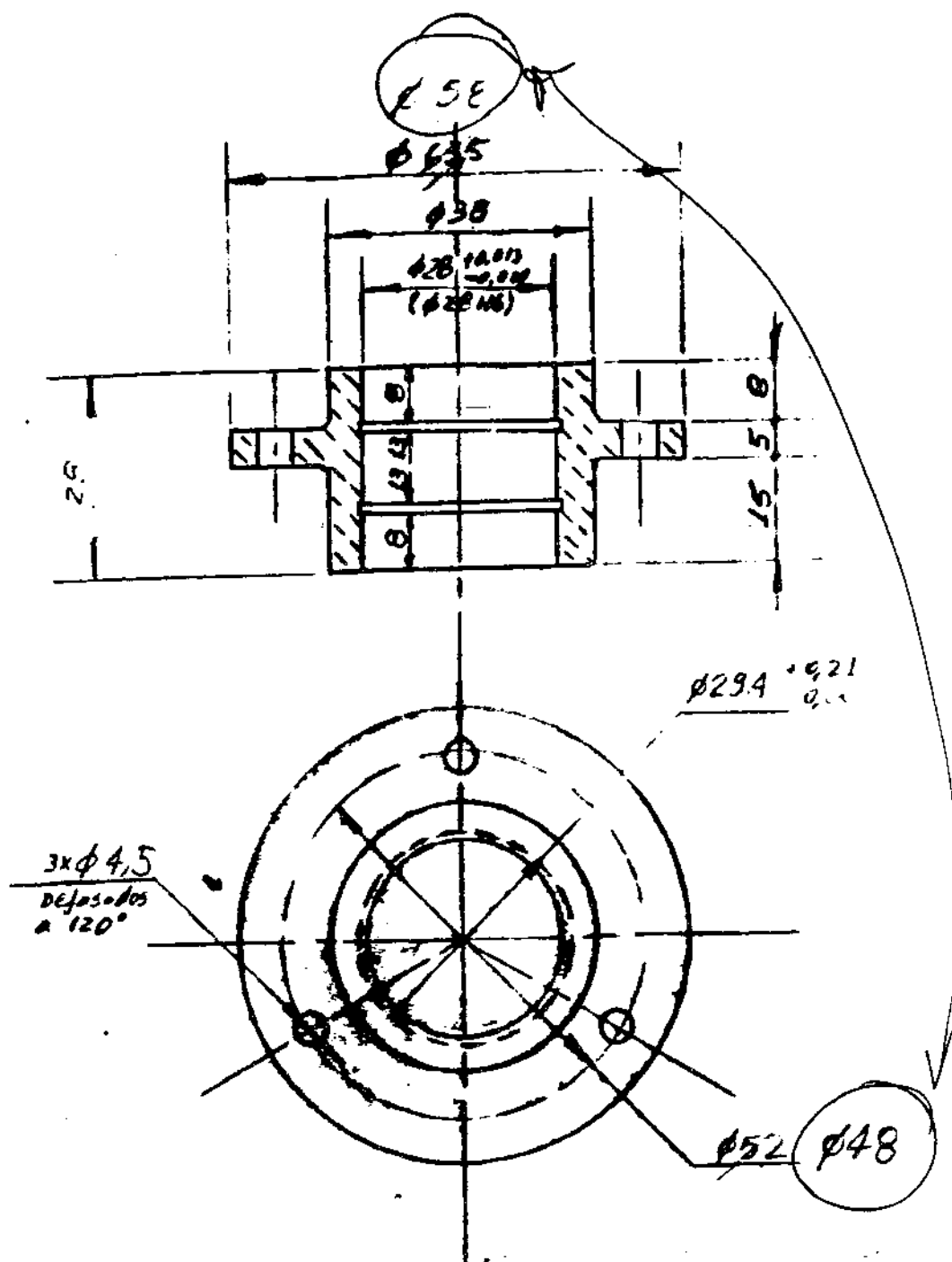
tolerâncias não especificadas: ± 0.1
material chapão de ~~Alumínio~~ **Aço** #15 mm

Nº	des/Proj	Verif.	data
1	Emílio	Emílio	22/12/89
2	Emílio	Emílio	09/07/90

Título: flange-brasão horizontal

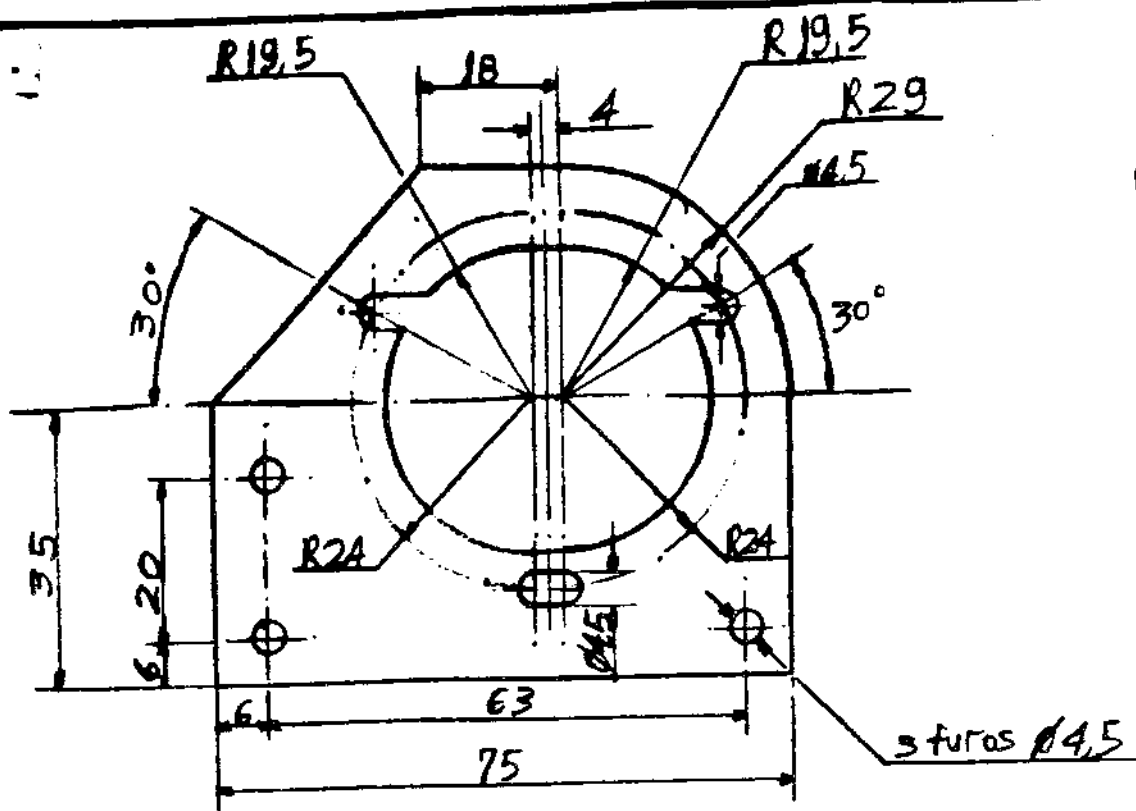
quantidade: **1**

Escala: 1:1



TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS I.O.I
 MATERIAL ALUMÍNIO
 anel elástico: 502.28

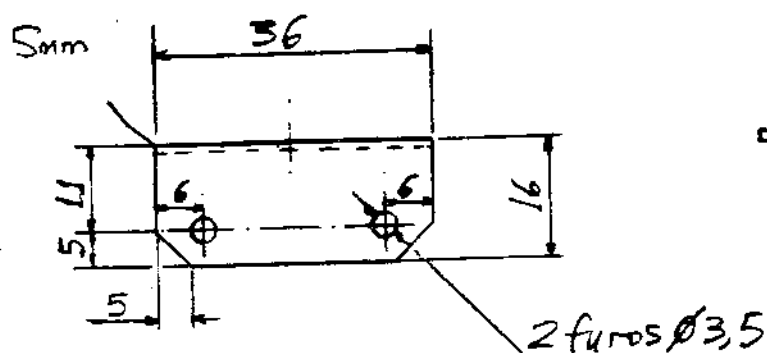
				Quant.: 4 + 4	
				Código	
Rev. Des./Proj.	Verif.	Data	Título	Escala	Fl.
1 M.L.S.	M.L.S.	16/11/99	CARÇA DE MANCAL	1:1	FL
2 L.M. / L.C.	L.M.	10/25/13/99			
3					



155

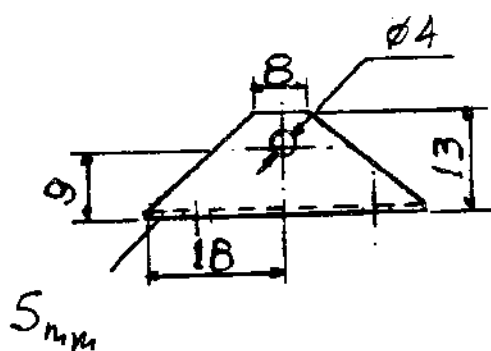
(a)

material: Chapa de Alumínio # ~~1~~ mm
0,0



(b)

material: chapa de
Alumínio # 1 mm

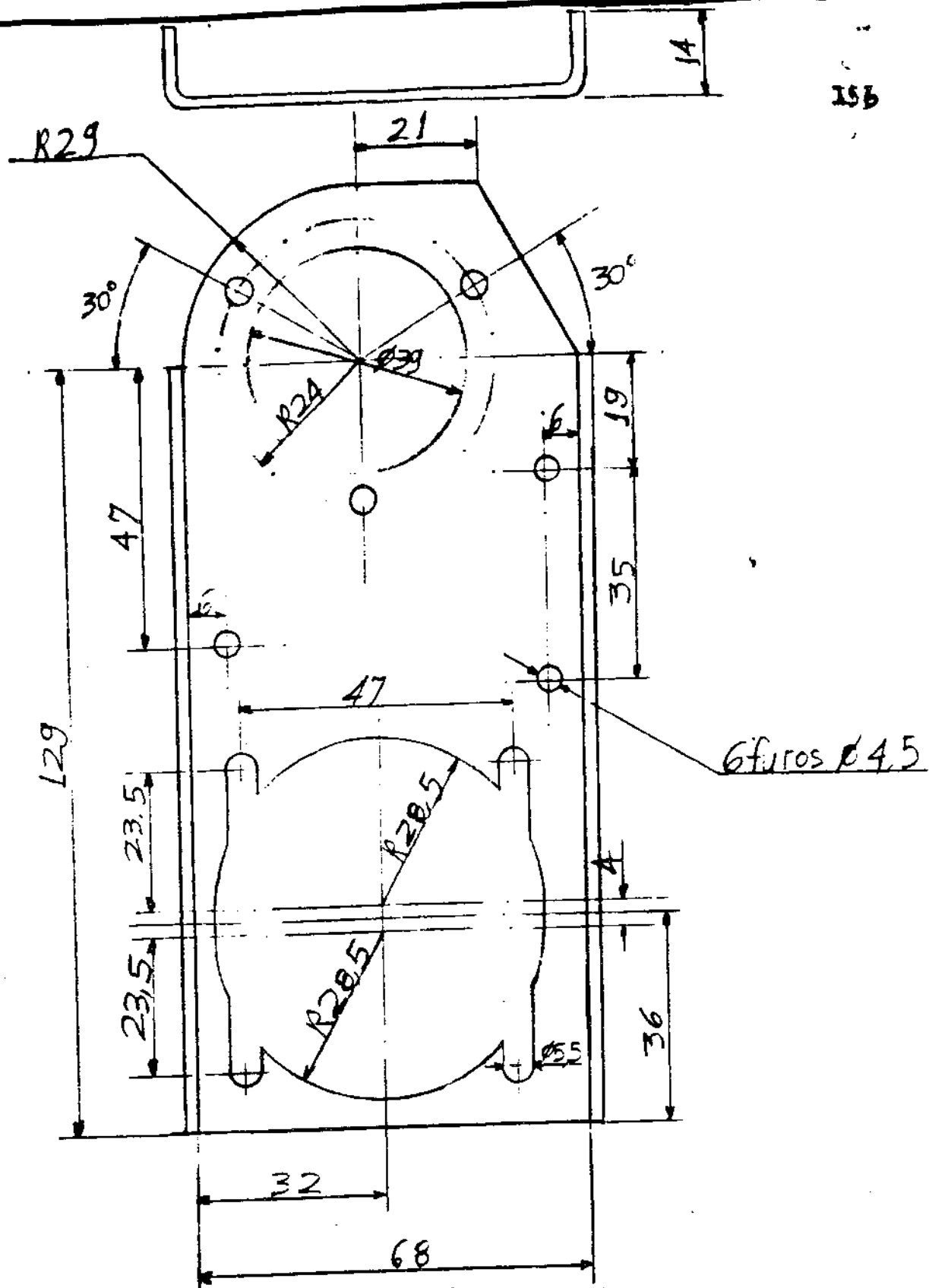


tolerâncias não especificados: $\pm 0,1$

				Quantidade de:	
				a=1	
				b=2	
no	des/tra	verif.	data	Título:	
1	Emílio	Emílio	20/12/83		
				a-flange-braco horizontal	
				b-suporte	
				Escola:	
				1:1	

DETALHE 7

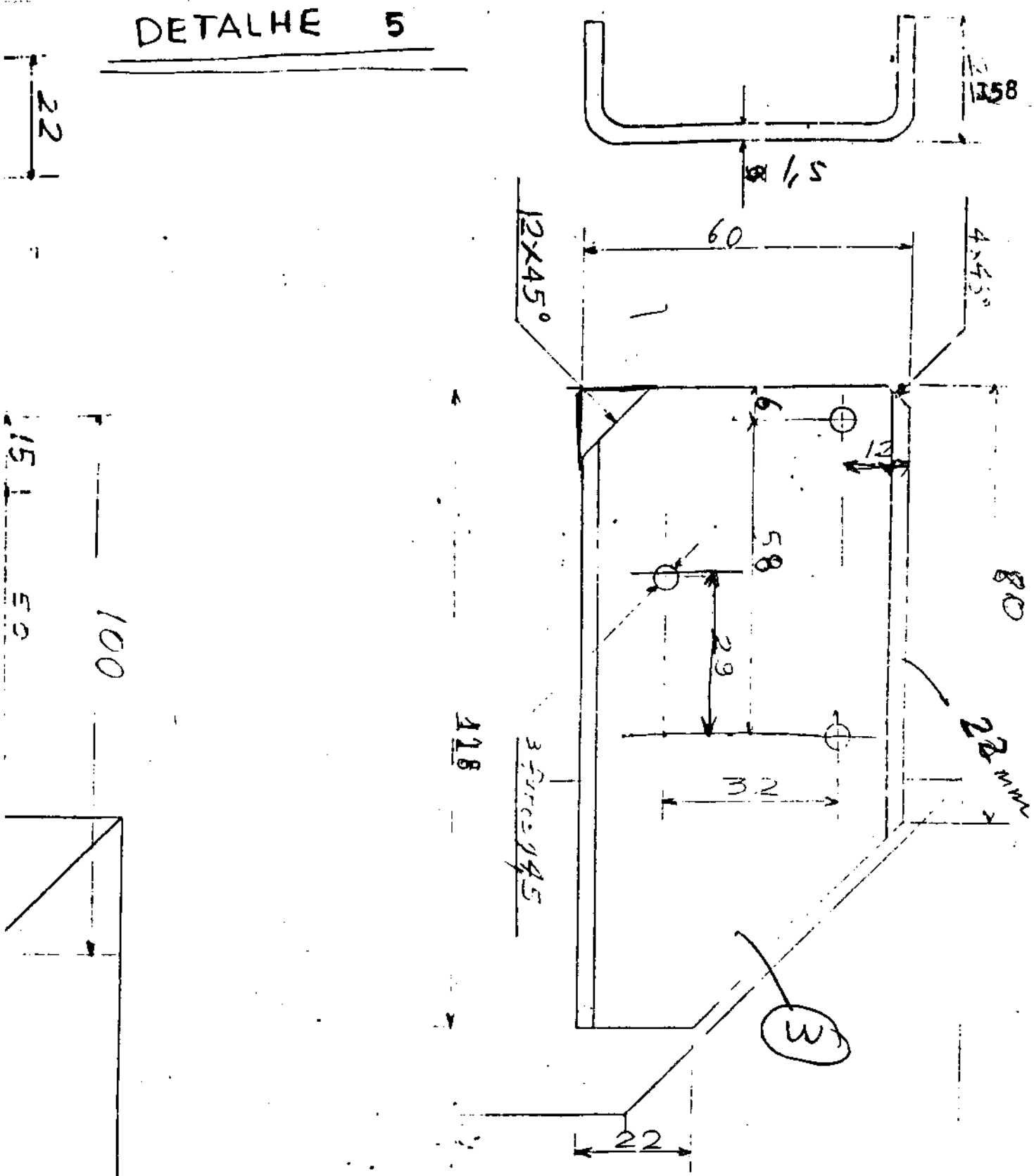
ALUMÍNIO



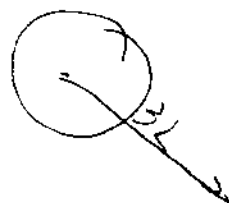
tolerâncias não especificadas: $\pm 0,1$
material chapo de Alumínio ~~1,5~~ mm
2,0

				Quantidade:	
				1	
Nº	des/Proj	verif.	data	Título:  Flange-brasão horizontal	
1	Emílio	Emílio	22/12/88		
2	Emílio	Emílio	08/07/90	Escola:	
				Li	

DETALHE 5



chapa de aço # 1,5 mm



A N E X O

2

LISTAGEM DO PROGRAMA

CONTROLE DE MOTORES DE PASSO DO MANIPULADOR CARTESIANO,
AQUISIÇÃO DE DADOS E TRATAMENTO GRÁFICO

```
# include <stdio.h>
# include <stdlib.h>
# include <graphics.h>
# define port_a 0x300
# define port_b 0x301
# define port_c 0x302
# define cont 0x303
# define cnt0 0x304
# define cnt1 0x305
# define cnt2 0x306
# define cnt4 0x30C
# define cntrl 0x307
# define enab 0x30C
# define adc 0x310
# define l 500
# define X 21
# define Y 21
# define J 21
# define K 21
# define CLEAR "\x1B[2J"

char ch;
int c[4] = {0xfA,0xf9,0xf5,0xf6};
int d[4] = {0xfA,0xf6,0xf5,0xf9};
int c1[4] = {0xAf,0x9f,0x5f,0x6f};
int d1[4] = {0xAf,0x6f,0x5f,0x9f};
int sent, send, dado;
interrupt far interrupcao();
interrupt far interrup2();
char far *desabilita_int;
int xpoint[11];
int ypoint[11];
int x1,x2,x3;
int
x,y,z,i,n,m,nx,ny,delta,xinic,xfim,yinic,yfim,achou,valido,v
alor;
int VISITADO[10][10];
int MAT[X][Y];

main()

{ char n,r, ch;
  printf(CLEAR);
  outportb(cont,0x89);
  x=y=z=0;
```

```

    timer();
    do{
        printf(CLEAR);
        printf(" \n*****          M E N U
*****\n\n\n\n\n");
        printf("\n      ENTRE COM A OPCAO DESEJADA
:\n\n\n\n\n");
        printf("          SCANNING MANUAL: (a)\n\n");
        printf("          SCANNING DE UM PLANO XY, XZ , YZ:
(b)\n\n");
        printf("          ESCOLHA DE UM PONTO ESPECIFICO:
(c)\n\n");
        printf("          NENHUMA OPCAO TECLE 'N' ");
        n=getch();
        switch(n){
            case 'a': manual();break;
            case 'b': scanning();break;
            case 'c': le_ponto();break;
        }printf("\n\n\n\n DESEJA CONTINUAR ? SIM(s) NAO
(n)\n");
        }while((r=getch())!='n');
    }
}

```

```

    manual()
    {
        int tecla1,tecla2,dex;
        char dir;
        printf(CLEAR);
        printf(" \n\n\n          O P E R A C A O          M A N
U A L          \n\n\n\n\n\n\n\n\n");
        printf(" * TECLAS DE SETA MOVIMENTAM NO SENTIDO DOS
EIXOS 'X' E 'Y'");
        printf("\n\n * TECLA 'F1' MOVIMENTA PARA TRAS");
        printf("\n\n * TECLA 'F2' MOVIMENTA PARA FRENTE");
        printf("\n\n * PRESSIONE HOME PARA LER O VALOR
DESEJADO");
        printf("\n\n * PRESSIONE 'X' PARA SAIR DO CONTROLE
MANUAL\n\n\n\n");
        while((tecla1=getch())!='x')
            if(tecla1==0){
                tecla2=getch();
                if(tecla2==59 || tecla2== 60)
                    printf("'X':");
                else if(tecla2==75 || tecla2==77)
                    printf("'Y':");
                else if(tecla2==72 || tecla2==80 )
                    printf("'Z':");

                switch(tecla2){
                    case 75 : outportb(port_b,0xff);
                                for(dex=0;dex<4;dex++){
                                    while(tecla2!=75);
                                }

```

```

        outportb(port_a,ci[dex]);
        printf(" ");
    }
    y--;
    printf("%d\n",y);
    break;

case 77 :    outportb(port_b,0xff);
            for(dex=0;dex<4;dex++){
                while(tecla2!=77);
                outportb(port_a,di[dex]);
                printf(" ");
            }
            y++;
            printf("%d\n",y);
            break;

case 72 :    outportb(port_b,0xff);
            for(dex=0;dex<4;dex++){
                while(tecla2!=72);
                outportb(port_a,ci[dex]);
                printf(" ");
            }
            z++;
            printf("%d\n",z);
            break;

case 80 :    outportb(port_b,0xff);
            for(dex=0;dex<4;dex++){
                while(tecla2!=80);
                outportb(port_a,d[dex]);
                printf(" ");
            }
            z--;
            printf("%d\n",z);
            break;

case 59 :    outportb(port_a,0xff);
            for(dex=0;dex<4;dex++){
                while(tecla2!=59);
                outportb(port_b,c[dex]);
                printf(" ");
            }
            x++;
            printf("%d\n",x);
            break;

case 60 :    outportb(port_a,0xff);
            for(dex=0;dex<4;dex++){
                while(tecla2!=60);
                outportb(port_b,d[dex]);
                printf(" ");
            }

```

```

        x--;
        printf("%d\n",x);
        break;

    case 71:  ad();
             x1=dado;
             ad();
             x2=dado;
             ad();
             x3=dado;
             printf("Dose=%d",x3);
             break;
}
}
printf(CLEAR);
}

inicializa()
{
    int xis,yis,zis;

    yis= inportb(port_c);
    while(yis!=0xFB)
        MOTOR_3('e');
    xis= inportb(port_c);
    while(xis!=0xBF)
        MOTOR_2('d');
    zis= inportb(port_c);
    while(zis!=0xEF)
        MOTOR_1('d');
}

scanning()
{
    int c,num,nil,mem,aux;
    int tecla1;
    printf(CLEAR);
    printf("\n ***** SCANNING DE UM PLANO
*****\n\n");
    x=y=z=0;
    printf("\n\n");
    printf("      ^ Y motor 3      \n");
    printf("      !\n");
    printf("      !\n");
    printf("      !\n");
    printf("      !_____ X motor 2
\n");
    printf("      / \n");
    printf("      / \n");

```

```

        printf("      /  \n");
        printf("Z   motor 1 \n\n\n ");

printf("Entre com o plano desejado:\n");
printf("\n XY - Z constante   digite  z");
printf("\n XZ - Y constante   digite  y");
printf("\n YZ - X constante   digite  x");

ch=getch();

switch( ch) {

    case 'z' : printf(CLEAR);

/* POSICIONA TRANSDUTOR NO LOCAL DESEJADO DO EIXO
Z   */

        printf("Digite o valor de z desejado em
[mm]");

        scanf("%d",&num);
        nil=0;
        if(num<=80)
            num=num*0.0;
        else
            num=num*0.879;
        while(nil!=num){
            MOTOR_1('d');
            nil++;
        }

/*      INICIALIZA Y E X PARA INICIAR O RASTREAMENTO */

        y=0;
        x=0;
        while(y!=240){
            while(x!=120){
                aux=0;

/*      RASTREAMENTO DOS PRIMEIROS 5 CENTIMETROS DO EIXO
X   */

                if(x<=50){
                    ad();
                    x1=dado;
                    ad();
                    x2=dado;
                    ad();
                    x3=dado;

                    *((MAT+y)+x)=x3;
                    MOTOR_2('e');
                    aux+=1;
                    if(aux==6){
                        MOTOR_2('e');
                        aux=0;
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        x++;
    }

/* RASTREAMENTO DO CENTRO DO SIMULADOR */

    if(x>50 && X<=70 ) {
        mem=10*0.9;
        do{
            MOTOR_2('e');
            mem--;
        }while(mem!=1);
        ad();
        *((MAT+y)+x)=dado;
        x+=10;
    }
}

/* RASTREAMENTO DOS ULTIMOS 5 CENTIMETROS DO SIMULADOR
*/

    if(x>70){
        ad();
        x1=dado;
        ad();
        x2=dado;
        ad();
        x3=dado;

        *((MAT+y)+x)=x3;
        MOTOR_2('e');
        aux+=1;
        if(aux==6){
            MOTOR_2('e');
            aux=0;
        }
        x++;

/* DESLOCA EIXO Y MOTOR_3 */

        mem=10*0.9;
        do{
            MOTOR_3('d');
            mem--;
        }while(mem!=1);
        y+=10;
    }

/* RASTREAMENTO DO EIXO X NO SENTIDO INVERSO */

    while(x!=0){
        aux=0;

/* RASTREAMENTO DOS ULTIMOS 5 CM DO EIXO X */

        if(x)=70){
            ad();

```

```

        x1=dado;
        ad();
        x2=dado;
        ad();
        x3=dado;

        *((MAT+y)+x)=x3;
        MOTOR_2('d');
        aux+=1;
        if(aux==6){
            MOTOR_2('d');
            aux=0;
        }
        x--;
    }

/*    RASTREAMENTO DO CENTRO DO SIMULADOR    */

    if(x<70 && x>50 ) {
        mem=10*0.9;
        do{
            MOTOR_2('d');
            mem--;
        }while(mem!=1);

        ad();
        x1=dado;
        ad();
        x2=dado;
        ad();
        x3=dado;
        *((MAT+y)+x)=x3;
        x-=10;
    }

}

X    /*    RASTREAMENTO DOS PRIMEIROS 5 CENTIMETROS DO EIXO    */
    /*
        if(x<=50){
            ad();
            x1=dado;
            ad();
            x2=dado;
            ad();
            x3=dado;

            *((MAT+y)+x)=x3;
            MOTOR_2('d');
            aux+=1;
            if(aux==6){
                MOTOR_2('e');
                aux=0;
            }
            x++;
        }
    */

```

```

    }

/*  RASTREAMENTO NO EIXO Y DESLOCAMENTO DO MOTOR_3 */

    mem=10*0.9;
    do{
        MOTOR_3('d');
        mem--;
    } while(mem!=1);
    y+=10;

    }break;

    printf("\n\n Deseja imprimir?");

/*  CHAMADA DAS  ROTINAS DE ORDENACAO E GRAFICA  */

    dose();

    case 'y' : printf(CLEAR);

/*  POSICIONA TRANSDUTOR  NO LOCAL DESEJADO DO EIXO Y
*/

        printf("Digite o valor de y desejado em
[mm]");
        scanf("%d",&num);
        nil=0;
        if(num<=80)
            num=num*0.9;
        else
            num=num*0.879;
        while(nil!=num){
            MOTOR_3('e');
            nil++;
        }

/*  INICIALIZA      X      E      Z=y      */

        y=0;
        x=0;

        while(y!=240){

            while(x!=120){
                aux=0;

/*  RASTREAMENTO DOS PRIMEIROS      5 CM DO EIXO X  */

                if(x<=50){

```

```

        ad();
        x1=dado;
        ad();
        x2=dado;
        ad();
        x3=dado;
        *((MAT+y)+x)=x3;
        MOTOR_2('e');
        aux+=1;
        if(aux==6){
            MOTOR_2('e');
            aux=0;}
        x++;
    }

```

/* RASTREAMENTO DO CENTRO DO SIMULADOR */

```

        if(x>50 && X<=70 ) {
            mem=10*0.9;
            do{
                MOTOR_2('e');
                mem--;
            }while(mem!=1);
            ad();
            x1=dado;
            ad();
            x2=dado;
            ad();
            x3=dado;
            *((MAT+y)+x)=x3;
            x+=10;
        }

        aux=0;

```

/* RASTREAMENTO DOS ULTIMOS 5 CM DO EIXO X */

```

        if(x>70){
            ad();
            x1=dado;
            ad();
            x2=dado;
            ad();
            x3=dado;
            *((MAT+y)+x)=x3;
            MOTOR_2('e');
            aux+=1;
            if(aux==6){
                MOTOR_2('e');
                aux=0;}
            x++;
        }

```

```

/*          RASTREAMENTO NO EIXO Z=y          */

    mem=10*0.9;
    do{
        MOTOR_1('d');
        mem--;
    }while(mem!=1);
    y+=10;

/*          RASTREAMENTO DO EIXO X NO SENTIDO INVERSO          */

    while(x!=0){

/*          RASTREAMENTO DOS ULTIMOS 5 CM DO EIXO X          */
        aux=0;
        if(x>=70){
            ad();
            x1=dado;
            ad();
            x2=dado;
            ad();
            x3=dado;
            *((MAT+y)+x)=x3;
            MOTOR_2('d');
            aux+=1;
            if(aux==6){
                MOTOR_2('d');
                aux=0;
            }
            x--;
        }

/*          RASTREAMENTO DO CENTRO DO SIMULADOR          */

        if(x<70 && x>50 ) {
            mem=10*0.9;
            do{
                MOTOR_2('d');
                mem--;
            }while(mem!=1);
            ad();
            x1=dado;
            ad();
            x2=dado;
            ad();
            x3=dado;
            *((MAT+y)+x)=x3;
            x-=10;
        }
    }
}

```

```

/* RASTREAMENTO DOS PRIMEIROS 5 CM DO EIXO X */

    if(x<=50){
        ad();
        x1=dado;
        ad();
        x2=dado;
        ad();
        x3=dado;
        *((MAT+y)+x)=x3;
        MOTOR_2('d');
        aux+=1;
        if(aux==6){
            MOTOR_2('e');
            aux=0;}
        x++;
    }

/* RASTREAMENTO DO EIXO Z =y */

    mem=10*0.9;
    do{
        MOTOR_1('d');
        mem--;
    } while(mem!=1);
    y+=10;

    }break;

    printf("\n\n Deseja imprimir?"),

/* CHAMADA DAS ROTINAS DE ORDENACAO E GRAFICA
*/

    dose();

    case 'x' : printf(CLEAR);

/* POSICIONA TRANSDUTOR NO VALOR DESEJADO DO PLANO
X */

    printf("Digite o valor de x desejado em
[mm]"),

    scanf("%d",&num);
    nil=0;
    if(num<=80)
        num=num*0.9,
    else
        num=num*0.879;
    while(nil!=num){
        MOTOR_2('e');
        nil++;
    }

```

```

/*      INICIALIZA      Y=x      Z=y      */

      y=0;
      x=0;
      while(y!=240){

          while(x!=120){

/*      RASTREAMENTO DOS PRIMEIROS 5 CM DO EIXO Y=x      */

              aux=0;
              if(x<=50){
                  ad();
                  x1=dado;
                  ad();
                  x2=dado;
                  ad();
                  x3=dado;
                  *(*(MAT+y)+x)=x3;
                  MOTOR_3('e');
                  aux++;
                  if(aux==6){
                      MOTOR_3('e');
                      aux=0;
                  }
                  x++;
              }

/*      RASTREAMENTO DO CENTRO DO SIMULADOR      */

              if(x>50 && X<70 ) {
                  mem=10;
                  do{
                      MOTOR_3('e');
                      mem--;
                  }while(mem!=1);
                  ad();
                  x1=dado;
                  ad();
                  x2=dado;
                  ad();
                  x3=dado;
                  *(*(MAT+y)+x)=x3;
                  x+=10;
              }

              mem=10*0.9;
              do{
                  MOTOR_1('d');
                  mem--;
              }while(mem!=1);
              y+=10;

```

```
/*      RASTREAMENTO DOS ULTIMOS 5 CM DO EIXO Y=x      */
```

```
    aux=0;
    if(x)>=70){
        ad();
        x1=dado;
        ad();
        x2=dado;
        ad();
        x3=dado;
        *((MAT+y)+x)=x3;
        MOTOR_3('e');
        aux++;
        if(aux==6){
            MOTOR_3('e');
            aux=0;
        }
        x++;
    }
```

```
/*      RASTREAMENTO NO SENTIDO INVERSO DO Y=x      */
```

```
    while(x!=0){
```

```
/*      RASTREAMENTO DO ULTIMOS 5 CM DO EIXO Y=x      */
```

```
    aux=0;
    if(x)>=70){
        ad();
        x1=dado;
        ad();
        x2=dado;
        ad();
        x3=dado;
        *((MAT+y)+x)=x3;
        MOTOR_3('d');
        aux++;
        if(aux==6){
            MOTOR_3('d');
            aux=0;
        }
        x--;
    }
```

```
/*      RASTREAMENTO DO CENTRO DO SIMULADOR      */
```

```
    if(x<70 && x>50 ) {
        mem=10*0.9;
        do{
            MOTOR_3('d');
            mem--;
        }while(mem!=1);
        ad();
        x1=dado;
        ad();
```

```

        x2=dado;
        ad();
        x3=dado;
        *((MAT+y)+x)=x3;
        x-=10;
    }

}

/*  RASTREAMENTO DOS PRIMEIROS 5 CM DO EIXO X  */

    if(x<=50){
        ad();
        x1=dado;
        ad();
        x2=dado;
        ad();
        x3=dado;
        *((MAT+y)+x)=x3;
        MOTOR_2('d');
        aux+=1;
        if(aux==6){
            MOTOR_2('d');
            aux=0;
            x++;
        }

/*  RASTREAMENTO DO EIXO Z= y  */

        mem=10*0.9;
        do{
            MOTOR_1('d');
            mem--;
        } while(mem!=1);
        y+=10;

        }break;

        printf("\n\n Deseja imprimir?");

/*  CHAMADA DAS ROTINAS DE ORDENACAO E GRAFICA  */

        dose();

    }

}

le_ponto()
{

```



```

        if(kx<80)
            kx=kx*0.9;
        else
            kx=kx*0.879;
        while(kx!=0){
            kx-=1;
            MOTOR_1(dirc);
            xis-=1;
        }
    }

else if (kx>0) {
    dirc='e';
    if(kx<=80)
        kx=kx*0.9;
    else
        kx=kx*0.879;
    while(kx!=0){
        kx-=1;
        MOTOR_1(dirc);
        xis+=1;
    }
}

else if (kx=0)    (printf(""));

if (kz<0)    {
    dirc='d';
    kz=(-1)*kz;
    if(kz<=80)
        kz=kz*0.9;
    else
        kz=0.879*kz;
    while(kz!=0){
        kz-=1;
        MOTOR_3(dirc);
        zis-=1;
    }
}

else if (kz>0) {
    dirc='e';
    if(kz<=80)
        kz=0.9*kz;
    else
        kz=0.879*kz;
    while(kz!=zis){
        MOTOR_3(dirc);
        zis+=1;
    }
}

```

```

    }
    else if (kz==0) { printf("");}

        ad();
        x1=dado;
        ad();
        x2=dado;
        ad();
        x3=dado;
        printf("\n DOSE= %d",x3);

        xise=nx;
        yise=ny;
        zise=nz;
        printf("\n\n\n\n          Deseja continuar      sim(s)
nao(n)?\n");
    }
    printf(CLEAR);
}

MOTOR_1(dir)

char dir;

int dex,input;
int c[4]={0xfA,0xf9,0xf5,0xf6};
int d[4]={0xfA,0xf6,0xf5,0xf9};
int mask;
outportb(port_b,0xff);

sent=0;
desabilita_int= getvect(0x0b); /* Guarda endereco
original da rotina de interrupcao*/
setvect(0x0b,interruptao); /* Coloca endereco da rotina
desejada */
mask=inportb(0x21);           /* Guarda original status do
8259 */
outportb(0x21,mask & 0xf7); /* Reprograma 8259
habilitando IRQ3*/

if(dir=='e'){
for(dex=0;dex<4;dex++){
while(sent==0);
outportb(port_a,c[dex]);
sent=0;
} printf("motorie");
outportb(0x21,mask); /* Devolve status original do
8259*/
setvect(0x0b,desabilita_int); /* Devolve endereco
original de interrupcao*/

```

```

    }

else if(dir=='d'){
    for(dex=0;dex<4;dex++){
        while(sent==0);
        outportb(port_a,d[dex]);
        sent=0;
        }printf("motor1d");
        outportb(0x21,mask);
        setvect(0x0b,desabilita_int);
    }
}

MOTOR_2(dir)

char dir;

(int dex,input,n,
int c[4]={0xAf,0x9f,0x5f,0x6f};
int d[4]={0xAf,0x6f,0x5f,0x6f};
int mask;

outportb(port_b,0xf7);
sent=0;

desabilita_int=getvect(0x0b);
setvect(0x0b,interruptcao);
mask=inportb(0x21);
outportb(0x21,mask & 0xf7);

if(dir=='e'){
    for(dex=0;dex<4;dex++){
        while(sent==0);
        outportb(port_a,c[dex]);
        sent=0;
        }printf("motor2e");
        outportb(0x21,mask);
        setvect(0x0b,desabilita_int);
    }
}

else if(dir=='d'){
    for(dex=0;dex<4;dex++){
        while(sent==0);
        outportb(port_a,d[dex]);
        sent=0;
        }printf("motor2d");
        outportb(0x21,mask);
        setvect(0x0b,desabilita_int);
    }
}

```

```

}

MOTOR_3(dir)

char dir;

{ int dex,input;
  int c[4]={0xfA,0xf9,0xf5,0xf6};
  int d[4]={0xfA,0xf6,0xf5,0xf9};
  int mask;

  outportb(port_a,0xff);
  sent=0;

  desabilita_int=getvect(0x0b);
  setvect(0x0b,interruptao);
  mask=inportb(0x21);
  outportb(0x21,mask & 0xf7);

  if(dir=='e'){
    for(dex=0;dex<4;dex++){
      while(sent==0);
      outportb(port_b,c[dex]);
      sent=0;
      printf("motor3e");
      outportb(0x21,mask);
      setvect(0x0b,desabilita_int);
    }

  else if(dir=='d'){
    for(dex=0;dex<4;dex++){
      while(sent==0);
      outportb(port_b,d[dex]);
      sent=0;
      printf("motor3d");
      outportb(0x21,mask);
      setvect(0x0b,desabilita_int);
    }
  }
}

/*  ROTINA PARA ONDE SE DESLOCA O PROGRAMA QUANDO
IRQ3 E ACIONADO */

int interrupt interruptao()

{ extern sent;
  sent=1;
  outportb(0x20,0x23); /* Desabilita interrupcao*/
}

```

```

/*   PROGRAMANDO O TIMER 8253   */

timer()

{ char tic[6];

  tic[5]= 1;
  tic[4]=4;
  tic[3]= 0;
  tic[2]=6;
  tic[1]= 0;
  tic[0]=10;

  outportb(cntrl,0x34);
  outportb(cntrl,0x74);
  outportb(cntrl,0xb4);
  outportb(cnt0,tic[0]);
  outportb(cnt0,tic[1]);
  outportb(cnt1,tic[2]);
  outportb(cnt1,tic[3]);
  outportb(cnt2,tic[4]);
  outportb(cnt2,tic[5]);
  outportb(cnt4,0x01);
}

/* ROTINA PARA CALCULAR PORCENTAGEM DE DOSE */

dose()
{
  int max;
  x=0;
  y=0;

  max=0;

  for(y=0;y<=J;y++)
  for(x=0;x<=K;x++){
    if(*(MAT+y)+x>max)
      max=*(MAT+y)+x;
  }
  for(y=0;y<=J;y++)
  for(x=0;x<=K;x++)
    *(MAT+y)+x= (*(MAT+y)+x) *100 /max;
  le_AD();
}

/*   ROTINA PARA MODO GRAFICO   */

le_AD()

```

```

{
    int graphdriver;
    int graphmode;
    int g;

    printf("Pronto para leitura?");
    if(getch()=='s')
    {
        detectgraph(&graphdriver,&graphmode);
        initgraph(&graphdriver,&graphmode," ");

        line(0,0,0,197);
        line(0,197,639,197);

        for(g=8;g<200;g+=9)
            line(0,g,7,g);

        for(g=28;g<640;g+=29)
            line(g,195,g,199);

        line(0,0,9,3);
        line(639,197,630,194);

        outtextxy(4,188,"0");
        outtextxy(40,2,"N");
        outtextxy(48,2,"I");
        outtextxy(56,2,"V");
        outtextxy(64,2,"E");
        outtextxy(72,2,"L");
        outtextxy(96,2,"D");
        outtextxy(104,2,"A");
        outtextxy(128,2,"A");
        outtextxy(136,2,"O");
        outtextxy(144,2,"U");
        outtextxy(152,2,"A");
        outtextxy(610,192,"40");
        valor = 10;
        while(valor<=100)
        {
            busca();
            valor += 10;
        }
        sleep(40);
        closegraph();
    }
}

/*      ROTINA PARA PROGRAMACAO DO CONVERSOR      AD */

ad()
{
    int mask;
    send=0;
    desabilita_int=getvect(0x0a);/* Guarda endereco original

```

```

da interrupcao IRQ2*/
    setvect(0x0a,interrup2);/* Guarda o endereco da rotina
desejada em IRQ2*/
    mask=inportb(0x21);
    outportb(0x21,mask & 0xfb);
    outportb(adc,00);
    while(send==0);
    outportb(0x21,mask);
    setvect(0x0a,desabilita_int);
}

/*  ROTINA PARA ONDE SE DESLOCA O PROGRAMA QUANDO IRQ2 E
ACIONADO */

int interrupt interrump2()
{
    extern send;
    dado=inportb(adc);
    send=1;
    outportb(0x20,0x22);
}

/*  ROTINA PARA INTERPOLACAO DOS PONTOS DA MATRIZ DE DADOS
DE DOSE */

void drawBspline(int segments)
{
    int i,x,y,an,oldx,oldy;
    float u,delta,nc1,nc2,nc3,nc4;

    oldx=xpoint[0];
    oldy=ypoint[0];
    an=n-1;
    delta= 1.0/segments;
    for (i=1; i<=an ; i++)
    {
        for(u=0;u<=1; u+=delta)
        {
            nc1=-(u*u*u/6) + u*u/2 -u/2 + 1.0/6;
            nc2= u*u*u/2 -u*u + 2.0/3;
            nc3= (-u*u*u + u*u + u)/2 + 1.0/6;
            nc4= u*u*u/6;
            x= (nc1*xpoint[i-1] + nc2*xpoint[i] +
                nc3*xpoint[i+1] + nc4*xpoint[i+2]);
            y= (nc1*ypoint[i-1] + nc2*ypoint[i] +
                nc3*ypoint[i+1] + nc4*ypoint[i+2]);

            line(oldx,oldy,x,y);
            oldx=x;
            oldy=y;
        }
    }
}

```

```
/* ROTINA PARA CALCULO DA ESCALA DO GRAFICO */
```

```
grafico()
{
    int i,m;
    m=n+2;
    for(i=0; i<m ; i++)
    {
        xpoint[i]*=29;
        ypoint[i]*=9;
    }
    drawB spline(8);
}
```

```
/* ROTINA PARA DETERMINAR LIMITES DA MATRIZ DE DADOS */
```

```
int vale(int x, int y)
{
    int temp;

    if(x==0 && x<K && y==0 && y<J)
        temp = 1;
    else
        temp = 0;
    return(temp);
}
```

```
/* ROTINA PARA MARCAR VALORES JA EXAMINADOS PELA ROTINA DE BUSCA*/
```

```
int testa(int nx, int ny)
{
    int temp;

    temp = 0;
    if(vale(nx,ny) == 1)
    {
        valido = 1;
        if((*(MAT+ny)+nx) == valor) && (*(VISITADO+ny)+nx)
== 0))
        {
            i++;
            xpoint[i] = x = nx;
            ypoint[i] = y = ny;
            (*(VISITADO+ny)+nx) = 1;
            temp = 1;
        }
    }
    return(temp);
}
```

```
/* ROTINA PARA BUSCA DO VALOR DESEJADO DE PORCENTAGEM DE
```

```
DOSE */
```

```
busca()
```

```
{
  for(x=0; x<K; x++)
    for(y=0; y<J; y++)
      *((VISITADO+y)+x) = 0;
  x = y = 0;
  nx = K-1;
  ny = J-1;
```

```
/* procura valor inicial */
```

```
while((*((MAT+y)+x) != valor) && (x!=nx || y!=ny))
```

```
{
  x++;
  if(x==K)
  {
    x=0;
    y++;
  }
}
```

```
if((*(MAT+y)+x) == valor)
```

```
{
  xpoint[0] = x;
  ypoint[0] = y;
  xpoint[1] = x;
  ypoint[1] = y;
  *((VISITADO+y)+x) = 1;
  i = 1;
  achou = 1;
```

```
/* procura vizinho desse ponto com o mesmo valor */
```

```
do
{
  inicio:
  if(achou == 1)
    delta = 1;
  else
    delta++;
  valido = 0;
  xinic = x+delta;
  xfim = x-delta;
  ny = y+delta;
  for(nx=xinic; nx>xfim; nx--)
  {
    achou = testa(nx,ny);
    if(achou==1)
      goto inicio;
  }
  yinic = y+delta-1;
  yfim = y-delta+1;
  nx = x-delta;
  for(ny=yinic; ny>yfim; ny--)
  {
```

```

        achou = testa(nx,ny);
        if(achou==1)
            goto inicio;
    }
    xinic = x-delta;
    xfim = x+delta;
    ny = y-delta;
    for(nx=xinic; nx<=xfim; nx++)
    {
        achou = testa(nx,ny);
        if(achou==1)
            goto inicio;
    }
    yinic = y-delta+1;
    yfim = y+delta-1;
    nx = x+delta;
    for(ny=ynic; ny<=yfim; ny++)
    {
        achou = testa(nx,ny);
        if(achou==1)
            goto inicio;
    }
}
while (valido == 1);
n = 1;
i++;
xpoint[i] = xpoint[n];
ypoint[i] = ypoint[n];
i++;
xpoint[i] = xpoint[n];
ypoint[i] = ypoint[n];
grafico();
}
return(NULL);
}

```