

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO  
DE SELECIONADOR DE PEÇAS CERÂMICAS

TESE SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA

BRUNO MANOEL NEVES

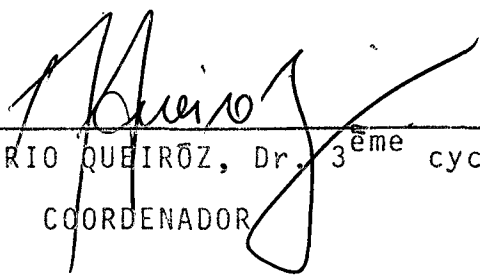
FLORIANÓPOLIS, JUNHO - 1984

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SELECIONADOR DE PEÇAS CERÂMICAS

BRUNO MANOEL NEVES

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE "MESTRE EM ENGENHARIA"

ESPECIALIDADE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO.

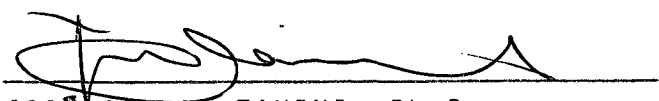


PROF. DIOMÁRIO QUEIRÓZ, Dr. 3<sup>ème</sup> cycle  
COORDENADOR

APRESENTADA PERANTE A BANCA EXAMINADORA COMPOSTA DOS PROFESSORES:

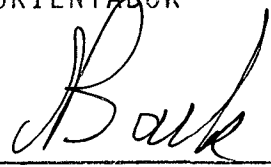


NELSON DIÓGENES DO VALLE, Dr. Ing.  
PRESIDENTE E ORIENTADOR



JOSÉ CARLOS ZANINI, Ph.D.

CO-ORIENTADOR



NELSON BACK, Ph.D.



0.255.907-8

UFSC-BU

## S U M Á R I O

CAPÍTULO I	Pág.
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES .....	1
1.2 PROBLEMAS PRODUTOR X CONSUMIDOR .....	6
1.3 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	7
1.4 ENCAMINHAMENTO DO PROBLEMA .....	9
CAPÍTULO II	
2. DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO .....	12
2.1 INTRODUÇÃO .....	12
2.2 ANÁLISE DO PROBLEMA .....	12
2.3 CONCEPÇÕES PRELIMINARES .....	16
2.4 MODELO DO PRÉ-SELECIONADOR .....	22
2.4.1 ESTRUTURA .....	24
2.4.2 PRÉ-SELECIONADOR .....	24
2.4.3 DESVIADOR .....	25
2.5 MODELO 1 .....	25
2.5.1 ESTRUTURA .....	27
2.5.2 SUBSISTEMA DE AMPLIFICAÇÃO .....	29
2.5.3 SUBSISTEMA DE APROXIMAÇÃO .....	33
2.6 ANÁLISE DO MODELO 1 .....	37
2.7 MODELO 2 .....	38
2.7.1 ESTRUTURA .....	40
2.7.2 SUBSISTEMA DE AMPLIFICAÇÃO .....	42
2.7.3 SUBSISTEMA DE REGISTRO .....	43

2.8 ANÁLISE DO MODELO 2 .....	45
2.9 ANÁLISE DOS MODELOS .....	46

### CAPÍTULO III

3. MODELO PROPOSTO .....	48
3.1 INTRODUÇÃO .....	48
3.2 COMPACTAÇÃO DO SISTEMA DE SELEÇÃO .....	48
3.3 ESTABILIZAÇÃO DO SELECIONADOR .....	50
3.4 COMPATIBILIZAÇÃO DO SELECIONADOR .....	51
3.5 DESCRIÇÃO DO MODELO PROPOSTO .....	51
3.5.1 ESTRUTURA .....	52
3.5.2 SUBSISTEMA DE AMPLIFICAÇÃO .....	53
3.5.3 SUBSISTEMA DE REGISTRO .....	55
3.6 ANÁLISE .....	60

### CAPÍTULO IV

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	61
4.1 CONCLUSÕES .....	61
4.2 RECOMENDAÇÕES .....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64

## APÊNDICE 1

DIMENSIONAMENTO DO AMORTECEDOR .....	66
1. INTRODUÇÃO .....	66
2. MODELO MATEMÁTICO .....	66
2.1 DETERMINAÇÃO DAS MASSAS E DOS MOMENTOS DE INÉRCIA ...	67
2.2 CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA EM RELAÇÃO AOS PONTOS "A" E "B" .....	70
2.3 CÁLCULO DA FREQUÊNCIA NATURAL .....	71
2.4 DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE AMORTECIMENTO .....	73
3. CONSTRUÇÃO DO AMORTECEDOR .....	74
4. MÉTODO EXPERIMENTAL PARA A DETERMINAÇÃO DO AMORTECIMENTO	75
4.1 O TESTE .....	77
5. CONCLUSÃO .....	78

## APÊNDICE 2

CIRCUITO FOTOSENSÍVEL .....	81
-----------------------------	----

## APÊNDICE 3

CHOQUE NO APALPADOR .....	83
---------------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 - GABARITO DE SELEÇÃO POR FAIXAS COLORIDAS .....	3
FIGURA 2 - GABARITO DE SELEÇÃO COM RELÓGIOS COMPARADORES ..	3
FIGURA 3 - SELECIONADOR COM FOTOCÉLULAS .....	4
FIGURA 4 - SELECIONADOR COM FEIXE ÓTICO .....	5
FIGURA 5 - COMPARAÇÃO DO TAMANHO DAS PEÇAS ANTES E APÓS A QUEIMA .....	13
FIGURA 6 - EXEMPLOS DE CLASSIFICAÇÃO DE PEÇAS .....	14
FIGURA 7 - CONCEPÇÃO Nº 6 .....	17
FIGURA 8 - CONCEPÇÃO Nº 10 .....	18
FIGURA 9 - CONCEPÇÃO Nº 14 .....	19
FIGURA 10 - CONCEPÇÃO Nº 17 .....	20
FIGURA 11 - CONCEPÇÃO Nº 20 .....	21
FIGURA 12 - FLUXOGRAMA DO PRÉ-SELECIONADOR E SELECIONADORES	22
FIGURA 13 - PRÉ-SELECIONADOR .....	22
FIGURA 14 - ESQUEMA DE PRÉ-SELEÇÃO .....	23
FIGURA 15 - MODELO 1 .....	26
FIGURA 16 - ESTRUTURA PRINCIPAL .....	27
FIGURA 17 - PERPENDICULARISMO NA SELEÇÃO .....	28
FIGURA 18 - EIXO EXCÊNTRICO .....	29
FIGURA 19 - PIVÔ PRINCIPAL .....	30
FIGURA 20 - APALPADOR MONTADO .....	31
FIGURA 21 - MECANISMO DE QUATRO BARRAS .....	32
FIGURA 22 - PORTA-CANETA .....	33
FIGURA 23 - ESQUEMA DE MOVIMENTOS DO MECANISMO DE APROXIMAÇÃO .....	34
FIGURA 24 - MECANISMO DE APROXIMAÇÃO .....	34

FIGURA 25 - PÓRTICO .....	36
FIGURA 26 - CAME .....	36
FIGURA 27 - MODELO 2 .....	39
FIGURA 28 - GUIA ARTICULADA .....	41
FIGURA 29 - SUBSISTEMA DE AMPLIFICAÇÃO .....	42
FIGURA 30 - INTERRUPTORES E DISPOSITIVO DE ALÍVIO DE PRESSÃO	43
FIGURA 31 - ESTRUTURA DO PORTA-CANETA E MAGNETO .....	45
FIGURA 32 - MODELO PROPOSTO .....	49
FIGURA 33 - CONTATO DO APALPADOR COM A PEÇA .....	50
FIGURA 34 - ALAVANCA .....	53
FIGURA 35 - PRÉ-POSICIONADOR .....	54
FIGURA 36 - PROCESSO DE PREPOSICIONAMENTO DO APALPADOR .....	54
FIGURA 37 - SUBSISTEMA DE REGISTRO .....	56
FIGURA 38 - EMISSOR .....	57
FIGURA 39 - CIRCUITO DO SUBSISTEMA DE REGISTRO .....	58
FIGURA 40 - CONJUNTO DO RECEPTOR .....	59

#### APÊNDICE 1

FIGURA 1 - MODELO MATEMÁTICO .....	67
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DAS MASSAS DA ALAVANCA E DO PRÉ- POSICIONADOR .....	68
FIGURA 3 - EXEMPLO DE DECOMPOSIÇÃO .....	69
FIGURA 4 - DESLOCAMENTO DO SUBSISTEMA DE AMPLIFICAÇÃO .....	70
FIGURA 5 - DESLOCAMENTO ANGULAR .....	74
FIGURA 6 - AMORTECEDOR .....	75
FIGURA 7 - FLUXOGRAMA DO EQUIPAMENTO DE GERAÇÃO DE SINAL ..	76
FIGURA 8 - ESQUEMA DE MONTAGEM DO EXPERIMENTO .....	76

	Pág.
FIGURA 9 - FLUXOGRAMA DO EQUIPAMENTO DE RECEPÇÃO DE SINAIS	77
FIGURA 10 - FLUXOGRAMA DO EQUIPAMENTO DE LEITURA DOS SINAIS	77
FIGURA 11 - CURVA DE DESLOCAMENTO X AMORTECIMENTO .....	78
FIGURA 12 - GRÁFICO LOG X LOG PARA DESLOCAMENTO X AMORTECI- MENTO PARA 2 Hz .....	78
APÊNDICE 2	
FIGURA 1 - CIRCUITO FOTOSENSÍVEL .....	81
APÊNDICE 3	
FIGURA 1 - COMPORTAMENTO DO APALPADOR NO CONTATO INICIAL ..	85
FIGURA 2 - CHOQUE ENTRE O APALPADOR E A PEÇA CERÂMICA .....	86



## LISTA DE QUADROS

	Pág.
QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS .....	15
APÊNDICE 1	
TABELA 1 - MASSA E MOMENTO DE INÉRCIA .....	69

Α

GLAUCI

## A G R A D E C I M E N T O S

Ao Professor NELSON DIÓGENES DO VALLE, pela eficiente orientação no decorrer do desenvolvimento operacional do trabalho;

Ao Professor JOSÉ CARLOS ZANINI, pelas sugestões apresentadas na evolução do trabalho;

Ao Professor PAULO FARINA, pelo estímulo e apoio dispensados;

Ao Professor ARCANJO LENZI, pela colaboração dada nos experimentos realizados no Laboratório de Vibrações e Acústica do CTC-UFSC;

À INDÚSTRIA CERÂMICA PORTO BELO S.A., pela contribuição com dados que permitiram o desenvolvimento do trabalho;

Aos Professores, Funcionários, Estagiários e Bolsistas do Departamento de Engenharia Mecânica que, de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, em especial aos do Laboratório de Cinemática e Dinâmica das Máquinas;

Ao Professor DIOMÁRIO QUEIRÓZ e a todos os Professores e Funcionários do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da UFSC que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho;

À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, através do Centro Tecnológico, e em especial aos Departamentos de Engenharia Mecânica e de Produção e Sistemas, pela qualidade dos programas de Pós-Graduação, dos quais pude usufruir.

R E S U M O

O Seleccionador Cerâmico serve para classificar peças em função de pequenas variações da medida nominal. Nesta dissertação é apresentado o desenvolvimento de um produto industrial que visa permitir a seleção de pisos e azulejos, em substituição ao método convencional utilizado na seleção manual. Procurou-se, ao longo de todo o trabalho, desenvolver o Seleccionador dentro de uma tecnologia que permita uma fácil instalação, operação e manutenção deste equipamento. A evolução deste trabalho se dá em três fases distintas, onde são manufacturados os Modelos 1 e 2 e finalmente o Modelo Proposto de Seleccionador de Peças Cerâmicas.

A B S T R A C T

The Ceramics Selector is intended to classify parts in function of minor variations of the rated measure. This dissertation deals with the development of an industrial product, the purpose of which is to allow for the selection of floors and floor tiles to replace the conventional technique utilized in the manual selection. Along all the work provisions were made to develop the selector in compliance with a technology allowing for an easy installation, operation and maintenance of this equipment. The progress of this work is developed in three different stages according to which models 1 and 2 are manufactured and finally the selector proposed of ceramic parts is also manufactured.

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1 Considerações Preliminares

A indústria brasileira de cerâmica, nos setores de pisos e azulejos, ocupa hoje o segundo lugar na produção mundial, sendo superada apenas pela italiana, que é também a maior produtora de equipamentos para este tipo de indústria.

Sendo a Itália o maior centro de formação tecnológica na área cerâmica, o Brasil se apresenta como um dos maiores importadores desta tecnologia e de seus equipamentos.

Deste ponto de vista, o Brasil, dentro de sua atual política de redução de importações, não deve se posicionar apenas como um grande produtor de peças cerâmicas com tecnologias importadas, mas deve assumir a posição de produtor de equipamentos para abastecer sua indústria, bem como competir no comércio internacional.

Este espaço que o Brasil deverá ocupar já se desenvolve com relativo sucesso, com uma série de equipamentos para a indústria cerâmica.

As indústrias de pisos e azulejos são caracterizadas como indústrias de processos contínuos. A matéria-prima sofre, ao longo de um fluxo previamente dimensionado, uma série de transformações químicas e físicas que se iniciam com a mistura da argila até o processo de classificação, vindo depois a embalagem.

Por mais que se controlem as transformações ao longo do fluxo, as peças acabadas ao final da linha apresentam significativas variações da medida nominal, de sorte que não é aconselhável agrupar as peças que saem continuamente numa mesma embalagem, sem antes passar por um processo de controle.

A falta de controle nos finais das linhas de produção poderá comprometer a empresa, levando os potenciais clientes a adquirir o produto junto a outras empresas que ofereçam um padrão de qualidade aceitável.

Uma vez que o processo de produção oferece muitas dificuldades para a obtenção de peças dentro de uma faixa estreita aceitável da dimensão nominal, a indústria cerâmica optou inicialmente pelo controle de seleção individual das peças.

Como o Brasil tinha, em 1982, uma capacidade instalada superior a 80 milhões de metros quadrados por ano, e sendo Santa Catarina um produtor destacado tanto no comércio nacional como no setor de exportações, abriu-se a perspectiva de um estudo para viabilizar a automatização deste processo de seleção.

Nos parágrafos seguintes serão descritos de maneira sucinta, alguns dos métodos existentes de seleção dimensional de peças cerâmicas.

No Brasil, este controle é executado manualmente, na maioria das indústrias do ramo. O processo consiste em retirar cada peça da linha transportadora e apoiá-la com uma das arestas num gabarito (fig. 1), que possui, no lado oposto a este apoio, um conjunto

de faixas (horizontais) coloridas, às quais indicam, através da cor, a que classe pertence a peça para uma mesma medida nominal.

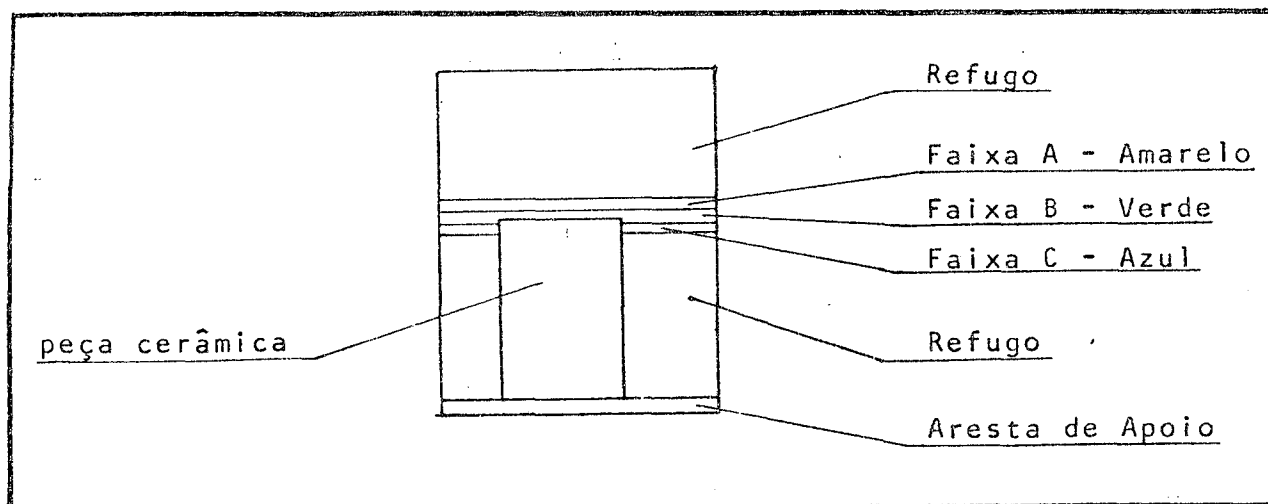


Figura 1 - Gabarito de Seleção por Faixas Coloridas

Este trabalho, altamente repetitivo, tem demonstrado ser monótono e fatigante; além disso, apresenta uma confiabilidade discutível.

Noutro método de seleção, a peça é retirada da linha e colocada num gabarito (fig. 2) que contém duas arestas de apoio, formando um esquadro de ângulo reto e nas arestas opostas são deslizados, sobre guias, dois relógios comparadores.

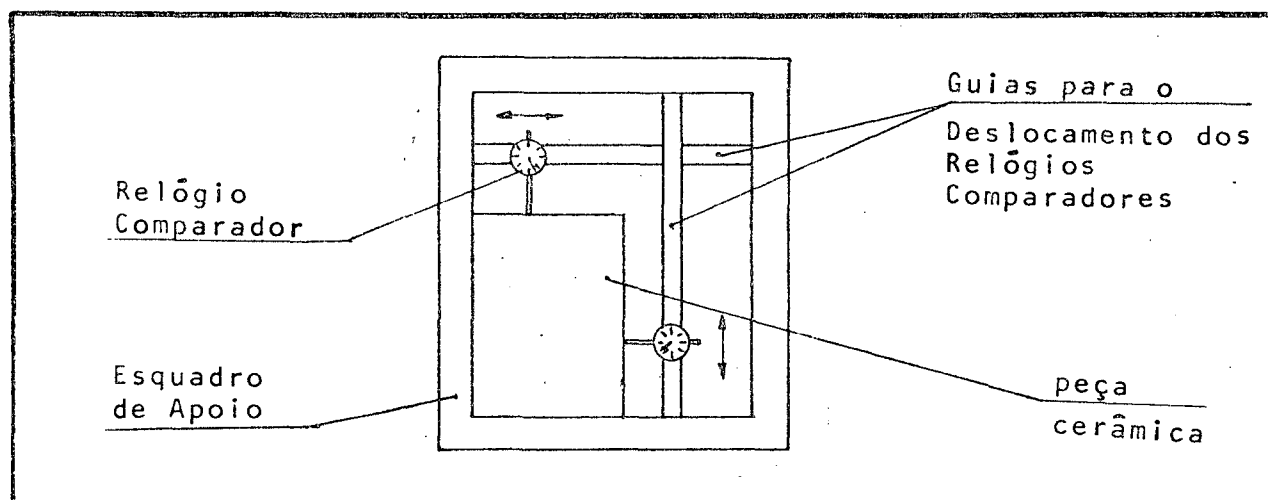


Figura 2 - Gabarito de Seleção com Relógios Comparadores



Com o deslocamento dos relógios, pode-se ler em suas respectivas escalas as possíveis variações da peça cerâmica e então classificá-las de acordo com as normas pré-estabelecidas pela empresa.

Este método é mais utilizado no controle estatístico de qualidade das peças cerâmicas.

Estas duas maneiras possuem a vantagem de se constituírem em equipamentos de baixo custo, mas apresentam a desvantagem de exigirem a retirada das peças de linha; com isto, haverá variações no ritmo de avanço das peças, em função do ritmo de trabalho dos selecionadores, principalmente no caso do uso do gabarito de seleção por faixas coloridas.

Atualmente, existe no mercado internacional, equipamentos que fazem a seleção na própria linha.

Um destes consiste em paralizar a peça por alguns microssegundos, enquanto que dois batentes (fig. 3) fixam a peça automaticamente em arestas opostas através de um comando hidráulico.

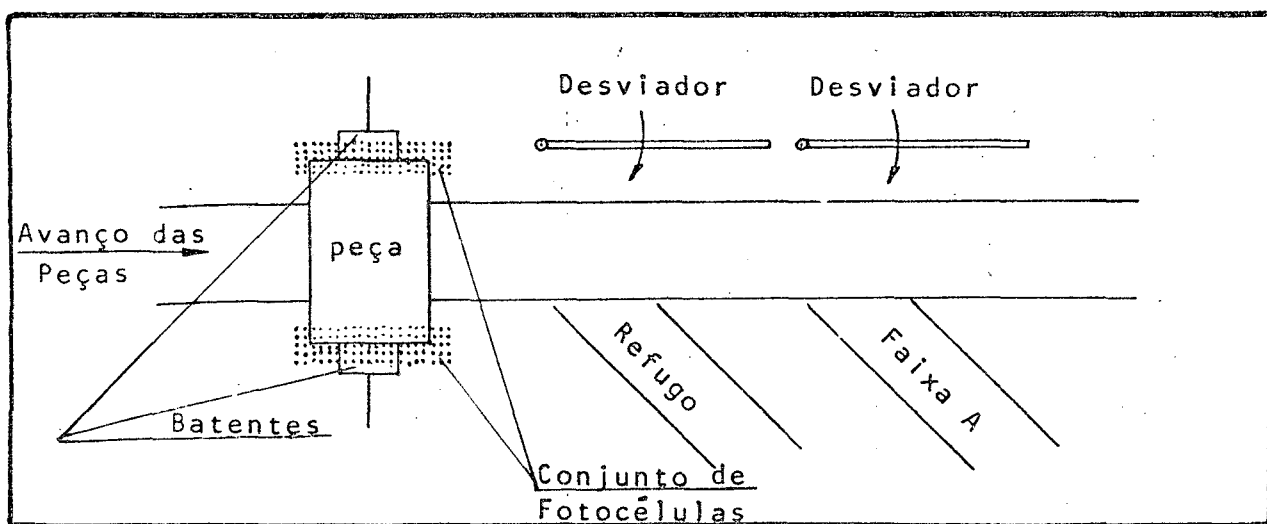


Figura 3 - Selecionador com Fotocélulas

No mesmo instante, um conjunto de fotocélulas é ativado em faixas, ao longo do perímetro da peça. Um microprocessador analisa o número de circuitos fechados e/ou abertos através das fotocélulas e comanda um desviador que deverá ser ativado quando a peça em seleção entrar novamente em movimento.

A ativação do desviador é função da faixa e da velocidade da linha.

Outro processo de seleção consiste em passar as peças cerâmicas numa matriz de feixe ótico (fig. 4).

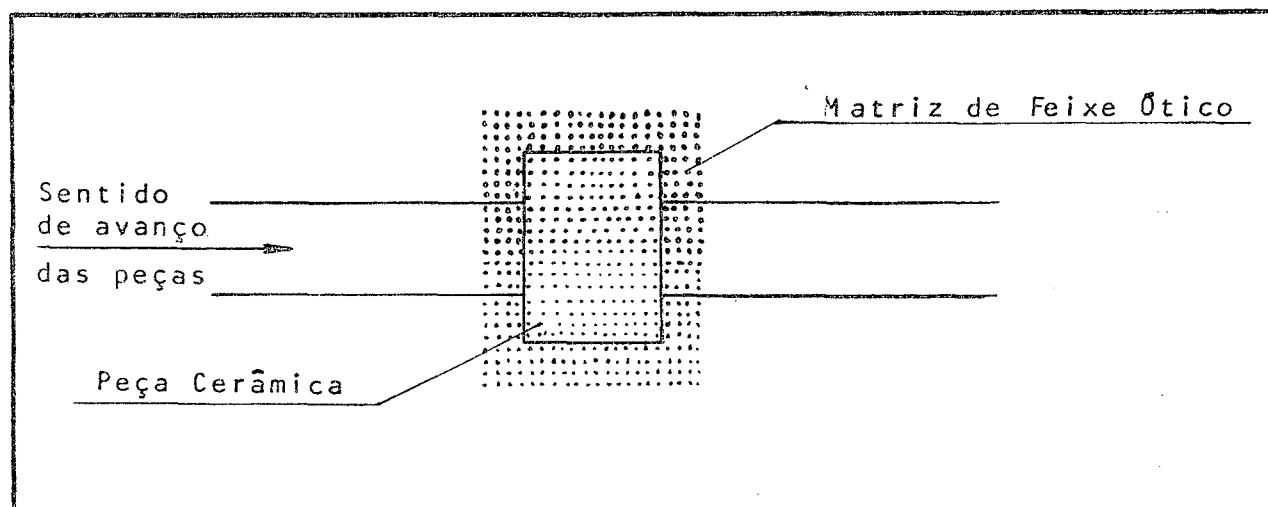


Figura 4 - Selecionador com Feixe Ótico

Neste caso, a peça mantém sua velocidade na linha, durante a seleção. Um microprocessador analisa instantaneamente quantos pontos da matriz foram fechados e se houve ou não pontos escurecidos em várias linhas e/ou colunas; se houver, a peça poderá ser refugada. O microprocessador ativará também um desviador em função dos pontos escurecidos e da velocidade da linha.

Estes dois últimos equipamentos representam as gerações mais novas do equipamento de seleção de peças cerâmicas.

Por outro lado, o Governo brasileiro tem dificultado a importação de equipamentos e tecnologias; com isto, algumas indústrias e centros de pesquisa têm procurado desenvolver tecnologias para satisfazer as necessidades da indústria nacional.

Ainda com referência à última geração dos equipamentos de seleção, tem-se a registrar que além do alto custo de aquisição, importação e instalação, haverá a necessidade de se constituir uma equipe muito bem adestrada para assegurar o funcionamento adequado diante de quaisquer problemas que possam advir no dia-a-dia das operações.

## 1.2 Problemas Produtor X Consumidor

A indústria de pisos e azulejos, com suas quase cem fábricas instaladas, têm levado alguns de seus problemas às Universidades.

No caso em questão, foi apresentada a dificuldade existente no controle dimensional. Esta surge devido às diferenças constatadas entre a dimensão nominal e efetiva. Outro problema relevante é a falta de paralelismo apresentado por algumas peças entre as arestas opostas de uma mesma peça.

Estas dificuldades se tornam críticas à medida que a indústria cerâmica deseja conquistar e manter uma parcela do mercado, quer no âmbito nacional, quer no âmbito internacional.

O problema desta falta de controle, ou o problema de ter-se um controle pouco rígrado, realmente aparece quando o azulejista necessita compor o mosaico das peças num plano e este não consegue fazer a composição deixando um interstício de largura uniforme e constante entre as diversas peças devido às suas próprias irregularidades.

Um mosaico assim montado pode não transmitir ao proprietário ou usuário, o padrão de beleza visual que ele está a exigir.

Logo, se a peça cerâmica dificulta a atividade do operário da construção civil e, principalmente não satisfaz a quem vai usufruir destes ambientes assim decorados, então surge uma reação quase de imediato contra o produtor, que terá como ônus a dificuldade de se manter neste ramo de atividade.

Portanto, este é um risco que se procura evitar, principalmente nos momentos de crise na construção civil e na medida que a concorrência aumenta no mercado mundial.

### 1.3 Definição do Problema

O problema básico do caso em estudo, é a classificação das peças cerâmicas dentro das diversas faixas comerciais. No capítulo II, item 2.2, será definido o que e como são estas faixas.

Após alguns contatos com setores responsáveis pelo processo químico-cerâmico das indústrias de pisos e azulejos, ficou demonstrado que o controle dimensional num único sentido (longitudinal ou

transversal) das peças cerâmicas é suficiente, pois a contração que as peças sofrem no forno de queima é idêntica, uma vez que as moléculas componentes são esferoidais.

Com relação ao próprio processo de seleção, este deverá ocorrer preferencialmente através de um contato físico e direto que expresse de maneira amplificada ou não, qual a dimensão da peça ou a que faixa ela pertence.

Isto precisaria necessariamente ocorrer na mesma velocidade de produção, pois numa velocidade menor viria provocar um desbalanceamento e ainda a necessidade de multiplicar os equipamentos de controle da linha para atender à vazão de peças.

Outro aspecto a ser definido antes de uma análise mais contundente, é a necessidade de se afirmar que o equipamento deve ser de fácil instalação, operação e manutenção. Este objetivo se torna importante à medida que é possível aproveitar a mão-de-obra já existente na indústria cerâmica.

A concepção do produto também deverá ser simples, de maneira a permitir que qualquer indústria de produção de equipamentos para indústria cerâmica possa manufaturá-lo sem que haja novos dispêndios na aquisição de equipamentos e/ou ferramentas para sua manufatura, ou permitir a execução deste selecionador com máquinas universais do setor mecânico ou eletromecânico em outras indústrias.

É importante enfatizar, na definição do problema, que o equipamento de seleção deve ter um alto grau de repetibilidade, isto é, toda vez que uma mesma peça passar pelo selecionador, este deve

classificá-la em igual classe.

Este ponto é determinante para gerar a confiabilidade do novo sistema que será proposto.

#### 1.4 Encaminhamento do Problema

Seguindo a "Metodologia para o Desenvolvimento de Protótipos de Máquinas Industriais"<sup>1</sup>, cuja abordagem dá-se através:

- da definição do problema, onde se determina, basicamente, que tipos de operações o equipamento deve executar e qual a produção desejada;
- do estudo dos movimentos, mecanismos e módulos que resultem num menor custo, simplicidade e eficiência no estudo de várias alternativas durante a execução de modelos e protótipos;
- da seleção de materiais de baixo custo e facilmente trabalháveis, com tecnologias simples, de modo a imprimir uma maior velocidade na execução do protótipo;
- da construção e montagem dos mecanismos e módulos, uma vez definido o problema, e possíveis soluções já idealizadas, inicia-se a fase construtiva das partes;
- da estrutura de ligação, que é o estudo da junção das diversas partes, formando um todo;

---

<sup>1</sup> DIÓGENES DO VALLE, N. e outros - Uma Metodologia para o Desenvolvimento de Protótipos de Máquinas Industriais. Florianópolis, Publicação Interna UFSC-CTC, 1982.

- dos acionamentos, primeiramente verifica-se o funcionamento através de um acionamento manual de baixa velocidade e a medida que o funcionamento satisfaz, o protótipo é posto a funcionar nas condições mais próximas possíveis das reais;
- do sistema de controle do protótipo, que é feito gradualmente, testando-se cada módulo; depois outros módulos vão sendo agrupados e testados, então o sincronismo do protótipo é testado e assim a automatização da máquina é viabilizada;
- dos testes do protótipo, que consiste na simulação de operação, a qual o equipamento será submetido quando em produção normal.

Serão desenvolvidas tantas concepções até que se chegue a um modelo proposto que satisfaça aos objetivos já arrolados quando da definição do problema.

Esta linha de desenvolvimento de produto industrial coincide também, de maneira geral, com a proposta do Professor Back<sup>2</sup>, em sua "Morfologia do Processo de Projeto", em suas fases de Estudo de Viabilidade, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado.

Na fase de estudo de viabilidade, foram analisadas as necessidades do setor da indústria cerâmica e definidos os requisitos para satisfazer a estas necessidades do processo de seleção.

No projeto preliminar, serão desenvolvidas tantas quantas concepções forem possíveis para viabilizar a execução de um modelo,

---

<sup>2</sup>BACK, Nelson - Metodologia de Projetos de Produtos Industriais. RJ, Guanabara Dois, 1983.

que será a fase do projeto detalhado.

O Professor Asimow<sup>3</sup> afirma que: "um novo projeto (por inovação) é elaborado com base em idéias não experimentadas". Este fato se deu no transcorrer do levantamento de informações que viessem, de alguma forma, a contribuir decisivamente para o desenvolvimento do selecionador. Após uma intensiva e exaustiva busca de informações, quase nada foi encontrado além de sugestões ou de linhas de procedimentos para o desenvolvimento do produto.

E assim sendo, nos próximos capítulos será descrito todo o processo de desenvolvimento das concepções do modelo proposto, com suas respectivas análises, até que os requisitos do problema sejam satisfeitos.

Numa última etapa, serão mostrados os resultados alcançados, enfatizando-se os aspectos conclusivos do desenvolvimento do selecionador.

---

<sup>3</sup>ASIMOW, Moris - Introdução ao Projeto de Engenharia. SP, Mestre Jou, 1968.



## CAPÍTULO II

### 2. DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

#### 2.1 Introdução

Este capítulo apresenta efetivamente as trilhas percorridas para a obtenção de um modelo que venha a expressar uma boa resposta ao problema definido.

No desenvolvimento do modelo do produto, e após uma série de concepções, foram construídos um modelo de pré-selecionador e dois selecionadores - o Modelo 1 e o Modelo 2.

Antes de descrever no que consistiram as concepções (item 2.3) e os modelos de pré-selecionador (item 2.4), o Modelo 1 (item 2.5) e Modelo 2 (item 2.6), será feita uma análise do problema.

#### 2.2 Análise do Problema

Uma vez definido claramente o problema (item 1.3), que é o da variação da dimensão efetiva em relação à dimensão nominal das peças, serão analisados e quantificados valores admissíveis para essa variação.

A figura 5 mostra, esquematicamente, como estão classificadas as faixas "aceitação" e "refugo" para uma determinada dimensão nominal. Para cada dimensão nominal (tamanho da peça), tem-se um conjunto de cinco ou seis faixas; no caso da figura 5, há cinco

faixas, sendo que as faixas exteriores são consideradas refugos, pois as peças que nelas se classificarem serão muito maiores ou menores que a dimensão nominal.

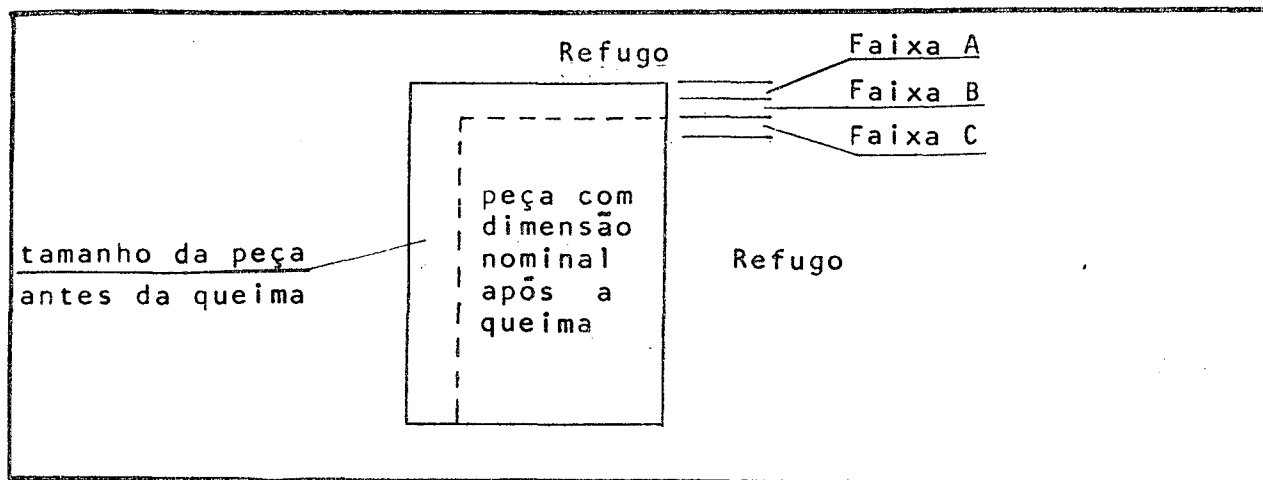


Figura 5 - Comparação do tamanho das peças, antes e após a queima

E as outras três faixas interiores, nas quais as peças serão classificadas em A, B ou C, possuem a mesma espessura.

A largura de faixa admitida pela indústria cerâmica para a seleção das peças é de 0,5% da medida nominal.

Tomando como exemplo uma peça de 300 X 200 mm, tem-se que a espessura da faixa, em relação à maior dimensão, será de  $300 \times 0,005 = 1,5$  mm.

A figura 6 mostra os tipos de casos que podem ocorrer durante a classificação. Na figura 6a, é mostrada a situação em que as peças serão refugadas por estarem fora da maior faixa de aceitação e a figura 6b representa o caso em que uma peça é classificada sem problemas.

As peças que forem acusadas de estar em mais de uma faixa,

como mostra a figura 6c, serão consideradas refugos.

Pode ainda acontecer o caso de a peça estar praticamente no limite de separação de uma faixa aceitável, para outra também aceitável (fig. 6d).

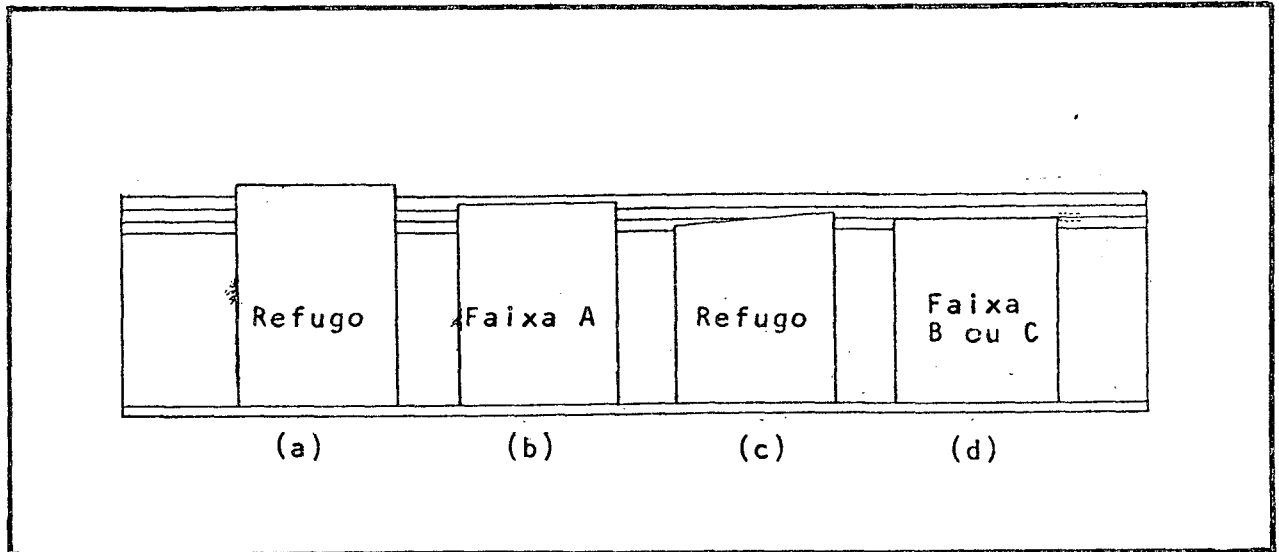


Figura 6 - Exemplos de Classificação de Peças

Para estes casos, onde as peças podem ser classificadas numa ou noutra faixa (interfaixa), é admitido um erro na dimensão efetiva da peça na ordem de  $\pm 25\%$  do valor da faixa, como mostra a figura 6c.

No caso de uma peça com faixa de 1,5 mm, o erro admitido para a maior dimensão é de 0,4 mm em torno dos valores limites da faixa.

A seguir, no Quadro 1, são apresentadas algumas dimensões (em mm) das peças cerâmicas mais produzidas no Brasil, com suas larguras de faixa e erros de interfaixa.

DIMENSÃO EFETIVA (mm x mm)	LARGURA DE FAIXA (mm)	ERRO DE INTERFAIXA (mm)
400 X 300	2,00	0,50
300 X 300	1,50	0,40
300 X 200	1,50	0,40
200 X 200	1,00	0,25
200 X 150	1,00	0,25
150 X 150	0,75	0,20
150 X 100	0,75	0,20

Quadro 1 - Classificação de Peças

Esclarece-se que:

- como a contração nas três dimensões das peças cerâmicas, no processo de queima são proporcionais devido à constituição cristalina de sua composição, basta fazer-se a seleção em função de uma das dimensões: ou largura ou profundidade;
- as dimensões nominais tem algumas variações entre as diversas indústrias cerâmicas;
- as faixas e os erros de interfaixa são definidos pela política de produção de cada empresa e pelo equipamento disponível para a verificação dimensional de suas peças;

Isto posto, a princípio, concordou-se em desenvolver um sistema de amplificação mecânica, tendo em vista que a precisão das faixas não eram inferiores a valores de dois décimos de milímetro (0,2 mm).

### 2.3 Concepções Preliminares

Nesta etapa do projeto preliminar, desenvolveu-se um estudo de exequibilidade, procurando identificar uma solução mais promissora dentro dos objetivos já formalizados no Capítulo 1.

Como primeiro passo, discutiu-se e comparou-se diversas soluções com o objetivo de selecionar as melhores concepções experimentais.

Foi estabelecido que a verificação da variação dimensional da peça cerâmica seria efetuada por um sistema de amplificação mecânica, considerando a largura de faixa de aceitação e o erro admitido nas interfaixas de cada faixa, que são da ordem de 0,2 mm, no mínimo, como mostra o Quadro 1.

A fase inicial de procura de soluções, foi desenvolvida em diversas frentes. Uma destas foi a de visitar algumas indústrias do setor, tanto de produção de peças cerâmicas, como de equipamentos para estas indústrias, com o objetivo de verificar "in loco", o tipo de equipamento existente.

Nestas visitas, algumas sugestões e idéias foram colhidas junto aos técnicos ligados ao setor; também outras pessoas não ligadas à indústria cerâmica foram consultadas, com o intuito de colher impressões quanto ao desenvolvimento de certas partes, ou mesmo do todo do selecionador a ser concebido.

Outro caminho que trouxe bons resultados, foi a consulta a publicações avulsas e periódicas da área de mecanismos e de elementos de máquinas, de onde foi possível formar algumas concepções de

funcionamento.

Paralelamente a estas pesquisas, um conjunto aproximado de trinta esboços de concepções foram traçados, antes de ser iniciado algum trabalho de execução nos laboratórios. A seguir, serão descritas e apresentadas algumas destas concepções.

A figura 7 apresenta a concepção de número 6.

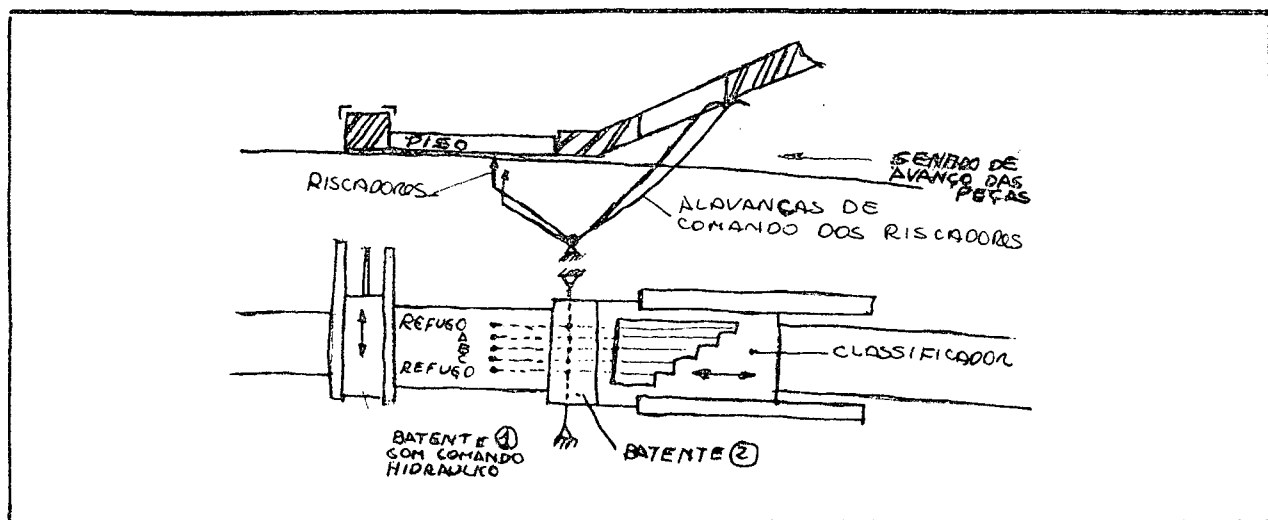


Figura 7 - Concepção nº 6

Nesta, a peça deveria ser selecionada na própria linha. Isto deveria ocorrer quando a peça entrasse em contato com o batente "1", que é recuado após ocorrer o registro da classificação por um sistema hidráulico ou pneumático. Enquanto a peça está junto ao batente "1", o batente "2" aproxima-se pelo lado oposto, como mostra a figura 7, e em função do tamanho da peça e da distância entre os batentes, que pode variar, é feito o registro. A classificação ocorre quando uma das cinco alavancas é acionada pelo plano inclinado e escalonado do batente "2". Imediatamente após o registro, os batentes "1" e "2" deverão ser recuados para liberarem a peça classificada e permitirem a introdução de nova peça a ser classificada.

Na figura 8 está apresentada a concepção de número 10.

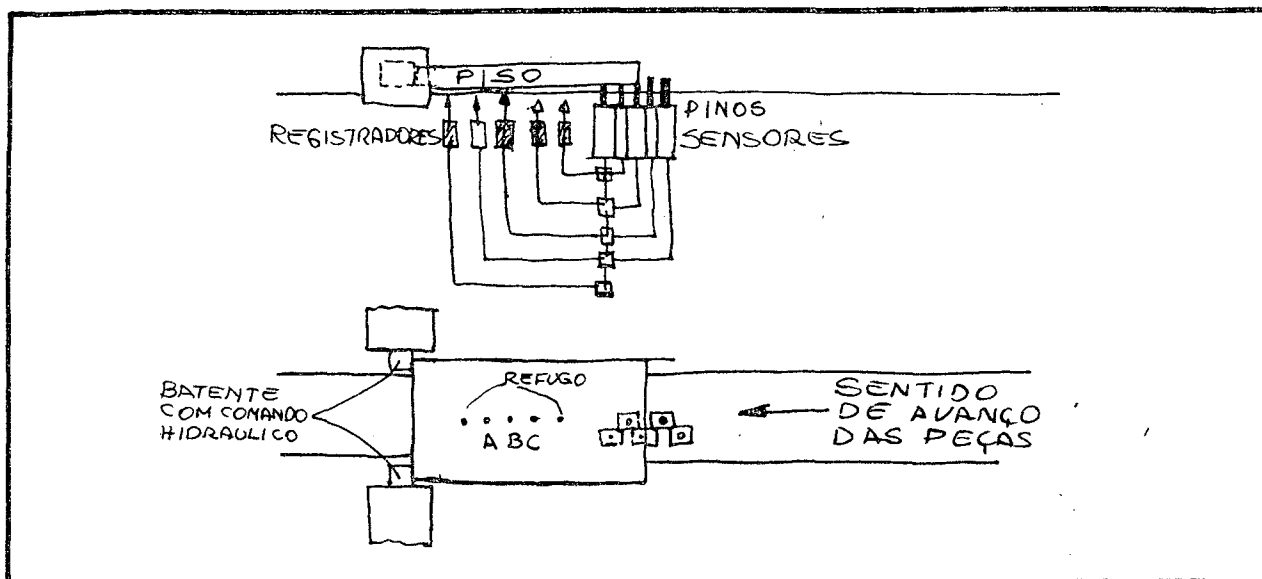


Figura 8 - Concepção nº 10

Nesta representação, os batentes terão a função de parar as peças a selecionar na própria linha e ativar os sensores (a linha de ativação dos sensores não está representada no croqui).

Os sensores emitirão sinais aos registradores em função do número de pinos que estiverem sendo pressionados pela peça em seleção. Os sinais dos sensores serão processados (talvez por um circuito eletrônico) e então um registrador, com determinada cor, fará o registro na parte inferior da peça.

Imediatamente após o registro, os batentes serão recuados e a peça liberada.

A décima quarta concepção (fig. 9), foi uma das primeiras em que se considerou um sistema de seleção que não provocasse atrasos na linha. Isto seria possível se fosse colocado na linha um segmento transportador que tivesse uma velocidade maior que a da linha existente.

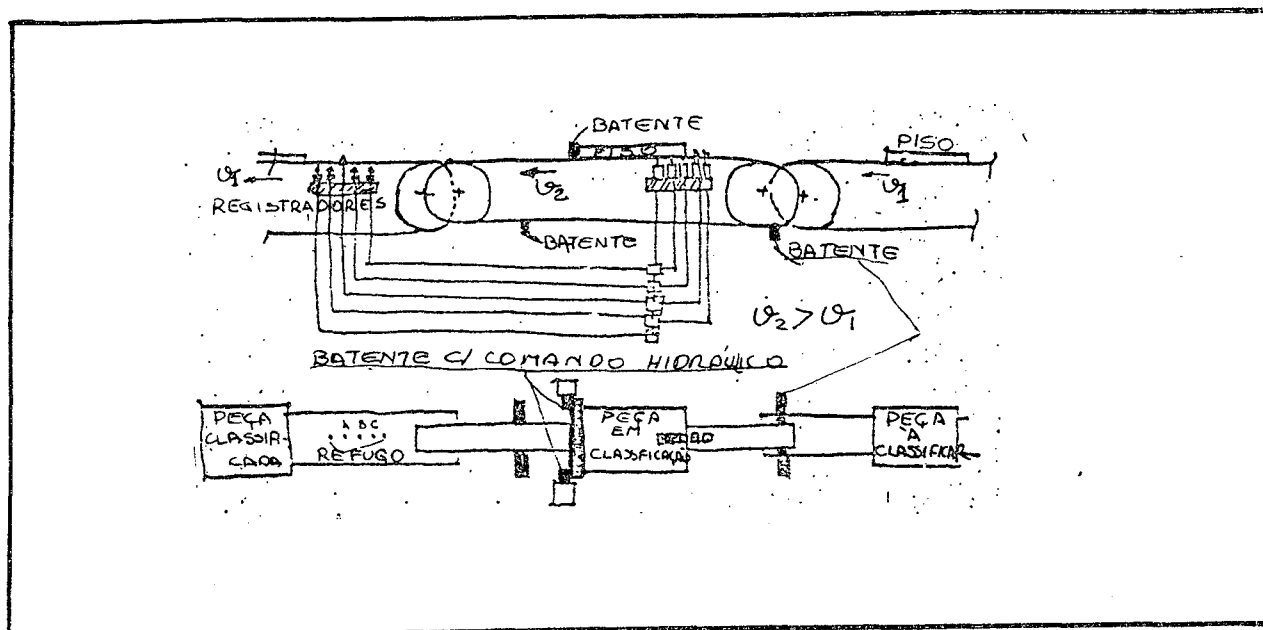


Figura 9 - Conceção nº 14

O segmento transportador de maior velocidade deveria ter alguns batentes fixos à correia transportadora, de maneira a permitir que as peças nela se apoiassem; estes batentes seriam impedidos de se movimentarem na parte superior da correia transportadora, quando houvesse uma peça em seleção. Neste instante a correia deveria ficar livre de movimento (sistema não representado na figura 9), enquanto que os sensores, pressionados pelas peças, emitiriam os sinais aos registradores já no próximo trecho da correia transportadora, em velocidade normal. Estes sinais também deverão ser processados.

Na décima sétima concepção, apresentada na figura 10, a peça a classificar entraria num segmento da linha transportadora que deveria ter, de um lado, uma guia fixa e do outro uma guia móvel, com um conjunto de pinos sensores (ver fig. 10). Esta guia móvel deverá ter velocidade igual à velocidade da peça, para que o processo de seleção possa se dar sem atrasos, no sistema produtivo.



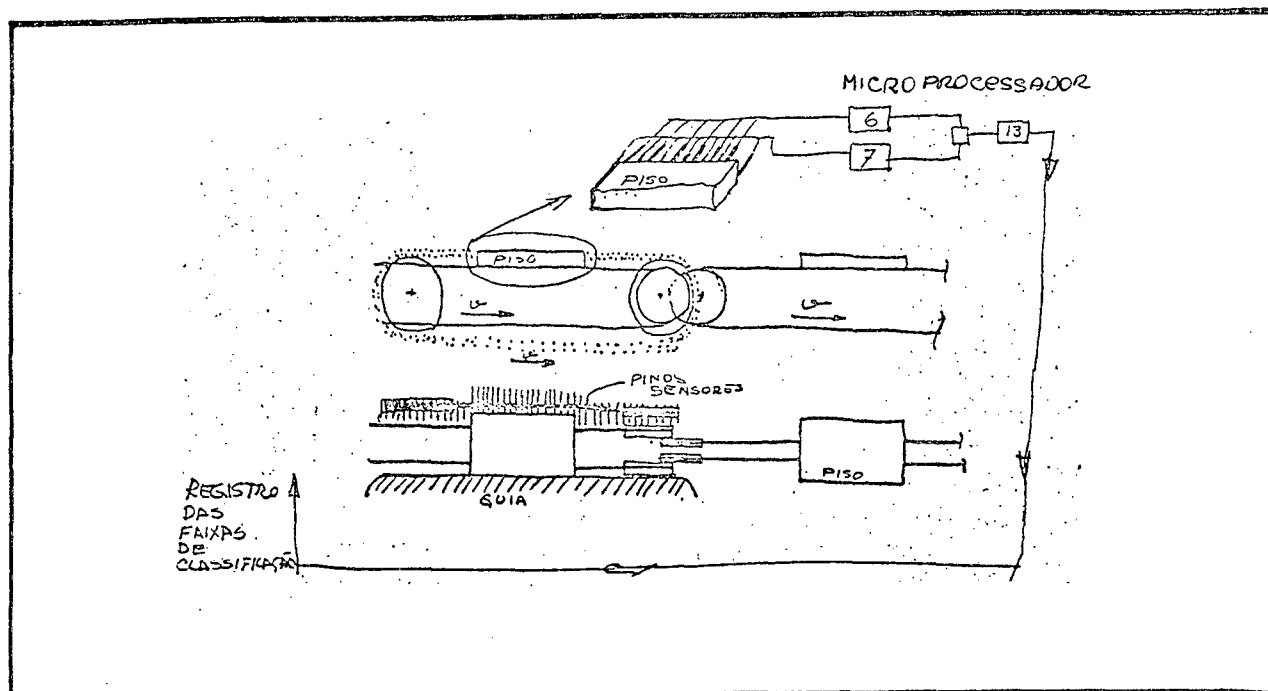


Figura 10 - Concepção nº 17

Em função do tamanho das peças, mais ou menos pinos sensores serão pressionados. Os pinos deverão ser distribuídos em duas camadas, ao longo da linha móvel, de maneira a cobrir todos os pontos das arestas das peças; os pinos pressionados deverão ser contados tanto na parte superior como na inferior das duas camadas, de modo tal que o resultado da soma destes dois contadores, deverá acionar um sistema de registro das faixas, não mostrado na figura.

Na parte inferior da correia, com os pinos sensores, os pinos pressionados deverão ser empurrados para a posição inicial (não representado no croqui).

Na figura 11, está apresentada a concepção de número 20. Nesta, a idéia básica consistia em se adaptar à linha principal já existente, uma guia fixa, que serviria de referência, e no lado oposto e em paralelo, um conjunto de quatro guias móveis de classificação (ver figura).

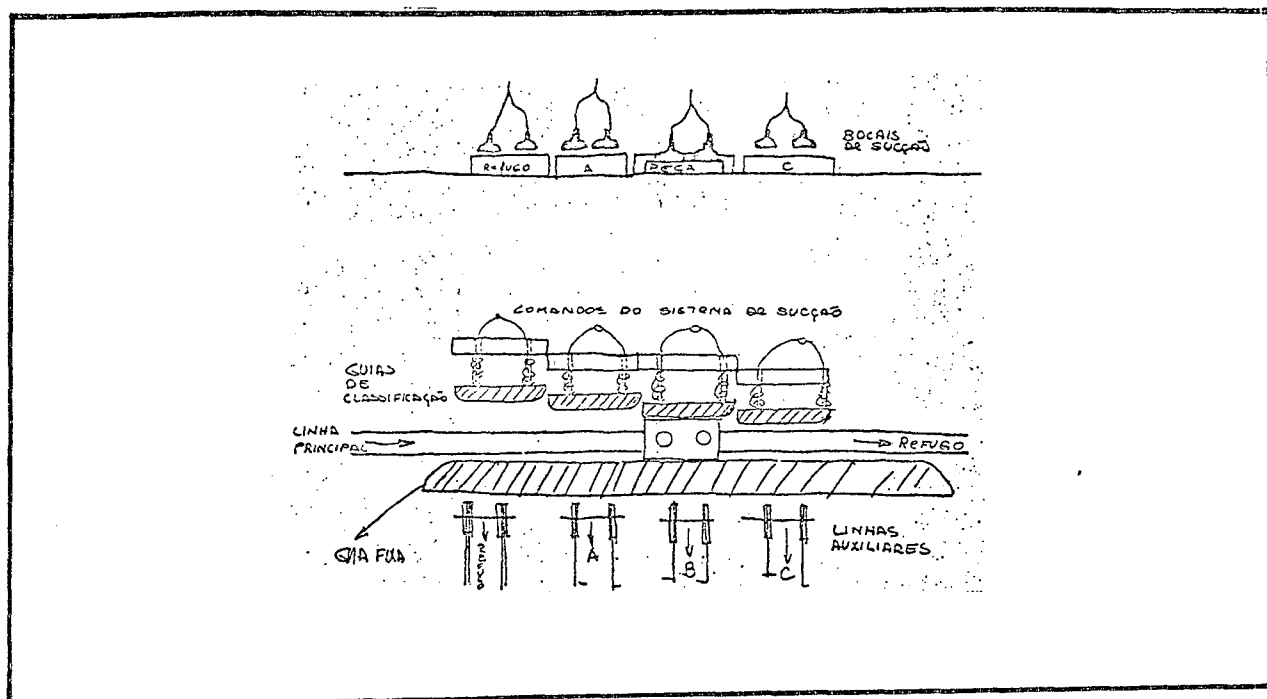


Figura 11 - Concepção nº 20

As guias móveis deveriam ser acionadas pelas peças, em função do tamanho destas. Quando uma guia se movesse, imediatamente acionaria um sistema de sucção, que tiraria a peça da linha principal e a colocaria numa linha auxiliar correspondente à guia movida. O sistema de transporte de uma linha para outra, não está representada na figura 11.

Algumas das concepções foram abandonadas devido às dificuldades de execução, com relação aos recursos disponíveis; outras foram descartadas por não atenderem à simplicidade tecnológica desejada; outro considerável grupo de concepções não se estudou com mais detalhes, uma vez que partiam da idéia de se fazer a seleção com as peças paradas; e finalmente, também foram abandonadas as concepções que não avaliavam as variações ao longo de toda a aresta da peça, ou de qualquer interrelação dos casos citados.

## 2.4 Modelo do Prē-Selecionador

Na busca de soluções simples, do ponto de vista tecnológico, decidiu-se pela construção de um selecionador grosseiro, o qual se rã denominado de prē-selecionador; e de um conjunto de selecionadores, que farão a seleção fina em cada faixa. A figura 12 mostra, esquematicamente, como deveria ser o fluxo das peças a selecionar.

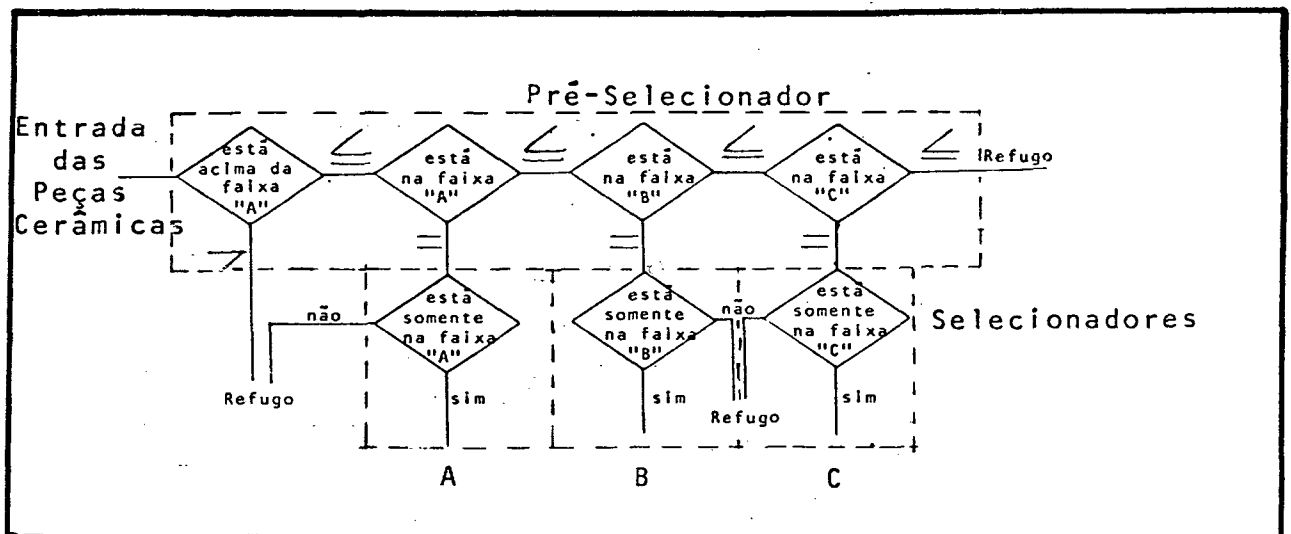


Figura 12 - Fluxograma do Prē-Selecionador e Selecionadores

Este prē-selecionador (fig. 13) foi concebido e executado durante o desenvolvimento do Modelo 1 do selecionador (item 2.5).

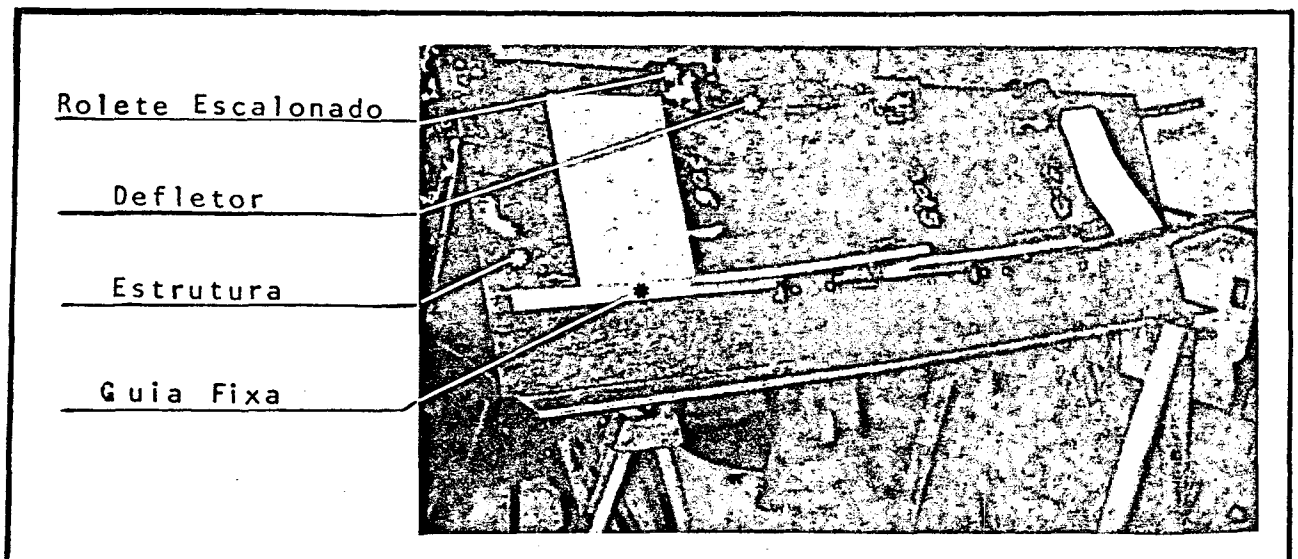


Figura 13 - Prē-Selecionador

Na figura 14 está representado o princípio de funcionamento.

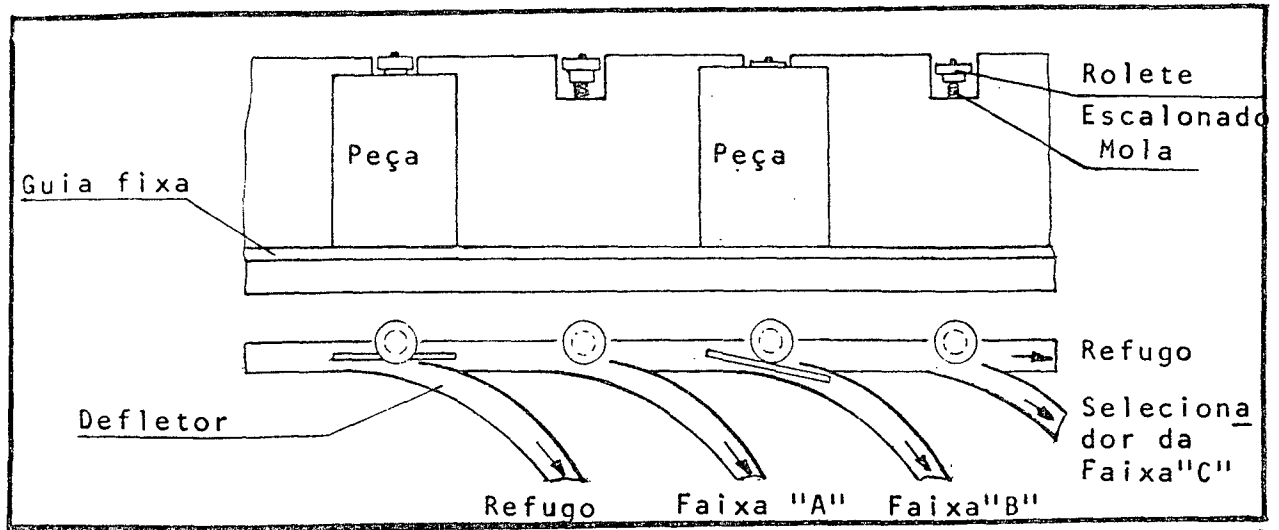


Figura 14 - Esquema de Pré-seleção

No primeiro estágio do pré-selecionador, as peças com dimensões maiores que as de maior faixa, serão desviadas para refugo, enquanto que no segundo, terceiro e quarto estágios, serão desviadas as peças que provavelmente pertencerão às faixas A, B e C, isto é, em cada um destes três estágios, onde as peças poderão ser desviadas para selecionadores das faixas A, B e C, elas serão confirmadas ou refugadas em suas respectivas faixas.

Ainda no quarto estágio, as peças que não forem desviadas serão peças que possuem uma dimensão menor que a da menor faixa, e portanto serão consideradas refugos.

O modelo do pré-selecionador foi desenvolvido tão somente com sistemas mecânicos, podendo-se classificá-los nos seguintes subsistemas:

- Estrutura
- Pré-selecionador
- Desviador

#### 2.4.1 Estrutura

É o subsistema no qual todos os acessórios e complementos são fixados à estrutura principal, construída em perfil "L" de aço ABNT 1020, soldado em "0", com um reforço central. Da mesma forma que nos Modelos 1 e 2 (item 2.5.1) do selecionador, a guia fixa das peças deveria ser roletada. Com relação ao modelo testado, en tretanto, a estrutura principal foi montada numa chapa laminada de madeira e a guia fixa constituiu-se em um perfil de alumínio chato montado à estrutura principal.

Estas simplificações se fizeram necessárias por medida de economia, considerando a eficiência alcançada tanto na estrutura, como na guia roletada dos Modelos 1 e 2, que foram manufaturadas em paralelo.

#### 2.4.2 Prē-selecionador

É constituído por um pequeno rolete escalonado de nylon, mon tado na estrutura principal, no lado oposto ao da guia fixa, de tal maneira que a distância da face entre o maior e o menor diâmetro até a guia fixa seja igual à menor dimensão de determinada fai xa; com isto, as peças com uma dimensão pouco maior tangenciarão o eixo escalonado em seu diâmetro maior, iniciando um processo de afastamento ou de desvio, em relação à estrutura principal.

Um possível emperramento das peças que tangenciam o diâmetro menor, passando para o prē-selecionador seguinte, foi evitado com a montagem de uma mola axialmente ao rolete escalonado, permitindo que este pudesse ser facilmente recuado pela prōpria peça, sem cau

sar danos ao sistema.

### 2.4.3 Desviador

O processo de desvio inicia-se quando a peça cerâmica tangencia o diâmetro maior do pré-selecionador, afastando a peça da estrutura principal, e é afastada para um defletor de onde a peça é encaminhada para o selecionador propriamente dito.

A meta principal da construção deste modelo, foi a de comprovar a eficiência do subsistema de pré-seleção, o que foi atingido plenamente.

### 2.5 Modelo 1

Este modelo (fig. 15), idealizado somente com sistemas mecânicos, pode ser subdividido nos subsistemas que seguem:

- Estrutura
  - . Estrutura Principal
  - . Guia da Peça Cerâmica
  
- Subsistema de Amplificação
  - . Pivô principal
  - . Apalpador
  - . Mecanismo de Quatro Barras
  - . Porta-caneta

- Subsistema de Aproximação
- . Mecanismo de Aproximação
- . Came

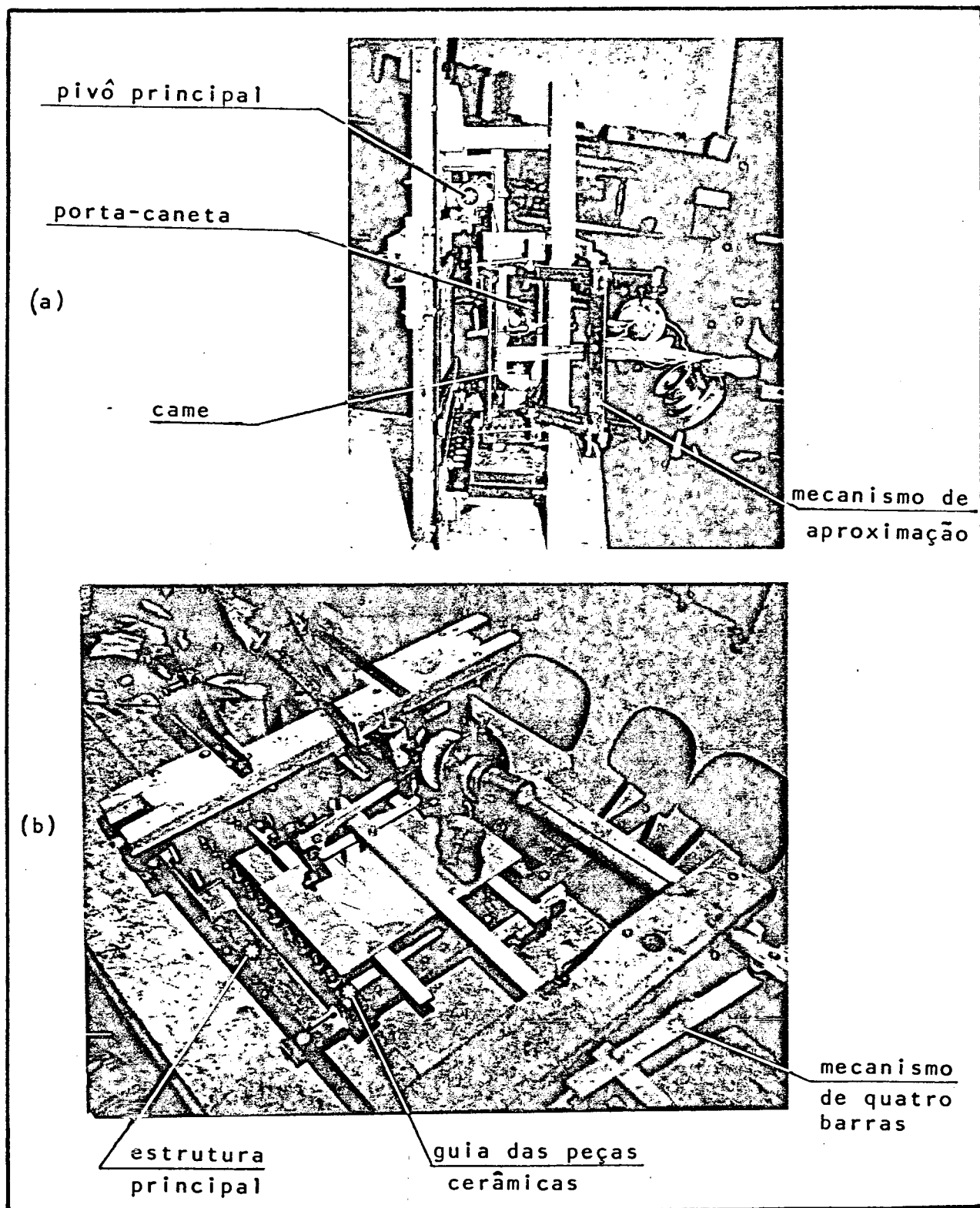


Figura 15 - Modelo 1  
 a) Vista lateral esquerda  
 b) Vista Superior

### 2.5.1 Estrutura

A estrutura principal é basicamente uma estrutura em "0" formada por perfil "L" e soldada para dar maior rigidez ao sistema e permitir a montagem de peças ou componentes para execução do modelo (fig. 16).

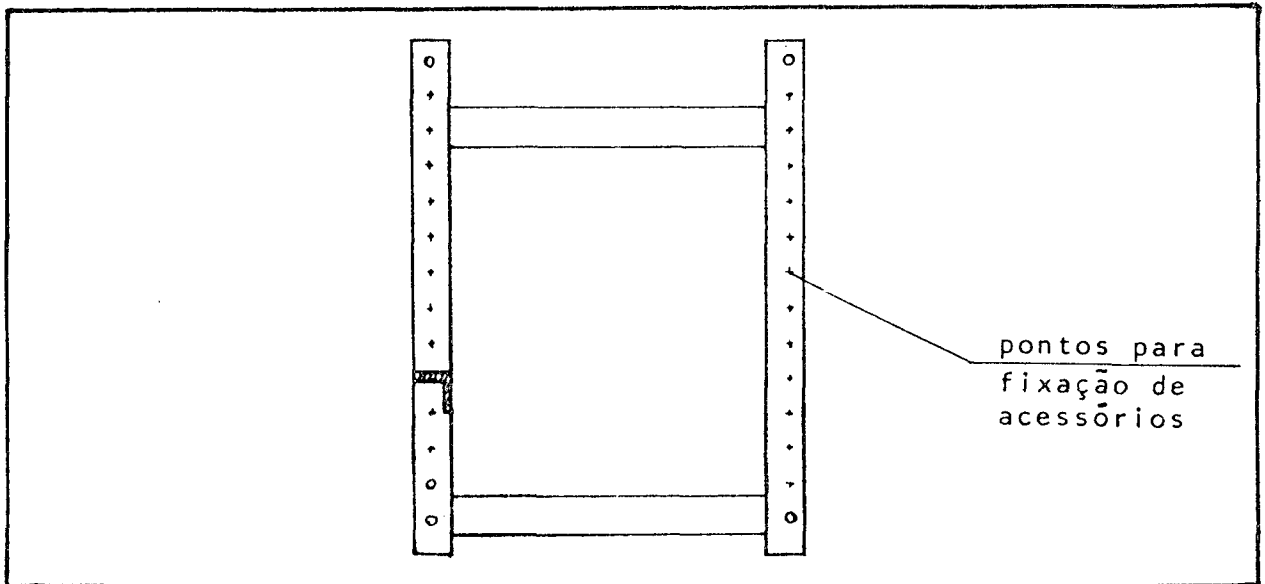


Figura 16 - Estrutura Principal

A guia da peça cerâmica (fig. 17), serve para se ter uma referência fixa de medida.

No princípio, considerou-se como guia da peça o lado oposto ao contacto entre a peça e o apalpador, que será descrito mais à frente.

Nos estudos preliminares, ficou evidente a necessidade de uma guia de referência, em relação à qual poder-se-ia obter as verificações das variações dimensionais de modo contínuo, isto é, a peça deslocando-se em relação ao apalpador.

A primeira tentativa foi a de recobrir uma cantoneira guia



com PVC, com o que o êxito não foi obtido devido ao desgaste provo\_ cado pela peça no PVC.

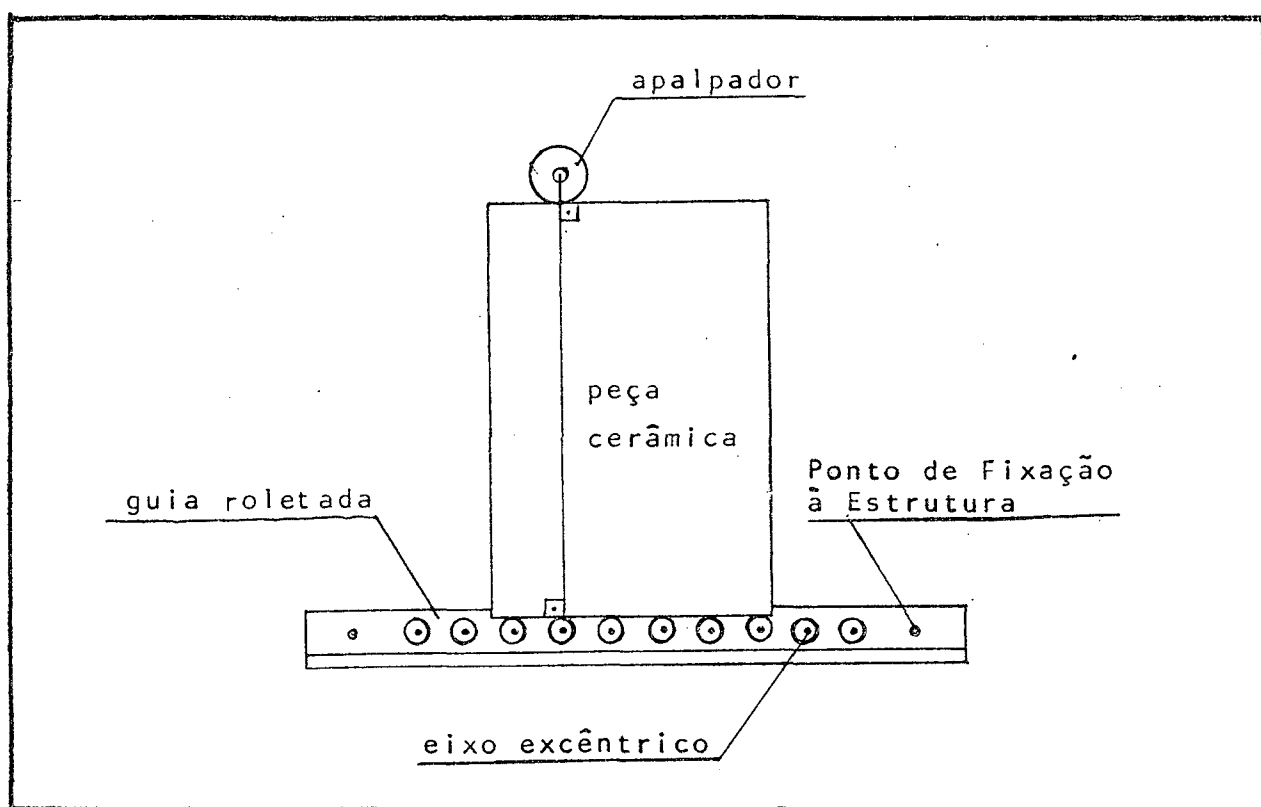


Figura 17 - Perpendicularismo na seleção

Na segunda tentativa, o mesmo fato ocorreu entre a peça e o alumínio. O PVC e o alumínio foram escolhidos devido à pequena componente determinada pela força de atrito dinâmico.

Já na terceira tentativa, resolveu-se roletar a guia usando uma tecnologia alternativa, com os meios que estavam disponíveis.

Montou-se dois rolamentos nas extremidades da cantoneira guia, e a seguir outros oito foram montados, entre os dois das extremidades, em eixos excêntricos (fig. 18) e alinhados numa mesma reta. A razão pela qual os rolamentos foram montados em eixos ex\_ cêntricos, foi pelo fato de não se dispor, no momento, de um equi\_ pamento que viesse a garantir o alinhamento na operação de furar

os pontos de fixação dos eixos, de maneira a permitir o seu alinhamento.

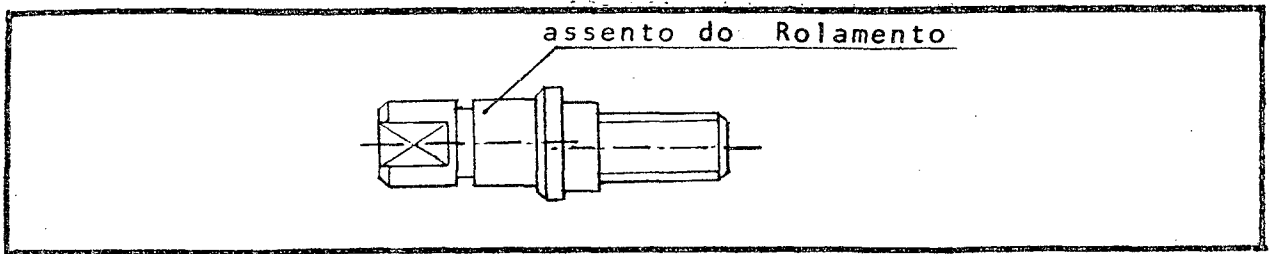


Figura 18 - Eixo excêntrico

Com a excentricidade nos assentos dos eixos, estes poderiam ser ajustados até obter-se o alinhamento e então fixá-lo à maneira guia.

O número de dez rolamentos foi arbitrado de forma a garantir que houvesse uma guia de referência satisfatória, desde o primeiro contato da peça com o apalpador até o último instante de contato, de modo que não houvesse a possibilidade da peça girar em relação à guia, isto é, garantir o contato em todos os rolamentos abaixo da aresta.

Esta preocupação foi necessária para assegurar que a medida para a seleção fosse tomada numa linha perpendicular às duas arestas opostas da peça cerâmica, passando pelo apalpador e a guia, de acordo com o esquema (figura 17).

### 2.5.2 Subsistema de Amplificação

É a parte fundamental de todo selecionador, cuja função é a de garantir que qualquer conjunto de peças que eventualmente passarem "n" vezes no selecionador (como teste), deveriam ser

classificadas nas mesmas faixas e ainda garantir a confiabilidade ao sistema, de maneira que esta classificação ocorresse dentro do padrão prē-fixado (Quadro 1).

Como o menor erro admissível de interfaixas é da ordem de dois dēcimos (0,2 mm), partiu-se da hipōtese que o subsistema de amplificaçāo deveria ampliar as variaçōes dimensionais, no mīni mo, em cinco vezes (5X); com isto, o subsistema ficaria mais sensível a pequenas variaçōes, garantindo os aspectos repetitōrios e de confiabilidade jā mencionados.

Nos parāgrafos seguintes, serāo descritos os elementos que compōem o subsistema de amplificaçāo.

O pivō principal (fig. 19) constitui-se de uma cruzeta de ferro fundido maleável (conexāo de 1"), em cujas extremidades de um eixo de simetria principal embutiu-se dois rolamentos.

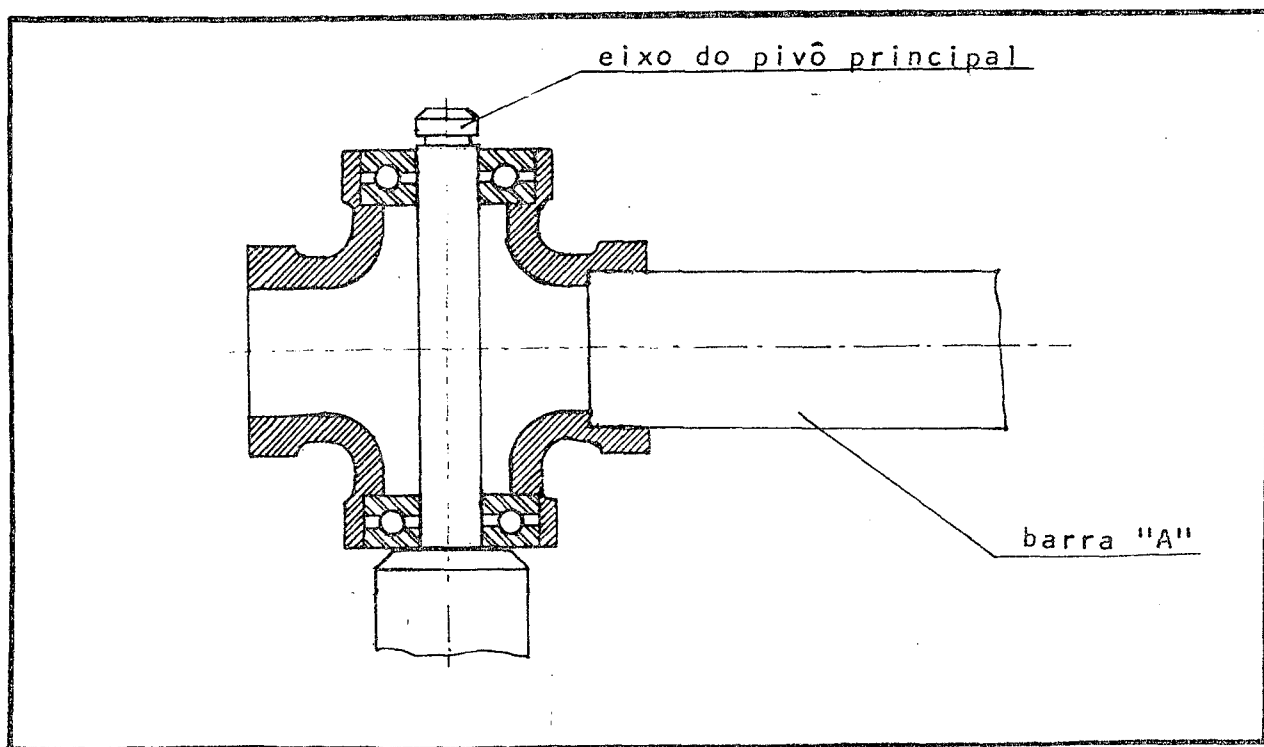


Figura 19 - Pivō Principal

Este conjunto foi então montado num eixo em balanço e fixado à estrutura principal.

O apalpador (fig. 20) é o elemento responsável pelo contato com a peça e por consequência, pelo deslocamento do mecanismo de quatro barras do subsistema de amplificação.

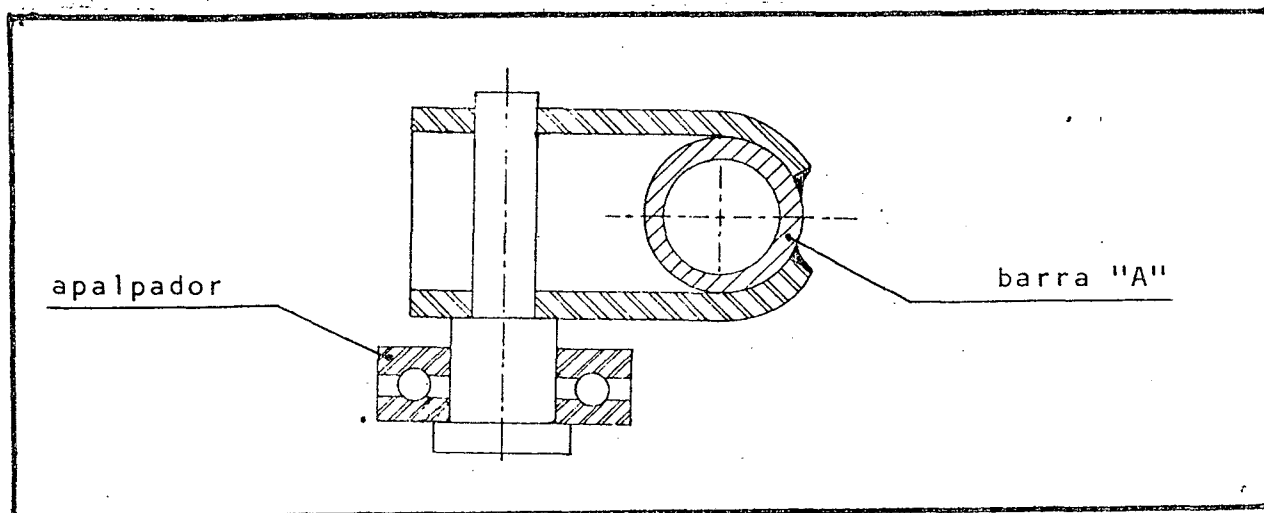


Figura 20 - Apalpador montado

O apalpador se caracteriza por não permitir o escorregamento, mas sim o rolamento do apalpador sobre uma das arestas da peça cerâmica. Outra característica está relacionada com o impacto na aproximação da peça cerâmica com a pista de rolamento do apalpador; esta deverá absorver o choque, sem contudo sofrer deformações permanentes consideráveis, que possam acarretar erros na seleção durante horas consecutivas de operação.

Um outro aspecto importante a ser considerado, foi o da escolha do diâmetro do apalpador. Após alguns testes experimentais, concluiu-se que o diâmetro satisfatório para o apalpador seria da ordem de  $\pm 40$  mm. Se o diâmetro fosse inferior a 25 mm, o contato inicial com a peça cerâmica poderia se dar, em alguns casos,



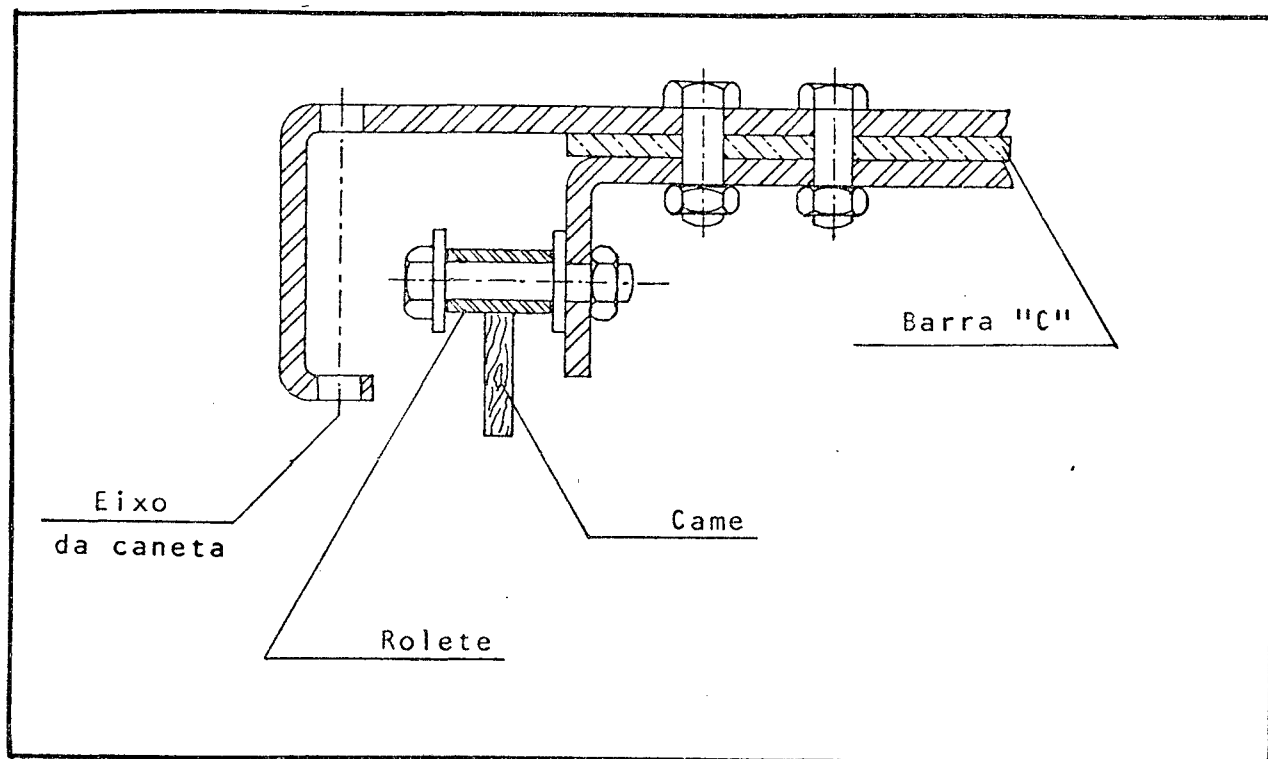


Figura 22 - Porta-caneta

Além do objetivo óbvio de orientar a caneta para o registro na peça cerâmica, montou-se a esta estrutura um rolete para facilitar os deslocamentos da barra "C" sobre uma came que será descrita no subsistema de aproximação.

### 2.5.3 Subsistema de Aproximação

Este subsistema foi desenvolvido para fazer a aproximação da caneta à peça a classificar. O subsistema de aproximação se fez necessário para evitar o contato da caneta no momento da entrada das peças; se isto ocorresse, haveria um cisalhamento da ponta da caneta. O esquema da figura 23 mostra como deverá ser feita esta aproximação.

O subsistema de aproximação é composto pelo mecanismo de aproximação e pela came.



Por outro lado, quanto mais tarde o sistema de aproximação for acionado, maior o trecho da peça que ficará sem as condições de registro (ver figura 23).

Este mecanismo é constituído de barras duplas, montadas em paralelo e em dois planos perpendiculares ao plano principal da peça a seleccionar, e são rigidamente ligadas entre si.

A peça cerâmica entra em contato com os dois roletes de acionamento do subsistema, como mostra a figura 24, de modo que as barras paralelas 0 - 2 e 0' - 2' sejam acionadas no sentido anti-horário, por estarem pivotadas nos pontos 1 e 1'. Desta maneira, as barras 4 - 5 e 4' - 5' terão seu movimento no sentido horário, por estarem pivotadas nos pontos 4 e 4' e do acionamento feito pelas barras 2 - 3 e 2' - 3'. Assim ocorrendo, haverá uma aproximação da came em relação ao plano da peça e, conseqüentemente, uma aproximação da caneta para os possíveis registros.

Os contra-pesos mostrados na figura 24, tinham como objetivo contrabalancear o subsistema, permitindo uma menor resistência ao avanço da peça, bem como melhorar a resposta deste subsistema.

O mecanismo de aproximação é montado num pórtico (fig. 25) e este é fixado à estrutura principal.

A came foi construída com a finalidade de somente permitir que a caneta entrasse em contato com as peças que estivessem fora de faixa. Assim sendo, a peça seria assinalada pela caneta, se essa tivesse uma dimensão tal que a barra "C" do mecanismo de qua-



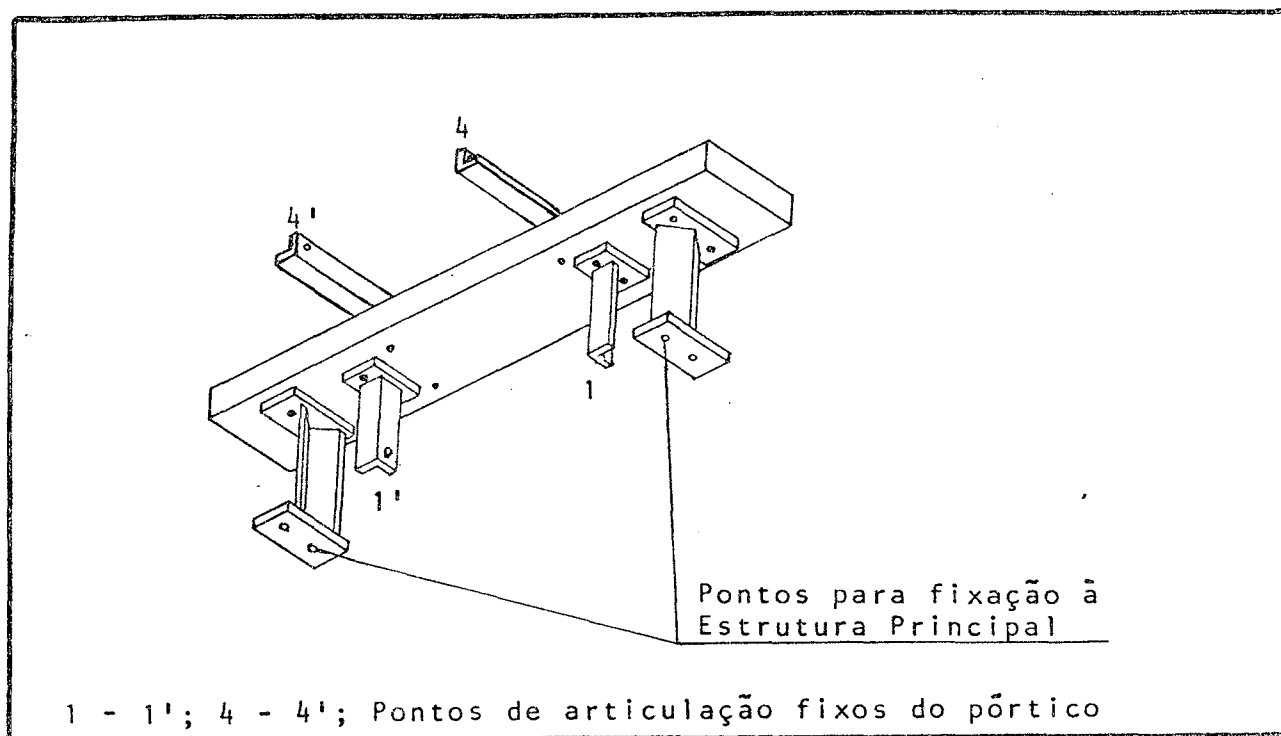


Figura 25 - Pórtico

tro barras (fig. 21) estivesse no setor 1 ou 3 da came (figura 26). As peças não assinaladas serão classificadas dentro da faixa.

A came foi acoplada ao mecanismo de aproximação e sobre ela apoiou-se o rolete do porta-caneta (fig. 26).

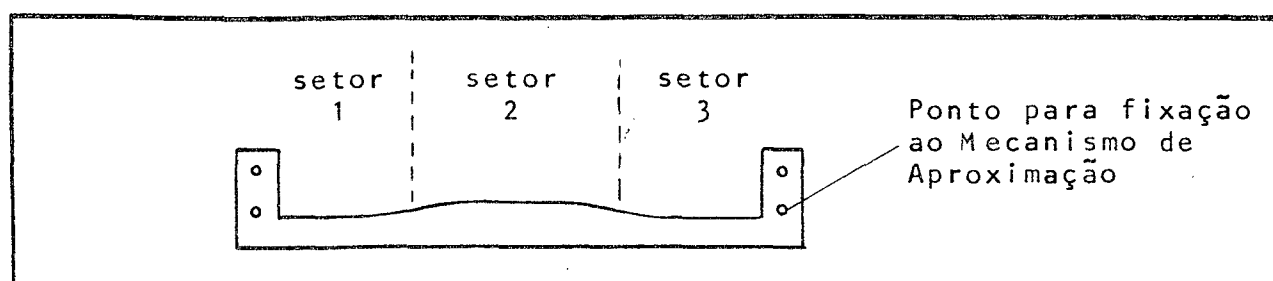


Figura 26 - Came

Com a montagem da came no mecanismo de aproximação, observou-se a necessidade premente de trocar os pivôs rotacionais 2 e 3 do mecanismo de quatro barras por pivôs globoidais, que permitissem à barra "C" mudar de plano devido aos movimentos do sub-

sistema de aproximação, onde ela se apóia. Outra mudança que se fez necessária, foi a de curvar a came, fazendo com que esta tivesse a mesma curva descrita pela barra "C" do mecanismo de quatro barras; isto para permitir um perfeito contato do rolete do porta-caneta com a came.

## 2.6 Análise do Modelo 1

Este modelo foi testado fazendo-se passar manualmente, através dele, uma peça que simulasse as diversas faixas.

Nestes testes, as diversas partes do sistema foram reajustadas de modo a melhorar o rendimento desta primeira proposta. Os resultados das diversas passagens de peças foram analisados do ponto de vista da repetência e confiabilidade das respostas. Neste caso em particular, teve-se que analisar detalhadamente o tempo de resposta do subsistema de aproximação, devido às suas inércias.

Além destes aspectos, todos os subsistemas, mecanismos e partes do selecionador, foram analisados sob o ponto de vista da funcionalidade, para as quais estes foram incorporados ao sistema.

A seguir, serão destacados os fatos relevantes e desvantajosos encontrados nesta análise.

Como fatos relevantes, pode-se alinhar:

- O mecanismo de quatro barras, sob o ponto de vista da ampliação, foi satisfatório, uma vez que se conseguiu uma ampliação da ordem de 50 X;

- O contato da peça cerâmica com a guia de referência foi considerado adequado;

- A estrutura principal permitiu uma boa interligação das demais partes do sistema;

- O pivô principal e apalpador se mantiveram eficientes no decorrer do processo de seleção.

Como desvantagens, tem-se:

- Em alguns casos, ocorreu a rotação da peça na entrada do selecionador;

- O subsistema de aproximação apresentou uma inércia considerável, na resposta ao acionamento; mesmo com alterações nos contrapesos, o problema não foi de todo sanado;

- O porta-caneta gerou uma instabilidade na barra "C" do mecanismo de quatro barras;

- As variações de espessura das peças provocaram um acionamento não satisfatório no mecanismo de aproximação.

Da análise realizada, constata-se que o modelo proposto apresenta deficiências, principalmente no que diz respeito aos aspectos de aproximação e de alinhamento da peça durante a seleção, o que induz à necessidade de novos estudos.

## 2.7 Modelo 2

Este modelo (fig. 27) surgiu como uma evolução do primeiro mo-

delo de selecionador, e as análises deste modelo obedecerão as mesmas premissas como foram consideradas para o Modelo 1.

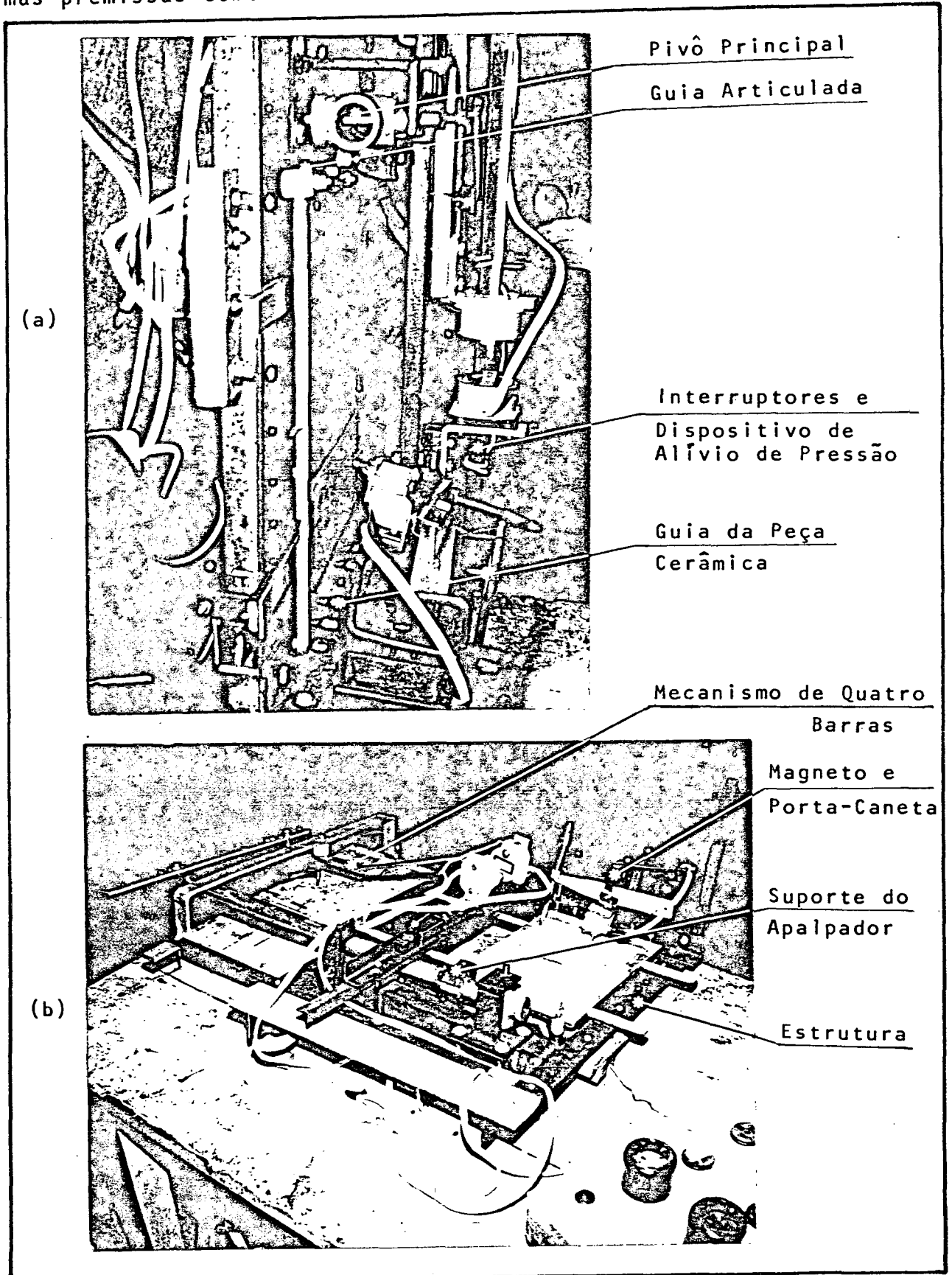


Figura 27 - Modelo 2

a) Vista Lateral Esquerda

b) Vista Superior

Assim, as peças deverão passar por um pré-selecionador (item 2.4), para após serem testadas pelo Modelo 2.

Dos resultados alcançados com o projeto do Modelo 1, verificou-se a necessidade de adotar uma solução que trouxesse uma resposta mais rápida. Dentro desta linha, a amplificação será realizada mecanicamente e o comando para aproximação da caneta será feito através de acionamento elétrico.

Os procedimentos aplicados para análise do Modelo 1, serão encaminhados de forma semelhante para o Modelo 2.

#### Subsistemas do Modelo 2:

- Estrutura
  - . Estrutura Principal
  - . Guia da Peça Cerâmica
  - . Guia Articulada
- Subsistema de Amplificação
  - . Pivô Principal
  - . Apalpador
  - . Mecanismo de Quatro Barras
- Subsistema de Registros
  - . Interruptores e Dispositivos de Alívio de Pressão
  - . Magneto e Porta-Caneta

#### 2.7.1 Estrutura

Tanto a estrutura principal como a guia da peça cerâmica são idênticas às do Modelo 1.

A guia articulada (fig. 28) foi desenvolvida para evitar os problemas surgidos no modelo anterior, com o giro da peça no selecionador.

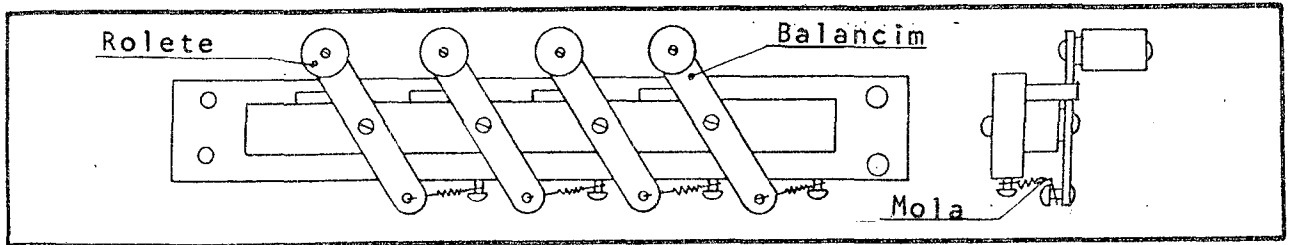


Figura 28 - Guia Articulada

Este fato exigiu uma solução que considerasse as variações positivas ou negativas da dimensão nominal da peça cerâmica e ainda garantisse uma certa pressão no ajuste da peça em relação à guia da peça cerâmica.

Para a solução do problema, montou-se uma série de quatro balancins com roletes de nylon na extremidade de contato com a peça e na outra uma mola para garantir uma pressão constante sobre a mesma. Os balancins foram distribuídos na região interna da estrutura principal (fig. 15), sendo que dois deles foram instalados antes do apalpador e outros dois após, eliminando-se assim a possibilidade de giro da peça no selecionador.

Logo após os primeiros testes, evidenciou-se a necessidade de limitadores de curso mínimo para os balancins, com o objetivo de reduzir a força resistente causada pela interferência na entrada das peças, entre estas e os roletes, principalmente quando a diferença para mais se acentuava.

### 2.7.2 Subsistema de Amplificação

Na figura 29 tem-se o subsistema de amplificação, que é constituído pelo mecanismo de quatro barras, pivô principal e apalpador, sendo estes dois últimos elementos idênticos aos do Modelo 1.

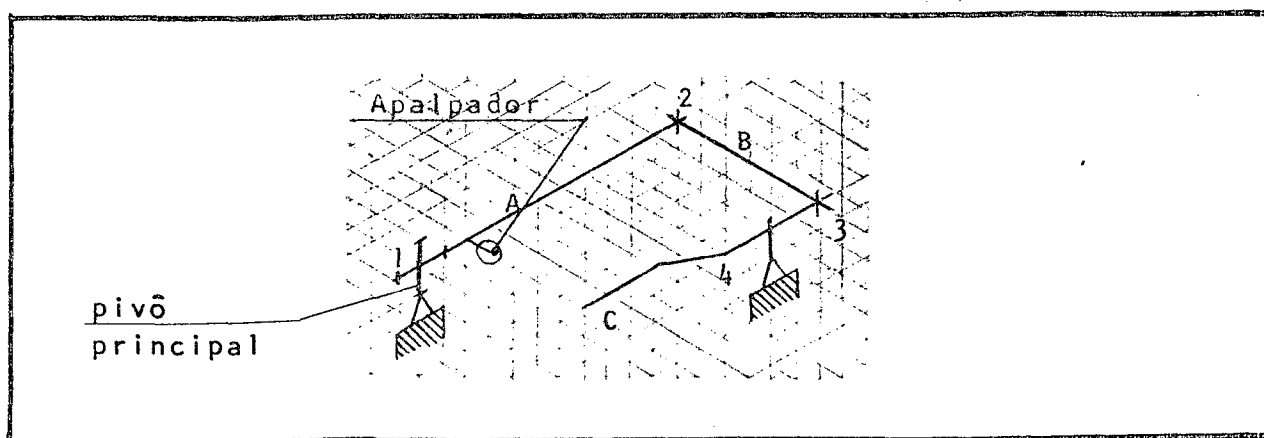


Figura 29 - Subsistema de Amplificação

O mecanismo de quatro barras sofreu leves modificações; os pivôs globoidais foram novamente substituídos pelos pivôs originais rotativos, pois a necessidade de constantes mudanças de plano causadas pelo mecanismo de aproximação e pela came do Modelo 1, não fazem parte deste modelo agora.

A barra "C" do subsistema de amplificação sofreu alteração na sua forma geométrica, em relação ao Modelo 1, pois no primeiro modelo o eixo de simetria era contido por um único plano. Agora neste modelo, a barra "C" está contida em três planos, como pode-se observar na figura 29. Esta modificação foi idealizada para permitir o acionamento elétrico do subsistema de registro.

### 2.7.3 Subsistema de Registro

O subsistema de registro recebe o sinal ampliado do subsistema de amplificação e o transforma em sinal elétrico, permitindo o registro sobre as peças refugadas.

Os interruptores e o dispositivo de alívio de pressão (fig. 30) foram adaptados à estrutura principal (fig. 15), num pórtico à frente do apalpador e sobre este foram instalados dois interruptores tipo campainha, que serão acionados pela barra "C" do subsistema de amplificação.

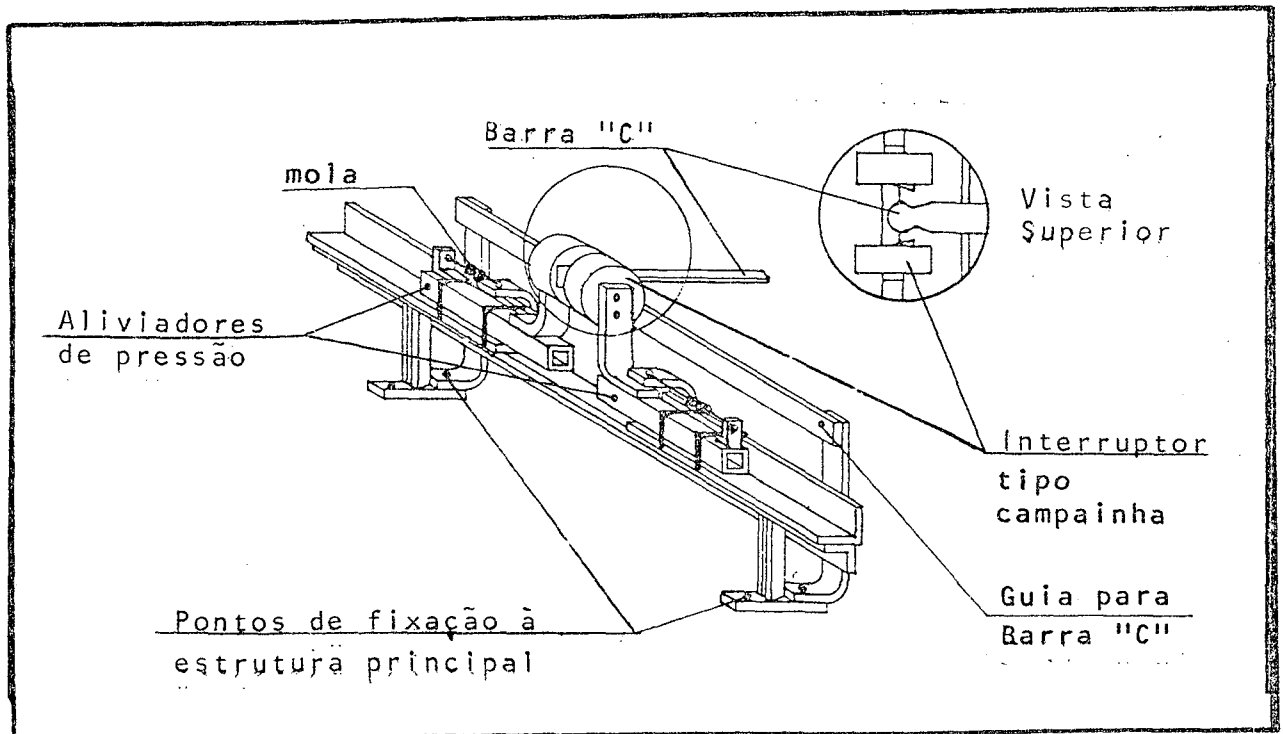


Figura 30 - Interruptores e Dispositivo de Alívio de Pressão

Um dos interruptores será imediatamente acionado assim que a peça em seleção sair fora do padrão para a qual o selecionador foi ajustado.

À medida que a dimensão da peça se afasta para fora de um dos limites de largura de faixa, o subsistema de amplificação conti



nua a se movimentar, isto é, a barra "C" continua imprimindo maior pressão nos interruptores, de tal maneira que foi necessário idealizar um dispositivo de alívio de pressão, para evitar danos ao subsistema de amplificação, ou mesmo aos interruptores.

Após alguns testes, foi necessário mudar o desenho da extremidade da barra "C", que entra em contato com os interruptores devido à falta de eficiência da forma de contato entre as partes. Observou-se também a necessidade premente de orientar a barra "C" num plano paralelo ao da peça cerâmica, para garantir o acionamento dos interruptores. Esta necessidade foi atendida com a colocação de uma guia (fig. 30) para garantir o alinhamento da barra "C" no acionamento dos interruptores; salienta-se que a barra "C" está em balanço, como mostra a figura 29. Surgiram, então, problemas de atrito, que poderiam ser solucionados com a mesma idéia do rolete sobre a came utilizada no Modelo 1. Esta decisão ficou para análise final do Modelo 2.

O magneto do subsistema de registro recebe o sinal de riscar ou não, proveniente dos interruptores (fig. 30), permitindo o acionamento do balancim, onde está montada uma caneta.

Estes elementos foram montados no lado inferior da estrutura principal, num suporte, como mostra a figura 31.

O núcleo do magneto foi pivotado na região central do balancim, com pivô deslizante, de tal maneira que quando o magneto estivesse magnetizado, aproximava a caneta da peça, permitindo o registro e quando desmagnetizado, liberava o balancim através de uma mola.

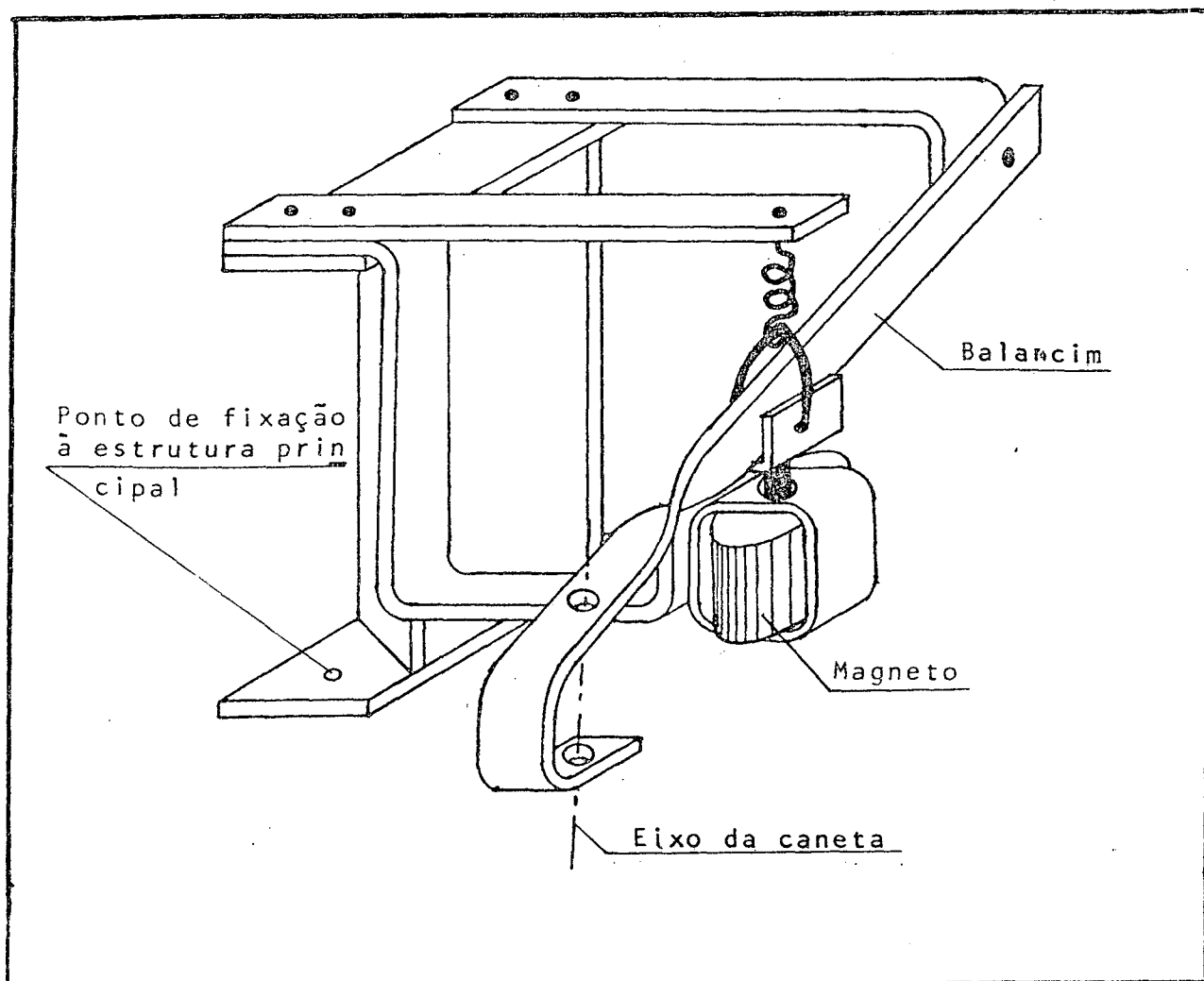


Figura 31 - Estrutura do Porta-caneta e Magneto

## 2.8 Análise do Modelo 2

Agora, serão analisadas as contribuições relevantes, bem como as desvantagens do Modelo 2, sob o ponto de vista das restrições do problema abordado na definição e análise deste (itens 1.3 e 2.2).

Como fatos relevantes, tem-se:

- A amplificação com o mecanismo de quatro barras ficou um pouco reduzida em razão da barra "C" ter sido encurtada, mas isto não afetou o nível de precisão do selecionador;

- A estrutura principal, a guia da peça cerâmica, o pivô principal e o apalpador continuaram tendo seu bom desempenho, já com - provados no Modelo 1;

- A guia articulada realmente eliminou a possibilidade de giro da peça no selecionador;

- O sistema de registro constituiu-se num ponto de sucesso do Modelo 2, com a eliminação de todo o sistema de aproximação do Modelo 1.

A desvantagem que se apresentou foi que:

- O sistema de registros marca somente numa posição, não permitindo averiguações para análises posteriores da posição do traço, isto é, se os pisos estão sendo rejeitados por terem dimensões acima ou abaixo da classe para a qual o selecionador foi ajustado.

Os aspectos negativos ficaram bastante minorados em relação ao Modelo 1, mas o subsistema de amplificação continuava a merecer um questionamento quanto ao seu tamanho ou a necessidade de uma amplificação tão grande, ou com tantas barras.

## 2.9 Análise dos Modelos

Da análise dos modelos testados, verificou-se que o acoplamento do Modelo 2 ao pré-selecionador teria uma grande probabilidade de produzir os resultados esperados. Todavia, este conjunto de equipamentos constituiu-se num volume bastante grande, já que deverá ser formado de um selecionador para cada faixa, mais o pré-se

leccionador, o que trará, em conjunto para cada linha de produção de uma empresa, um acréscimo de 5 ou 6 equipamentos, dependendo do número de faixas que cada empresa estabelecer.

Desta análise, alguns questionamentos se fazem necessários, com o objetivo de orientar uma reflexão crítica sobre os sucessos já alcançados, em comparação com os resultados desejáveis.

A primeira questão que se apresenta é originada pela quantidade de equipamentos que deverão ser introduzidos em cada linha de seleção de peças cerâmicas e, em continuidade a esta observação, questiona-se a possibilidade de se acoplar todos estes equipamentos num único, de maneira a compactar o processo de seleção.

Um outro ponto a ser refletido, é sobre a necessidade do pré-selecionador, isto é, por que não se fazer a seleção numa única etapa? A resposta a esta indagação ocasionará, por certo, algumas alterações fundamentais na forma de seleção, vislumbrando-se a possibilidade de se ter também uma redução no custo de implantação do equipamento de seleção em proposição.

As questões mencionadas anteriormente, serão alvo de estudo na confecção de um novo modelo, que será descrito no próximo Capítulo.

## CAPÍTULO III

### 3. MODELO PROPOSTO

#### 3.1 Introdução

Os resultados obtidos pelo desenvolvimento dos modelos anteriores, serviram de base para a execução do modelo a ser proposto.

Outros aspectos tais como compacidade, estabilidade e compatibilidade, foram considerados nesta etapa.

Desta forma, procedeu-se na concepção e execução do modelo proposto (fig. 32), procurando atender claramente os aspectos considerados na definição (item 1.3) e análise (item 2.2) do problema.

#### 3.2 Compactação do Sistema de Seleção

Da análise dos modelos estabelecidos no Capítulo II, fica evidente a necessidade de reduzir o número de equipamentos em cada linha de produção. Esta redução implica não somente numa diminuição de custos de implantação, mas também numa facilidade maior de instalação e manutenção do equipamento em proposição.

A facilidade de instalação requer uma otimização do sistema de seleção, tornando desnecessários tantos desvios quantos forem o número de faixas, bem como a instalação de tantos equipamentos.

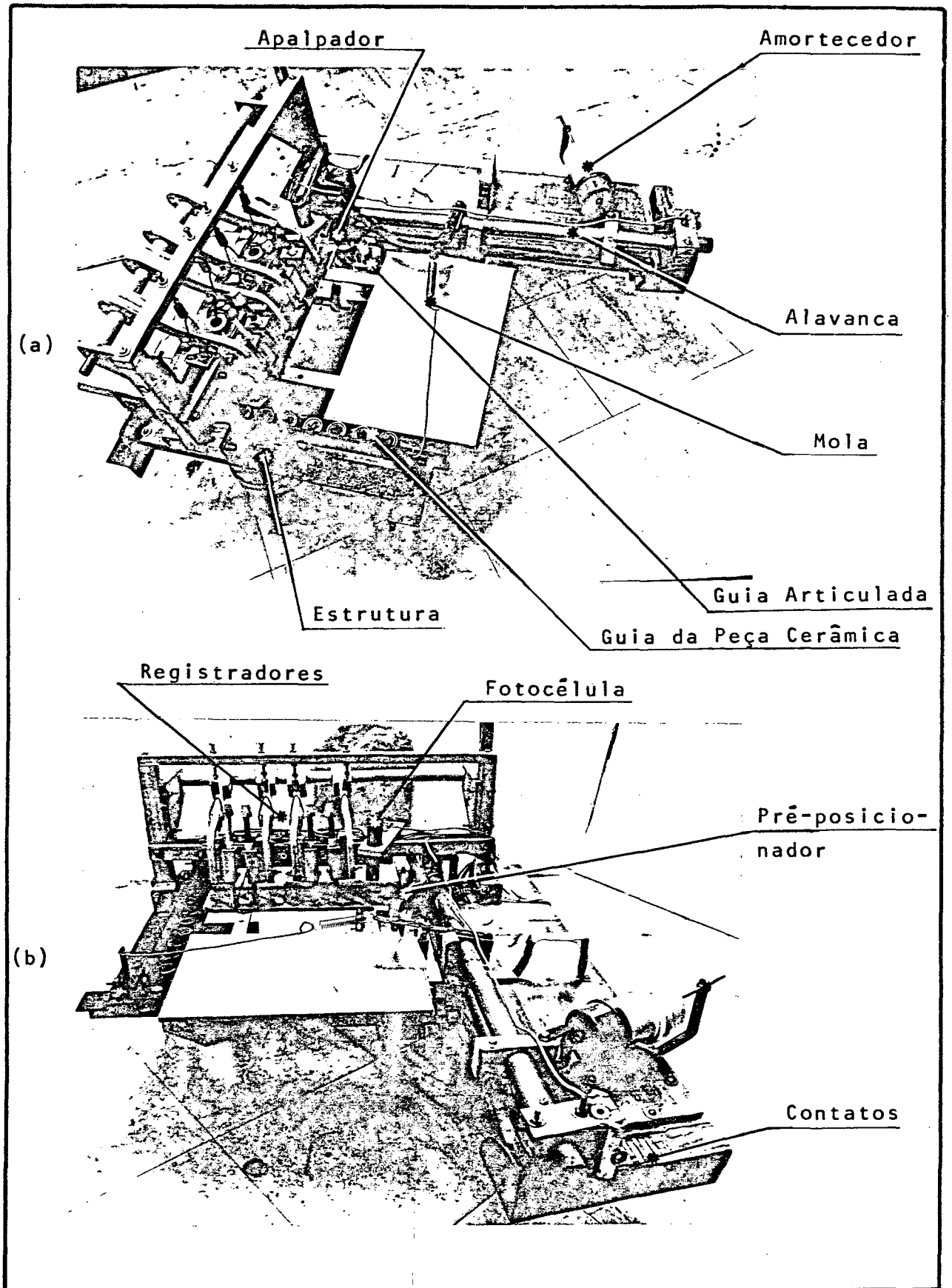


Figura 32 - Modelo Proposto  
 a) Vista Superior  
 b) Vista Lateral Direita

### 3.3 Estabilização do Seleccionador

Após várias simulações de seleção de peças cerâmicas em diversas faixas, observou-se que o apalpador não mantinha contato com a aresta da peça, ao longo de um trecho significativo, em torno de 80 a 100 mm. Esta situação ocorria principalmente quando havia um choque maior entre a peça e o apalpador (fig. 33).

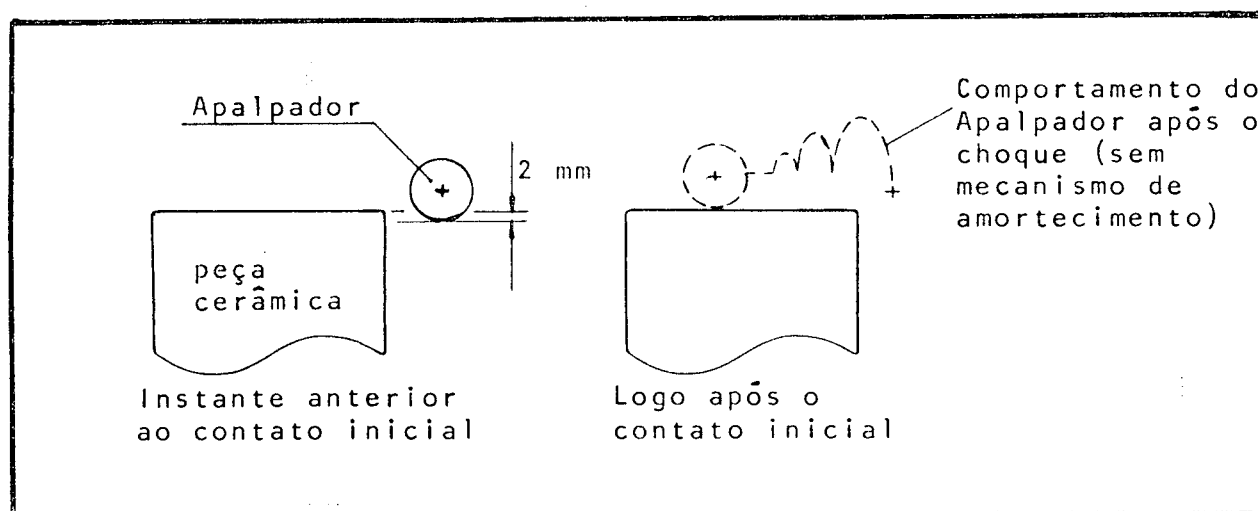


Figura 33 - Contato do Apalpador com a Peça

Verificou-se que uma interferência superior a 2 mm entre as partes, provocava uma vibração considerável no apalpador. Isto, combinado com a velocidade da peça, fazia com que o apalpador só voltasse a entrar em contato com a mesma após alguns centímetros, não oferecendo, portanto, confiabilidade e estabilidade ao sistema.

Propõe-se, em primeiro lugar, o estudo de um mecanismo que permita o contato do apalpador, num maior comprimento possível com a aresta da peça, para qualquer faixa de seleção.

Como segundo passo, procedeu-se a um estudo para reduzir a amplitude de vibração do apalpador e seu rápido retorno à posição de contato.

Isto foi conseguido através de um sistema de amortecimento, assegurando a este uma estabilidade satisfatória.

O dimensionamento dos elementos de amortecimento está apresentado no Apêndice 1, e a determinação do espaço entre o primeiro e o segundo contato do apalpador com a peça, está no Apêndice 3.

### 3.4 Compatibilização do Seleccionador

Dos testes efetivados com os Modelos 1 e 2, constatou-se que o subsistema de amplificação através de quatro barras, da maneira como foi concebido, permitia uma amplificação da ordem de 50X. Com a adoção de componentes elétricos, esta amplificação mecânica poderia ser reduzida sensivelmente, mantendo a compatibilidade do sistema.

Outro aspecto ainda relacionado ao sistema de quatro barras idealizado, reside no pivotamento, onde o somatório de pequenas folgas pode gerar ao processo de seleção, uma classificação fora dos padrões previamente estabelecidos.

Alvitra-se o estudo da possibilidade de que a amplificação venha a ser obtida num único braço de alavanca, sendo compatível com o sistema eletro-mecânico a ser adotado e dentro da precisão permitida.

### 3.5 Descrição do Modelo Proposto

Da mesma maneira como foi ordenada a descrição dos modelos anteriores, esta também obedecerá a mesma seqüência, ressaltando a



introdução dos novos elementos no sentido de atender aos aspectos de compactação, estabilidade e compatibilidade.

Isto posto, o Modelo Proposto (fig. 32) será assim subdividido:

- Estrutura
  - . Estrutura Principal
  - . Guia da Peça Cerâmica
  - . Guia Articulada
  
- Subsistema de Amplificação
  - . Pivô Principal
  - . Apalpador
  - . Alavanca
  - . Prê-posicionador
  - . Elementos de Amortecimento
  
- Subsistema de Registro
  - . Ativação do Sistema
  - . Emissão dos Registros
  - . Recepção dos Registros

### 3.5.1 Estrutura

Os elementos que compõem a estrutura não serão aqui descritos por serem idênticos aos dos Modelos 1 e 2.

### 3.5.2 Subsistema de Amplificação

Tanto o pivô principal como o apalpador, que compuzeram os Modelos 1 e 2, foram mantidos também neste Modelo.

A alavanca, esquematizada na figura 34, é constituída de um tubo de aço galvanizado, que é a mesma barra "A" do mecanismo de quatro barras dos Modelos 1 e 2. Além da função de dar a relação da amplificação, nesta alavanca serão acoplados o prē-posicionador, o sistema de amortecimento e o emissor elētrico, que serão descritos nos prōximos itens.

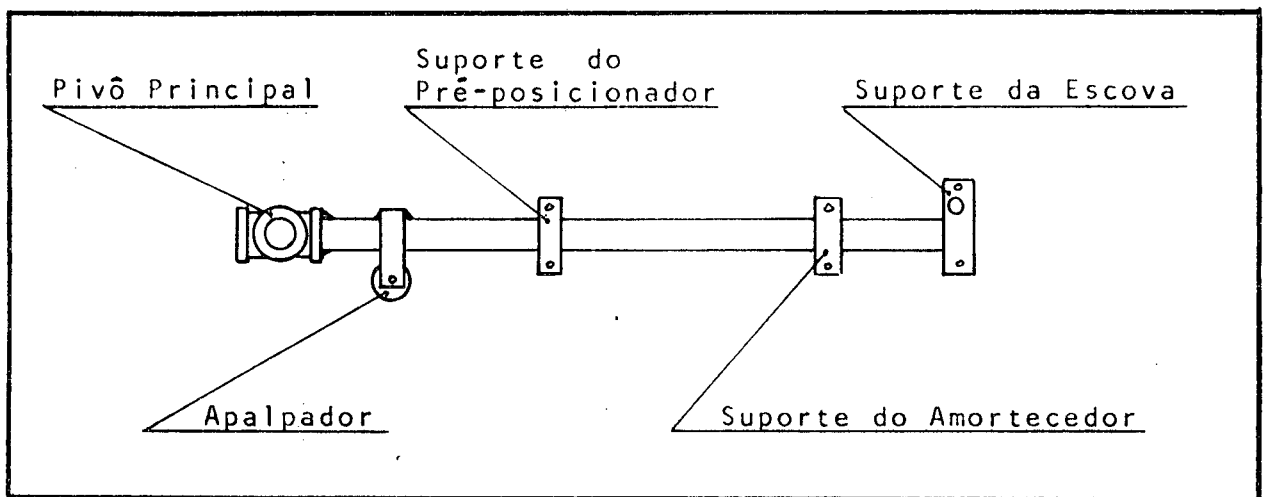


Figura 34 - Alavanca

O prē-posicionador se fez necessārio para evitar choques bruscos entre a peça e o apalpador, visto que erros grosseiros eram cometidos na seleção, devido ā grande amplitude de vibraçāo da alavanca que, em combinaçāo com a velocidade da peça cerāmica, podia provocar danos ā mesma (fig. 35).

A primeira dificuldade foi a da instalaçāo deste elemento no reduzido espaço disponível entre a regiāo da guia articulada e o subsistema de amplificaçāo (fig. 32).

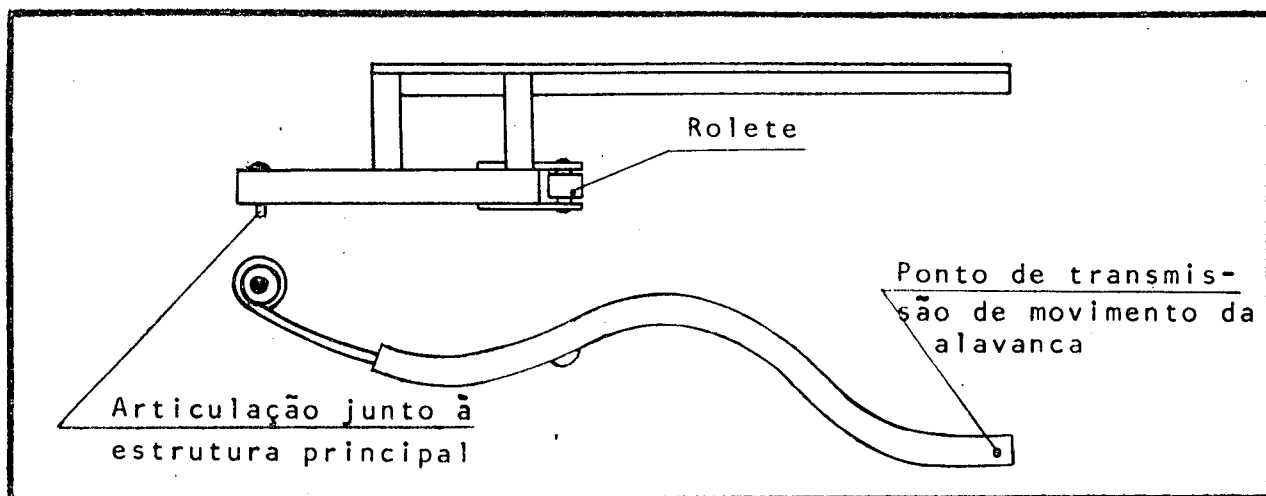


Figura 35 - Pré-posicionador

A indicação de quanto a alavanca deveria ser preposicionada devia ser tomada pouco antes do apalpador e transferida à alavanca, de tal maneira que quando a peça chegasse ao apalpador, a interferência entre os mesmos fosse inferior a 2 mm (fig. 36).

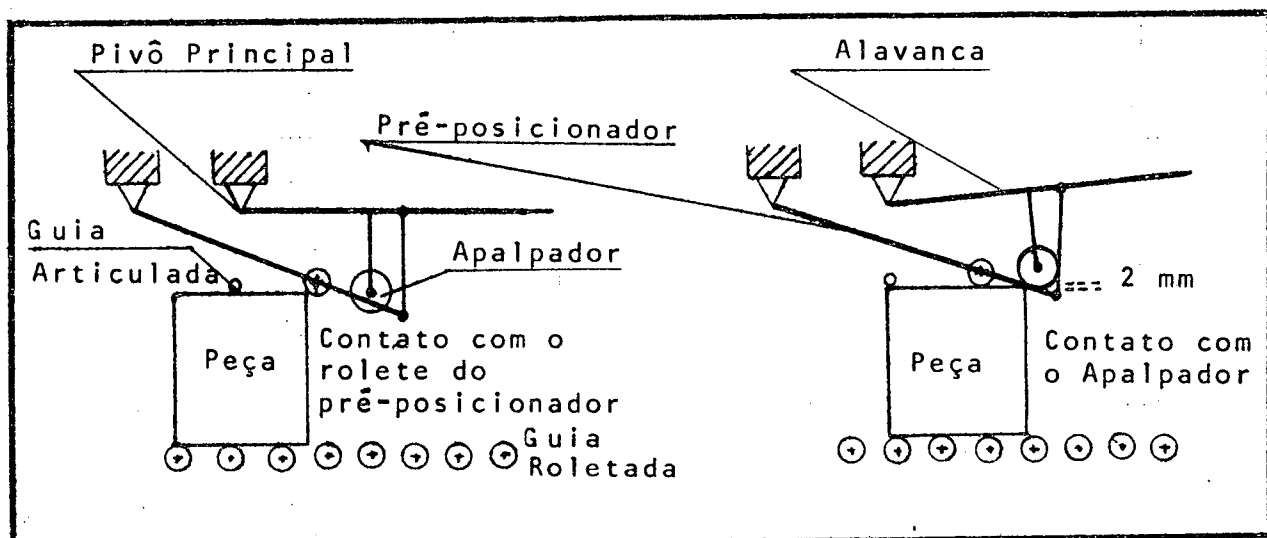


Figura 36 - Processo de Pré-posicionamento do Apalpador

O pré-posicionador não deveria se constituir também num elemento que elevasse significativamente a resistência à entrada da peça no equipamento.

A solução adotada para este problema foi a de uma alavanca em "S", em dois planos paralelos em relação ao plano principal da peça a selecionar, aproveitando os espaços disponíveis (fig. 35).

Esta alavanca, por sua vez, transmite o deslocamento à alavanca do subsistema de amplificação, preposicionando o apalpador para entrar em contato com a peça.

Apesar do choque entre a peça e o apalpador ter sido diminuído expressivamente, ainda não foi suficiente para minimizar os erros do contato inicial. Houve a necessidade de reduzir mais a amplitude devido ao choque, bem como acelerar o retorno do apalpador após a amplitude máxima ter sido alcançada. Isto foi obtido através de um estudo detalhado do conjunto massa-mola-amortecedor do subsistema de amplificação. O dimensionamento dos elementos de amortecimento é mostrado no Apêndice 1.

### 3.5.3 Subsistema de Registro

O subsistema de registro é a parte do Modelo Proposto responsável pela transformação do sinal gerado pelo subsistema de amplificação em sinal elétrico, e por meio deste sinal um eletro-ímã de um conjunto de quatro é acionado, permitindo a descida de uma caneta sobre ele montada, que indicará, sobre a peça cerâmica, a sua faixa.

Ele é ativado logo após a peça tocar no apalpador através de uma fotocélula que o energisa; neste instante, a alavanca do subsistema de amplificação já está posicionada para permitir a emissão, através do transdutor, dos sinais captados pelos magnetos, que posicionam uma das canetas para o registro.

A ativação do subsistema de registro, isto é, a parte elétrica do equipamento, somente é energizada após ter havido o contato inicial entre a peça e o apalpador, ou seja, quando a peça já avançou uns dez milímetros em relação à linha de contato do apalpador, do ponto A ao ponto B, conforme mostra a figura 37.

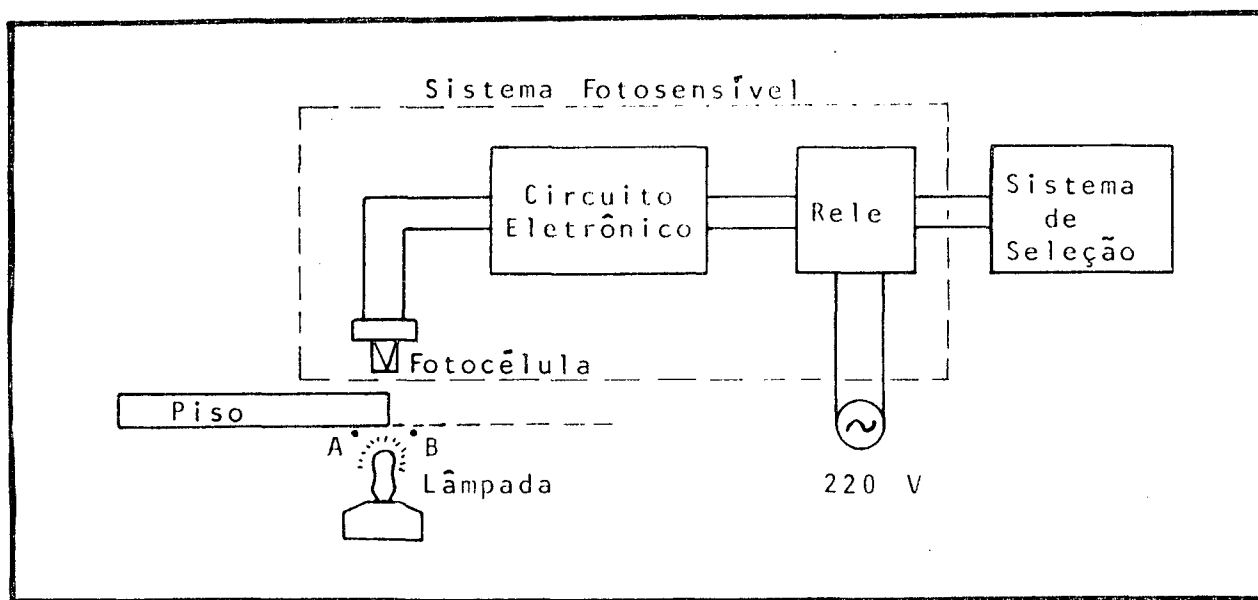


Figura 37 - Subsistema de Registro

O subsistema é ativado quando a peça interrompe o feixe luminoso da fotocélula; neste instante, o sistema fotosensível é armado, atuando no circuito eletrônico e ligando a rede de 220 VCA e energizando o emissor e receptor dos registros. Outros detalhes do sistema fotosensível, estão relatados no Apêndice 2.

A emissão dos registros se dá através de duas peças acopladas, ou seja, a escova, na alavanca do subsistema de amplificação, no lado oposto ao pivô principal, e os contatos fixados à estrutura principal.

Os contatos foram dimensionados em função da amplificação da pela alavanca, em função da largura da escova.

A figura 38 mostra como os contatos, constituídos de cinco peças de alumínio, foram ajustadas sobre o bloco de madeira, de tal sorte a garantir a seleção correta das peças cerâmicas nas faixas correspondentes.

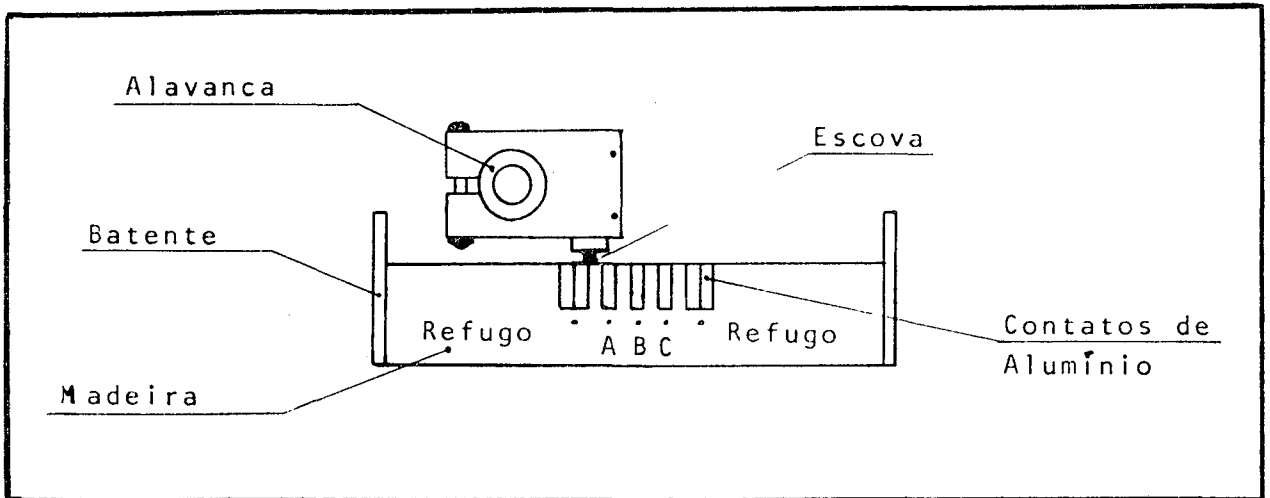


Figura 38 - Emissor

As peças de alumínio das extremidades desta série de cinco, representam os refugos e estes são classificados entre a menor dimensão aceitável e qualquer outra dimensão menor, ou a maior dimensão aceitável e qualquer outra dimensão maior. Como os limites inferior e superior dos refugos não são delimitados, resolveu-se então duplicar a espessura do alumínio, garantindo o registro dos refugos.

Este conjunto de contatos foi acoplado à estrutura principal através de uma prancha de madeira, de maneira que cada contato pudesse ser ajustado segundo uma peça padrão com as diversas faixas e segundo uma secante que corta a semi-circunferência descrita pela alavanca.

Nos extremos do bloco de madeira, colocou-se batentes. O batente inferior tem a função de limitar a descida da alavanca, isto

é, o apalpador afixado à alavanca deve estar sempre antes da entrada de uma peça no selecionador, num ponto abaixo do refugio mínimo para que o contato da peça com o apalpador seja efetivado. Outra função dos batentes é a de evitar, quando da manutenção ou instalação do equipamento, que ocorra um deslocamento da alavanca que venha a danificar a escova.

Para os cinco sinais passíveis de transmissão, montou-se quatro magnetos de acordo com as faixas A, B, C e os refugos, como mostra a figura 39.

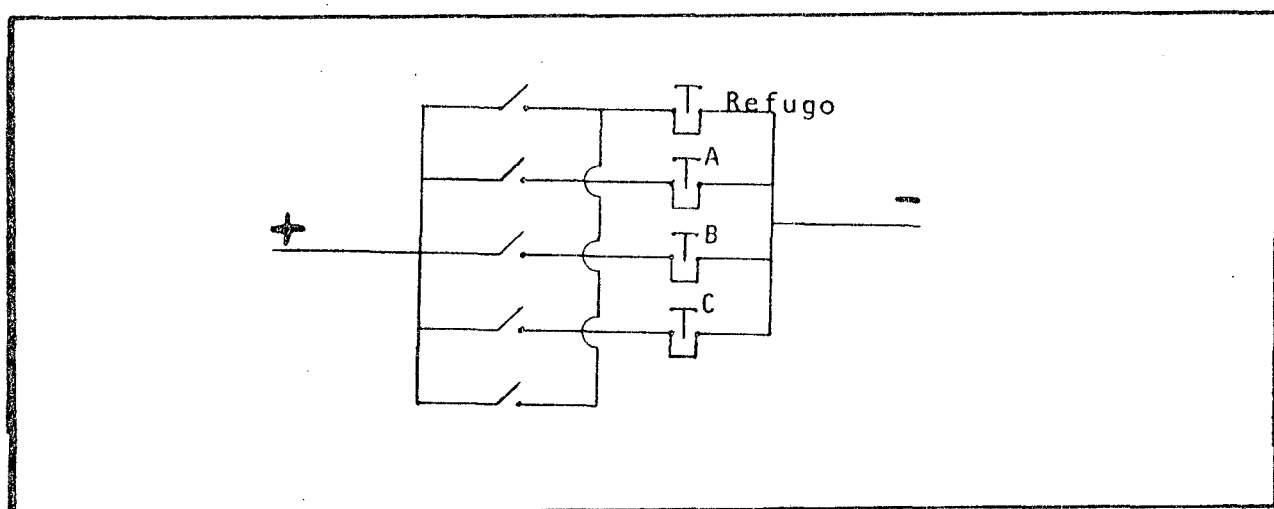


Figura 39 - Circuito do Subsistema de Registro

Sobre cada um dos magnetos, foi montada uma alavanca em forma de "S" (fig. 40b) pivotada numa extremidade num único eixo e na outra contendo um porta-caneta ajustável (fig. 40c). Na parte central desta alavanca, há um pivô deslizante que mantém o acoplamento com o núcleo do magneto; este pivô foi tensionado através de uma mola que movimenta para fora o núcleo do magneto, quando este não estiver magnetizado (fig. 40).

O porta-caneta foi concebido de maneira a permitir uma regulação para se alcançar a melhor incidência da caneta sobre a peça.

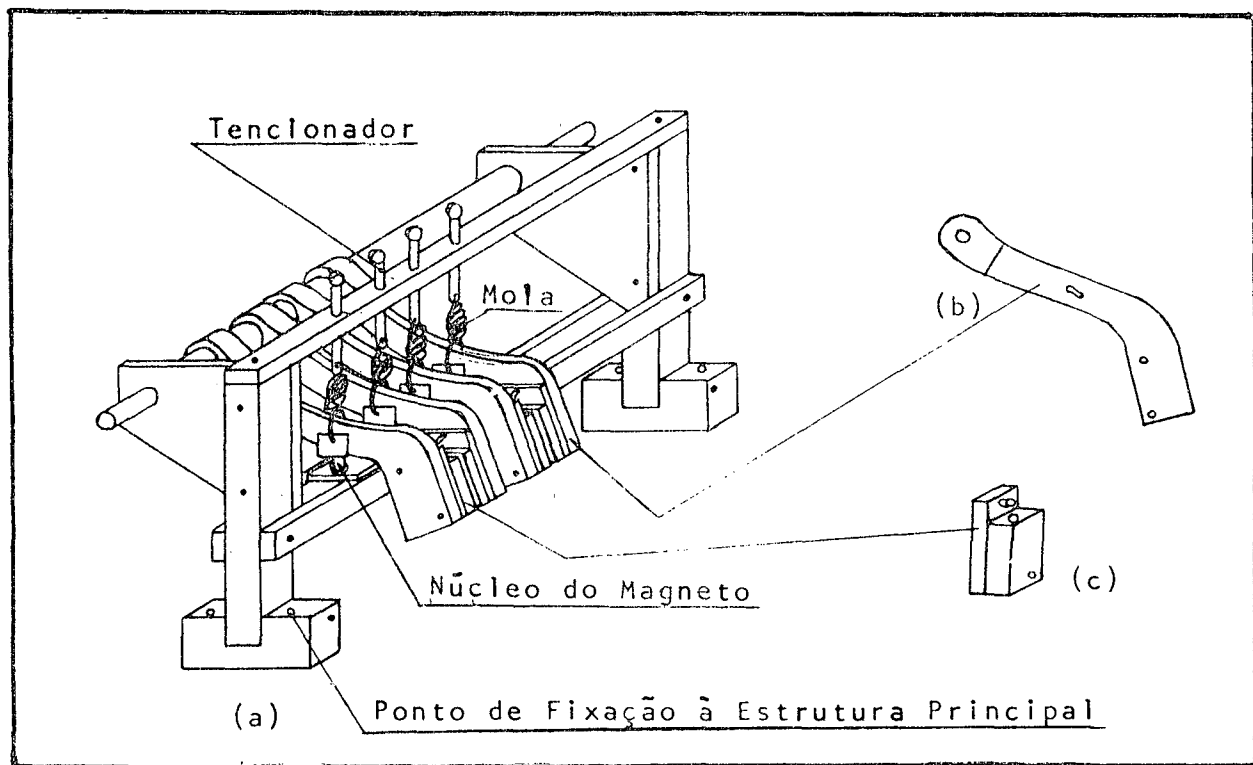


Figura 40 - a) Conjunto do Receptor  
 b) Alavanca do Porta-caneta  
 c) Porta-caneta

Na caneta, ajustou-se um limitador de curso com a função também de assegurar um contato mínimo com as peças. Qualquer irregularidade no plano principal da peça ou variação de espessura, no instante do contato da caneta, gera uma componente de força provocando igual recuo da caneta. Não houve necessidade de implantação de qualquer amortecimento para as canetas, uma vez que o peso próprio delas é suficiente para que estas retornem à sua posição inicial.

Todo este dispositivo de recepção de sinal está montado num pórtico acoplado sobre a estrutura principal do equipamento (figura 40).



### 3.6 Análise

Este modelo proposto, na forma em que se apresenta, mostra-se muito eficiente em relação à estabilidade.

Outro aspecto que trouxe resultados positivos, foi a compactação do equipamento; desta maneira, todo o processo de seleção ocorre num único ponto da linha, reduzindo sensivelmente os custos de aquisição, implantação e manutenção em relação aos Modelos 1 e 2, descritos no Capítulo II.

A redução para uma barra do subsistema de amplificação em relação aos Modelos 1 e 2, que tinha este subsistema composto por um mecanismo de quatro barras, simplificou sobremaneira sua construção e eliminou qualquer preocupação com possíveis folgas nos diversos pivôs, aumentando, portanto, a sua confiabilidade.

O subsistema de registro, com ativação fotosensível, melhorou a estética e reduziu as inércias do sistema. Assim sendo, obteve-se respostas mais rápidas e compatíveis com a qualidade de seleção desejada.

Os elementos de amortecimento do subsistema de amplificação utilizados foram bastante vantajosos para o caso de amplitudes de vibração grandes, pois somente 7% da dimensão das peças não será testado (ver Apêndice 3).

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 4.1 Conclusões

Durante o desenvolvimento dos modelos, esteve sempre presente a necessidade de se produzir um selecionador com tecnologia própria e alternativa, cobrindo o vazio tecnológico existente entre um processo seletivo artesanal e um processo seletivo com tecnologia de ponta, como está apresentado no item 1.1 do Capítulo I.

Esta meta foi satisfatoriamente atingida na manufatura do modelo proposto, como uma evolução dos Modelos 1 e 2 e do Prê-selecionador.

Os aspectos relevantes deste desenvolvimento, são:

- Todos os modelos apresentados foram construídos dentro do Laboratório de Cinemática e Dinâmica de Máquinas (CTC-UFSC), utilizando equipamentos universais;

- Os materiais necessários à execução dos modelos foram facilmente encontrados no comércio do ramo;

- A seleção se dá no próprio movimento das peças na linha e por contato direto;

- Este tipo de contato garante que alterações na velocidade da linha de produção serão acomodadas diretamente;

- O contato instantâneo num ponto, pode indicar uma determinada faixa, mas se o piso não tiver as arestas paralelas, indicará duas ou mais faixas e, desta forma, a peça será refugada;

- A instalação do selecionador também é fácil, pois deverá ser acoplado e fixado com quatro parafusos de aperto às linhas já existentes nas indústrias;

- A parte mecânica do selecionador é constituída por componentes que exigem uma manutenção simples, podendo ser realizada por qualquer mecânico;

- Quanto à manutenção da parte elétrica, um electricista de manutenção, munido de um multíteste, pode detectar qualquer problema, providenciando a substituição das partes deficientes;

- O roteiro desenvolvido para o dimensionamento dos elementos de amortecimento apresentados nos Apêndices 1 e 3, mostraram-se eficientes para analisar e adequar estes elementos para a qualidade do trabalho requerida;

- A amplificação mecânica idealizada, ficou compatível com a qualidade dimensional exigida.

#### 4.2 Recomendações

A primeira recomendação é que o modelo proposto deve ser testado numa linha de produção em condições reais; então, comparar os resultados destes testes com os de outros executados noutros modelos de selecionador;

- Um outro trabalho dentro da área de Engenharia Econômica poderia abordar os aspectos de custo/benefício pela introdução deste selecionador, nas indústrias cerâmicas;

- Deve ser feito também um estudo de como colocar este equipamento à disposição da indústria.

Finalmente, é necessário afirmar que este trabalho não cobriu todas as etapas do desenvolvimento de produtos industriais por serem muito amplas, permitindo, desta maneira, que outros trabalhos nesta linha de pesquisa sejam desenvolvidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANUÁRIO BRASILEIRO DE CERÂMICA. Associação Brasileira de Cerâmica. São Paulo, 1980 e 1981.
2. ASIMOW, Morris. Introdução ao Projeto de Engenharia. São Paulo, Mestre Jou, 1968.
3. BACK, Nelson. Metodologia de Projeto de Produtos Industriais. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.
4. CAIN, W. D. Engineering Product Design. London, Business Books Limited, 1969.
5. DEN HARTOG, J. P. Vibrações nos Sistemas Mecânicos. São Paulo, Edgard Blücher, 1972.
6. DIÓGENES DO VALLE, Nelson e Outros. Uma Metodologia para o Desenvolvimento de Protótipos de Máquinas Industriais. Florianópolis, CTC-UFSC, 1982.
7. THOMSON, Willian T. Vibration Theory and Applications. USA, Prentice-Hall, Inc., 1965.
8. WILSON, W. Ker. Practical Solution of Torcional Vibration Problems. London, Chapman & Hall, 1965.

APÊNDICE 1  
DIMENSIONAMENTO DO AMORTECEDOR

## APÊNDICE 1

## DIMENSIONAMENTO DO AMORTECEDOR

## 1. Introdução

A necessidade de dimensionar o amortecimento, adveio da preocupação de garantir a estabilidade do subsistema de amplificação.

Para tanto, mesmo havendo choque da peça contra o apalpador, a vibração do subsistema deverá ser reduzida, de modo que somente uma parcela da peça não será testada.

Inicialmente, foi idealizado um modelo matemático e calculado para este o amortecimento apropriado.

Na fase seguinte, foi idealizado e construído o amortecedor, adaptando-o ao selecionador de peças cerâmicas.

Finalmente, os testes de laboratório comprovaram que o amortecedor construído tinha as características desejadas do modelo matemático.

## 2. Modelo Matemático

O dispositivo de medição foi representado por um modelo matemático. Para tanto, algumas simplificações se tornaram necessárias. Este modelo é um sistema linear, com um grau de liberdade, conforme mostra a figura 1.

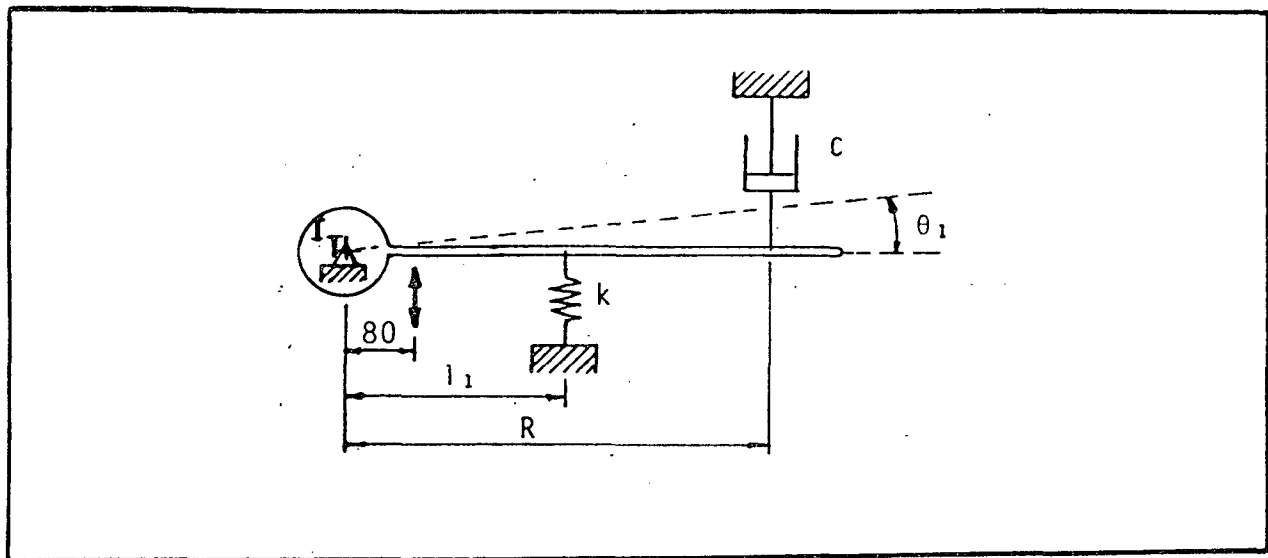


Figura 1 - Modelo Matemático

Para o modelo matemático da figura 1, os valores de " $l_1$ " e " $R$ " serão mostrados a seguir e os valores de " $I_T$ " e " $k$ " serão determinados; após isto, será calculado o coeficiente de amortecimento adequado " $C$ ".

Para o modelo da figura 1, a equação diferencial do movimento é:

$$I_T \ddot{\theta}_1 + CR^2 \dot{\theta}_1 + kl_1^2 \theta_1 = 0 \quad (1)$$

## 2.1 Determinação das Massas e dos Momentos de Inércia

A partir da figura 2, foram determinadas as massas e os momentos baricêntricos dos vários componentes da alavanca e do prē-posicionador. Cada componente foi decomposto em elementos simples. Por exemplo, o pivô principal que está representado pelo ponto 1 da figura 2, foi decomposto em um conjunto de dois cilindros vazados na horizontal e dois cilindros vazados na vertical, que representam a cruzeta, como mostra a figura 3, e acrescido de dois ou outros elementos menores, que representam os rolamentos.



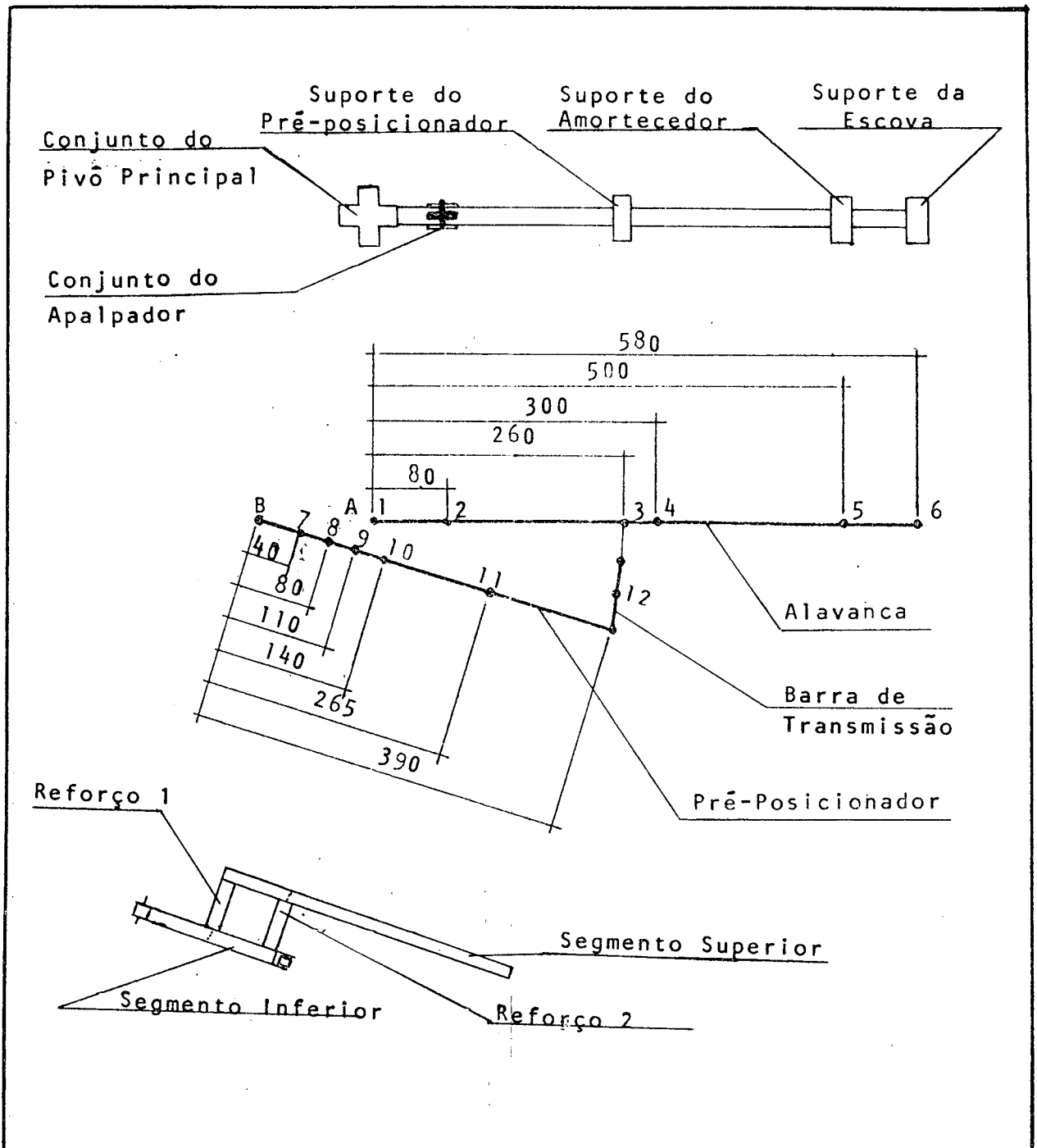


Figura 2 - Localização das Massas da Alavanca e do Prê-posicionador

As massas foram determinadas através do produto do volume pela massa específica, para cada elemento. Também os momentos de inércia baricêntricos dos elementos, foram calculados. Com estes valores, construiu-se a Tabela 1.

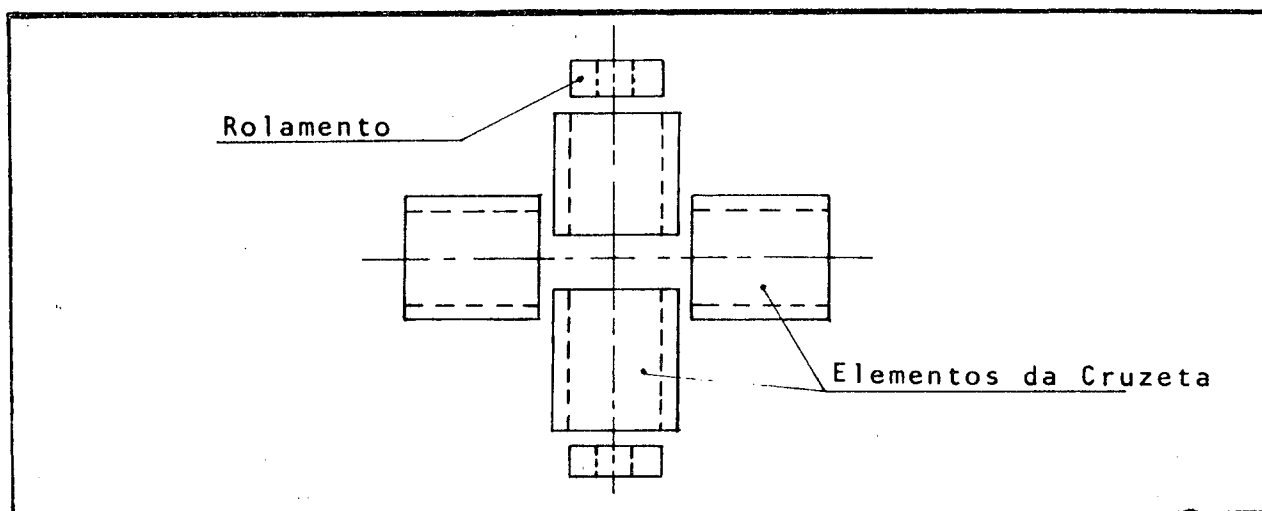


Figura 3 - Exemplo de Decomposição

DENOMINAÇÃO E NÚMERO DO ELEMENTO	MASSA (kg)	MOMENTO DE INÉRCIA (kg . m <sup>2</sup> )
<b>A - Alavanca</b>		
1. Pivô Principal		
a) Cruzeta	0,102	$1,54 \cdot 10^{-5}$
	0,130	$2,58 \cdot 10^{-5}$
b) Rolamentos	0,052	$2,67 \cdot 10^{-6}$
2. Apalpador		
a) Suporte	0,036	$3,68 \cdot 10^{-6}$
	0,106	$3,40 \cdot 10^{-5}$
b) Apalpador	0,096	$1,13 \cdot 10^{-6}$
c) Eixo	0,062	$9,03 \cdot 10^{-6}$
3. Suporte do Prê-posicionador	0,029	$1,57 \cdot 10^{-5}$
4. Alavanca	0,835	$5,83 \cdot 10^{-5}$
5. Suporte do Amortecedor	0,029	$1,57 \cdot 10^{-5}$
6. Suporte da Escova	0,070	$5,19 \cdot 10^{-5}$
<b>B - Prê-posicionador</b>		
7. 1º Segmento Inferior	0,030	$6,13 \cdot 10^{-7}$
8. Reforço 1	0,022	$6,66 \cdot 10^{-6}$
9. 2º Segmento Inferior e 1º Segmento Superior	0,103	$2,89 \cdot 10^{-6}$
10. Reforço 2	0,022	$6,66 \cdot 10^{-6}$
11. 2º Segmento Superior	0,163	$3,97 \cdot 10^{-6}$
12. Barra de Transmissão	0,023	$9,41 \cdot 10^{-6}$

Tabela 1 - Massa e Momento de Inércia

## 2.2 Cálculo do Momento de Inércia em Relação aos Pontos "A" e "B"

Da Tabela 1 e figura 2, podemos calcular o momento de inércia de massa em relação a "A" e "B", de acordo com o Teorema dos Eixos Paralelos:

$$I = I_m + m d^2 \quad (2)$$

Então, para a alavanca em relação ao ponto "A", obtêm-se:

$$I_A = \sum_{n=1}^6 (I_{m(n)} + m(n) d^2(n)) \quad (3)$$

$$I_A = 0,230 \text{ kg} \cdot \text{m}^2,$$

e para o prē-posicionador, em relação ao ponto "B", tem-se que:

$$I_B = \sum_{n=7}^{12} (I_{m(n)} + m(n) d^2(n)) \quad (4)$$

$$I_B = 0,014 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Na figura 4, como a alavanca e o prē-posicionador estão acopla

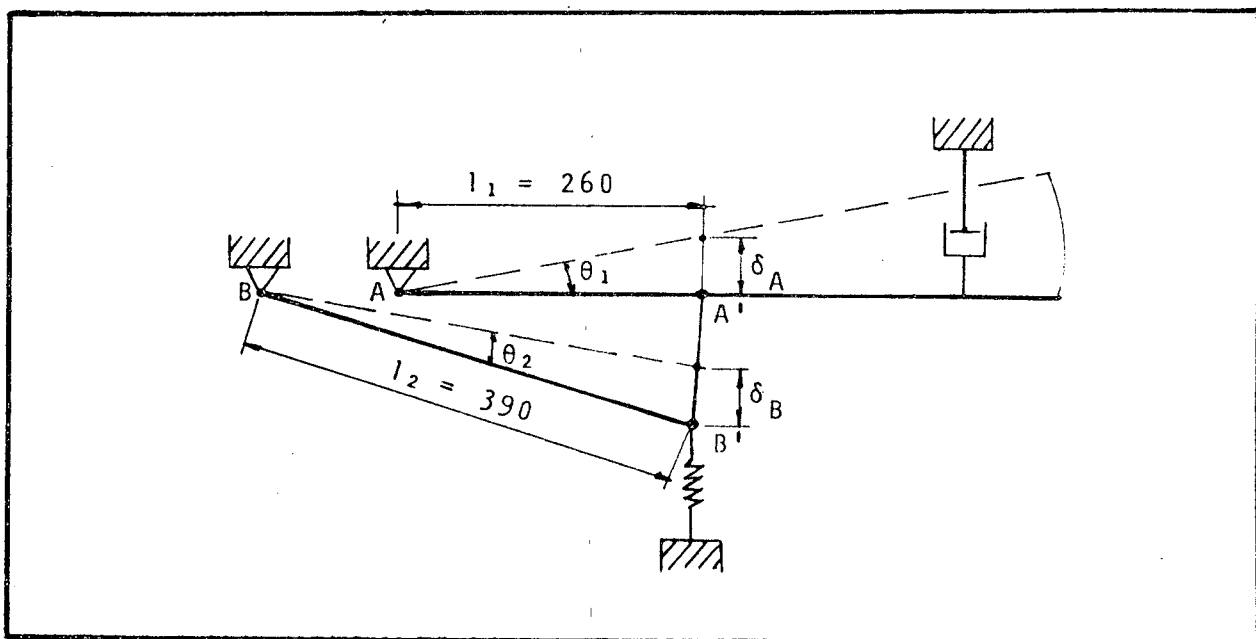


Figura 4 - Deslocamento do Subsistema de Amplificação

dos, tem-se para os deslocamentos:

$$\delta_A \cong \delta_B \quad (5)$$

$$\delta_A \cong l_1 \theta_1 \quad (6)$$

$$\delta_B \cong l_2 \theta_2 \quad (7)$$

$$\text{Portanto, } \theta_2 \cong l_1/l_2 \theta_1 \quad (8)$$

Para o cálculo do efeito da inércia da alavanca, devido ao pré-posicionador, calcula-se a energia cinética do segundo em função do giro da primeira.

A energia cinética do pré-posicionador é [7]

$$K = 1/2 I_B \dot{\theta}_2^2 \quad (9)$$

Substituindo a expressão (8) na equação (9), obtêm-se:

$$K = 1/2 I_B (l_1/l_2)^2 \dot{\theta}_1^2 \quad (10)$$

Assim sendo, a inércia total ( $I_T$ ) relativa ao giro da alavanca, será:

$$I_T = I_A + (l_1/l_2)^2 I_B \quad (11)$$

### 2.3 Cálculo da Freqüência Natural

Da equação (1), pode-se calcular a freqüência natural do modelo matemático como sendo [7]

$$\omega_n = \sqrt{k l_1^2 / I_T} \quad (12)$$

O valor da constante de mola foi obtido experimentalmente colocando-se diversos pesos calibrados e medindo o seu respectivo deslocamento, de onde obteve-se:

$$k \cong 377 \text{ kg/s}^2$$

Colocando os valores numéricos na equação (12), obtêm-se:

$$\omega_n = 10,39 \text{ s}^{-1}$$

Como este valor foi obtido através de algumas simplificações na forma do sistema, tentou-se obter o valor da frequência natural diretamente no equipamento.

Para a obtenção experimental da frequência, retirou-se o amortecedor e acoplou-se uma mola adicional de tração no mesmo eixo de simetria principal da mola do sistema, de tal maneira que a alavanca amplificadora pudesse oscilar em torno de um ponto de equilíbrio.

A experiência consistiu em deslocar a alavanca até a amplitude máxima permissível no equipamento e soltar, enquanto o tempo era cronometrado para um determinado número de ciclos. Após a obtenção de dez amostras do experimento, em que os resultados se distribuíram normalmente em torno de uma média de 2,42 s para 6,75 ciclos, então a frequência natural do experimento é:

$$\omega_{ne} = 17,53 \text{ s}^{-1} \quad (13)$$

Como no experimento a mola utilizada é o dobro da mola usada em condições normais de aplicação do subsistema de amplificação, a frequência obtida é  $\sqrt{2}$  vezes maior (ver equação 12).

Logo, a frequência natural para o subsistema de amplificação terá o valor da expressão (13) dividido por  $\sqrt{2}$ , ou seja:

$$\omega_{ne} = 12,40 \text{ s}^{-1} \quad (14)$$

Este resultado serve para confirmar a ordem de grandeza do valor obtido pelo modelo matemático (equação 12).

A partir da equação (12), substituindo-se  $\omega_n$  por  $\omega_{ne}$ , pode ser recalculado o momento de inércia total equivalente.

$$I_{Te} = 0,166 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

#### 2.4 Determinação da Constante de Amortecimento

Considerando os valores a partir do experimento  $\omega_{ne}$  e  $I_{Te}$ , o amortecimento crítico para o caso rotacional será expresso pela equação

$$C_{cr} = 2 I_{Te} \omega_{ne} \quad (16)$$

Substituindo os valores calculados na equação (16), tem-se:

$$C_{cr} = 4,11 \text{ kg m}^2/\text{s} \quad (17)$$

Da equação (1), o valor do amortecimento é dado por  $CR^2$ ; logo, a relação entre o amortecimento rotacional e translacional é:

$$C_r = CR^2 \quad (18)$$

Da equação (18) e figura 5, obtêm-se para o amortecimento crítico translacional:

$$C_c = 16,44 \text{ kg/s} \quad (19)$$

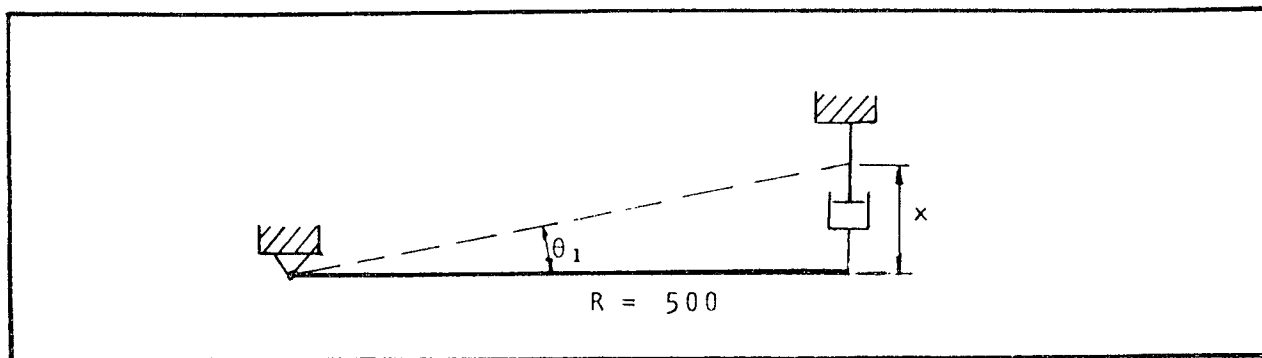


Figura 5 - Deslocamento Angular

Mas o tipo de amortecimento desejado é subcrítico, isto é, a relação entre o coeficiente de amortecimento e o amortecimento crítico deverá ser inferior a 1.

A experiência demonstra que um coeficiente de  $(0,7 : 0,8) C_c$  é satisfatório. Nestas condições, o retorno do apalpador não se dá em um tempo tão longo como no amortecimento supercrítico, ou mesmo no crítico, nem tenderá a oscilar a partir de vários choques com a aresta da peça, como para um amortecimento muito reduzido. Então, o coeficiente de amortecimento deverá estar aproximadamente numa faixa de

$$C_t = (11:13) \text{ kg/s} \quad (20)$$

### 3. Construção do Amortecedor

O amortecedor (fig. 6) é constituído de um tubo de PVC rígido, de 180 mm de altura por 50 mm de diâmetro, lacrado com dois tampões furados no centro, de um lado para permitir a colocação de um elemento de fixação que foi acoplado à alavanca, e de outro para permitir a movimentação da haste do êmbolo.

Para evitar ou minimizar vazamentos entre a haste e o tampão, uma gaxeta foi introduzida no interior do tampão, constituída de três discos de feltro e três discos de PVC laminado, dispostos alternadamente.

O êmbolo foi usinado em nylon, com oito furos equidistantes do centro, com a função de oferecer uma resistência à passagem do fluido. O número de orifícios do êmbolo e seus respectivos diâmetros foram estabelecidos após uma longa série de testes combinados com uma variedade de molas, até que o conjunto massa-mola-amortecedor apresentasse um resultado satisfatório ao equipamento de seleção.

O fluido escolhido foi um óleo SAE 50 multiviscoso, devido à grande facilidade de encontrá-lo no mercado.

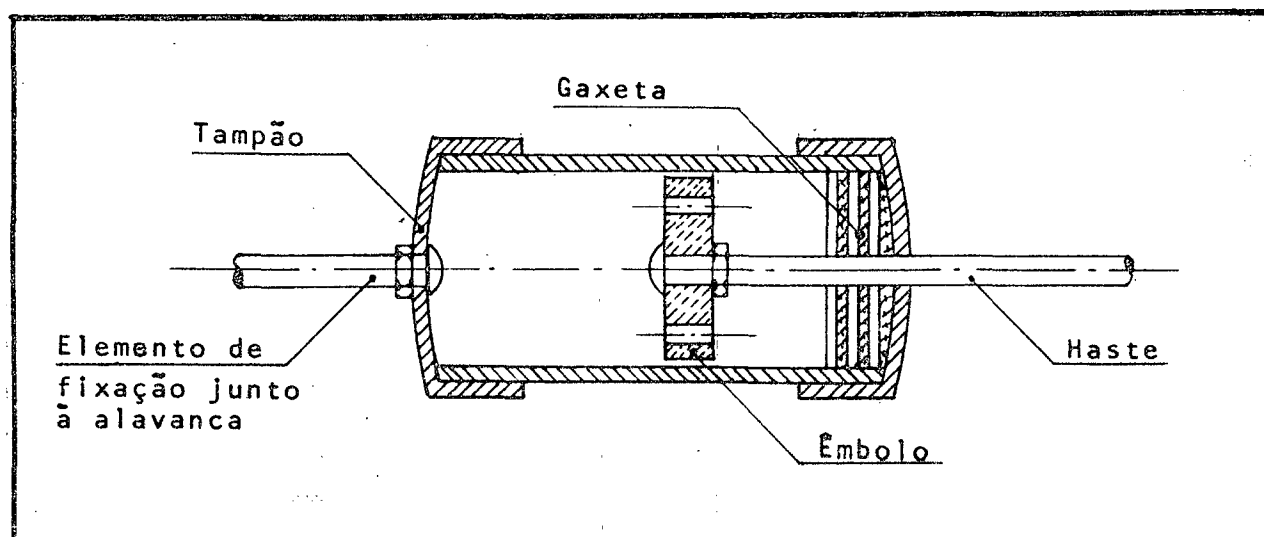


Figura 6 - Amortecedor

#### 4. Método Experimental para a Determinação do Amortecimento

No Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC, o amortecedor foi testado.



Montado rigidamente a uma estrutura por uma das extremidades, a outra extremidade foi submetida a uma força harmônica gerada por um excitador eletro-dinâmico (BK 4812)\*.

O comportamento da força foi obtido através do gerador de sinal (BK 1027), e este amplificado através do amplificador de potência (BK 2707), transmitida ao excitador (figura 7).

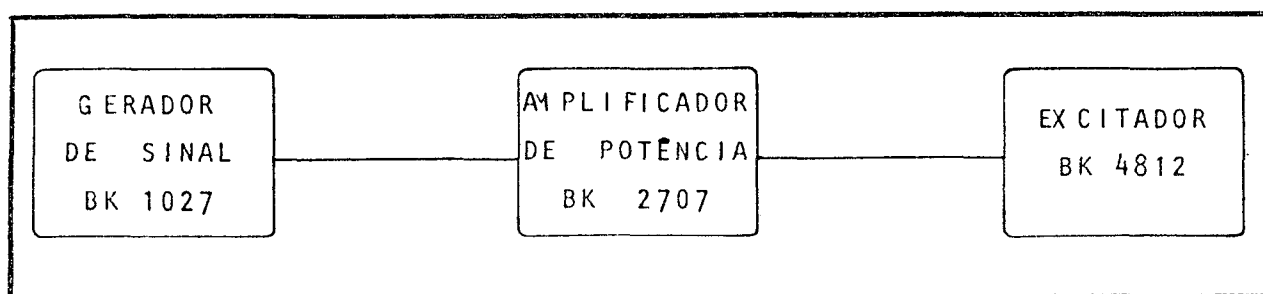


Figura 7 - Fluxograma do Equipamento de Geração do Sinal

Um transdutor de força (BK 8200) permitiu a medição da força para o deslocamento do pistão do amortecedor (figuras 8 e 9).

Com o acelerômetro (BK 4370), obteve-se valores de velocidade de deslocamento do pistão (figuras 8 e 10).

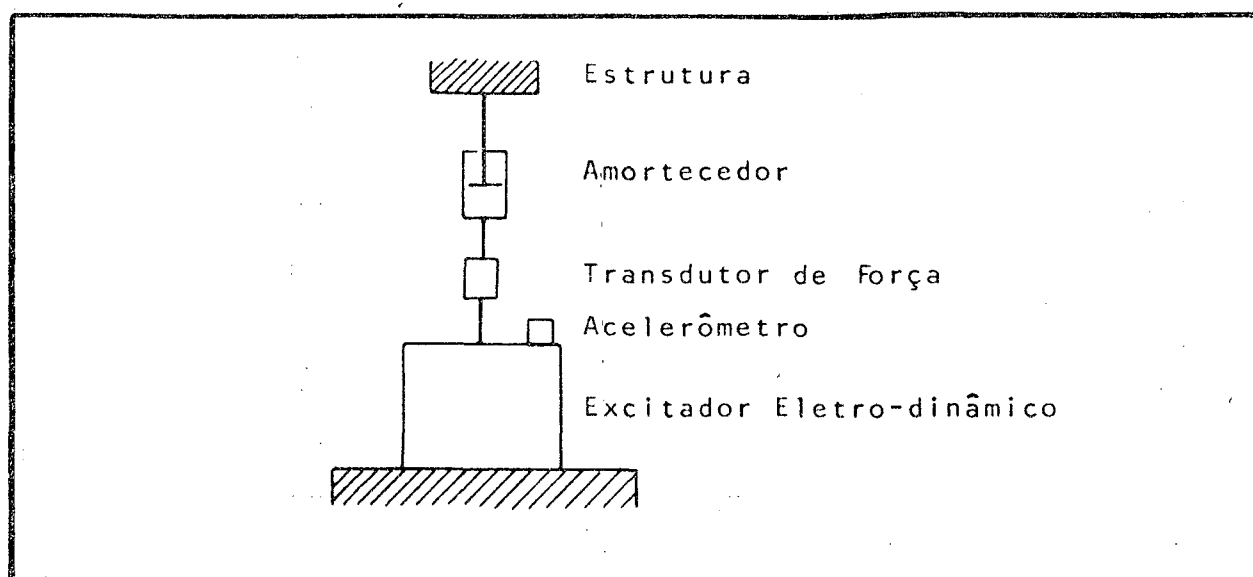


Figura 8 - Esquema de Montagem do Experimento

\* BK (BRÜEL & KJÆR)

Pré-amplificadores foram introduzidos no sistema de medição para o condicionamento dos sinais, pois os transdutores são piezo-elétricos. O pré-amplificador (BK 2626) foi interligado para condicionar o sinal da força. A voltagem de saída do BK 2626 foi ligada num voltímetro eletrônico (BK 2425), de sorte que através da calibração do pré-amplificador, a voltagem foi convertida em Newton  $|(N) \text{ RMS}|$  (figura 9).

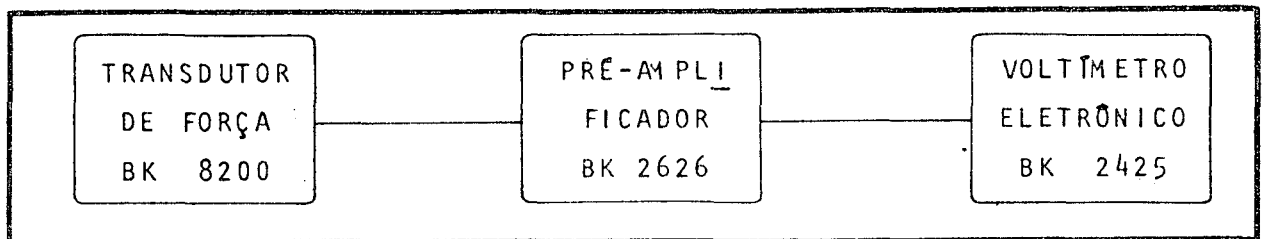


Figura 9 - Fluxograma do Equipamento de Recepção de Sinais

O sinal do acelerômetro foi ao pré-amplificador e integrado no medidor de vibração (BK 2511), de tal maneira que a velocidade pudesse ser lida diretamente em  $|(m/s) \text{ RMS}|$  (figura 10). Dividindo as velocidades pela frequência, obteve-se os deslocamentos. As constantes de amortecimento foram obtidas dividindo-se as forças de inércia pelas velocidades respectivas.

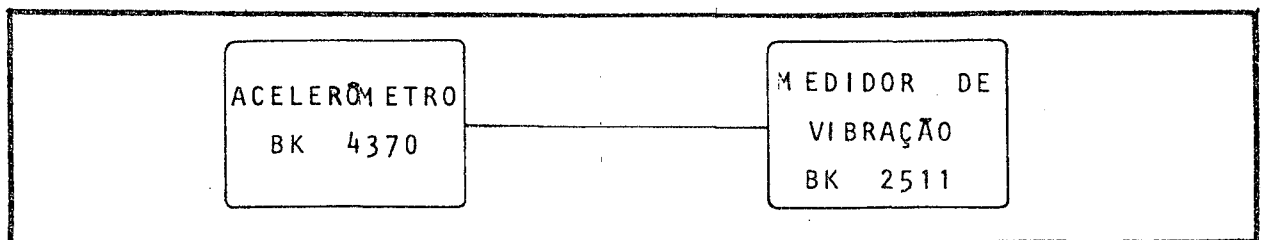


Figura 10 - Fluxograma do Equipamento de Leitura dos Sinais

#### 4.1 O Teste

O teste foi executado para a frequência de 2 Hz, que é aproximadamente a frequência natural do subsistema de amplificação do seccionador ( $f_{ne} = 1,97 \text{ Hz}$ ), uma vez que, o sistema, devido ao choque, tenderá a vibrar nesta frequência.

Os resultados deste experimento, estão apresentados na fig. 11.

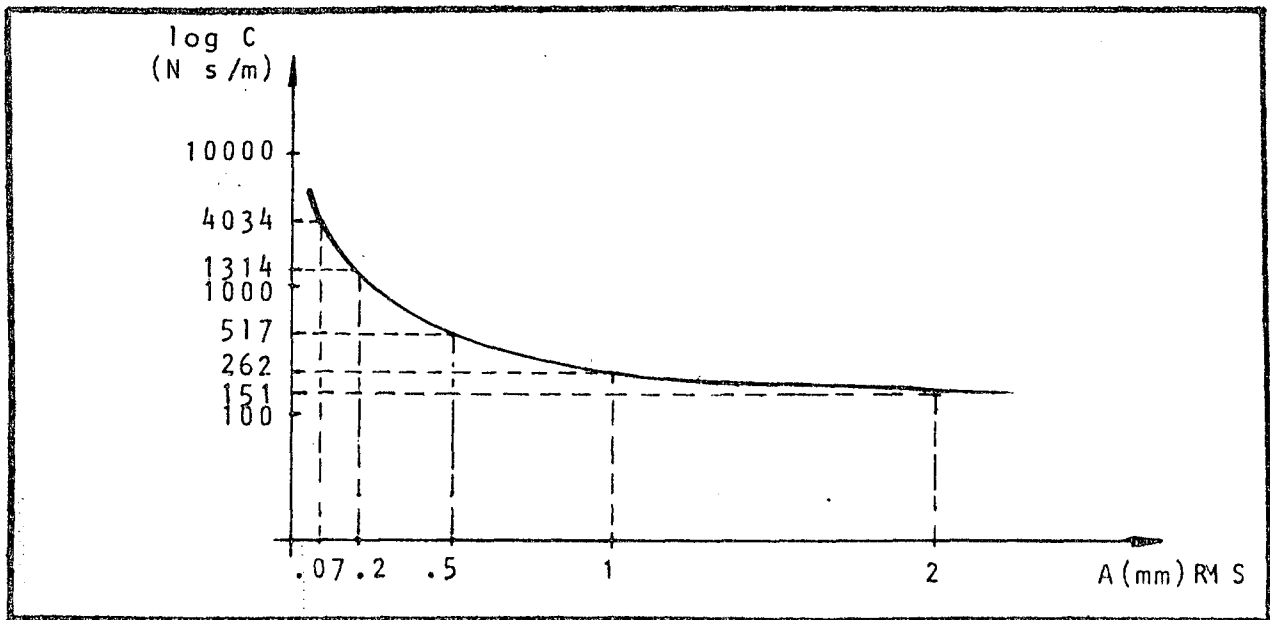


Figura 11 - Curva de Deslocamento X Amortecimento

## 5. Conclusão

A máxima amplitude de deslocamento na extremidade da alavanca do subsistema de amplificação, é da ordem de 60 mm, o que corresponde, para o suporte do amortecedor, a uma amplitude de 52 mm. Na figura 12, foi representado o gráfico correspondente.

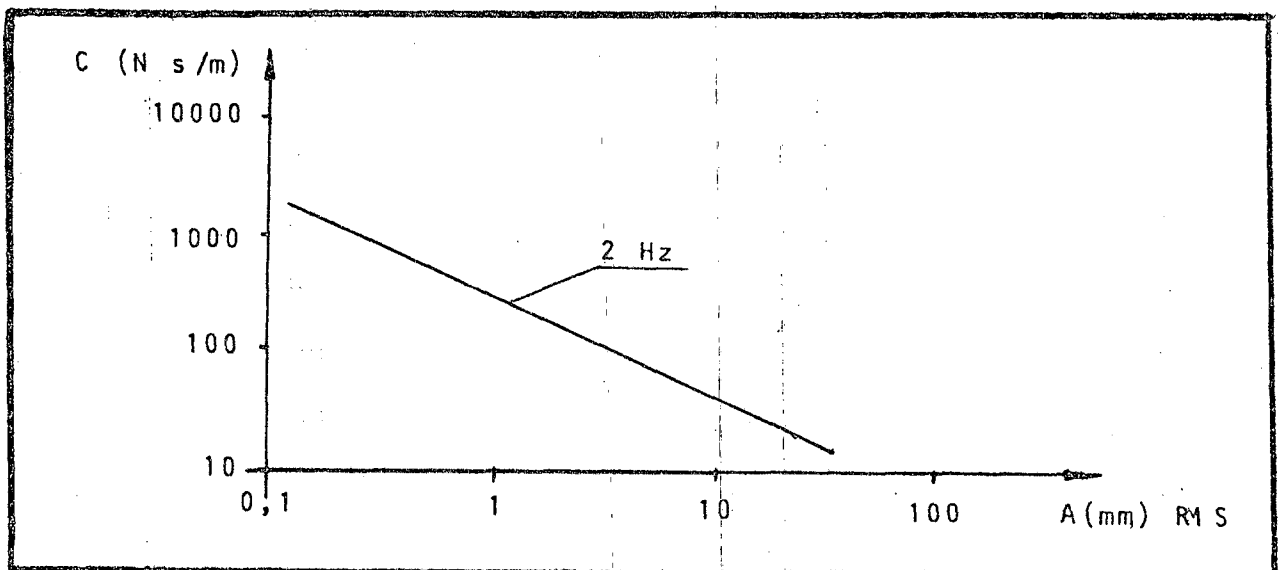


Figura 12 - Gráfico log X log para Deslocamento X Amortecimento para 2 Hz

Na figura 12 estão representados os mesmos valores da figura 11, em um sistema de eixos log X log. Extrapolando-se a curva para amplitudes da ordem de 52 mm (37 mm RMS), encontrou-se, para o coeficiente de amortecimento, um valor da ordem de 11 kg/s, que confirma os resultados do modelo matemático (item 2.4).

O amortecimento rotacional correspondente  $\bar{c}$  é calculado a partir da equação (18), ou seja:

$$C_r = 2,75 \text{ kg m}^2/\text{s} \quad (21)$$

## APÉNDICE 2

## CIRCUITO FOTSENSÍVEL

## APÊNDICE 2

## CIRCUITO FOTOSENSÍVEL

Este circuito, apresentado no esquema abaixo (fig. 1), mostra como o sistema de registros do selecionador de peças cerâmicas é energizado.

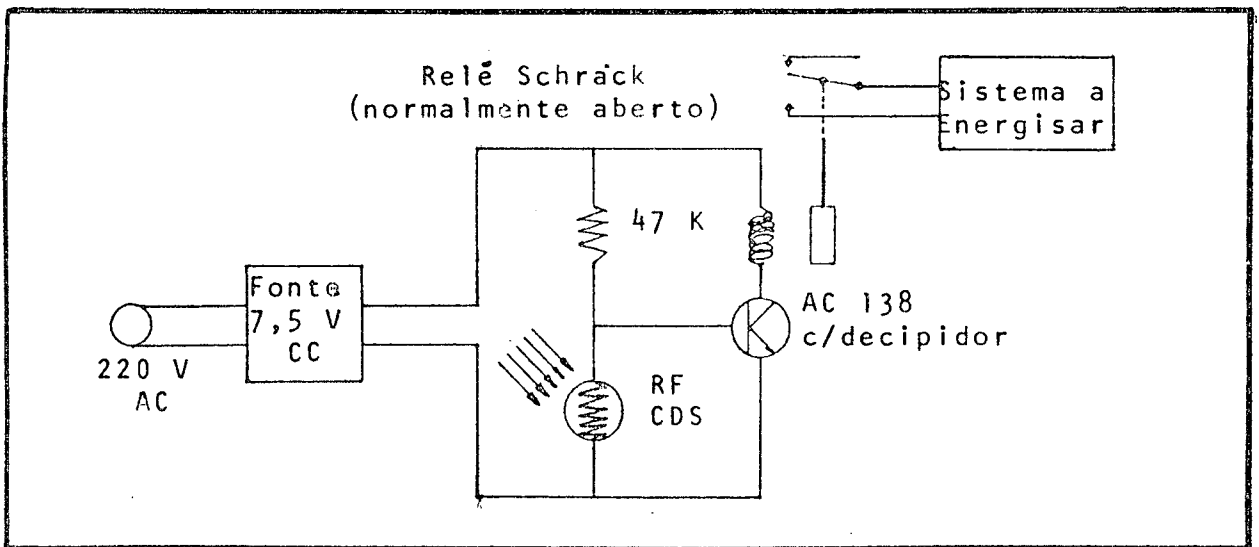


Figura 1 - Circuito Fotosensível

A fonte de 7,5 V, corrente contínua, alimenta o circuito. Quando a peça cerâmica passa, fecha a célula, aumentando imediatamente a resistência RF de 100  $\Omega$  para 50.000  $\Omega$  (ausência de luz), abrindo o transistor AC 138, energizando a bobina e acionando o relê, permitindo, desta maneira, a ativação elétrica dos registradores de acordo com as dimensões das peças a serem selecionadas.

## APÉNDICE 3

CHOQUE NO APALPADOR

## APÊNDICE 3

## CHOQUE NO APALPADOR

Este cálculo se torna importante para demonstrar que quantidade de cada peça não será verificada no selecionador, ou seja, o tempo de corrido desde o primeiro impacto até o segundo toque do apalpador na peça cerâmica. Para tanto, parte-se do modelo matemático apresentado no Apêndice 1, cuja equação diferencial é:

$$I_T \ddot{\theta}_1 + CR^2 \dot{\theta}_1 + kl_1 \theta_1 = 0 \quad (1)$$

A equação diferencial (1) pode ser transformada [7] em:

$$\ddot{\theta}_1 + 2\zeta \omega_{ne} \dot{\theta}_1 + \omega_{ne}^2 \theta_1 = 0 \quad (2)$$

Considerando o sistema de vibrações livres amortecidas, com amortecimento subcrítico, tem-se que a solução da equação (2) é dada por [7]:

$$\theta = Ae^{-\zeta\omega_{ne}t} \text{sen}(\sqrt{1-\zeta^2}\omega_{ne}t + \phi) \quad (3)$$

Para calcular o valor do fator de amortecimento, usa-se o coeficiente de amortecimento crítico (expressão (17) do Apêndice 1) e o coeficiente de amortecimento que foi obtido experimentalmente (expressão (21) também do Apêndice 1).

$$\text{Fator de Amortecimento } \zeta = \frac{C}{C_c} = \frac{2,75}{4,11}$$

Portanto,  $\zeta = 0,67$



Já o valor da frequência natural do sistema foi determinado experimentalmente (expressão (14) do Apêndice 1).

$$\omega_{ne} = 12,40 \text{ s}^{-1}$$

Substituindo os valores de  $\zeta$  e  $\omega_{ne}$  na equação (3), obtêm-se:

$$\theta = Ae^{-8,3t} \text{ sen}(9,2t + \phi) \quad (4)$$

Derivando a equação (4),

$$\dot{\theta} = A[-8,3 e^{-8,3t} \text{ sen}(9,2t + \phi) + e^{-8,3t} 9,2 \cos(9,2t + \phi)] \quad (5)$$

Partindo-se da suposição que a linha produz  $2\text{m}^2$  de peças por minuto, isto corresponde a 33 peças de  $200 \times 300$  mm em um minuto, ou seja, 0,55 peças por segundo.

Admitindo-se que as peças se deslocam com a aresta de 200 mm na direção da linha e que o espaço entre as peças é 200 mm, chega-se à velocidade da linha:

$$v_{\text{linha}} = 0,55 \times 200 \times 2 = 220 \text{ mm/s} \quad (6)$$

A seguir, serão determinadas as condições iniciais de velocidade e de deslocamento do sistema massa-mola-amortecedor, equivalente ao subsistema de amplificação.

A velocidade inicial de subida do apalpador pode ser calculada a partir da figura 1. Admitindo-se que o diâmetro do apalpador é de 40 mm e que entre as posições "A" e "B" este esteja em contato com a peça, a condição inicial de velocidade será calculada aproximadamente como:

$$\dot{x}_{t=0} = (2/8,72)220 \cong 50,47 \text{ mm/s} \quad (7)$$

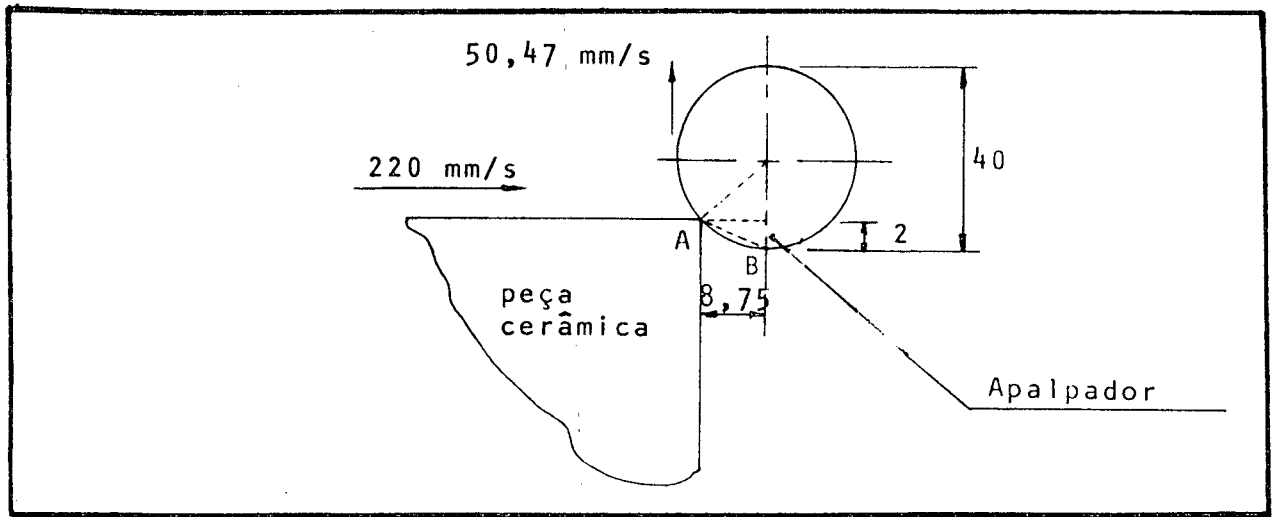


Figura 1 - Comportamento do Apalpador no Contato Inicial

Da expressão (7) e da distância de 80 mm (figura (2) do Apêndice 1) entre o apalpador e o pivô principal, obtêm-se a velocidade angular inicial:

$$\dot{\theta}_t = 0,63 \text{ rd/s} \quad (8)$$

O deslocamento angular inicial será calculado a partir do máximo deslocamento (52 mm) do suporte do amortecedor, distante 500 mm do pivô principal.

$$\theta_{t=0} = 0,104 \text{ rd} \quad (9)$$

Aplica-se as condições iniciais (8) e (9) nas equações (4) e (5), obtendo-se:

$$0,104 = A \text{ sen } \phi \quad (10)$$

$$0,63 = 0,104/\text{sen } \phi (-8,3 \text{ sen } \phi + 9,2 \text{ cos } \phi) \quad (11)$$

Das equações (10) e (11), obtêm-se:

$$\phi = 0,57 \text{ rd} \quad (12)$$

$$A = 0,19 \text{ rd} \quad (13)$$

Os choques do apalpador contra a peça cerâmica estão apresentados na figura 2 e foram calculados a partir das equações (4) e (5). Os choques foram admitidos por simplificação, como sendo totalmente elásticos.

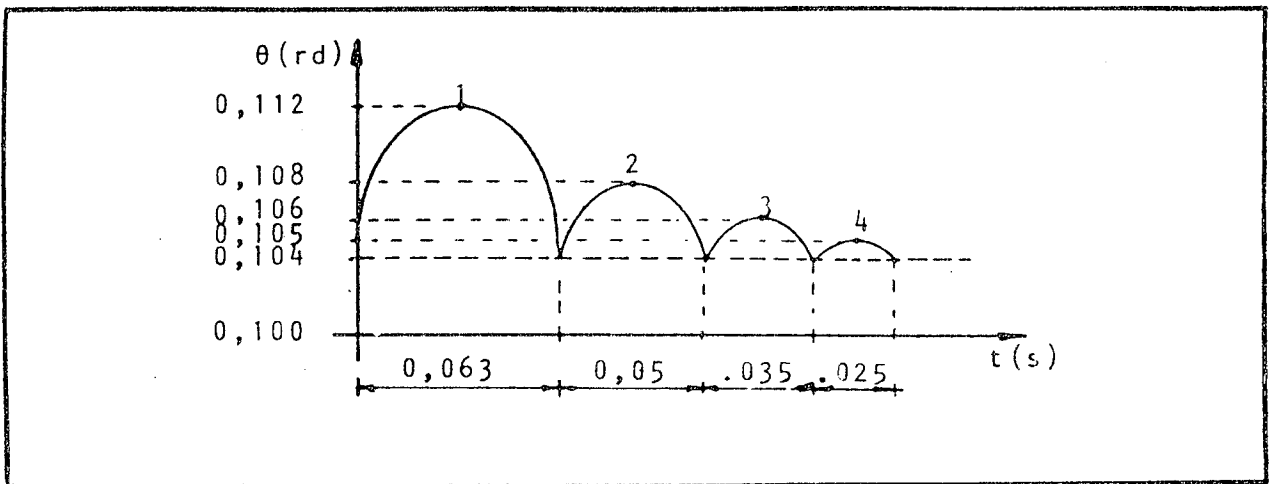


Figura 2 - Choque entre o Apalpador e a Peça Cerâmica

Para as peças cerâmicas de dimensões 200 X 300 mm, que foram utilizadas nos testes, o erro de interfaixa é da ordem de 0,40 mm (ver Quadro 1 - item 2.2), que corresponde a um ângulo de giro de 0,40/80, isto é, 0,005 rd.

O fim dos choques foi considerado no instante em que a amplitude  $\theta < 0,104 + 0,005$ .

Da figura 2, considera-se que então isto se dá em um tempo inferior a 0,063 s.

O tempo que a peça passa sob o apalpador pode ser calculado a par-

tir da velocidade da linha e da dimensão da peça:

$$t_{\text{total}} = 200/220$$

ou seja,

$$t_{\text{total}} = 0,91 \text{ s} \quad (14)$$

Considerando a velocidade uniforme da linha, a percentagem de peça que não é verificada será inferior a  $0,063/0,91 \approx 0,07$ . Para a peça de 200 mm de largura, isto corresponde a 13,8 mm não testados.