

UNESP
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

GARRA MEC. FLEXÍVEL PARA
MANIP. DE OBJETOS COM DIV.
GEOM. - MEC. COM PULSO E
DOIS DEDOS

Guaratinguetá
1995



1110000276



*"Garra Mecânica Flexível para
Manipulação de Objetos com
Diversas Geometrias - Mecanismo
com Pulso e Dois Dedos"*

LUIZ HELENO MOREIRA DUQUE

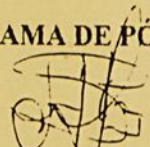
"GARRA MECÂNICA FLEXÍVEL PARA MANIPULAÇÃO DE OBJETOS COM DIVERSAS
GEOMETRIAS - MECANISMO COM PULSO E DOIS DEDOS"

LUIZ HELENO MOREIRA DUQUE

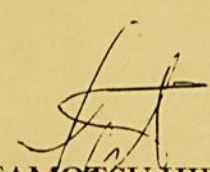
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA"

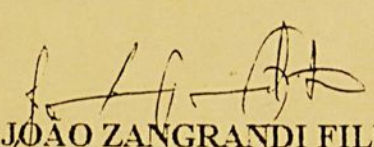
ESPECIALIDADE: MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROJETOS E MATERIAIS

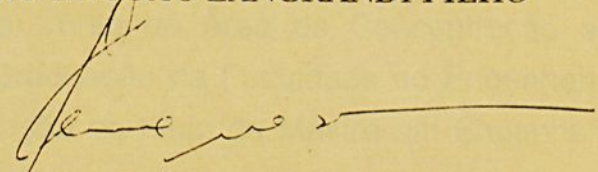
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Araildo Lima da Silva
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. TAMOTSU HIRATA
Orientador


Prof. Dr. JOÃO ZANGRANDI FILHO

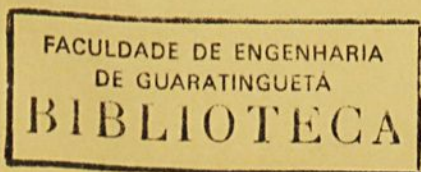

Prof. Dr. JOÃO CARLOS MENEZES

Julho de 1995

"GARRA MECÂNICA FLEXÍVEL PARA MANIPULAÇÃO DE
OBJETOS COM DIVERSAS GEOMETRIAS - MECANISMO COM PULSO E
DOIS DEDOS"

LUIS HELENO MOREIRA DUQUE

Trabalho apresentado ao Conselho de Curso da Área de Concentração em
Projetos e Materiais do Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia,
Câmpus de Guaratinguetá, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia
Mecânica.



276

Guaratinguetá, julho de 1995

iii

276

T 007.52(043)

D946 g

agradecimentos

A todos que colaboraram para que este trabalho se concretizasse.



dedicatória

À minha esposa e filhas

v



"E Deus então contemplou a sua obra e viu que tudo era bom, era o sexto dia"
(Gênesis, I-31)



RESUMO

Este trabalho tem por finalidade executar o Projeto, construir o Protótipo e avaliar as Condições de Operação de um modelo de Garra Mecânica Flexível destinado a executar tarefas que envolvam os Movimentos de "PINÇAR" e de "AGARRAR" objetos com geometrias diversas, de forma semelhante aos correlatos movimentos realizados pela mão humana. Foi estudada a estabilidade na pega e escolhida a configuração para a construção do protótipo. Um Modelo Matemático para estudo do comportamento cinemático da garra foi obtido a partir da hipótese de que a flexão de cada dedo se devia a um momento aplicado na sua extremidade e a uma força transversal aplicada em algum ponto entre a base e a extremidade. Analisou-se os resultados do experimento e concluiu-se que o trabalho atendeu aos objetivos.



ABSTRACT

This work has the proposal to make a design, to manufacture a Prototype and evaluating the Operational Conditions of a Flexible Mechanical Robot Hand destined to grip in the "tweezers way" and to grasp objects with various geometrical forms, like the correlated movements of the human hand. It was studied the stability in the grip and was avalue the design for the prototype building. A Mathematical Model for the kinematics performance of the grip was got from the assumption that the flexion of each finger, individuality, is attributed to a active moment in its ends and a transverse active force between the base and the extremity. It was concluded that the results of the work were successful.



conteúdo

capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1	Aspectos Gerais de Automação	01
1.2	Aspectos da Mão Humana	03
1.3	Mecanismos de Garra para Manipulação	05
1.4	Objetivo	09
1.5	Desenvolvimento do Projeto	09

capítulo 2

METODOLOGIA DO PROJETO

2.1	Princípios Gerais	11
2.2	A Garra	13
2.3	Estudos sobre a Configuração da Garra	13
2.4	Descrição da Garra	24
2.5	Estabilidade na Pega por Pinçamento	26
2.5.1	Objetos com os Centros de Gravidade e Geométrico Coincidentes	26
2.5.2	Objetos com os Centros de Gravidade e Geométricos não Coincidentes	26
2.6	Critério para Determinação de Estabilidade na Pega	27
2.7	O Controle do Acionamento	27

capítulo 3

O MODELO MATEMÁTICO

3.1	Generalidades	28
3.2	O Modelo para Grandes Deformações	28



3.3	Modelo de Posicionamento do Cabo de Comando	32
3.4	Análise do Comportamento do Modelo para Deformação por Momento sob Condições Ideais de Carregamento e Variação de Parâmetros Convenientemente Escolhidos	34

capítulo 4

O EXPERIMENTO

4.1	Descrição da Bancada e dos Testes	37
4.1.1	Descrição Generalizada da Bancada	37
4.1.2	A Mesa de Suporte do Conjunto	39
4.1.3	Mesa da Plataforma Móvel para suportar os Objetos da Pega	39
4.2	O Teste de Calibração Estática do Mecanismo	40
4.2.1	Objetivo do Teste	40
4.2.2	A Instrumentação do Sistema	41
4.2.2.1	Estabelecimento do Contato entre a Garra e a Instrumentação	42
4.2.3	Os Dados Obtidos com a Calibração Estática do Sistema	44
4.2.3.1	Comentários sobre os Gráficos	51

capítulo 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1	Verificação da Sensibilidade do Modelo Matemático Proposto	52
5.1.1	Características do Protótipo	52
5.2	Gráfico de Comparação de Resultados	53
5.3	Comentários sobre os Gráficos	55

capítulo 6

CONCLUSÕES	56
----------------------	----

BIBLIOGRAFIA	57
------------------------	----



índice de figuras

1.1	Mecanismos da mão humana	04
1.2	Mecanismo de Shimashi e Sawase.	05
1.3	Mecanismo de Hwang e Todo	06
1.4	Mecanismo de Bucholz e Armstrong	06
1.5	Mecanismo de Yoshimura e Masui	07
1.6	Mecanismo de Mimura e Funahashi	08
1.7	Mecanismo de Mendoza e Scieszku	08
2.1	Primeira Proposta de Configuração para Garra Mecânica	15
2.2	Segunda Proposta de Configuração para Garra Mecânica	16
2.3	Terceira Proposta de Configuração para Garra Mecânica	17
2.4	Quarta Proposta de Configuração para Garra Mecânica	18
2.5	Quinta Proposta de Configuração para Garra Mecânica	19
2.6	Sexta Proposta de Configuração para Garra Mecânica	20
2.7	Sétima Proposta de Configuração para Garra Mecânica	21
2.8	Oitava Proposta de Configuração para Garra Mecânica	22
2.9	Nona Proposta de Configuração para Garra Mecânica	23
2.10	Configuração escolhida para construção do protótipo	25
2.11	Esquema de Controle do Acionamento	27
3.1	Coordenadas de Controle da Extremidade do Dedo	29
3.2	Configuração Geométrica do Dedo	32
3.3	Variação Percentual da Deformação na Direção Transversal à Lâmina	34
3.4	Variação Percentual da Deformação na Direção do Cabo de Tração	35
3.5	Comparação do Comportamento das Deformações nas Direções X e Y	36
4.1	Vista Geral Superior da Bancada.	38
4.2	Vista Geral Lateral da Bancada	38
4.3	Vista dos Mecanismos de Acionamento da Garra e Plataforma Móvel	39
4.4	Vista do Conjunto da Montagem para Calibração Estática	40
4.5	Vista de Instrumentação da Montagem para Calibração	41
4.6	Vista do Altimetro e do Homímetro	42
4.7	Vista do Relógio Comparador e Pesos Calibrados	43



4.8	Detecção do Primeiro Contato entre Altimetro e Extremidade da Garra	43
4.9	Calibração Estática da Garra em IDA (leitura na direção X). .	45
4.10	Calibração Estática da Garra em VOLTA (leitura na direção X). .	46
4.11	Comparação das Curvas de Calibração Estática da Garra em IDA e VOLTA	47
4.12	Calibração Estática da Garra em IDA (leitura na direção do Cabo de Tração)	48
4.13	Calibração Estática da Garra em VOLTA (leitura na direção do Cabo de Tração)	49
4.14	Comparação das Curvas de Calibração Estática da Garra em IDA e em VOLTA	50
5.1	Curvas Comparativas entre Modelo Matemático e Resultado Experimental (direção X)	53
5.2	Curvas Comparativas entre Modelo Matemático e Resultado Experimental (direção L)	54



índice de tabelas

4.1	Calibração Estática de IDA (leitura pelo Altímetro)	44
4.2	Calibração Estática de VOLTA (leitura pelo Altímetro).	46
4.3	Calibração Estática de IDA (leitura pelo Relógio Comparador)	48
4.4	Calibração Estática de VOLTA (leitura pelo Relógio Comparador)	49



capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 - Aspectos Gerais da Automação e dos Robôs.

Iniciaremos por interpretar e discutir o pensamento de renomados autores em Economia da Automação - entendido que o termo "automação" sempre que citado aludirá a idéia de "processo automático de se executar alguma tarefa sem, ou com o mínimo de interferência humana direta".

Os robôs, como sistemas ou partes de sistemas, têm uma significativa importância neste contexto e portanto, sendo relevante observá-los também sobre esta ótica.

"A automação , onde quer que tenha sido introduzida numa fábrica, tem pago a si mesma em três anos, e com freqüência ainda mais rapidamente.

... O principal benefício da automação, porém, reside em eliminar - ou pelo menos minimizar - os custos de Não se fazer algo.

... A automação introduz padrões de qualidade e de controle de qualidade em todas as etapas do processo. Com igual importância, ela detecta e aponta uma deficiência de qualidade no momento e no local que ela ocorre, e o faz sem qualquer custo adicional.

... estimar os benefícios da automação também exige uma mudança do modo pelo qual a maioria dos administradores ainda encara o processo de fabricação e sua estrutura de custos. ... " (Drucker, 1989)



"Quando falamos em tecnologia de informação não nos limitamos aos computadores; ela abrange toda forma de gerar, armazenar, veicular, processar e reproduzir a informação. ... computadores, robôs, são ferramentas para processar informações. ... a tecnologia da informação cobre, ou deveria cobrir, todos esses itens." (Furlan, 1994)

Como podemos avaliar, outras áreas do conhecimento - independentemente da área tecnológica - manifestam preocupação com a automação, e de forma especial com os ROBÔS.

Um outro aspecto bastante claro é o de ser o robô a ferramenta escolhida para a execução dos serviços de natureza física no futuro e isto nos leva a olhar para lá com a certeza de vê-los com uma presença muito forte.

Especialmente no Brasil, há ainda um outro entrave de natureza legal no que tange ao uso de robôs, especialmente nas fábricas, pois a Constituição Federal de 1988, restringe o uso destes, com vistas à proteção dos direitos dos trabalhadores.

"O Japão, atualmente, é o país que dispõe do maior número de robôs, 274 mil, seguido pelos Estados Unidos, com 41 mil. No Brasil, estes equipamentos utilizados principalmente pela indústria automobilística, não vão além de 100 unidades.

... O baixo nível de automação faz com que, no Brasil, uma média de 25.700 peças industriais sejam rejeitadas em cada Milhão produzido, contra um índice de apenas 200 por Milhão nos países desenvolvidos. Os períodos de entrega de encomendas aqui também ficam em torno de trinta e sete dias, contra apenas dois nos países com parques automatizados. ..." (O ESTADO DE SÃO PAULO, 1994 (Domingo, 4 de setembro))



Nossa conclusão, com base na análise destes fatos argumentados é, em muito, positivo e necessário o processo de automação no Brasil. Possíveis dificuldades futuras junto a Sindicatos e respectiva legislação regulamentar surgirão, mas nos parece ser a automação inevitável. Nos parece igualmente claro que, todos os esforços nesta direção, no caso do Brasil, serão ainda pouco para que possamos rapidamente atingir o nível de automação que nos possa garantir padrões condizentes com os do primeiro mundo de hoje.

1.2 - Aspectos da Mão Humana.

Na evolução das espécies do Reino Animal de forma geral, os Biólogos -- em especial os estudiosos do processo evolutivo -- tomam com relativa importância, a capacidade de adaptação daquelas, especialmente no que tange à alteração de características do meio em que vivem buscando beneficiar-se com isto. Muito desta capacidade depende de como cada espécie é capaz de dispor elementos físicos do meio para construção de defesas contra inimigos naturais. (Altenbrought, 1981)

A mão humana se olhada como "ferramenta física de trabalho", torna-se um extraordinário e complexo instrumento, especialmente se analisarmos a Geometria dos Movimentos e a Controlabilidade. Dentro ainda deste contexto, são de extraordinária importância os movimentos executados -- quando agindo em conjunto -- pelos dedos Indicador e Polegar.

Os Movimentos que conferem a estes dois dedos a "Capacidade de Agarrar" e a "Capacidade de Pinçar" e estas conferem à Mão Humana a extraordinária capacidade para executar trabalhos de natureza refinada. O funcionamento básico da mão humana é regido por um complexo sistema composto de ossos, músculos e nervos. Os ossos são os responsáveis pela constituição estrutural, enquanto que os



constituição estrutural, enquanto que os músculos e nervos se encarregam do acionamento e controle, tanto do controle motor quanto do controle sensorial.

A cinemática da mão humana é, naturalmente tridimensional, mas os movimentos dos dedos indicador e polegar em conjunto com o posicionamento do pulso podem ser analisados, de forma razoável, em duas dimensões. A seguir poderemos observar na figura 1.1 uma esquematização de conjunto da mão humana, conforme disposto no trabalho de BUCHHOLZ, B. ARMSTRONG, J.T., (1992), publicado no J. Biomechanics, Vol. 25, nº 2, p. 148-162, de onde retiramos a referida figura.

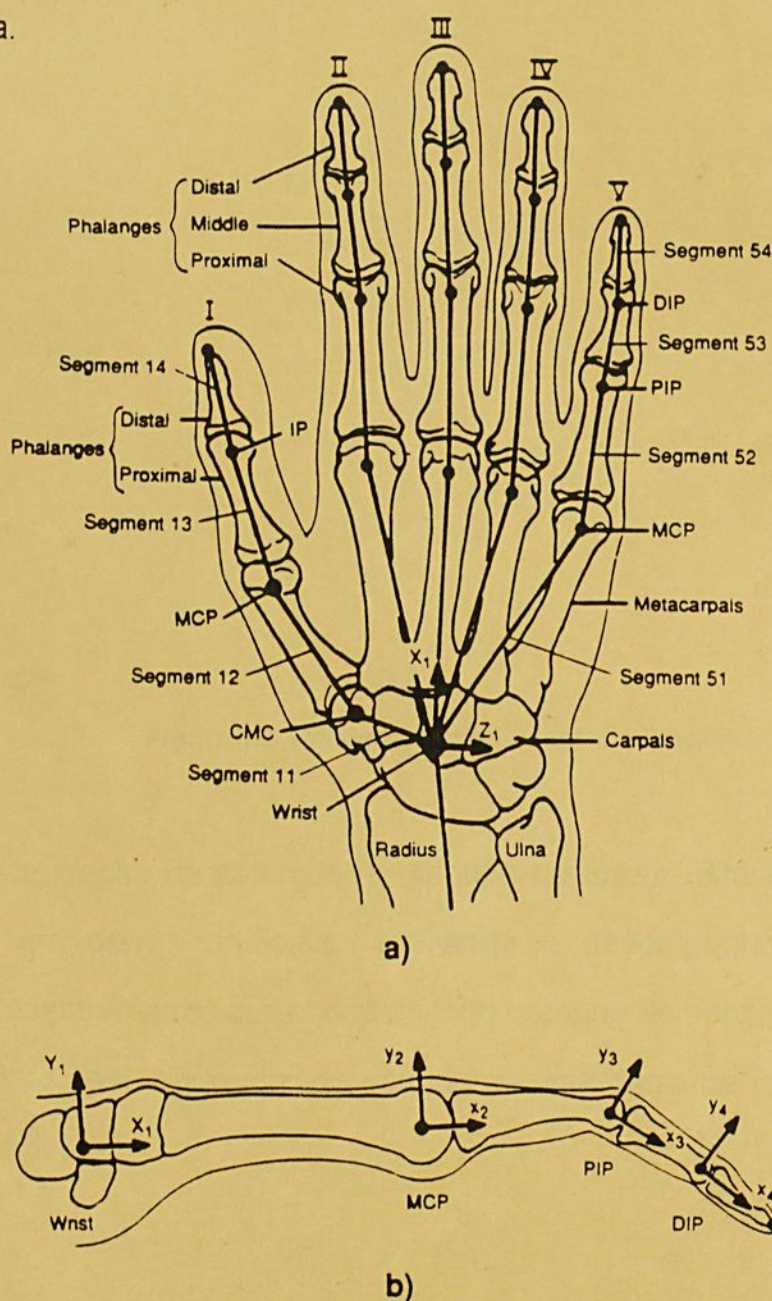


Figura 1.1 - Mecanismos da mão humana.

1.3 - Mecanismos de Garra para Manipulação.

A idéia de se configurar a mão artificial fisicamente semelhante à mão humana é sustentada pela argumentação de se poder, desta forma, aumentar-se a possibilidade de manipular, com relativa facilidade, a maioria dos objetos da vida cotidiana. Para se estabelecer o espaço adequado aos movimentos dos dois dedos tornou-se necessário estabelecer o critério de mesmo torque. Concluiu-se que o espaço de movimentação dos dois dedos em conjunto deveria ser analisado a partir de um plano que contivesse o dedo indicador. (Shimashi e Sawase, 1994).

Figura 1.2

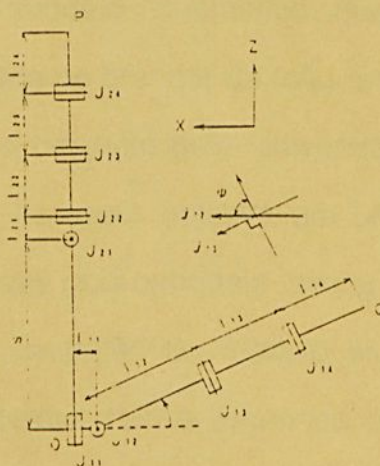


Figura 1.2 - Mecanismo de Shimashi e Sawase.

A concentração de esforços no sentido de tornar estáveis as ligações e os movimentos em garras artificiais, avaliando o desempenho destas tendo por comparador os parâmetros correlatos da mão humana demonstrou que o movimento de agarramento pode ser realizado usando-se uma garra de robô. (Hwang e Todo, 1991). Figura 1.3

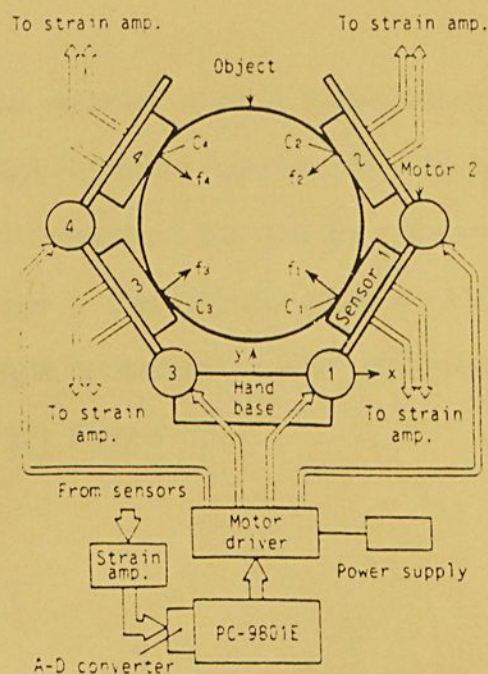


Figura 1.3 - Mecanismo de Hwang e Todo.

O desenvolvimento de modelo cinemático que pudesse pré-determinar parâmetros a cerca da capacidade de prender da mão humana foi o alvo de estudos desenvolvidos recentemente em conjunto pela Universidades de Massachussets e Michigan nos Estados Unidos, os quais objetivavam uma melhor controlabilidade das garras mecânicas. Concluíram que o modelo tornou-se limitado na precisão de flexão em ângulo. Uma outra limitação do modelo se dá no fato de que seus elementos prendem apenas objetos com a forma de cilindro circular. (Bucholz e Armstrong, 1991). Figura 1.4

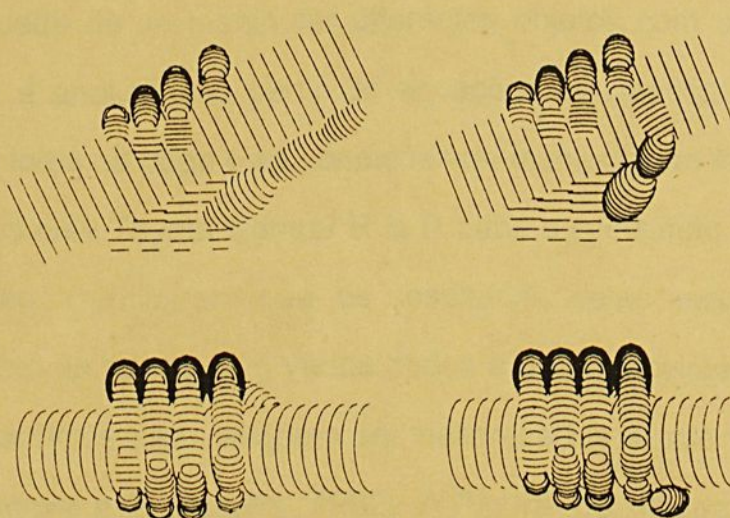


Figura 1.4 - Mecanismo de Bucholz e Armstrong.

A metodologia de estudos para a movimentação - a partir da atividade muscular - de um braço humano quando da realização por este de tarefas específicas, a partir da conjectura de que os músculos sejam os contrácteis e elásticos. Concluíram que a metodologia para a obtenção do movimento ótimo visava minimizar a energia consumida pelos músculos ao longo do processo. (Yoshimura e Masui, 1992). Figura 1.5

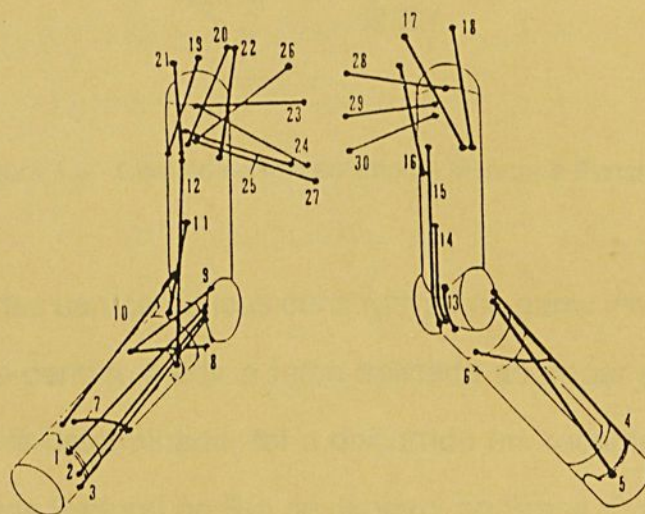


Figura 1.5 - Mecanismo de Yoshimura e Masui

A possibilidade de se manipular diferentes objetos com uma mesma garra mecânica flexível e analisá-la a partir de equações cinemáticas, considerando o sensoramento de força na pega e as condições de manipulação foi a proposição de estudos realizados pela Toyota Central R & D Labs e o Instituto de Tecnologia de Nagoya, no Japão. Concluíram que os resultados deste estudo poderiam ser utilizados no projeto de garras com vários dedos e que o movimento dos pontos de contacto das superfícies não deveriam ser desprezados e que seus efeitos eram significativos. (Mimura e Funahashi, 1992). A Figura 1.6 mostra a posição básica para o contacto nos padrões do trabalho.

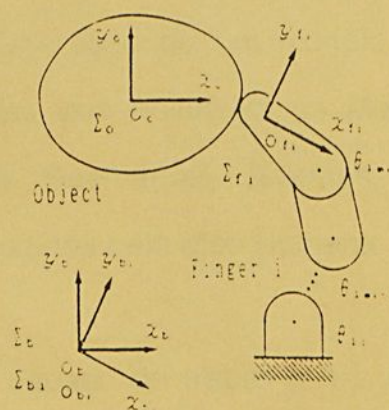


Figura 1.6 - Contato no Mecanismo de Mimura e Funahashi.

A descrição das características construtivas de garra mecânica equipada com sensor de força que permite medir a força aplicada ao pegar um objeto, bem como aplicar uma força pré-determinada, foi o discorrido em recente estudo realizado na COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, no Brasil. Concluíram ser possível a construção de um mecanismo integrado garra / sensor com pequena dimensão e com resposta e flexibilidade razoáveis. (Mendoza e Scieszku, 1989). Figura 1.7

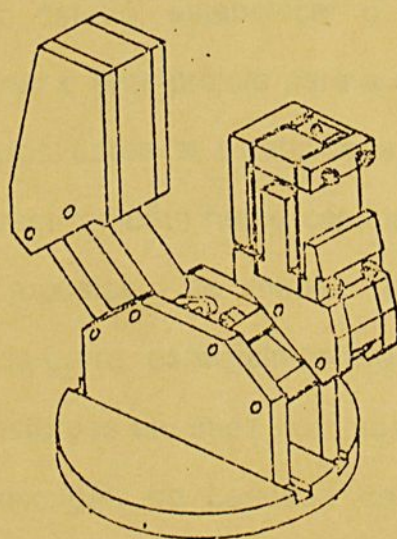


Figura 1.7 - Mecanismo de Mendoza e Scieszku.

1.4 - Objetivo.

O objetivo do presente estudo é: executar o Projeto, construir o Protótipo e avaliar as Condições de Operação de um modelo de Garra Mecânica Flexível destinada a executar tarefas que envolvam os Movimentos de "PINÇAR" e de "AGARRAR" Objetos com Geometrias Diversas, de forma semelhante aos Correlatos Movimentos realizados pela Mão Humana.

Será considerado o espaço de trabalho e a capacidade de agarramento e pinção como sendo o determinante de semelhança entre a mão humana e o objeto do presente trabalho; sendo portanto nosso objetivo " trabalhar com a semelhança funcional -- e não física -- entre o objeto do presente estudo e a mão humana ".

1.5 - Desenvolvimento do Projeto.

Posicionar a proposta de trabalho no contexto geral da área tecnológica; definir o estado de arte e estabelecer os objetivos do trabalho, está compreendido no capítulo 1. O capítulo 2 tem por finalidade estabelecer os princípios gerais sobre os quais se desenvolveu o estudo; estabelecer o volume e a capacidade de trabalho, bem como determinar o ante-projeto para a construção do protótipo a ser construído e testado. Estudos sobre a estabilidade na pega e sustentação da escolha de configuração foram também neste capítulo explorados. Compreendido no capítulo 3, ficou a proposição de modelo matemático para estudo do comportamento cinemático da garra, especialmente o posicionamento e a trajetória dos elementos de pega e esforços atuantes nos mesmos. No capítulo 4, ficam as descrições da garra, a descrição da bancada de testes, o experimento e a calibração da garra com o levantamento das curvas de posicionamento dos dedos e respectiva precisão. No capítulo 5 analisou-se os resultados do experimento,



concluiu-se sobre o desempenho geral do Protótipo e dos modelos propostos, especialmente da sensibilidade do modelo matemático. No capítulo 6, apresentou-se as conclusões sobre o trabalho.



capítulo 2

METODOLOGIA DO PROJETO

2.1 - Princípios Gerais.

Os procedimentos, de forma geral, visarão uma metódica que impeça o projeto de se afastar das idéias centrais da proposta.

* *OPERACIONALIDADE* - estabelecerá que o objetivo do estudo é aproximar ao máximo a capacidade de operar da Garra à capacidade da mão Humana.

* *ERGONOMIA* - definirá as dimensões do modelo, em conjunto com a proposição anterior, estabelecerá capacidade de trabalho próxima à da mão humana.

* *GENERALIDADE* - estabelecerá a priorização pelos procedimentos lógicos e simples na construção e operação do sistema, preferencialmente a partir de subconjuntos operacionais já disponíveis para utilização.

No Modelamento Matemático, além da solução do problema, procurar-se-á também generalizar com vistas a uma abordagem sistêmica que permita estender os resultados obtidos a problemas de natureza semelhante. É prioridade de esforços neste projeto a Natureza Experimental e a Avaliação de Desempenho do Protótipo.



O volume de trabalho da garra estará compreendido entre os dedos e o pulso, e também será da ordem de grandeza dos correspondentes elementos da mão humana.

Tendo por objetivo este esforço estudar apenas as características da pega da garra e tendo a garra os dedos em contraposição, parece-nos bastante razoável, para efeitos do estudo acadêmico, simplificar o raciocínio, e o conceito, em torno do estudo de uma área de trabalho, ao invés de volume de trabalho; o qual poderá ser facilmente determinado pela simples multiplicação da área pela espessura dos dedos.

É natural que este volume - ou área - determine os limites geométricos dos objetos a serem agarrados ou pinçados, pois em última instância as dimensões daqueles objetos não poderão exceder ao volume útil de trabalho.

Torna-se ainda significativamente importante nesta fase do estudo a definição da forma geométrica daqueles objetos a serem agarrados ou pinçados, bem como suas características físicas, tais como o peso, a dureza de superfície (resistência ao esmagamento), elasticidade, dentre outras.

As possibilidades de pega seriam possíveis para uma elevada gama de geometrias dos objetos, contudo limitar-nos-emos em nossa proposição ao estudo dos casos, para os seguintes objetos :

- 1 - **Geometria curva** - cilindro circular - e **geometria de faces não paralelas** - prisma triangular - para os objetos a serem **agarrados**.
- 2 - **Geometria de faces paralelas** - prisma retangular - para os objetos que serão **pinçados**.



A capacidade de trabalho da garra estará também ligada a outros fatores, tais como: Posição de pega; Material de constituição do Objeto a ser pegado e Equilíbrio na pega.

2.2 - A Garra.

A garra é constituída de dois dedos e um pulso, estando cada dedo simetricamente colocado em relação ao eixo do pulso com uma inclinação relativa a este. Os dedos são constituídos de elementos de pega que são fixados em lâminas de alta esbeltez. As dimensões do conjunto foram escolhidas na mesma ordem de grandeza que as dimensões da mão humana. As juntas são constituídas de lâminas, com elevado índice de esbeltez e grande elasticidade, com inércia pequena.

2.3 - Estudos sobre a Configuração da Garra.

Foi feito um estudo técnico de algumas configurações possíveis para a garra, obedecidos os propósitos e objetivos do projeto, os quais seguem e que deram uma melhor visão à escolha de um modelo para a construção do protótipo.

Para tanto, analisou-se nove possíveis configurações, isto para se ter um universo real de opções donde se estabeleceu a mais razoável das opções para construção do protótipo.

Na Figura 2.1, avaliou-se um modelo simétrico contituído de dois dedos, cada um com dois elementos de pega e duas juntas, com o engaste de pulso a 30 graus da linha central do pulso, para cada dedo. Na Figura 2.2, estudou-se um modelo alternativo, semelhante ao da figura anterior, porém não simétrico, onde um dedo apresenta quatro elementos de pega e o outro dedo, três. Na Figura 2.3, avaliou-se um modelo onde cada dedo apresentava quatro elementos de pega, simetria e



engaste de pulso também a 30 graus da linha central do pulso. Na Figura 2.4, analisou-se um modelo não simétrico, com engaste de pulso a 30 graus da linha central do pulso e elementos de pega, três em um dedo e dois no outro, dispostos de forma assimétrica. Semelhante ao modelo da figura anterior. Na Figura 2.5 avaliou-se um modelo simétrico com engaste de pulso a 30 graus da linha central do pulso e três elementos de pega em cada dedo. Na Figura 2.6 trabalhou-se com um modelo semelhante ao disposto na Figura 2.1, onde variou-se o ângulo de engaste do pulso para 45 graus da linha central do pulso. Na Figura 2.7 trabalhou-se com um modelo não simétrico, com engaste de pulso a 45 graus da linha central do pulso e com um dos dedos constituídos de um elemento de pega e uma junta e o outro com dois elementos de pega e duas juntas. Na Figura 2.8, avaliou-se um modelo semelhante ao da figura anterior no qual se introduziu mais um elemento de pega em cada dedo. Finalmente na Figura 2.9 avaliou-se um modelo com quatro elementos de pega e quatro juntas em cada dedo, simétrico e com engaste de pulso a 45 graus da linha central do pulso.

Em linhas gerais, as vantagens obtidas com o aumento do número de juntas e de elementos de pega estão ligadas ao aumento da capacidade de agarramento do conjunto, e as desvantagens disto ficam na maior dificuldade de controle de posições e velocidades. Um outro aspecto favorável é o aumento do volume de trabalho quando se aumenta o ângulo entre os dedos e o eixo central do pulso, mas isto acarreta a desvantagem de se ter que fletir mais os dedos para executar os trabalhos de pega, o que implica em um aumento direto do esforço dos motores, com conseqüente aumento do consumo de energia.



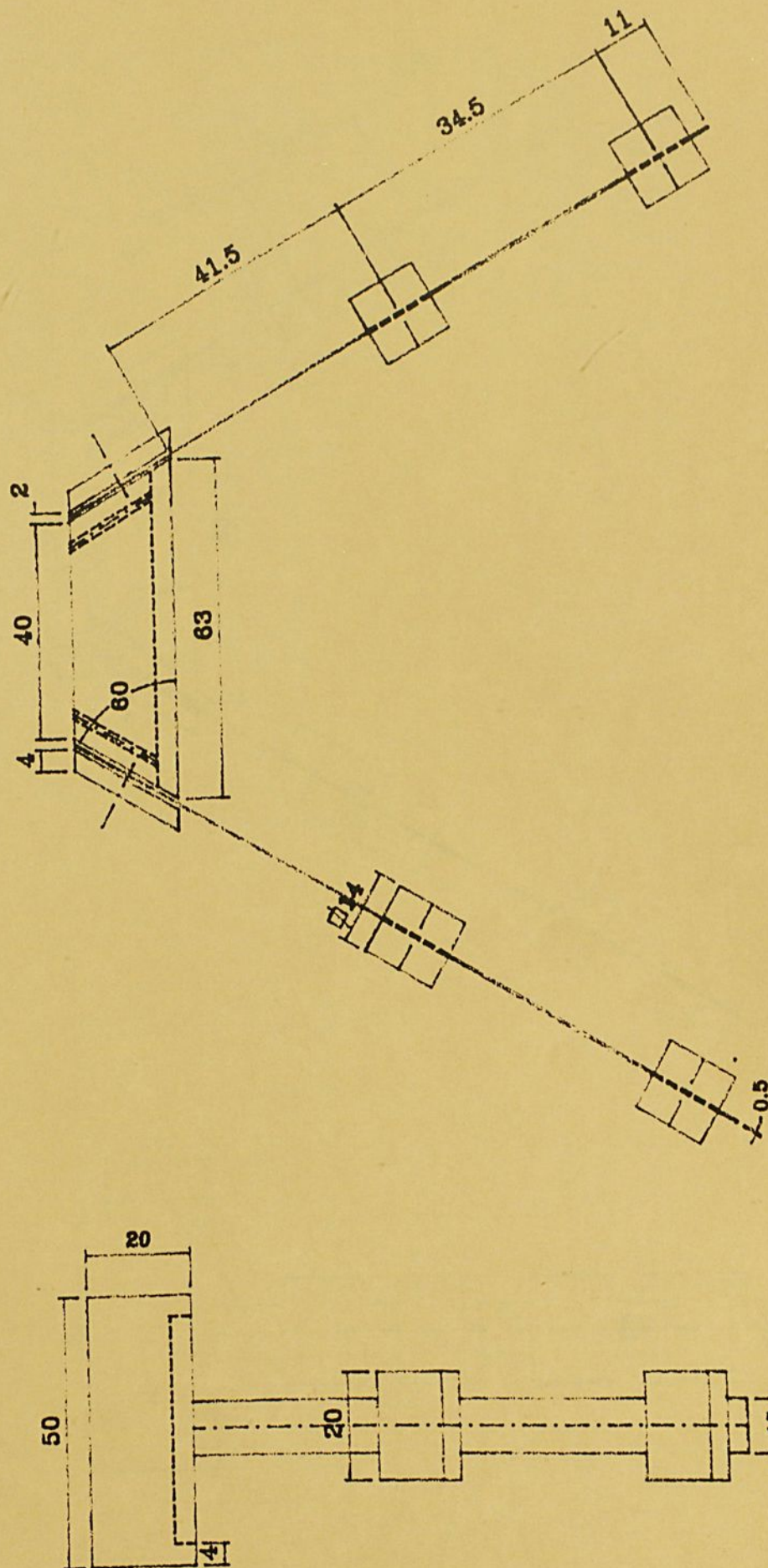


Figura 2.1- Primeira Proposta de Configuração para Garra Mecânica.

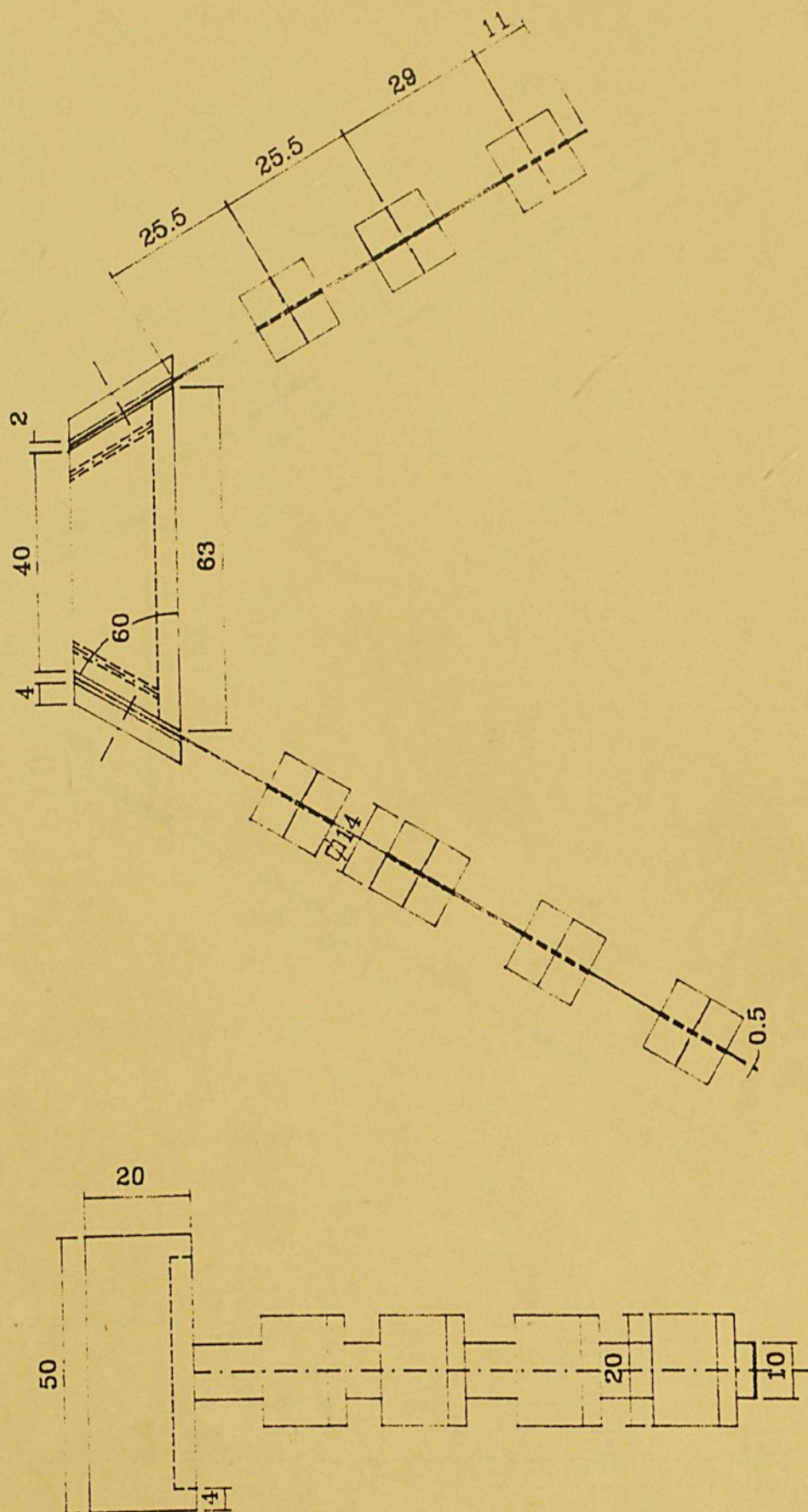


Figura 2.2- Segunda Proposta de Configuração para Garra Mecânica.

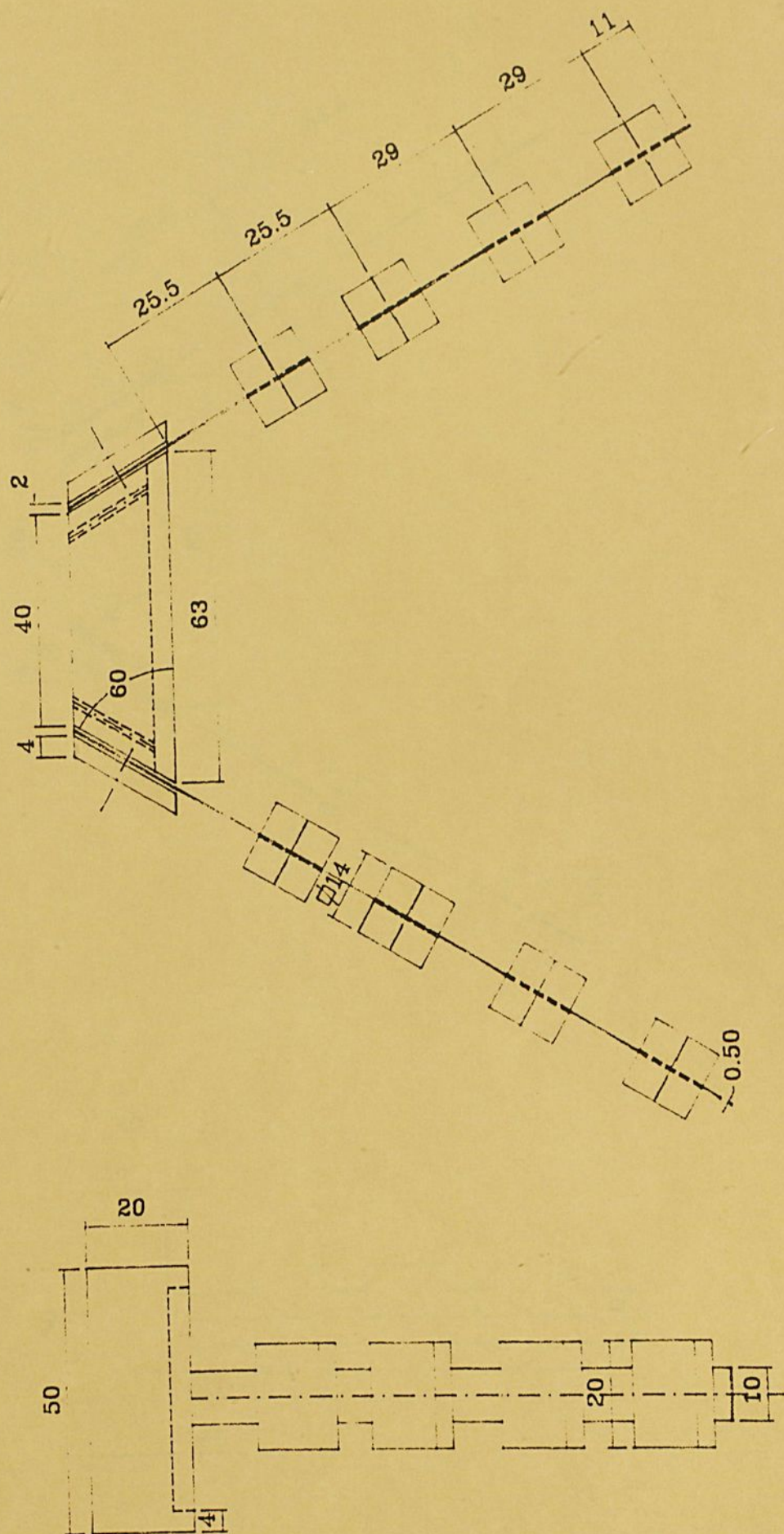


Figura 2.3- Terceira Proposta de Configuração para Garra Mecânica.

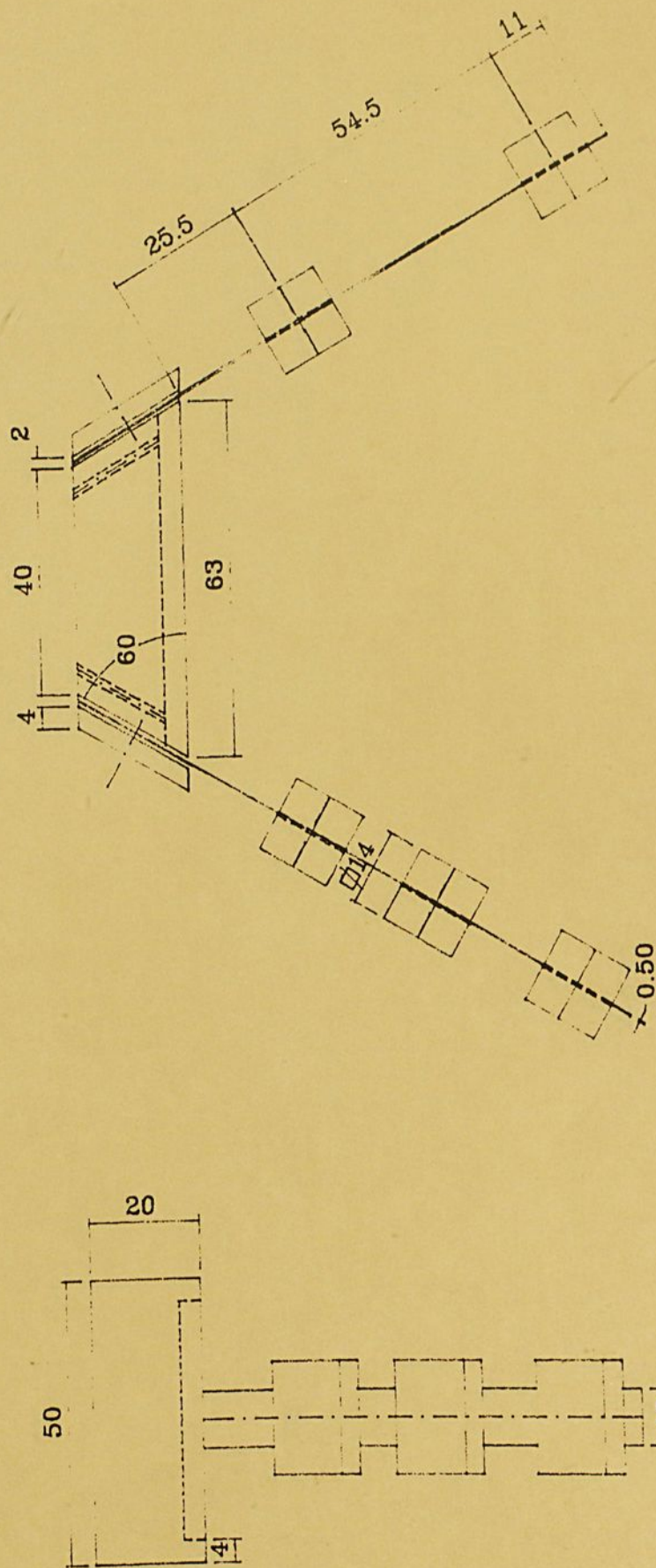


Figura 2.4- Quarta Proposta de Configuração para Garra Mecânica.

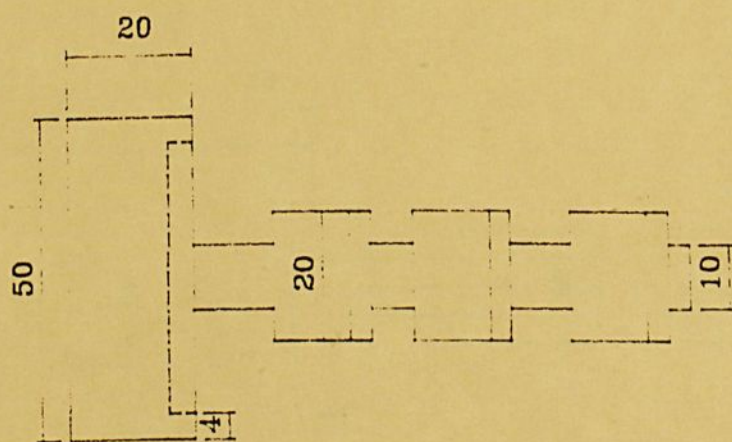
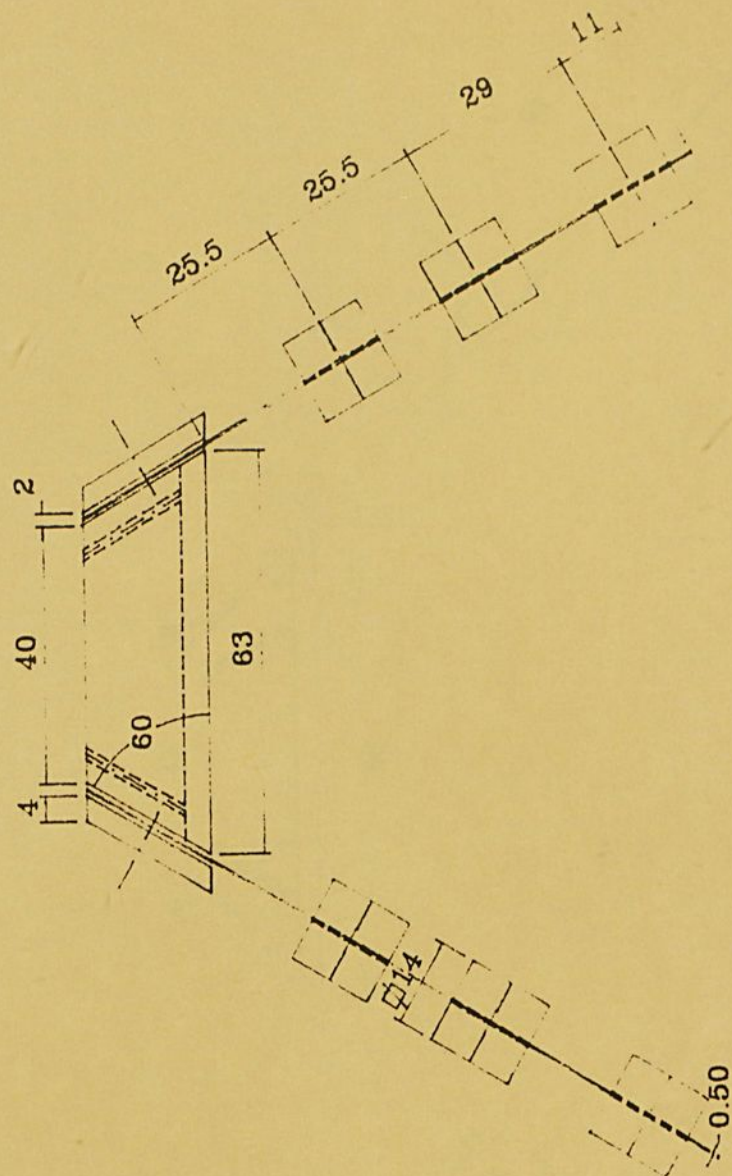


Figura 2.5- Quinta Proposta de Configuração para Garra Mecânica.

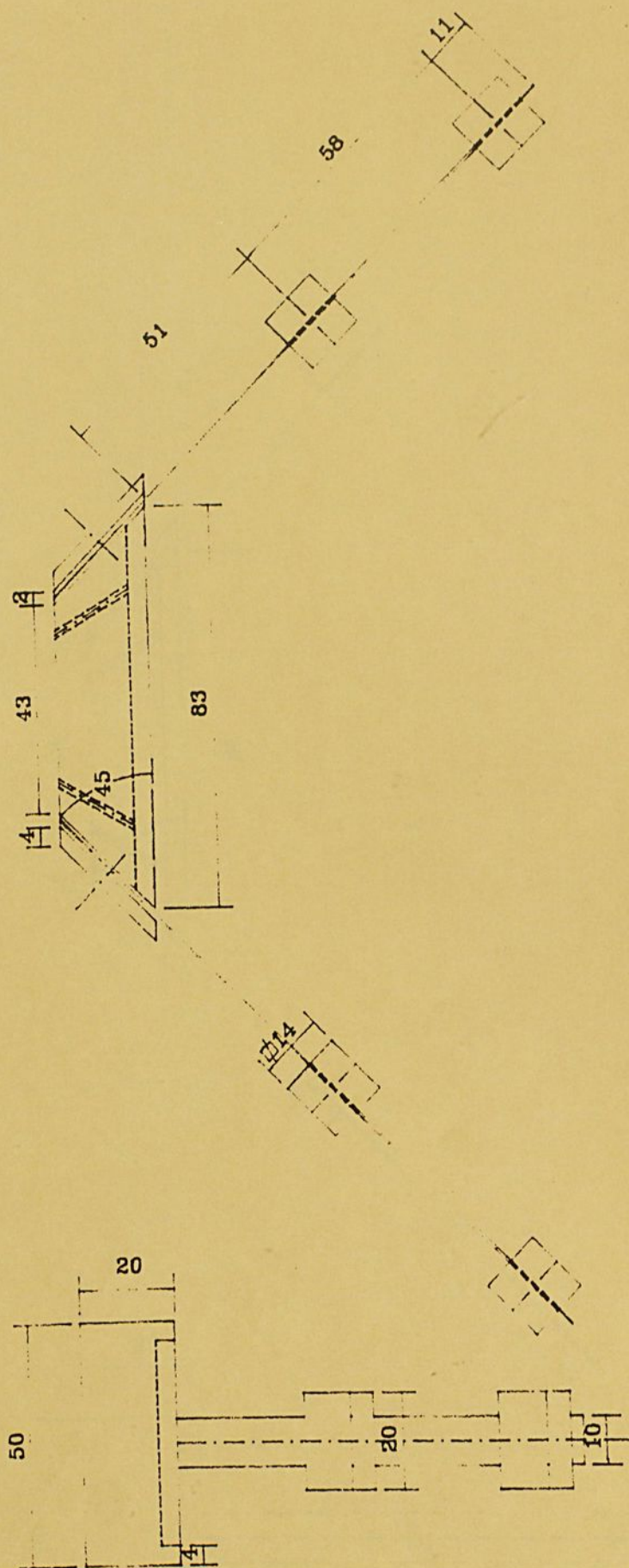


Figura 2.6- Sexta Proposta de Configuração para Garra Mecânica.

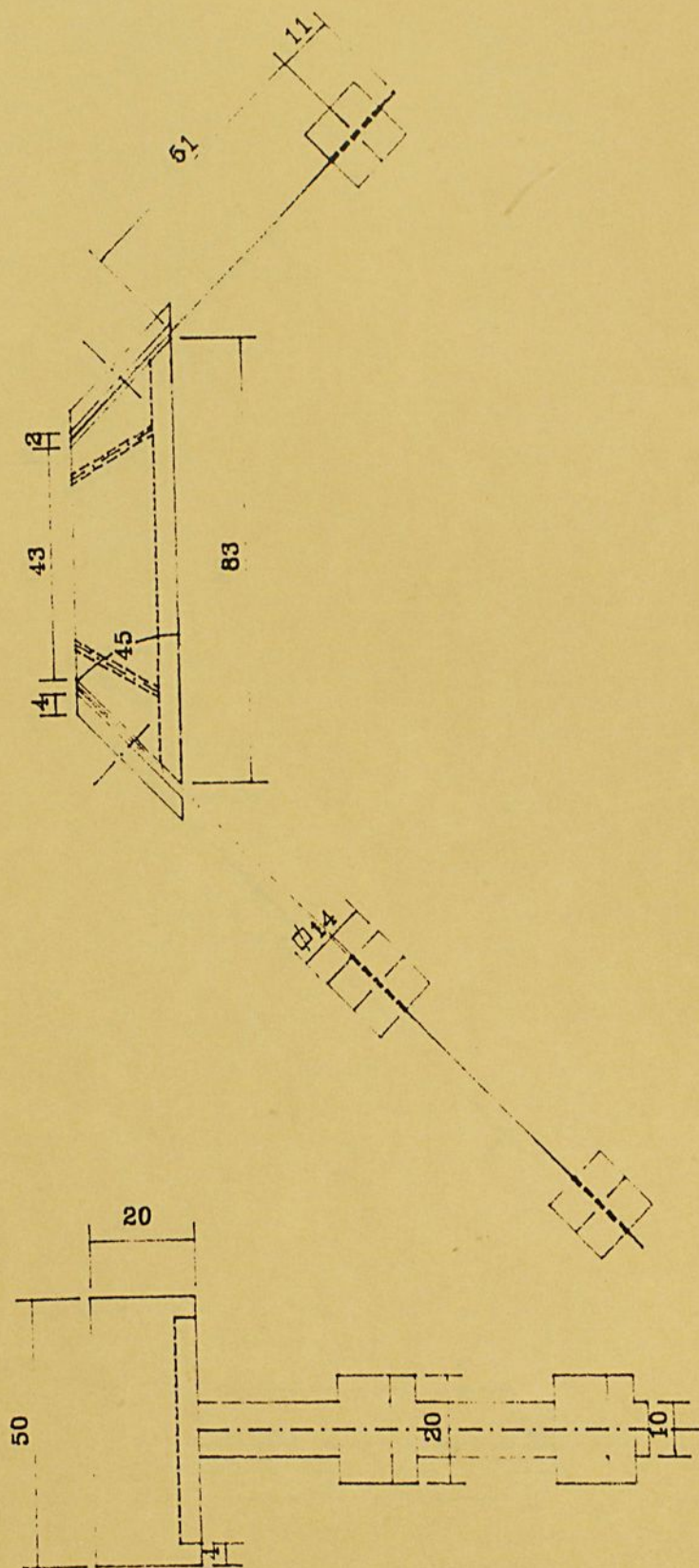


Figura 2.7- Sétima Proposta de Configuração para Garra Mecânica.

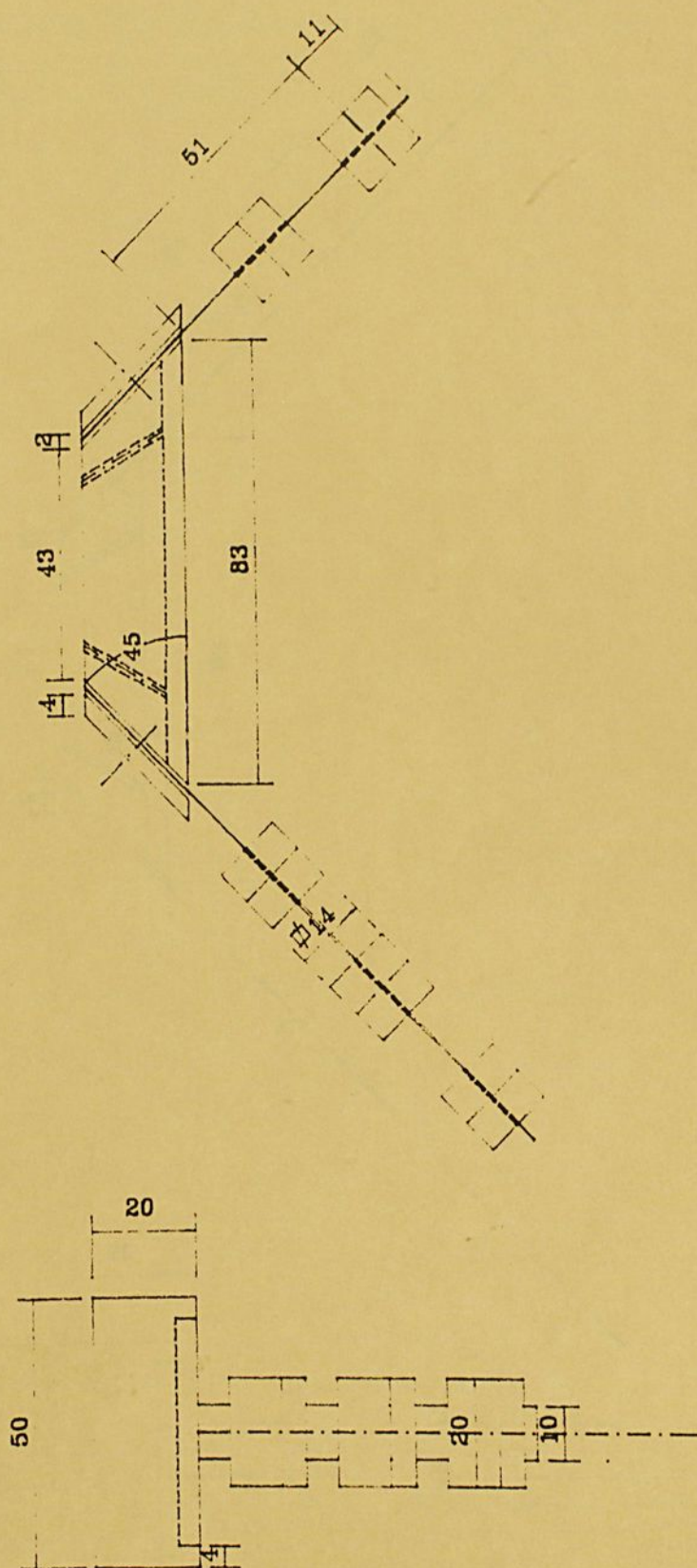


Figura 2.8- Oitava Proposta de Configuração para Garra Mecânica.

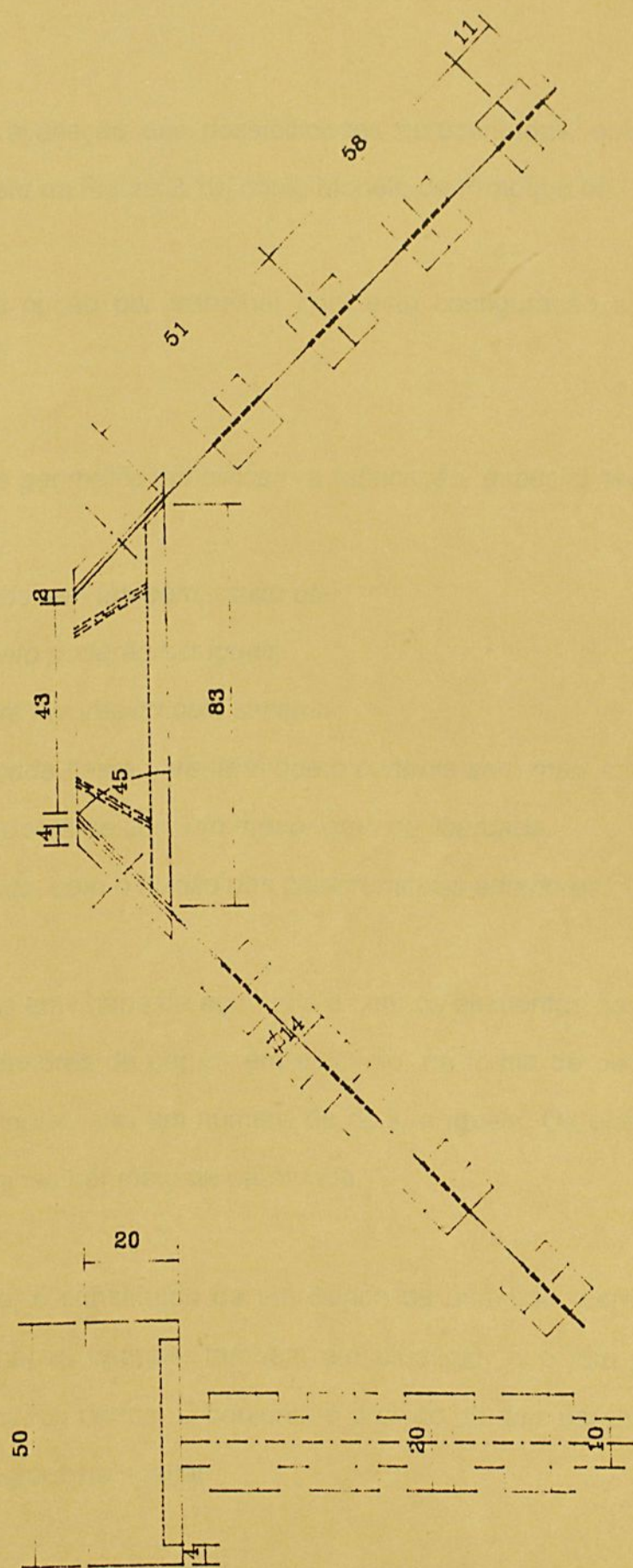


Figura 2.9- Nona Proposta de Configuração para Garra Mecânica.

2.4 - Descrição da Garra.

Após uma cuidadosa avaliação das possibilidades apresentadas, optou-se por construir o modelo disposto na Figura 2.10, como Modelo do Protótipo da Garra.

A fundamentação da opção por trabalhar com esta configuração se deu pelas seguintes razões:

- * *Elementos com a mesma geometria simplificam a fabricação, especialmente se esta for seriada.*
- * *A simetria do conjunto pode ser, também, muito útil.*
- * *Os motores de acionamento poderão ser iguais.*
- * *O modelo matemático será favorecido pela simetria.*
- * *Duas juntas apenas por cada haste garantem que o controle será mais eficiente, do ponto de vista de que opera-se com um menor grau de liberdade.*
- * *A montagem fica favorecida, com o auxílio das características anteriores.*

Os Dedos, construídos em chapa de aço-mola e com os elementos de pega - nos quais são fixados os sensores de pega - em alumínio, na forma de pequenos prismas retos de base retangular, são em número de dois, e iguais. Os elementos de pega são fixados nas lâminas por meio de parafusos.

O Pulso, em alumínio, é constituído de um tronco de pirâmide com bases retangulares e por duas chapas laterais, também em alumínio, que têm por fim prender em forma de engaste, os dedos. O conjunto é provido de dois parafusos de cada lado que garantem a rigidez na ligação.



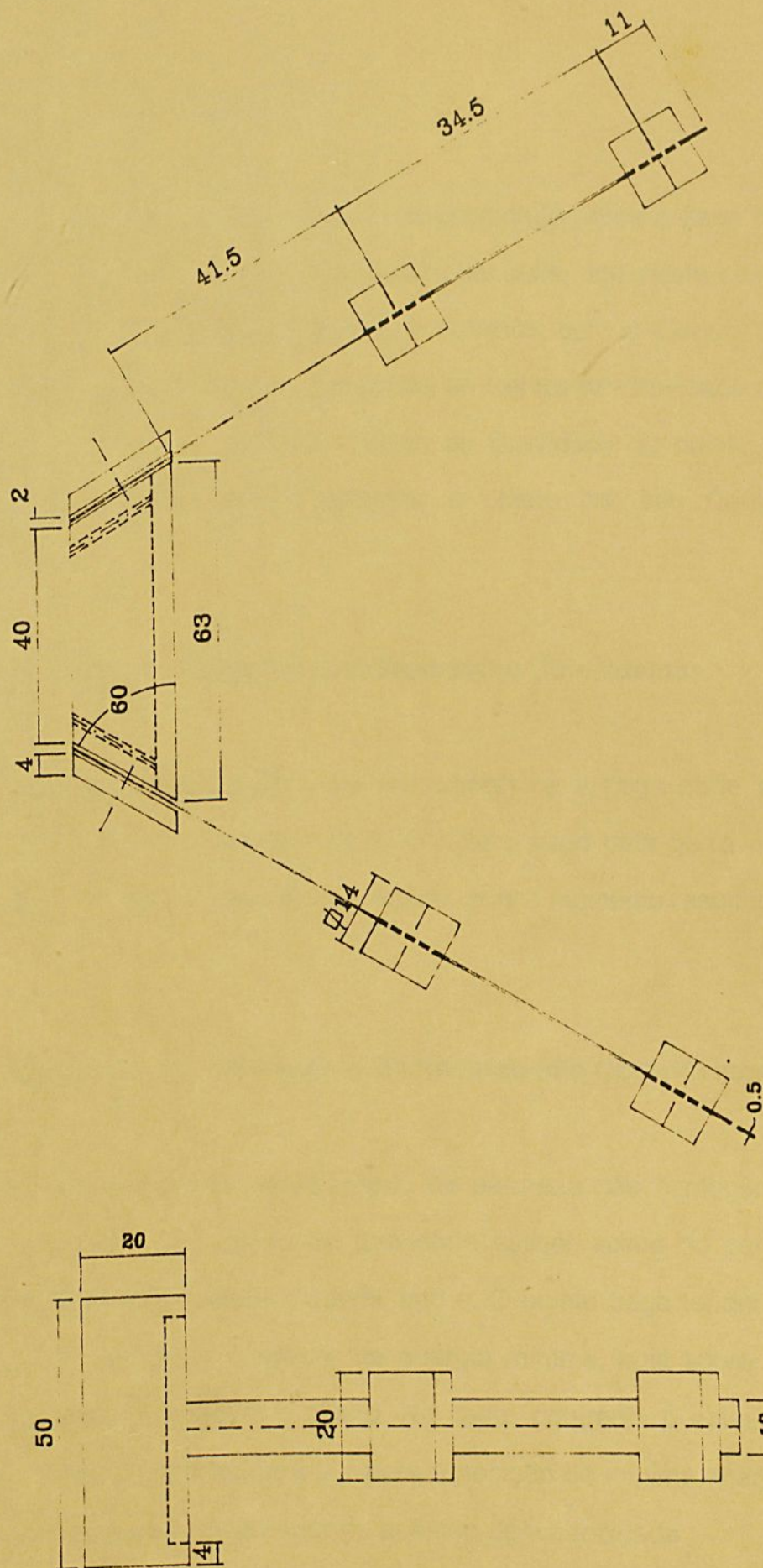


Figura 2.10 - Proposição de Configuração para Protótipo*

2.5 - Estabilidade na Pega por Pinção.

Objetivou-se com este estudo estabelecer as possibilidades para a pega de objetos com esforços aplicados ao longo de seus eixos principais. Há, neste caso, as seguintes possibilidades: a) o Centro Geométrico coincide com o Centro de Gravidade do objeto; b) o Centro Geométrico está acima do Centro de Gravidade do objeto; c) o Centro Geométrico está abaixo do Centro de Gravidade do objeto. A Pega por pinção, será sempre visando apanhar o objeto por seu Centro Geométrico.

2.5.1 - Objetos com os Centros de Gravidade e Geométrico Coincidentes.

Neste caso, o objeto de pega deverá ser homogêneo e a pega pode ser considerada como de equilíbrio indiferente, isto é: O objeto pego pela garra não apresentará tendência em mudar sua posição no espaço, pois o momento resultante sobre ele é nulo.

2.5.2 - Objetos com os Centros de Gravidade e Geométrico não Coincidentes.

Poderão ocorrer duas hipóteses, dependendo da natureza não homogênea do objeto pego. Em primeiro, se o centro de gravidade estiver acima do centro geométrico, a pega apresentará equilíbrio instável, isto é: O objeto pego tenderá a se movimentar no sentido de atingir o estado de energia mínima, pois sobre ele atuam momentos que tendem a acelerar o objeto. No caso contrário, o equilíbrio será estável, ou seja: O objeto pego tenderá a ir para a posição de mínima energia, pois sobre ele atuará um momento restaurador da posição de estabilidade.



2.6 - Critério para Determinação de Estabilidade na Pega.

O critério principal para a determinação da estabilidade na pega, em ambos os casos, foi baseado nas dimensões dos objetos a serem pegos, sendo necessário que a área de secção transversal do objeto a ser pego ocupe no mínimo 50% da área de trabalho da garra.

2.7 - O Controle do Acionamento.

O acionamento do cabo é feito por um motor de Corrente Contínua, com 12 Volts e 2,0 Âmpères através de polia acoplada ao seu eixo. O controle de posição e velocidades é feito por "encoder" óptico com precisão de 400 pulsos por segundo, operando em 5 Volts e 20 miliamperes. O controlador utilizado baseia-se no INTEL 8031/AH / 8051/AH. O programa de controle utilizado é o "SCORBASE" da ESHED ROBOTEC. Figura 2.11.

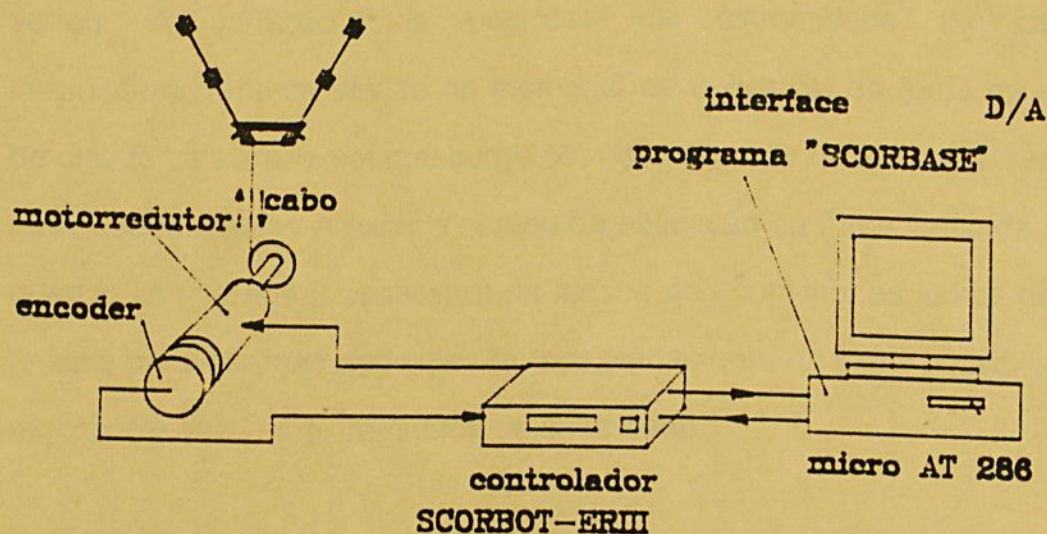


Figura 2.11 - Esquema de Controle do Acionamento.

capítulo 3

O MODELO MATEMÁTICO.

3.1 - Generalidades.

A proposição de um modelo matemático que pudesse descrever o comportamento da extremidade de cada dedo da garra, bem como prever o comportamento na variação de posição do cabo de tração, foi nosso objetivo. A natureza do problema sugeriu propor o cálculo das variações de comprimento do cabo a partir da variação de posição da extremidade de cada dedo. Foi objeto de estudo o comportamento da extremidade do dedo, sem preocupação com o comportamento de sua linha elástica, admitiu-se que o comportamento desta não variou. A variação nas posições da extremidade de cada dedo é preponderantemente devido ao momento de aplicação da força de acionamento e de uma força transversal que surge por ação do cabo nas guias, a partir da segunda guia, daquele dedo. A excentricidade de aplicação da força em cada dedo é grande quando comparada à espessura da lâmina que constitui as juntas destes dedos. A análise para grandes deflexões no posicionamento do cabo possibilitará o controle de coordenadas na extremidade de cada dedo.

3.2 - O Modelo para Grandes Deformações.

Foram pressupostos para utilização do modelo: A influência da força de cisalhamento é desprezada no equacionamento. O comprimento do dedo permanece inalterado, ou seja: É desprezada a deformação na direção do eixo da



lâmina que constitui as juntas do dedo; As dimensões da secção transversal da lâmina que constitui as juntas do dedo são sensivelmente pequenas se comparadas ao comprimento desta; Um comportamento perfeitamente elástico da estrutura e a transmissão completa dos momentos; O dedo está sob flexão pura.

Na Figura 3.1 mostramos a orientação da lâmina que constitui das juntas dos dedos quando em deflexão por esforço excêntrico em sua extremidade livre; a outra extremidade está engastada no pulso. São também estabelecidas as coordenadas de controle (X,Y).

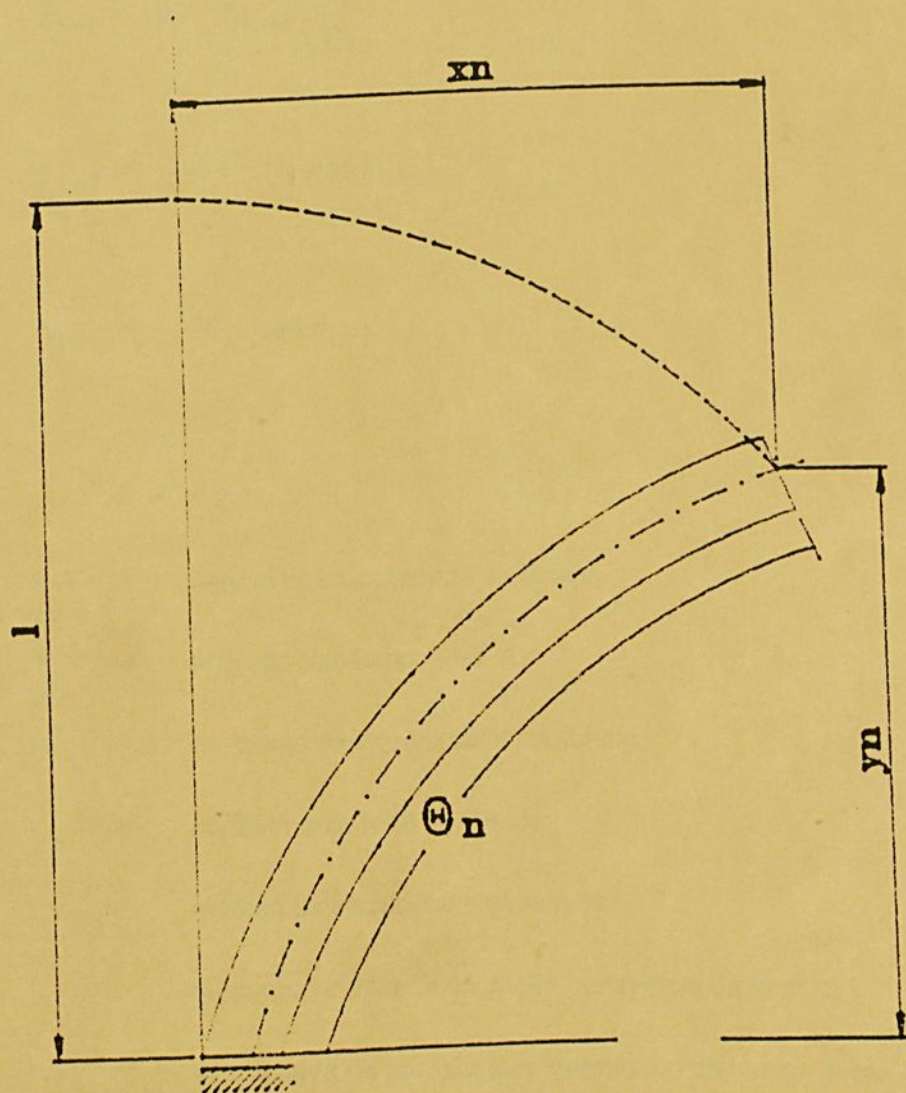


Figura 3.1 - Coordenadas de controle da extremidade do dedo.

Neste caso, as coordenadas (X,Y) para cada segmento de deformação da viga em flexão pura são calculadas por:

a) Modelo para a Deformação pelo Momento.

Segundo TSUMURA, T. et al. "Data book of Material Resistance Design (in Japanese)", 1984, o modelo sugerido para viga com o momento atuando numa extremidade e engastada na outra é:

$$\theta_{i+1} = \theta_i + M_{i+1} \left(\frac{\ell_A}{EI} \right)$$

$$x_{i+1} = \frac{\ell_A}{\theta_{i+1}} \cdot (1 - \cos \theta_{i+1})$$

$$y_{i+1} = \frac{\ell_A}{\theta_{i+1}} \cdot \text{sen } \theta_{i+1}$$

onde:

$i = 1, 2, 3 \dots$

$\theta_i \rightarrow$ ângulo na extremidade da lâmina;

$F_i \rightarrow$ força de tração no cabo;

$M_i \rightarrow$ momento na extremidade da lâmina;

$\ell_A \rightarrow$ comprimento total da lâmina;

$E \rightarrow$ módulo de elasticidade da lâmina;

$I \rightarrow$ momento de inércia da seção transversal da lâmina;

$x_i \rightarrow$ coordenada de posição da extremidade da lâmina sobre X;

$y_i \rightarrow$ coordenada de posição da extremidade da lâmina sobre Y;

$e \rightarrow$ excentricidade de aplicação de força F_i .



b) Modelo para Deformação pela Força Transversal.

Segundo TSUMURA, T. et al. "Data book of Material Resistance Design (in Japanese)", 1984, o modelo sugerido para viga engastada numa extremidade e com uma força atuando entre o engastamento e a extremidade, sendo esta força transversal ao plano de engaste é:

$$\alpha_j = \frac{\pi}{2} + \delta - \theta_j$$

$$\theta_j = M_{i+1} \left(\frac{\ell_B}{EI} \right)$$

$$\omega_j = F_j \cos \alpha_j$$

$$x_j = \frac{\omega_j}{6EI} \left(3 \ell_B^2 \cdot \ell_A - \ell_B^3 \right)$$

onde:

- α_j → ângulo entre a direção do cabo e a força ω ;
- δ → ângulo entre a direção do cabo e o eixo da lâmina;
- ℓ_B → distância entre a base da lâmina e o ponto de aplicação da força ω ;
- ω_j → força transversal atuante na lâmina;
- F_j → tração no cabo;
- x_j → coordenada do ponto de aplicação da força ω_j na direção X

Obs: A variação de coordenadas (y_j), devido a esta força é de pouca significação.



3.3 - Modelo de Posicionamento do Cabo de Comando.

Na Figura 3.2 definiu-se a configuração geométrica que o cabo de tração assumiu com a lâmina defletida e o sistema de coordenadas para controle de posição do mesmo.

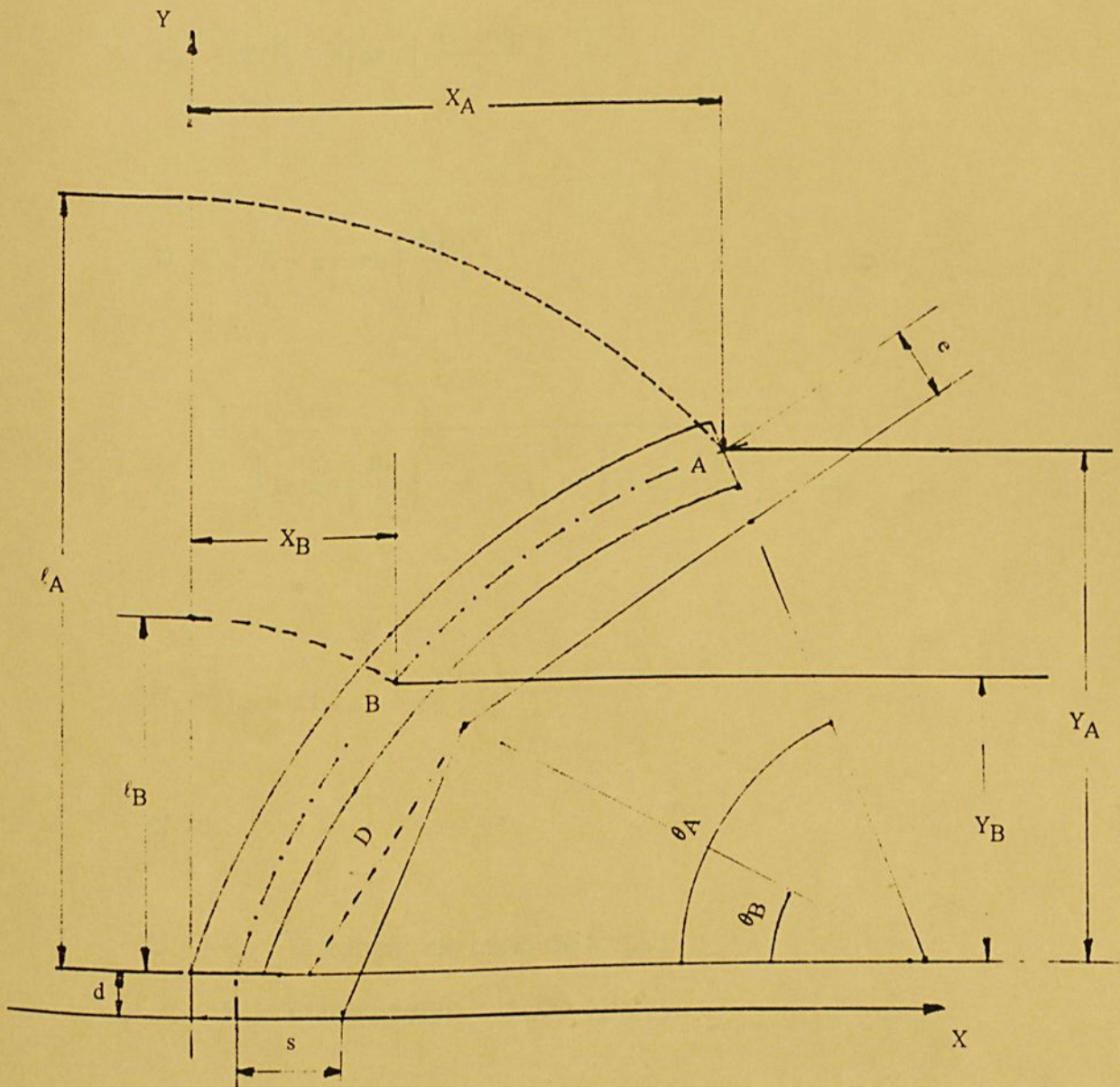


Figura 3.2 - Configuração geométrica do dedo.



Admitindo constante o raio de curvatura (R) e analisando a geometria da Figura 3.2, conclui-se que:

$$R = \frac{\ell_B}{\theta_B} = \frac{\ell_A - \ell_B}{\theta_A - \theta_B} ; \quad \text{donde} \quad \theta_B = \theta_A \left(\frac{\ell_B}{\ell_A} \right)$$

$$L_A = 2(R - e) \operatorname{sen} \left(\frac{\theta_A - \theta_B}{2} \right)$$

$$D = 2(R - e) \operatorname{sen} \left(\frac{\theta_B}{2} \right)$$

$$L_B = \sqrt{\left[D \operatorname{sen} \left(\frac{\theta_B}{2} \right) + e - S \right]^2 + \left[D \cos \left(\frac{\theta_B}{2} \right) + d \right]^2}$$

$$\delta L = L_0 - (L_A + L_B)$$

onde:

$\delta L \rightarrow$ distensão do cabo de tração;

$L_0 \rightarrow$ comprimento total do cabo.

Obs.: Os demais símbolos como anteriormente descritos.

3.4 - Análise do Comportamento do Modelo para Deformação por Momento, sob Condições Ideais de Carregamento e Variações de Parâmetros Convenientemente Escolhidos.

A Figura 3.3 mostra a análise feita a partir da relação entre a variação de coordenadas da lâmina na direção (x) e seu comprimento original (L) contra as variações de carregamento (F) para diferentes comprimentos da lâmina. Podemos observar que o comportamento do modelo é bastante sensível aos incrementos no comprimento da lâmina para um mesmo carregamento. Uma outra observação importante é o fato de que seria razoável admitirmos uma mudança de posição da extremidade da lâmina de até 40% na direção (X), acima disto a curva perderia uma significação física.

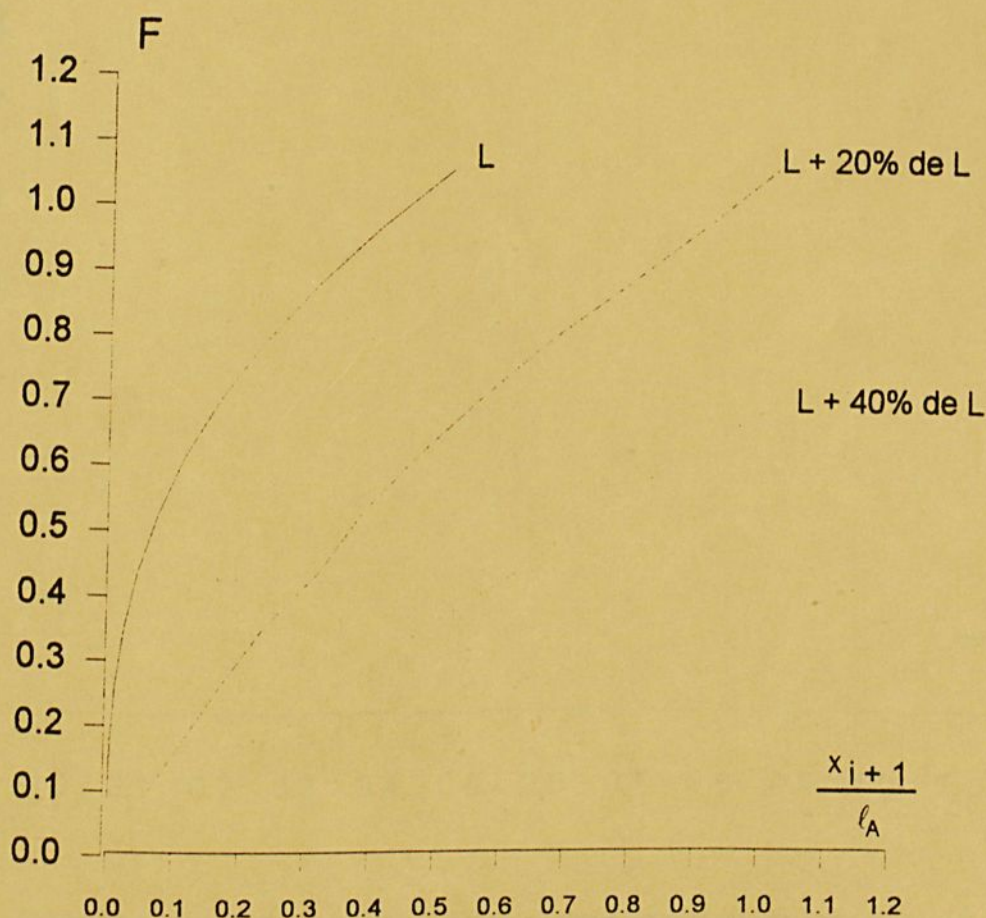


Figura 3.3 - Variação percentual da deformação na direção transversal à lâmina.

A Figura 3.4 mostra o estudo, para os mesmos parâmetros anteriores, da variação na relação entre a distensão (ΔL_c) do cabo e seu comprimento original (L_c). Verifica-se neste caso, que por se tratar de pequenas distensões, as curvas são pouco sensíveis aos incrementos no comprimento do cabo, sendo porém bastante sensíveis aos acréscimos do carregamento (F), isto pela combinação das deformações nas direções (X) e (Y) da lâmina.

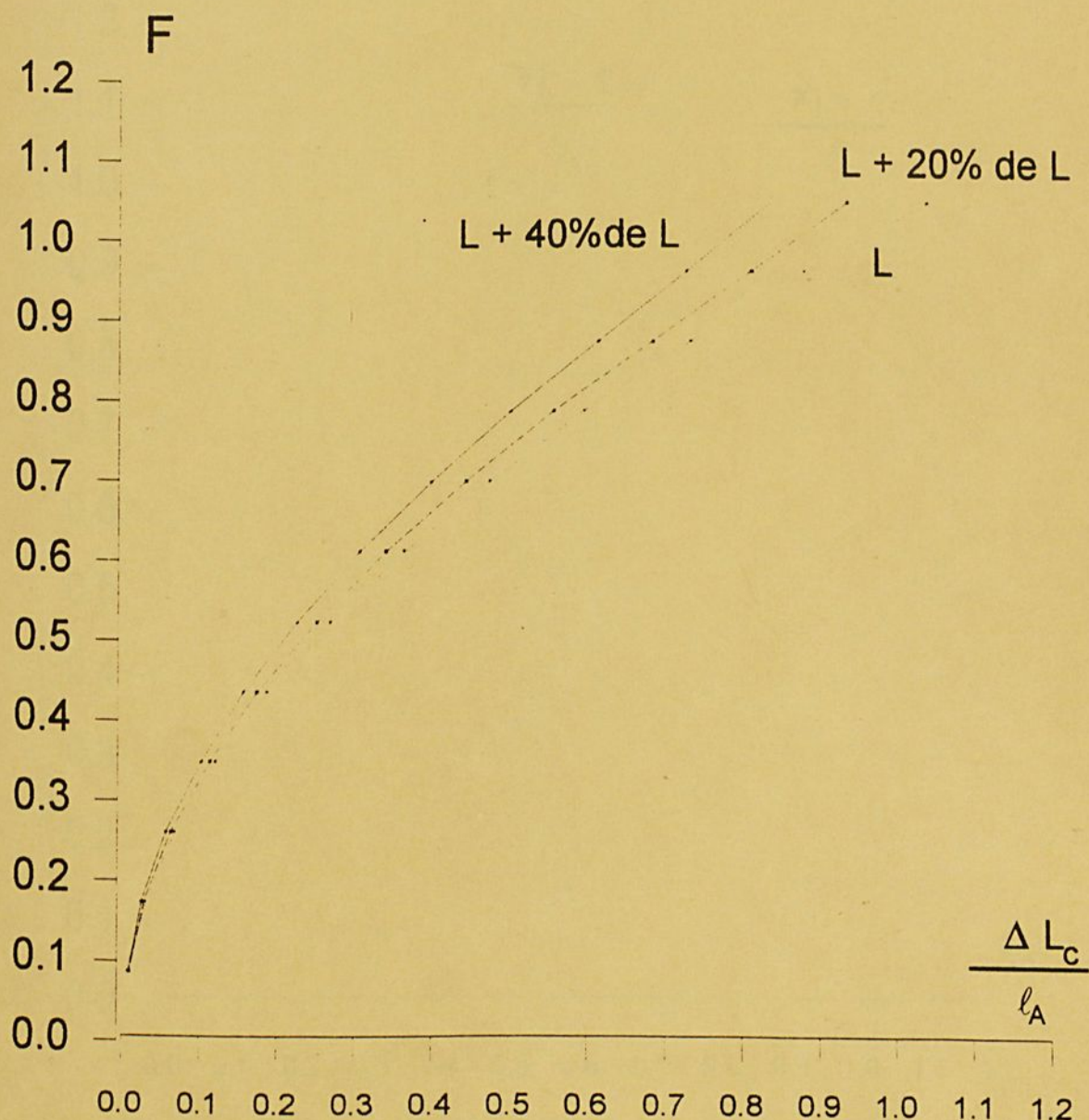


Figura 3.4 - Variação percentual da deformação na direção do cabo de tração.

A Figura 3.5 apresenta o estudo comparativo das variações percentuais de deformação nas direções Transversal (X) e Longitudinal (Y) contra a força de tração no cabo F. Verifica-se por esta comparação que as deformações na direção (X) são maiores que na direção (Y), isto devido ao fato da tendência fletir no sentido transversal ser maior do que no longitudinal.

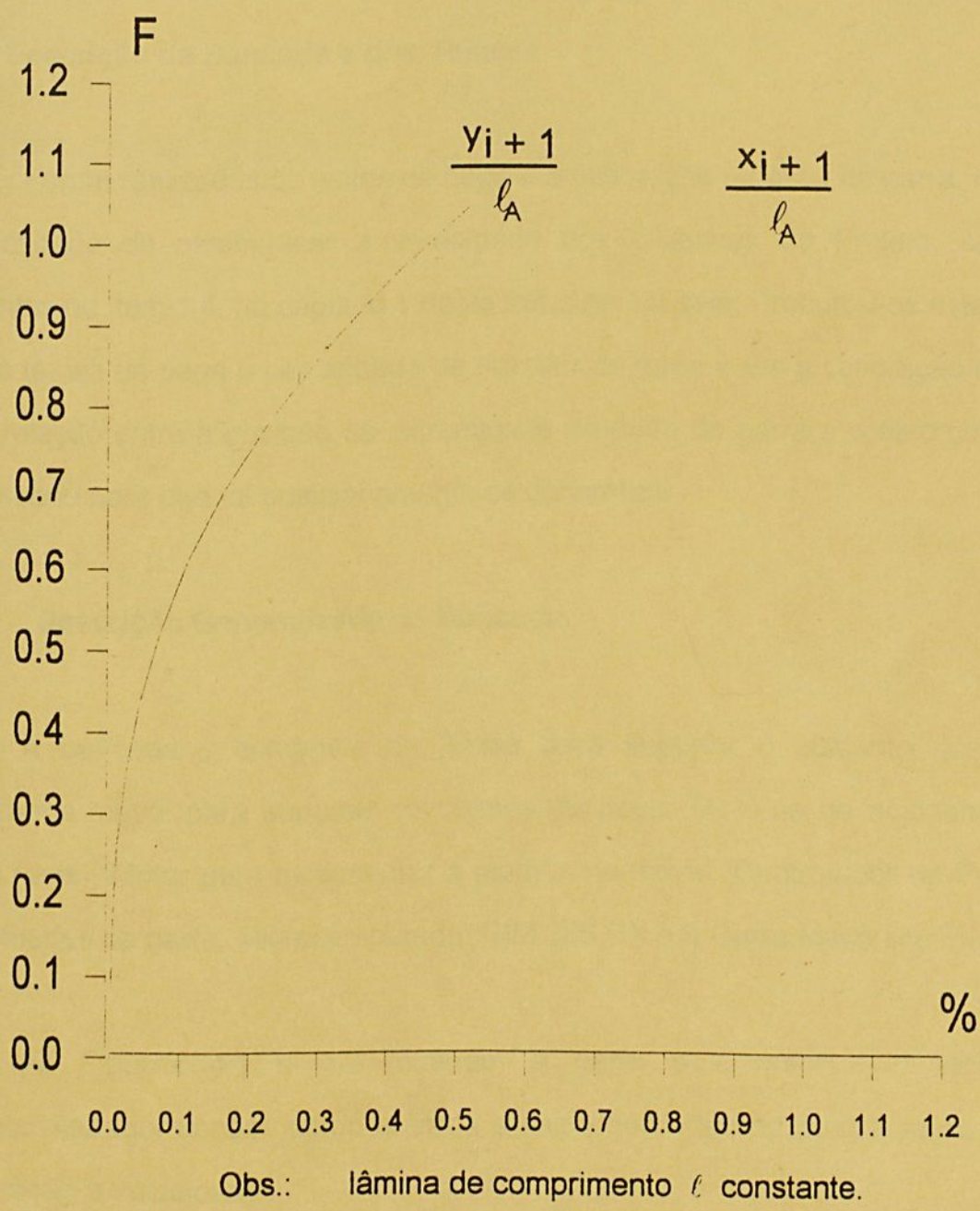


Figura 3.5 - Comparação do comportamento das deformações nas direções X e Y.



capítulo 4

O EXPERIMENTO

4.1 - Descrição da Bancada e dos Testes.

Foram realizados os testes de pega e a calibração estática da garra, isto com a finalidade de estabelecer a veracidade dos Objetivos do Projeto, conforme descritos no item 1.4, no capítulo 1 deste trabalho, ou seja: Procurou-se estabelecer via os testes de pega a capacidade de prender da garra e via a calibração estática, uma relação entre a posição da extremidade do dedo da garra e o esforço mínimo necessário para que tal posicionamento se concretize.

4.1.1 - Descrição Generalizada da Bancada.

A bancada é composta de: Mesa para suportar o conjunto; Mesa com plataforma móvel para suportar os objetos de pega; Motores de acionamento da garra (dois); Motor para movimentar a plataforma móvel; Controlador de Posição e velocidades da garra; Microcomputador IBM 286 DX e a Garra Mecânica Flexível.

As Figuras 4.1 e 4.2 mostram a garra e o visor e o teclado do microcomputador usados como entrada e saída de dados do programa de controle de posição e velocidades.



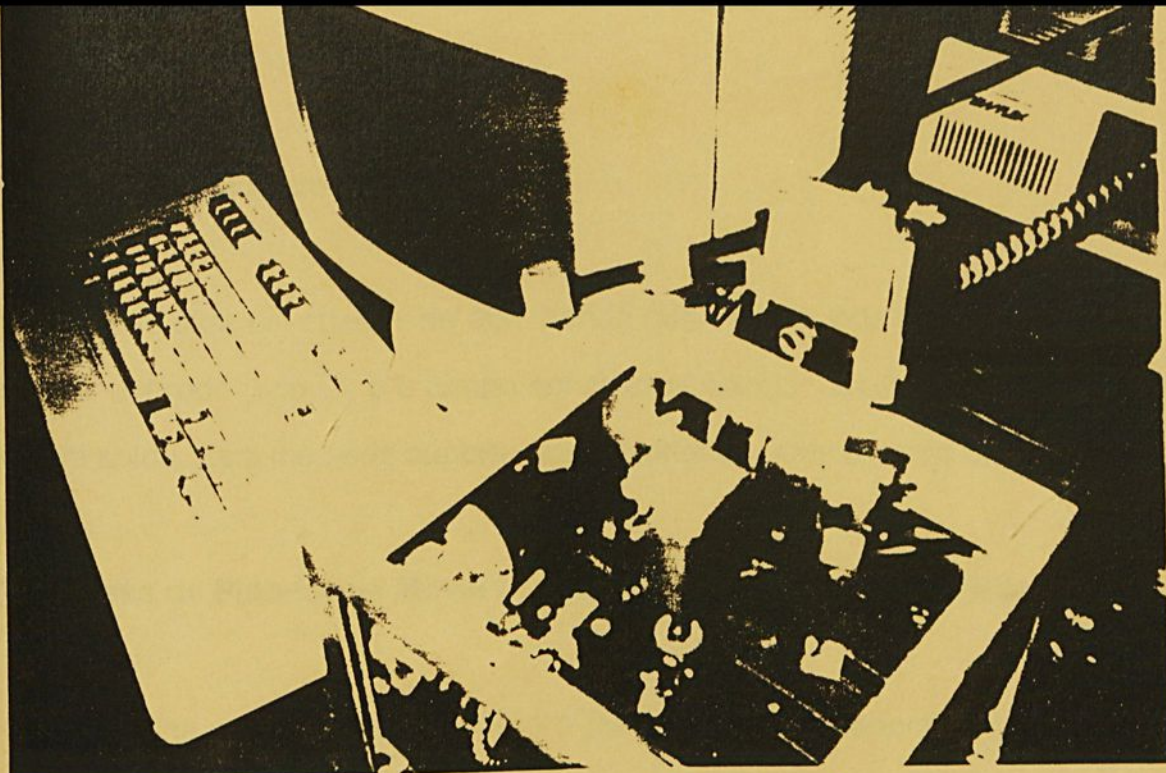


Figura 4.1 - Vista Geral Superior da Bancada.

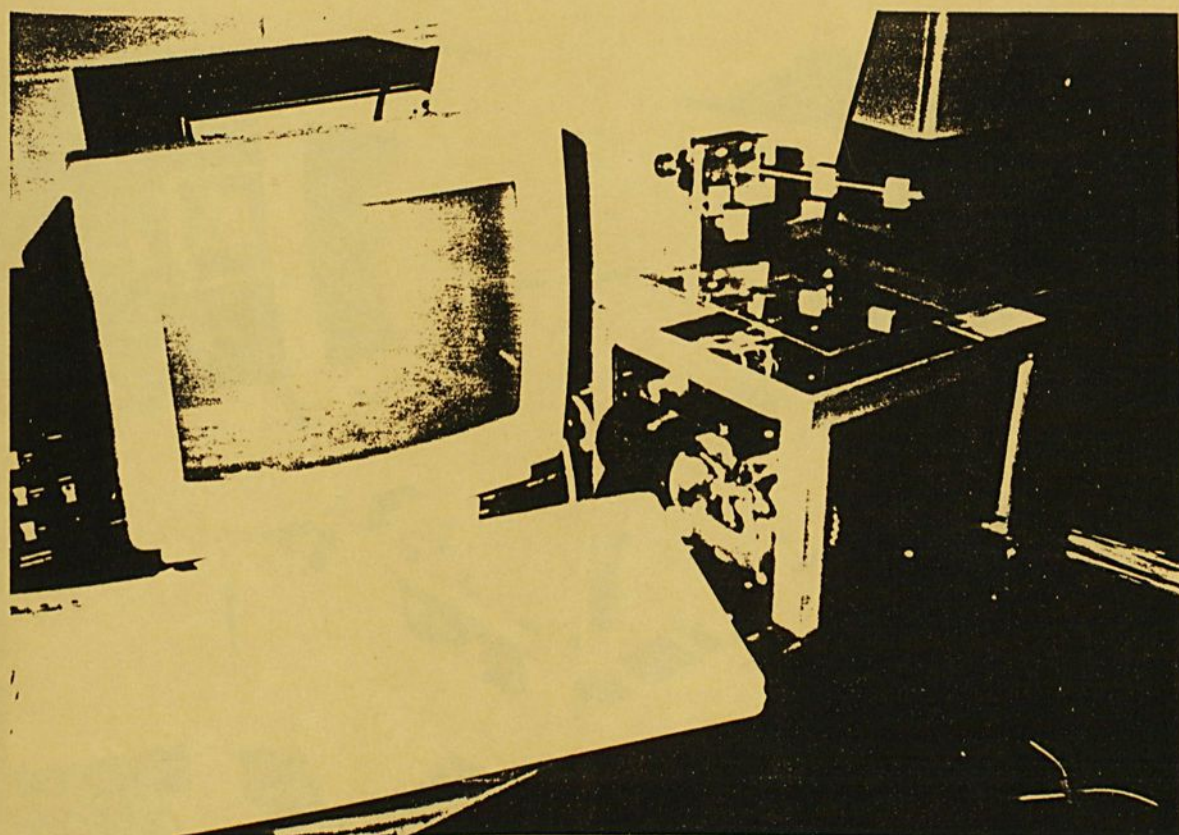


Figura 4.2- Vista Geral Lateral da Bancada.

4.1.2 - A Mesa de Suporte do Conjunto.

Constituída em chapas de aço, sendo que os pés, borda do tampo e tirantes em perfil dobrado (tipo L); e o tampo em chapas planas. As ligações do conjunto é toda em solda. Esta mesa dá suporte aos motores de acionamento da garra.

4.1.3 - Mesa de Plataforma Móvel para Suportar os Objetos de Pega.

Pequena mesa, instalada sobre a mesa-suporte anteriormente descrita, cuja finalidade é a de suportar por sua estrutura a garra - que lhe é fixada numa das laterais - e por seu tampo, os objetos de pega. A estrutura desta pequena mesa é em perfis de aço unidos por solda e seu tampo é em acrílico transparente. Sobre a mesa-suporte e ao lado da mesa de plataforma móvel está instalado o acionamento da garra e em baixo desta, o acionamento da plataforma móvel.

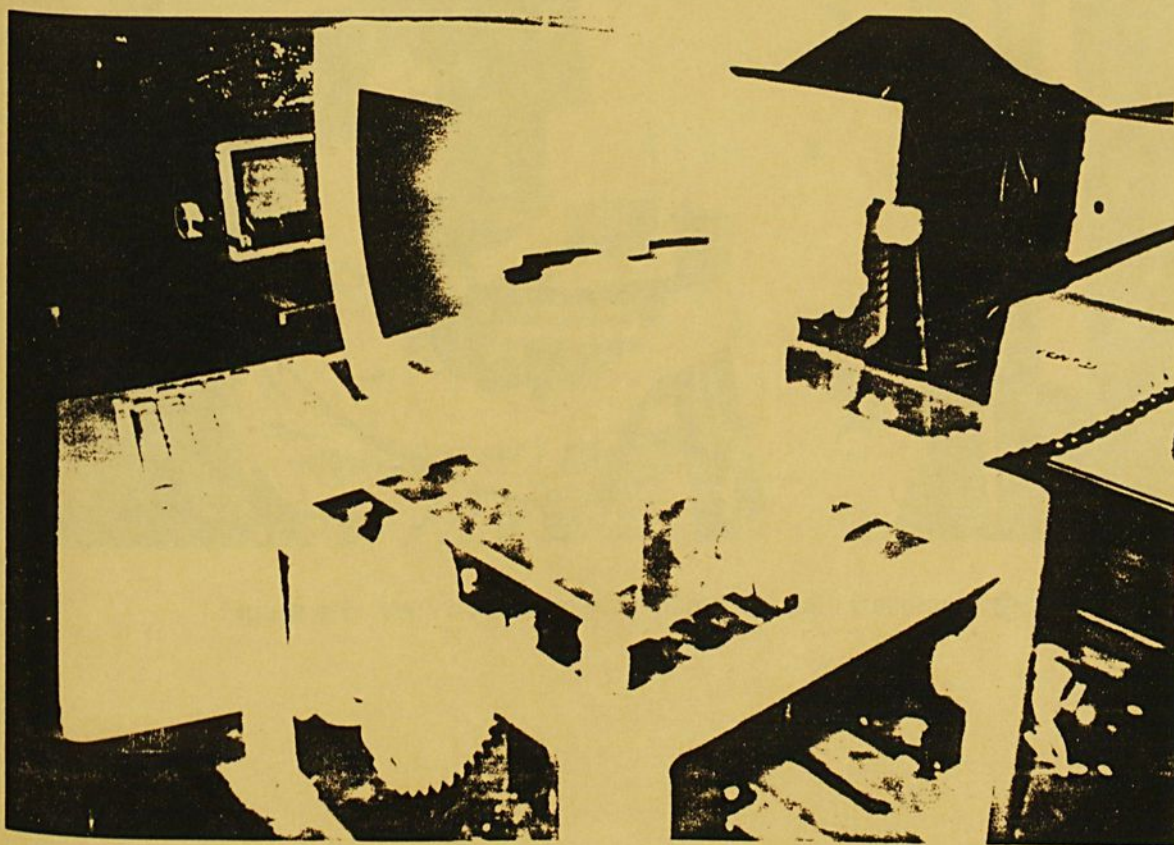


Figura 4.3 - Vista dos Mecanismos de Acionamento da Garra e Plataforma Móvel.

4.2 - O Teste de Calibração Estática do Mecanismo.

4.2.1 - Objetivo deste Teste.

Estabeleceu-se com este teste uma relação entre uma força aplicada à cada dedo da garra e a posição assumida pela extremidade de cada dedo da garra em consequência desta

As Figuras 4.4 e 4.5 mostram os instrumentos utilizados na calibração estática e a vista geral da disposição destes instrumentos.

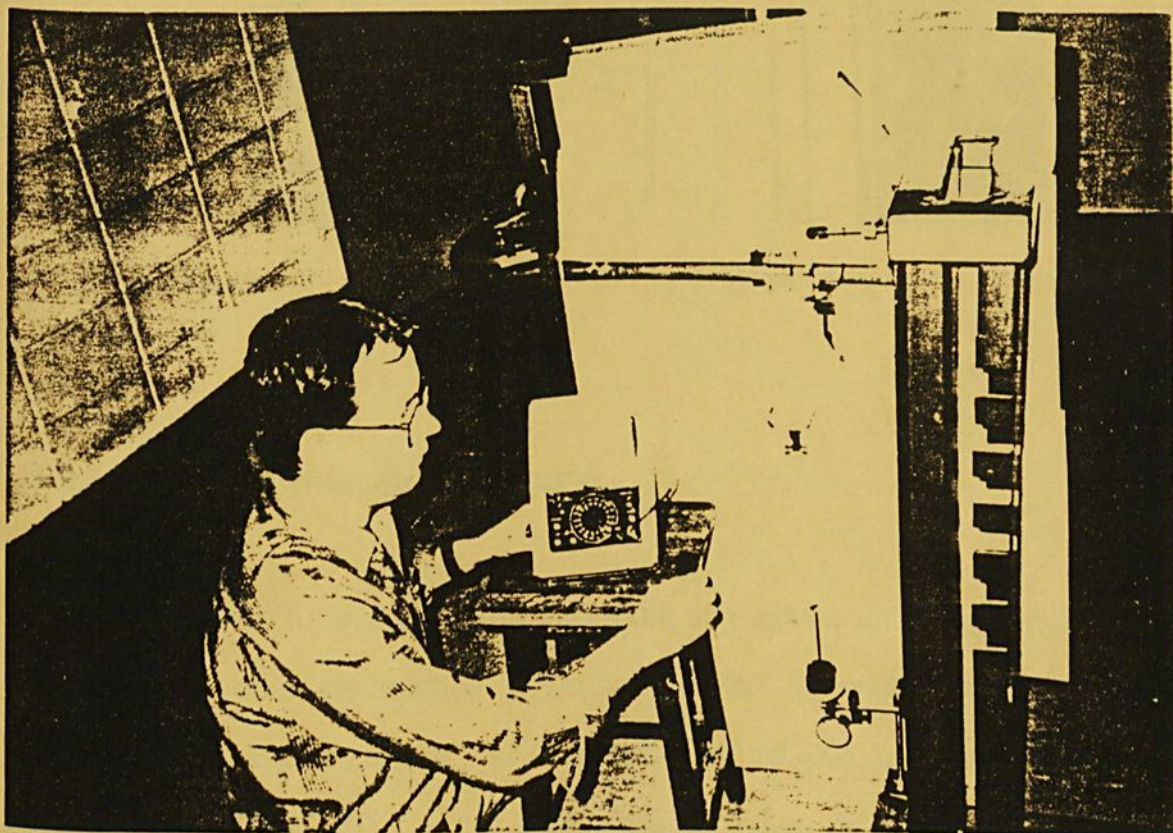


Figura 4.4 - Vista do Conjunto da Montagem para Calibração Estática.

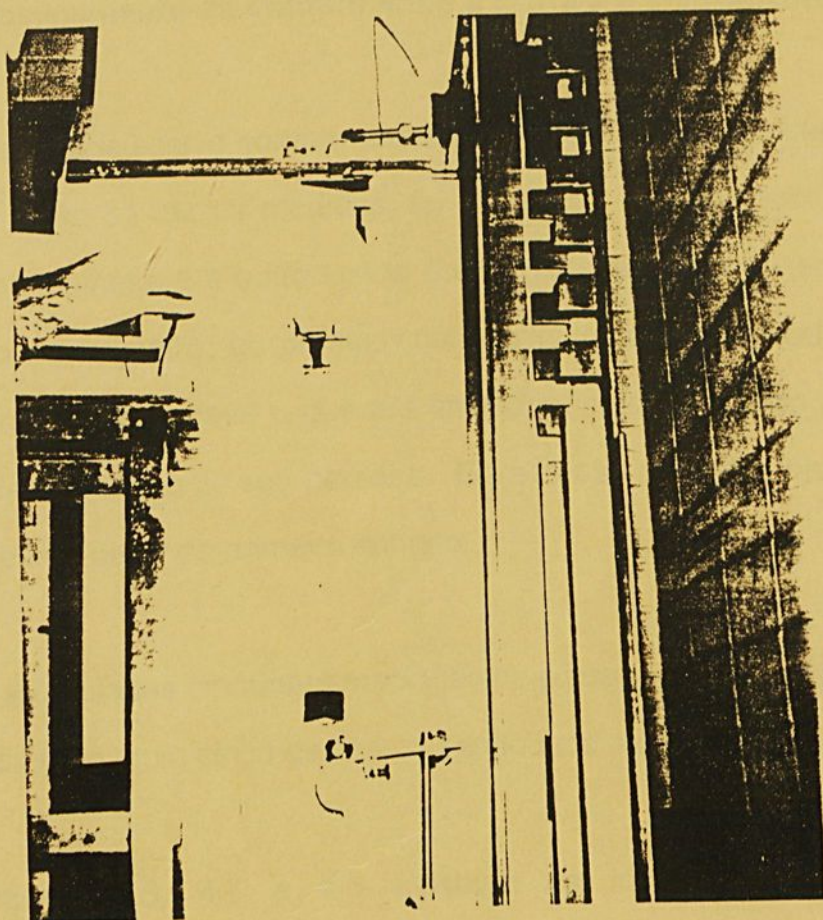


Figura 4.5 - Vista de Instrumentação da Montagem para Calibração Estática.

4.2.2 - A Instrumentação do Sistema.

O sistema foi instrumentado com um altímetro e um relógio comparador, com precisão de dois centésimos e um centésimo de milímetros, respectivamente, montados da seguinte forma : O Altímetro (Figura 4.6) foi montado numa direção - à qual se chamou " X " - e que é paralela ao Pulso da Garra, com a finalidade de coletar medidas de deslocamento no segundo elemento (elemento da ponta) de pega do dedo. Ao longo do cabo de sustentação dos pesos previamente calibrados ligados ao cabo de comando do sistema foi instalado o relógio comparador (Figura 4.7) com a finalidade de medir os deslocamentos no sentido da ação da força de gravidade - ao qual se chamou " L ".



4.2.2.1 - Estabelecimento de contato entre a Garra e a Instrumentação.

Para se estabelecer o contato entre o altímetro e a extremidade da garra, a partir do que então se fez as medidas, foi instalado um homímetro com uma das fases ligada ao altímetro e a outra ligada à extremidade da garra, isto garantiu que, via ajuste fino do altímetro, ao primeiro contato entre a extremidade da garra e o altímetro o circuito se fechava o que era imediatamente detectado pelo homímetro através da movimentação do seu ponteiro. Garantiu-se com este procedimento que a leitura era feita a partir do primeiro contato.

Foram executadas cinquenta medições no processo, sendo dez medidas para cada peso calibrado, com cinco destas no sentido ida e cinco no sentido volta.

As Figuras 4.6, 4.7 e 4.8 mostram os instrumentos utilizados e o estabelecimento do primeiro contato.

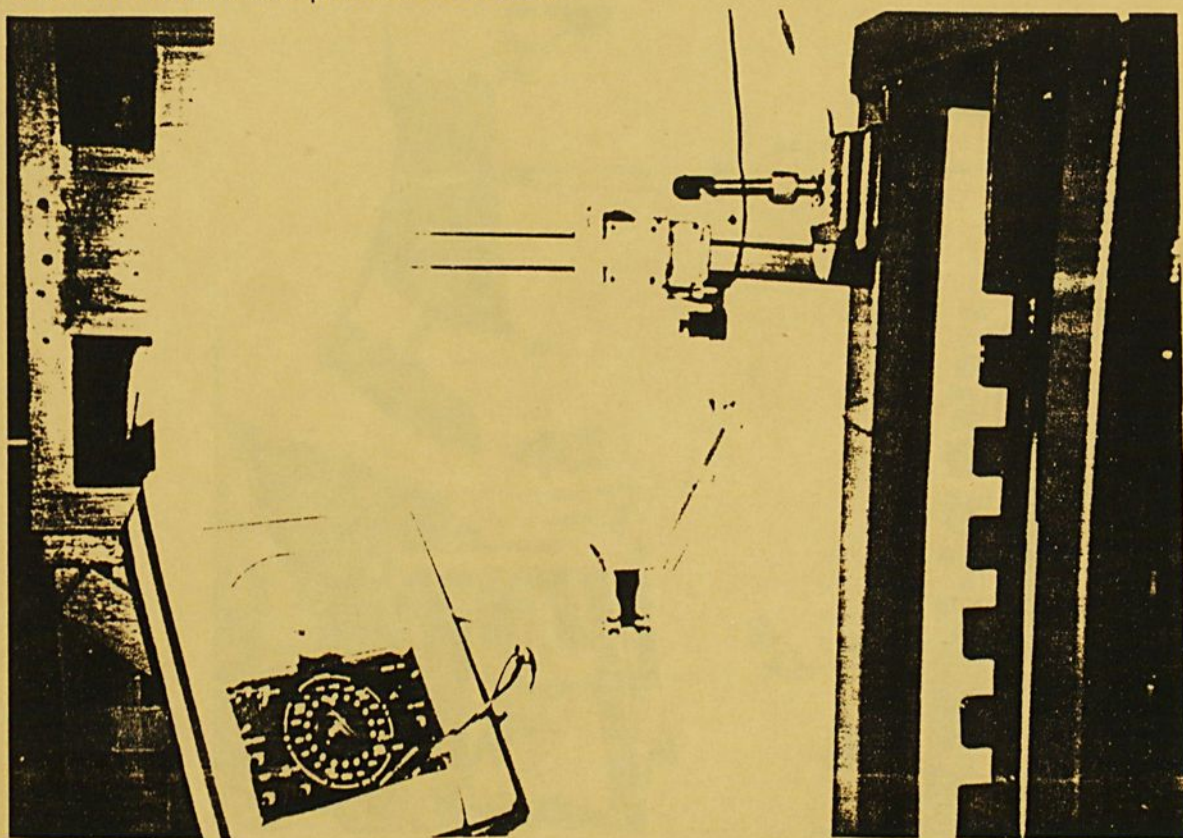


Figura 4.6 - Vista do Altimetro e do Homímetro.

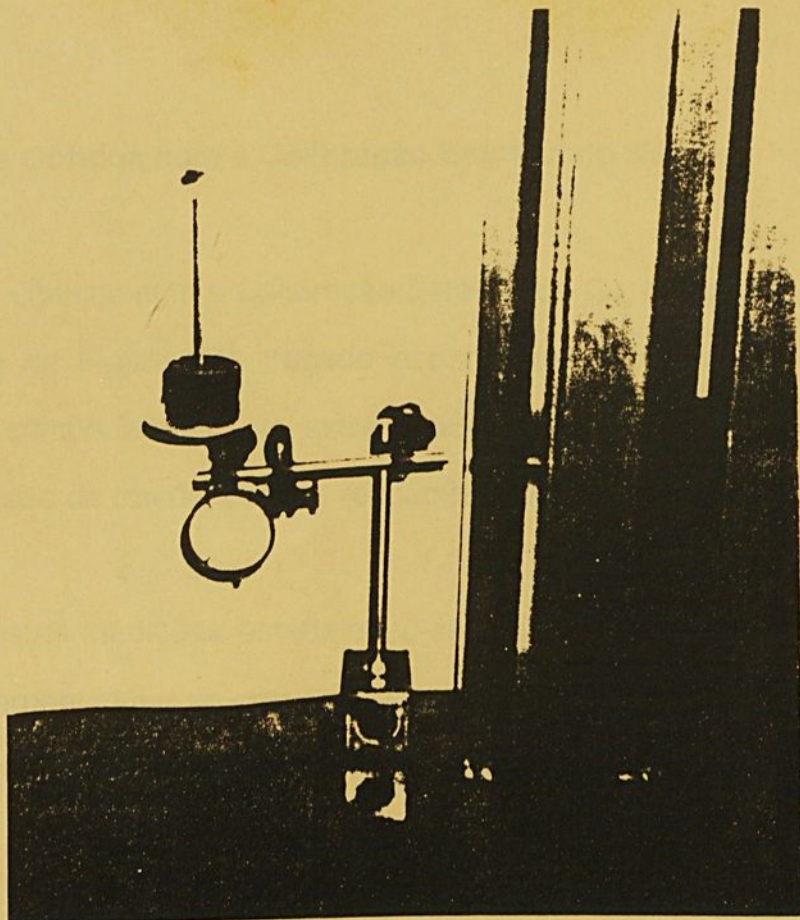


Figura 4.7 - Vista do Relógio Comparador e Pesos Calibrados.

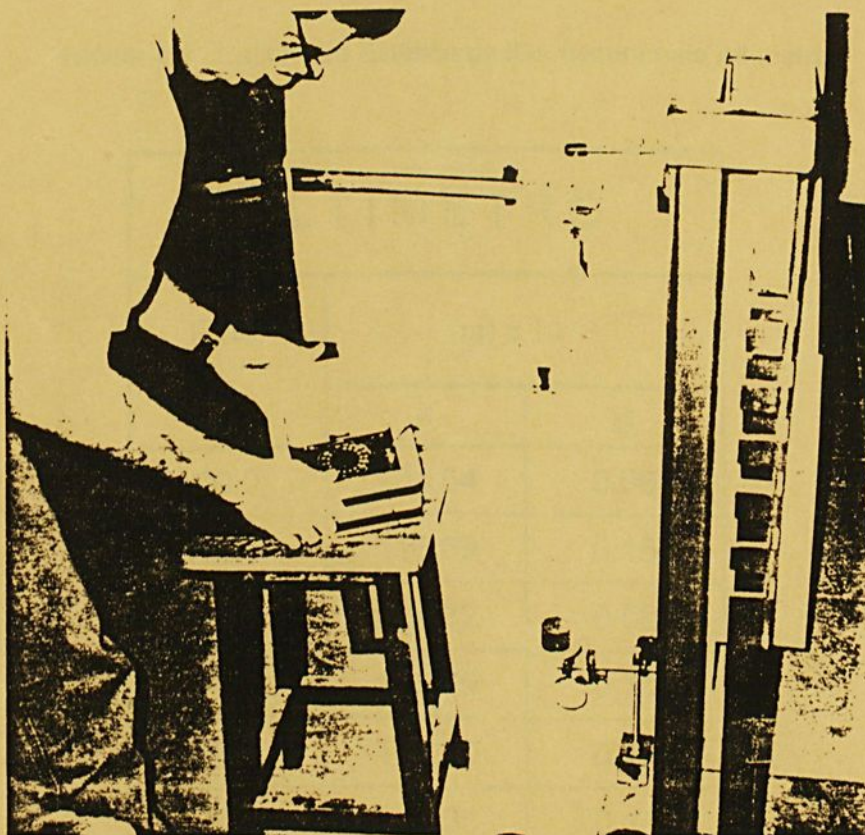


Figura 4.8 - Detecção do Primeiro Contato entre Altimetro e Extremidade da Garra.

4.2.3 - Dados Obtidos com a Calibração Estática do Sistema.

Dados Obtidos com a Calibração Estática da Garra na IDA, conforme Tabela 4.1 e gráfico da Figura 4.9, traçado a partir dos dados da referida tabela que apresenta o comportamento da extremidade da garra como função da força (F) aplicada no cabo de tração, com os respectivos desvios padrões.

Para estas medições estabeleceu-se uma direção (X), paralela à haste do altímetro e perpendicular ao eixo central do pulso. Esta direção é também ortogonal à direção de ação da gravidade.

Uma melhor visão desta descrição pode ser feita com auxílio da figura 4.8, onde se pode constatar a coerência da direção estabelecida.

Tabela 4.1 - Calibração Estática de IDA (leitura pelo Altímetro)

ALTÍMETRO		
F (N)	(m) x 10 ⁻³	
	X	σ
00,0	104,54	0,06
10,0	116,69	0,16
14,0	122,32	0,09
18,0	128,79	0,11
22,0	135,79	0,17
26,0	143,35	0,11
30,0	151,44	0,10



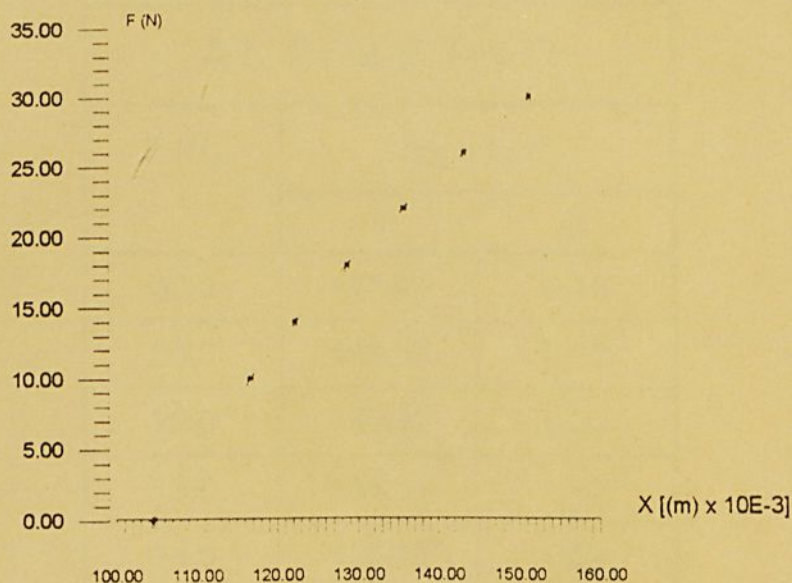


Figura 4.9 - Calibração Estática da Garra em IDA (leitura na direção X)

Dados Obtidos com a Calibração Estática da Garra na VOLTA, conforme Tabela 4.2 e gráfico da Figura 4.10 traçado a partir dos dados da referida tabela que apresenta o comportamento da extremidade da garra como função da força (F) aplicada no cabo de tração, com os respectivos desvios padrões.

Tabela 4.2 - Calibração Estática de VOLTA (leitura pelo Altímetro)

ALTÍMETRO		
F (N)	(m) x 10 ⁻³	
	X	σ
30,0	151,44	0,10
26,0	148,30	0,22
22,0	140,52	0,25
18,0	131,51	0,42
14,0	125,11	0,24
10,0	118,28	0,21
00,0	104,47	0,12

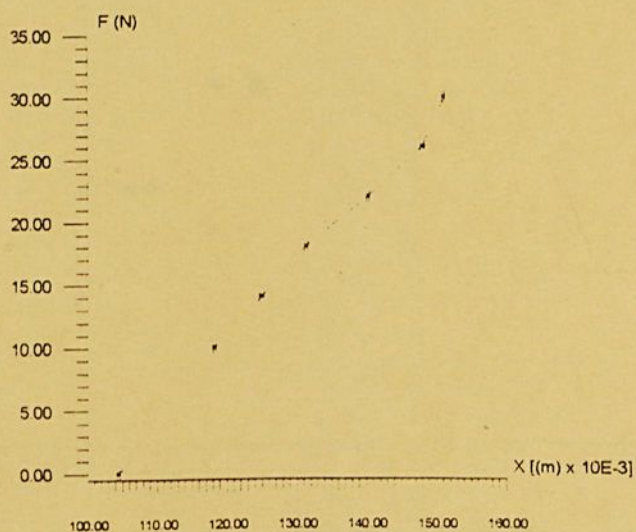


Figura 4.10 - Calibração Estática da Garra em VOLTA (leituras na direção X)

Combinação dos dados obtidos com a Calibração Estática da Garra na IDA e na VOLTA, conforme gráfico da Figura 4.11. Apresenta o comportamento da extremidade da garra como função da força aplicada no cabo de tração.

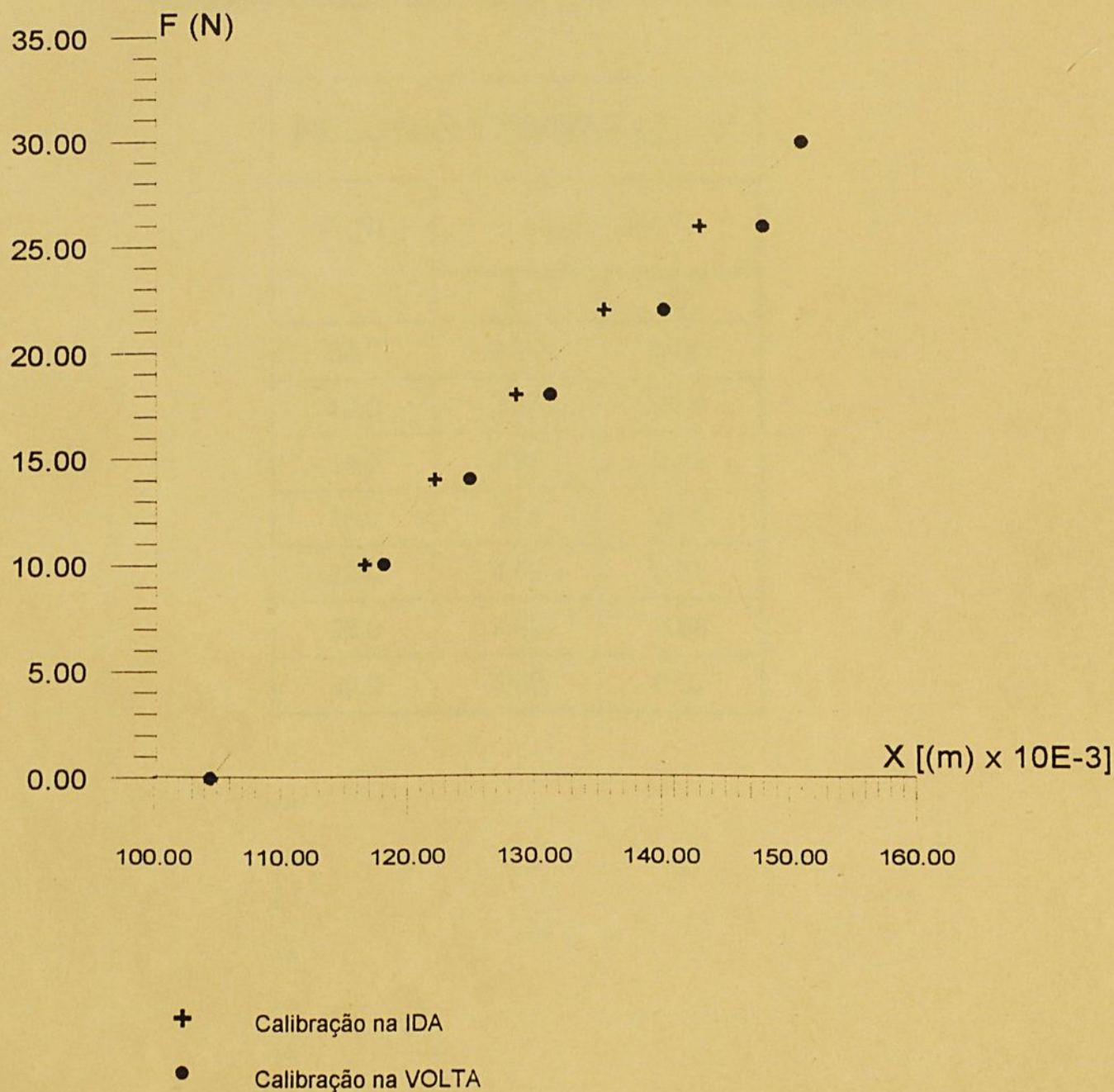


Figura 4.11- Comparação das Curvas de Calibração Estática na IDA e na VOLTA

Dados Obtidos com a Calibração Estática da Garra na IDA, conforme Tabela 4.3 e gráfico da Figura 4.12, traçado a partir dos dados da referida tabela que apresenta a distensão do cabo de tração como função da força (F) aplicada sobre o mesmo, com os respectivos desvios padrões.

Tabela 4.3 - Calibração Estática de IDA (leitura pelo Relógio Comparador)

RELÓGIO COMPARADOR		
F (N)	(m) x 10 ⁻³	
	L	σ
00,0	0,00	0,00
10,0	2,24	0,16
14,0	2,95	0,13
18,0	3,75	0,16
22,0	4,57	0,07
26,0	5,52	0,08
30,0	6,68	0,07

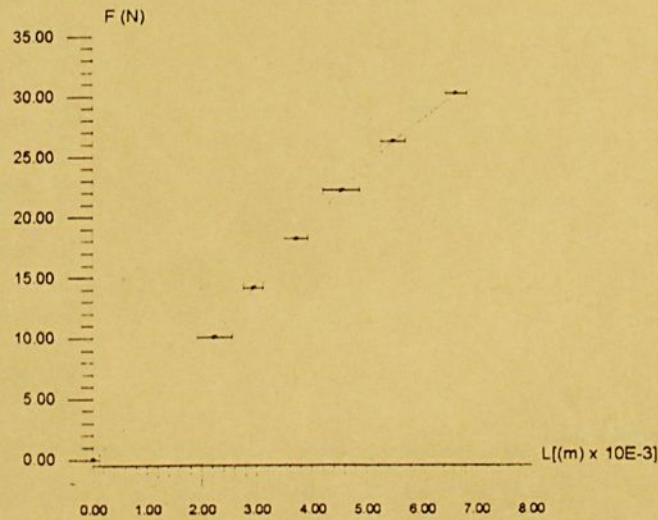


Figura 4.12 - Calibração Estática da Garra em IDA (leitura na direção do cabo de tração)



Combinação dos dados obtidos com a Calibração Estática da Garra na IDA e na VOLTA, conforme gráfico da Figura 4.14. Apresenta o comportamento da distensão do cabo de tração como função da força (F) aplicada no mesmo.

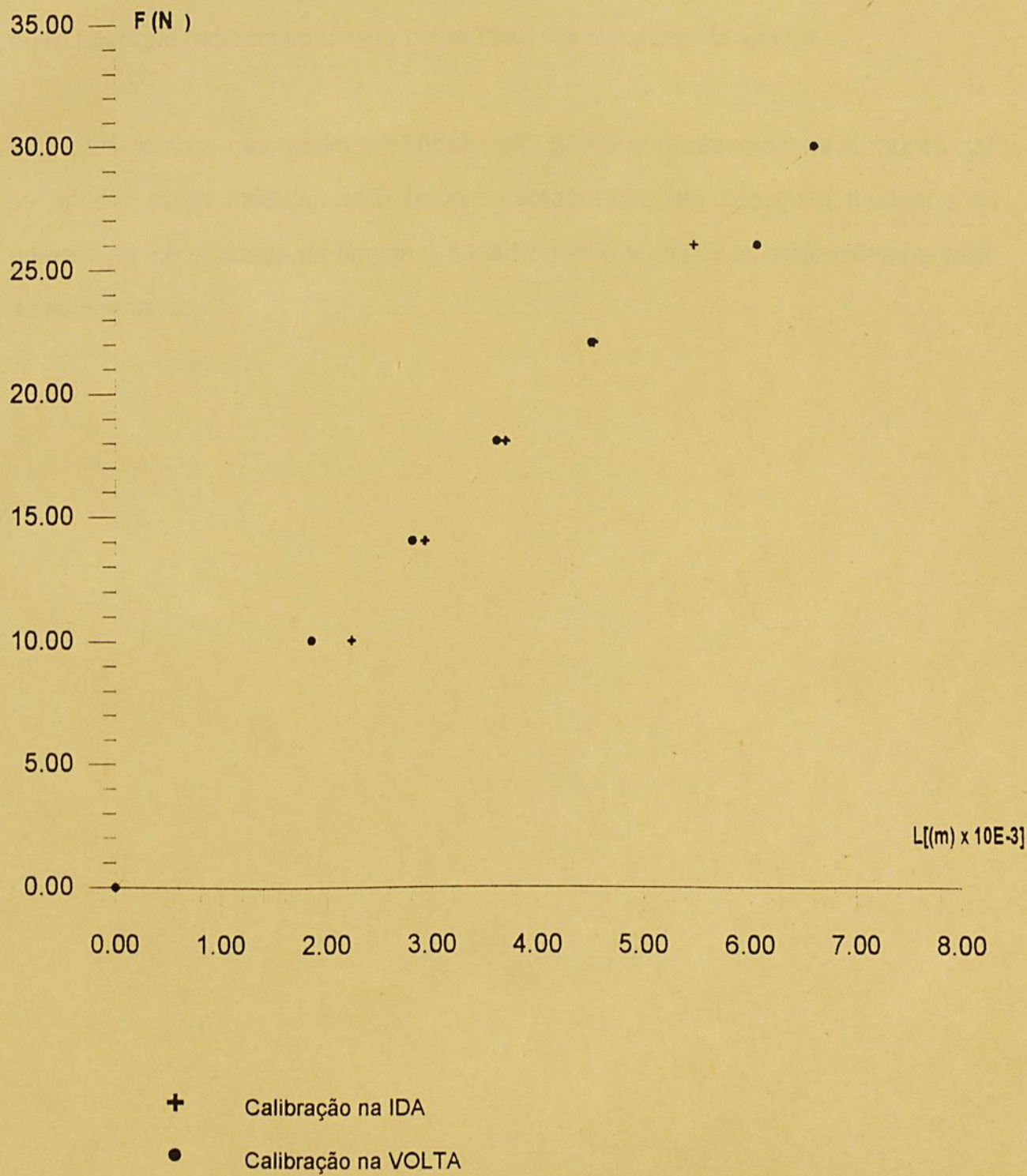


Figura 4.14 - Comparação das Curvas de Calibração Estática na IDA e na VOLTA

4.2.3.1 - Comentários sobre os Gráficos.

A não repetição das curvas na IDA e na VOLTA durante a calibração, tanto nas leituras apresentadas pelo altímetro quanto pelo relógio comparador é devida ao atrito gerado entre as superfícies do cabo e da guia durante o acionamento. Um outro fator que também influencia neste caso é a histerese da lâmina.

Os desvios nas medidas obtidas pelo altímetro apresentam-se menores que os obtidos pelas medidas pelo relógio comparador, isto porque a mudança de posição da extremidade da lâmina é sensivelmente superior às distensões no cabo de acionamento.



ANÁLISE DOS RESULTADOS.

5.1 - Verificação da Sensibilidade do Modelo Matemático Proposto

Os resultados obtidos a partir do modelo matemático proposto para as dimensões e demais características físicas do protótipo construído foram discutidos e criticados com o objetivo de verificar, via sensibilidade, a adequação do modelamento matemático.

5.1.1 - Características do Protótipo

O protótipo construído e testado apresenta as seguintes características:

F	→	Força de acionamento atuante no cabo.
$\ell_A = 9,60 \times 10^{-2} \text{ (m)}$	→	Comprimento Total da Lâmina
$\ell_B = 4,15 \times 10^{-2} \text{ (m)}$	→	Distância do Ponto do Engastamento ao Ponto de Aplicação da Força Transversal
$E = 2,10 \times 10^{11} \text{ (Pa)}$	→	Módulo de Elasticidade
$e = 2 \times 10^{-3} \text{ (m)}$	→	Excentricidade de Aplicação da Força
$d = 2,40 \times 10^{-2} \text{ (m)}$	→	Comprimento da Parte Engastada da Lâmina
$h = 5 \times 10^{-4} \text{ (m)}$	→	Espessura da Lâmina
$b = 1,16 \times 10^{-2} \text{ (m)}$	→	Largura da Lâmina
$L_o = 1,20 \times 10^{-1} \text{ (m)}$	→	Comprimento Total da Lâmina



5.2 - Gráficos de Comparação de Resultados

Os gráficos apresentados a seguir representam a comparação de comportamento entre o modelo matemático e os dados obtidos a partir do experimento.

Na Figura 5.1 são apresentadas as curvas comparativas, uma obtida por simulação no modelo matemático tendo por entrada os elementos do protótipo e do experimento e a outra representando os resultados obtidos pela experimentação, para os deslocamentos da extremidade da garra na direção ortogonal ao eixo do dedo (direção X).

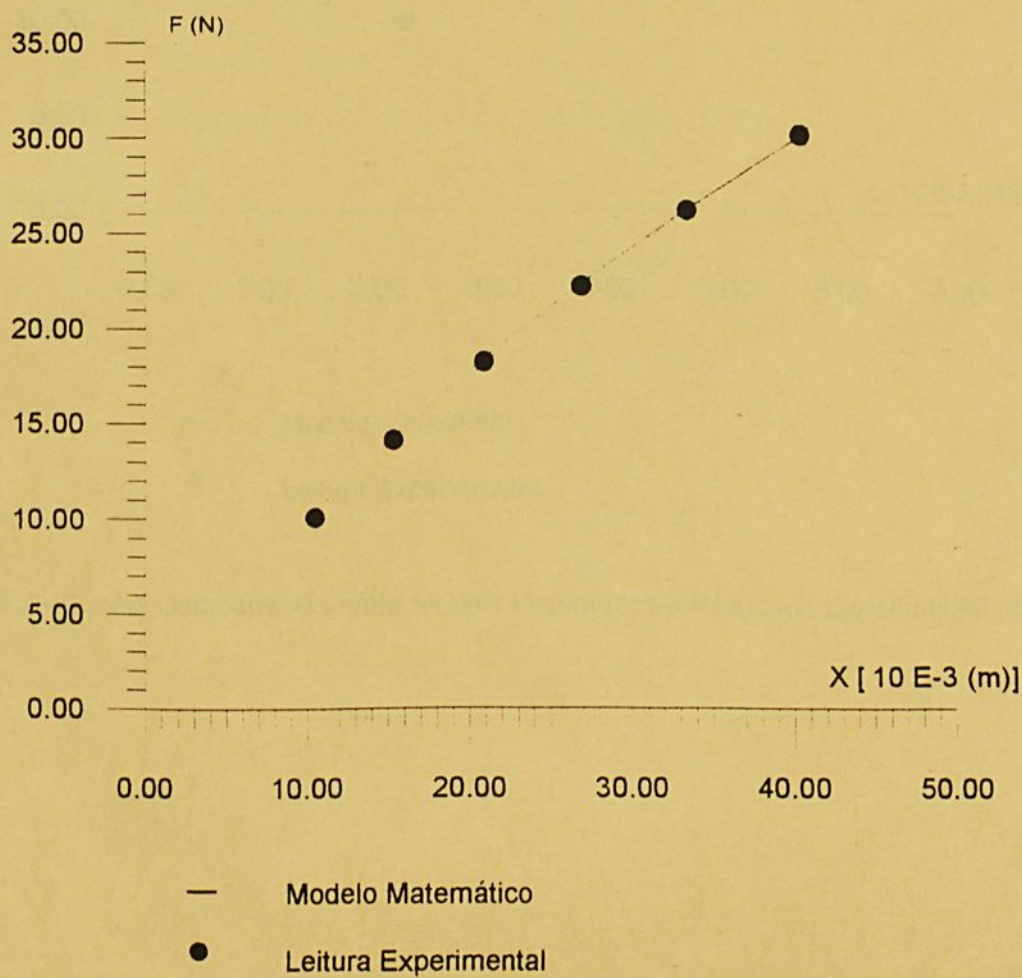


Figura 5.1 - Curvas Comparativas entre Modelo Matemático e Resultado Experimental (direção X)

Na Figura 5.2 são apresentadas as curvas comparativas, uma obtida por simulação no modelo matemático tendo por entrada os elementos do protótipo e do experimento e a outra representando os resultados obtidos pela experimentação, para as distensões no cabo de acionamento do dedo (direção L).

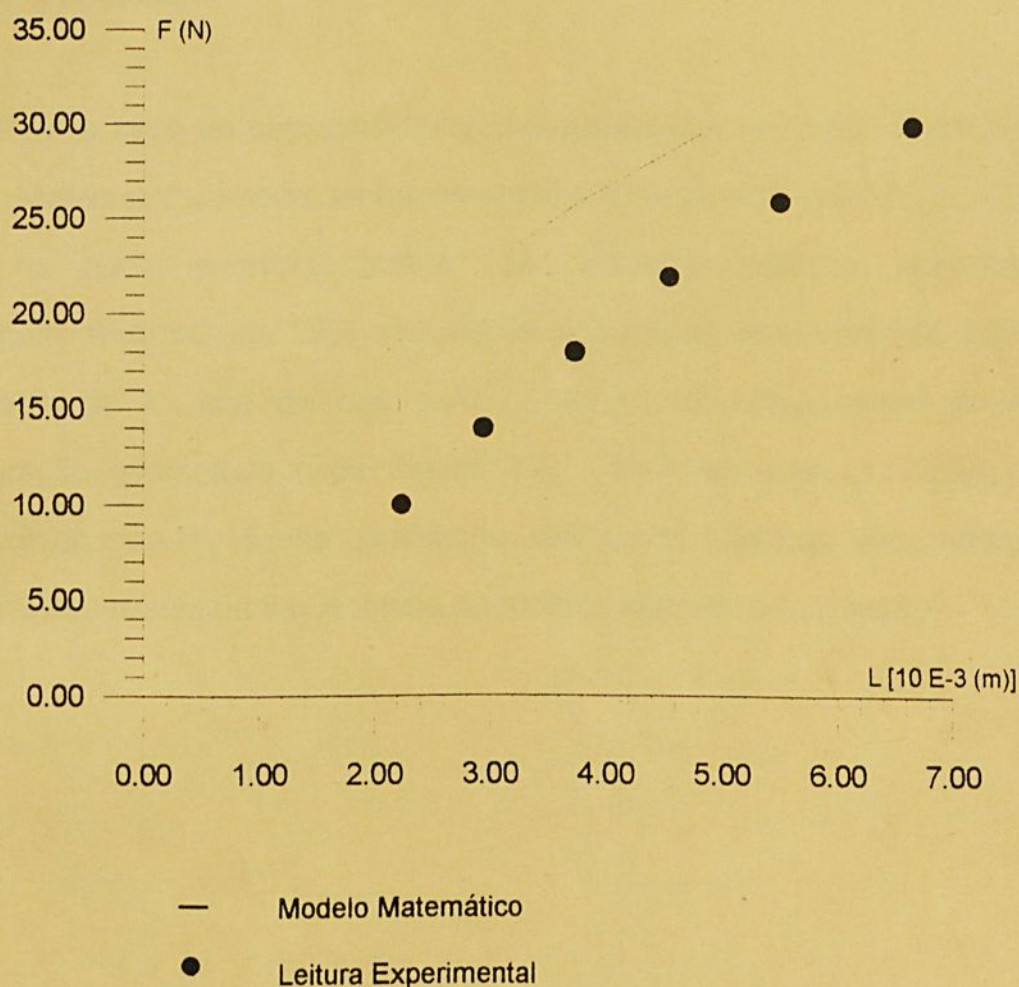


Figura 5.2 - Curvas Comparativas entre Modelo Matemático e Resultado Experimental (direção L)

5.3 - Comentários sobre os Gráficos

O Modelo Matemático, para o caso do comportamento da extremidade da garra (variação de posição na direção X), mostrou-se compatível com os resultados obtidos a partir do experimento, tornando-se assim um modelo adequado a projetos da mesma natureza.

Para o caso do comportamento das distensões no cabo de acionamento o Modelo Matemático, embora tenha mostrado a mesma tendência de comportamento obtida na curva levantada através da calibração estática, apresentou uma defasagem da ordem de 25% em relação aos dados experimentais. Isto se deve principalmente ao fato de que para o cálculo do comprimento do cabo, via configuração geométrica (vide Figura 3.2), considerou-se constante o raio de curvatura do eixo da lâmina constituinte das juntas elásticas dos dedos, o que é uma hipótese assumida e que impõe ao modelo alguma aproximação.



CONCLUSÕES

Concluiu-se, ao final deste trabalho que a Garra Mecânica Flexível, nos padrões em que foi construído o protótipo, mostrou desempenho operacional satisfatório em relação aos objetivos a que foi proposto. Um outro aspecto favorável foi o nível de estabilidade na pega de objetos cuja geometria não apresentava faces paralelas, nos termos dos expostos nos itens 2.5 e 2.6 deste trabalho.

A metodologia de abordagem do problema levou à obtenção de resultados positivos no Modelamento Matemático, o que viabiliza a previsão das coordenadas de posição para as extremidades da Garra. O aspecto analisado e modelado foi relativo à Cinemática da Garra. Um estudo dos aspectos da Dinâmica da Garra estaria bem posto como sugestão para futuros trabalhos, inclusive na busca de materiais adequados à melhor eficiência em relação aos aspectos de stress por flexão do material.

Do ponto de vista prático, uma grande virtude deste trabalho foi apresentar uma nova sugestão para a configuração física de garras mecânicas, onde os elementos de pega têm dimensões menores do que os convencionais. O uso de juntas constituídas de lâminas flexíveis para aplicação em garra mecânica, que é ainda um assunto pouco desenvolvido, mostrou-se muito favorável na aplicação em garras para manipulação de objetos com geometrias diversas.

O pequeno número de trabalhos com semelhante natureza, tornou-se fator de dificuldades para a abordagem sistematizada deste trabalho.



BIBLIOGRAFIA

- [1] SHIMIDA, S.; SAWAGW, K.; "Work Space Evolution of an Artificial Hand of Human Finger Type". JSME. New York, 1990, p. 516-521.
- [2] HWANG, Y.Y.; TODO, I. ; "Moviment of an object by the Manipulating Force of Jointed Elastic Robot Hand with Two Fingers and Four Degrees of Freedom", JSME. New York, 1992 Series III, vol. 35., no. 2, p. 145-151.
- [3] BUCHHOLZ, B.; ARMSTRONG, J.T.; "A Kinematic Model of the Human Hand to Evaluate Its Parehensile Capabillites"J. Biomechanics, Vol. 25, No. 2, pp. 149-162. (1992).
- [4] YOSHIMURA, M.; MASUI, H.; "Predition of Muscular Force Sharing in a Human Upper Limb and Determination of Optimal Limb Motion"JMSE, New York, 1992, Series III, vol. 35, No. 4, pp. 574-581.
- [5] MIMURA, N.; FUNAHASHI, Y.; "Klinematics of Planar Multifingered Robot Hand ewith Displacement of Contact Points"JMSE, New York, 1992, Série III, vol. 35, No. 3, pp. 462-469.
- [6] SCIESKU, J.L.; MENDOZA, V.L.; "Sensor de Força para Garra Mecânica" Anais do X COBEM, (1989).
- [7] STORER, I.T.; USINGER, R.L.; "Zoologia Geral" Rio de Janeiro, Cia Editora Nacional. (1978), 419 p.



- [8] ATTENHOROUGH, D. "A Vida na Terra", Rio de Janeiro, Livraria Martins Fontes Editora Ltda. (1981), 158 p.
- [9] KOMORNA, H. et al; "Two-Fingered hand with free joints". Symp Flexible Automation Publ. by ASME, New York, 1992, p. 905-908.
- [10] LU, L. et al; "Object Quinted Dexterity Analysis and Design Application for Spatial Robot hand". ASME Design Technical Conferences 1989, Quebec, 1989, p. 1-7
- [11] LU, L. et al; "Characteristics of dexterity for Spatial Robot Hand with two-fingers". ASME Design technical Conference 1989, Quebec, 1989, p. 115-121.
- [12] NGUYEN, T.M. e STEPHANOU, H.E. "Continuous Model of Robot handreshaping". 1989 IEEE International Conference on System, Piscataway, p. 798-803.
- [14] SIEGEL, D.N. e POLLARD, N.S.; "Extracting the Orientation of a Grid Object from Contact Information: An Approach for Overcoming prohibitive Calibration Requirements". 1991 IEEE International Symposium on Intelligent Control, 1991, Piscataway, p. 215-220.
- [15] TSUMURA, T. et al. "Data book of Material Resistance Design (in Japanese)", Ed. Shokabo, Tokyo, 1984, p. 344-345, p. 453.



