

2302257

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

SISTEMA ALTERNATIVO PARA
PORTA DE AUTOMÓVEL

AUTOR: LINCOLN K. MATSUMOTO

ORIENTADOR: OMAR M. MADUREIRA

TF-87
M 4292

1 9 8 7

DEDICATÓRIA

A meus pais,
a meus irmãos,
a meus amigos,
pelo que recebi.

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

Agradeço ao professor Omar M. Madureira pela orientação recebida e especialmente pela compreensão e amizade demonstradas.

Agradeço também a sra. Elisa Rosa Motta pela cooperação nos serviços de datilografia.

A Marina

S U M Á R I O

Este trabalho tem como objetivos principais o desenvolvimento de um sistema alternativo para movimentação da porta de um automóvel e o equacionamento básico para dimensionamento de seus principais componentes.

As equações básicas para dimensionamento se caracterizam pela universalidade de sua aplicação a fim de compatibilizar o sistema proposto com os diversos modelos de automóveis, mantendo-se seu princípio de funcionamento sem alterações significativas.

Efetuuou-se o dimensionamento para um modelo em particular (no caso um VW Passat) a fim de exemplificar o método e fornecer uma idéia da ordem de grandeza das dimensões dos componentes do sistema.

Í N D I C E

APRESENTAÇÃO	01
I. - ESTUDO DA VIABILIDADE DO PROJETO	04
I.1. - Estabelecimento da Necessidade	04
I.1.1. - Apresentação do Sistema Atualmente Utilizado	04
a) Componentes - Definição e Função	04
b) Funções Básicas do Sistema	06
I.1.2. - Inconvenientes Apresentados pela Utilização do Sistema	06
a) Ângulo de Abertura x Área Disponível para Entrada	06
b) Descrição dos Inconvenientes	07
I.1.3. - Conclusão	10
I.2. - Especificações Técnicas	11
I.2.1. - Introdução	11
I.2.2. - Especificações funcionais	12
a) Desempenho	12
b) Conforto	12
I.2.3. - Especificações operacionais	13
a) Durabilidade	13

b)	Confiabilidade	13
c)	Manutenção Preventiva	13
I.2.4.	- Especificações Construtivas	14
a)	Dimensões Gerais	14
b)	Dimensões Funcionais	14
c)	Segurança	15
d)	Estética	15
e)	Detalhes Construtivos	15
I.3.	- Síntese de Possíveis Soluções	17
I.3.1.	- Apresentação	17
I.3.2.	- Definição das trajetórias possíveis	17
I.3.3.	- Critérios Adotados para Síntese de Possíveis Soluções	19
I.3.4.1.	- Apresentação das Soluções	21
a)	Solução (1) - Exeqüibilidade Funcional	21
b)	Solução (1) - Exeqüibilidade Física	23
I.3.4.2.		24
a)	Solução (2) - Esquema de Funcionamento	24
b)	Solução (2) - Exeqüibilidade Física	24
c)	Solução (2) - Exeqüibilidade Funcional	24

I.3.4.3.	25
a) Solução (3) - Exeqüibilidade Funcional	25
b) Solução (3) - Exeqüibilidade Física	25
I.4. - Valor Econômico	30
I.4.1. - Ponto de Vista do Fabricante	30
I.4.2. - Ponto de Vista do Usuário	32
I.4.3. - Conclusão	34
I.5. - Viabilidade Financeira	35
II. - PROJETO BÁSICO	36
II.1. - Introdução	36
II.2. - Escolha da Melhor Solução	37
II.2.1. - Descrição dos critérios de escolha	37
II.2.2. - Definição da Escala de Notas e Pesos Ponderados	39
II.2.3. - Matriz de Escolha do Sistema de Translação	40
II.2.4. - Matriz de Escolha do Sistema Alternativo	41
II.2.5. - Conclusão	42

II.3. - Análise Gráfica	42
II.3.1. - Considerações Gerais	42
II.4. - Modelagem Matemática	46
II.4.1. - Introdução	46
II.4.2. - Equacionamento Para as Barras	47
II.4.2.1. - Determinação do Máximo Momento Fletor	47
II.4.2.2. - Determinação do Diâmetro das Barras	50
II.4.3. - Equacionamento para Dobradiças	52
II.4.3.1. - Conjunto Dobradiça Superior - Dimensionamento	52
II.4.4. - Equacionamento para Carro de Translação e Trilho	57
II.4.4.1. - Conjunto Carro de Translação + Trilho Superior Dimensionamento	57
II.5. - Análise de Sensibilidade	61
II.6. - Análise de Compatibilidade	62
II.7. - Análise de Estabilidade	63
II.8. - Otimização Formal	64
II.8.1. - Dados	64

II.8.1.1.	-	Material para Construção dos Componentes	64
II.8.1.2.	-	Dimensões da Porta	65
II.8.1.3.	-	Carregamentos Externos	65
II.8.2.	-	Dimensionamento Básico	66
II.8.2.1.	-	Comprimento da Barra	66
II.8.2.2.	-	Diâmetro da Barra	66
II.8.2.3.	-	Seção Transversal do Pino	67
II.8.2.4.	-	Seção Transversal da Dobradiça	67
II.8.2.5.	-	Seção Transversal da Dobradiça (na região do pino)	68
II.8.2.6.	-	Determinação das dimensões e , w , d_d	69
II.8.2.7.	-	Diâmetro do trilho	69
II.8.2.8.	-	Carro de Translação	70
II.8.3.	-	Dimensionamento Final	71
II.9.	-	Previsões para o Futuro	72
II.10.	-	Previsões de Tempo de Funcionamento	73
II.11.	-	Ensaio e Testes dos Protótipos	73
II.12.	-	Simplificação	74
APÊNDICE			75

APRESENTAÇÃO

Desde o início do século, com o aparecimento da linha de produção seriada, o automóvel se caracterizou como o bem de consumo mais procurado e desejado. Esta procurou estimular e possibilitou seu desenvolvimento tecnológico, fazendo surgir modificações e aperfeiçoamentos em diversos sistemas e equipamentos mecânicos bem como alterações de estilo e de desenho aerodinâmico e aprimoramento dos conceitos sobre segurança e conforto.

Apesar das inovações incorporadas com o decorrer do tempo, algumas partes do automóvel se mantiveram estáveis, aparentemente não sensibilizando projetistas e usuários quanto a necessidade de aperfeiçoamentos.

Uma destas partes é o sistema de acesso ao interior do veículo, constituído atualmente por um conjunto porta + dobradiças convencional.

Podemos deduzir que uma das causas da falta de inovação nesta parte do veículo, seja o fato da relação custo / benefício não compensar investimentos. Porém, uma reavaliação desta afirmação deve ser feita.

Atualmente, principalmente nos grandes centros urbanos, nota-se uma preocupação unânime quanto à ocupação do espaço, visando seu aproveitamento máximo. Edifícios erguidos recentemente possuem estacionamentos onde as vagas destinadas aos veículos são cada vez mais estreitas, o mesmo ocorrendo com hipermercados, lojas de departamentos, restaurantes, etc.

Seguindo esta tendência, os automóveis lançados no mercado nos últimos tempos, são cada vez mais compactos, próprios para as condições urbanas atuais.

Deste modo, a situação do automóvel se torna ambígua pois embora ocupando pouco espaço, para que os usuários tenham acesso ao seu interior, é necessário um espaço adicional relativamente grande, qual seja, o espaço

para movimentação da porta.

Colocado desta forma, os possíveis investimentos no aperfeiçoamento de um sistema alternativo para movimentação da porta do automóvel, com certeza resultarão num retorno, mensurável ou não monetariamente, que os justifique.

O objetivo deste trabalho foi o de fornecer uma pequena colaboração, a nível de idéias, na busca de soluções plausíveis para o problema, não procurando propor uma solução definitiva, mas tentando encorajar o aparecimento de outras.

I. - ESTUDO DA VIABILIDADE DO PROJETO

I.1. - ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE

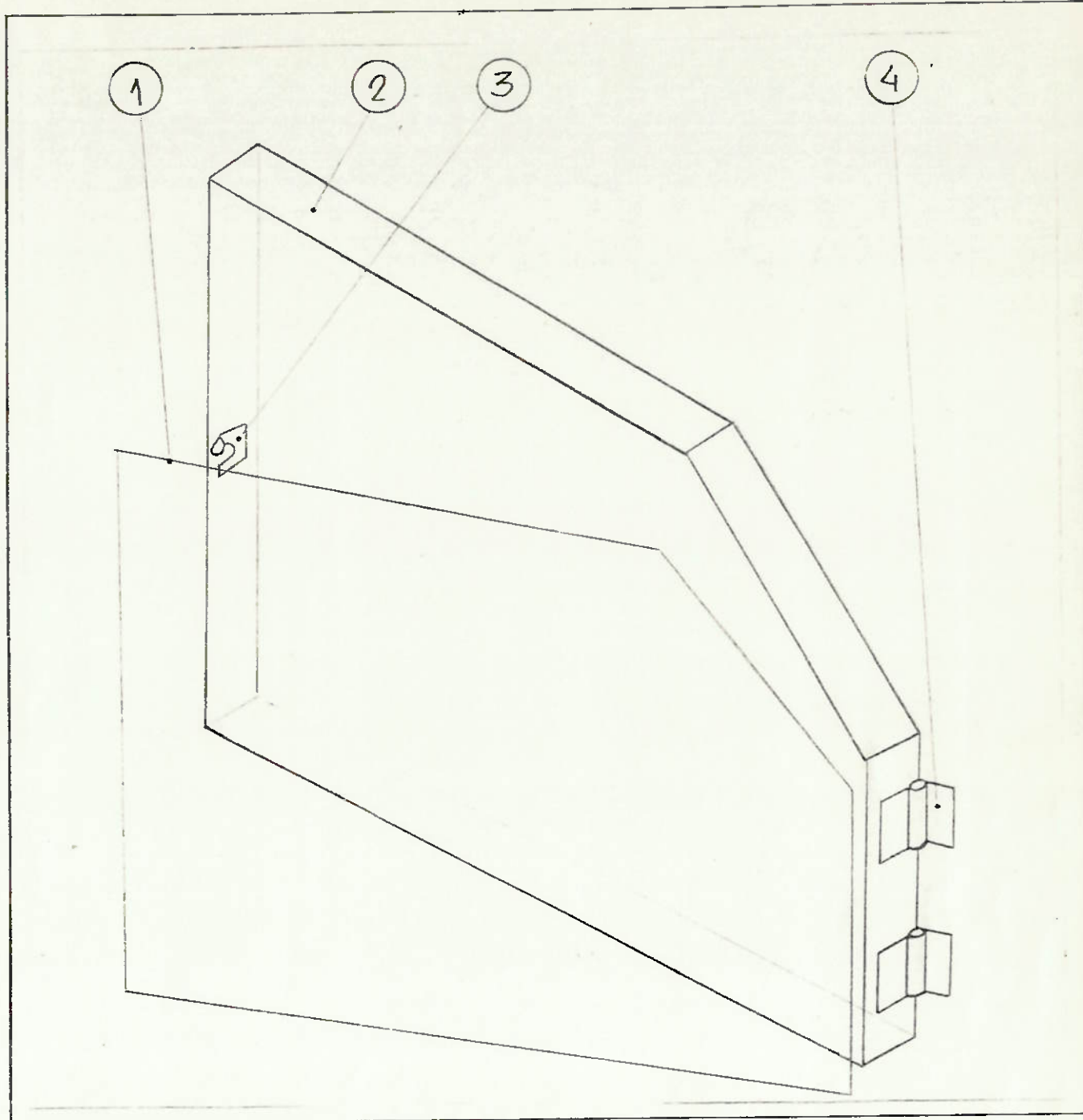
I.1.1.- Apresentação do Sistema Atualmente Utilizado (Fig. 1)

a) Componentes - Definição e função

a.1) Batente: Compreende a região da carroceria do veículo onde se aloja a porta. Dispõe de uma moldura em borracha que absorve impactos durante o fechamento da porta e que oferece a vedação necessária contra agentes externos.

a.2) Porta: Compreende a parte do sistema identificada como uma superfície aproximadamente plana e que , pelo seu deslocamento em relação à carroceria do veículo, possibilita entrada ou saída dos passageiros.

a.3) TRINCO: Componente que fornece estabilidade de posicionamento da porta na condição fechada , impedindo que se movimente por ações involuntárias



- | | |
|---|-----------|
| 1 | BATENTE |
| 2 | PORTA |
| 3 | TRINCO |
| 4 | DOBRADIÇA |

Fig. 1 - Sistema atualmente utilizado para acesso de passageiros ao veículo.

a.4) Dobradiças: São articulações que possibilitam a movimentação de abertura e fechamento da porta, definindo sua trajetória e fornecendo pontos de sustentação da porta na carroceria do veículo.

b) **Funções Básicas do Sistema**

b.1) Possibilitar entrada e saída dos ocupantes do veículo.

b.2) Fornecer isolamento/proteção aos ocupantes do veículo, contra agentes externos (chuva, poeira, fumaça, colisões com outros veículos, etc.)

Obs.: Devemos salientar que as duas funções não podem ser satisfeitas simultaneamente, visto que estão relacionadas a distintos modos de operação do sistema. A função b.1) é satisfeita com a condição **SISTEMA ABERTO**. A função b.2) é satisfeita com a condição **SISTEMA FECHADO**.

I.1.2.- **Inconvenientes Apresentados pela Utilização do Sistema**

a) **Ângulo de abertura x Área disponível para entrada.**

Do que foi apresentado anteriormente, fica perfeitamente claro que pontos pertencentes à porta descrevem como trajetória, arcos de circunferência. Deste modo,

quanto maior o ângulo de abertura da porta, maior será a área disponível para entrada e saída dos passageiros. Para uma melhor visualização e compreensão do que representa esta área disponível, podemos definir uma **ÁREA PROJETADA**, como sendo a projeção da porta, numa determinada posição, ou melhor em determinado ângulo, sobre a região delimitada pelo batente.

Assim, a área disponível será dada pela diferença entre a área do batente e a área projetada. (Fig. 2)

Conforme se observa na figura, há a necessidade de um ângulo de abertura muito grande, para obtermos uma área disponível que possibilite um acesso fácil e confortável ao veículo. Portanto, obstáculos que impeçam a abertura da porta, restringindo o ângulo de abertura da mesma, prejudicam o acesso ao veículo, tornando esta operação pouco confortável ao usuário.

b) Descrição dos Inconvenientes

b.1) Em situações onde os veículos são obrigados a estacionar um ao lado do outro (estacionamentos de edifícios, lojas de departamentos, etc.) ocorrem as inevitáveis colisões entre as portas, provocando amassamentos na carroceria e avarias na pintura, devido ao espaço exí-

BATENTE

08

ÁREA PROJETADA

ÁREA DISPONÍVEL

VISTA LATERAL

VISTA SUPERIOR

BATENTE

PORTA

ÂNGULO DE
ABERTURA

Fig.2 - ÁREA DISPONÍVEL PARA ENTRADA E SAÍDA DE OCUPANTES DO VEÍCULO.

quo existente para movimentação das mesmas. Ao se tentar evitar os danos mencionados, restringindo-se o ângulo de abertura da porta, fica prejudicado o acesso dos usuários.

b.2) Os automóveis modernos são baixos, com o centro de gravidade situado o mais próximo possível do solo, a fim de proporcionar maior estabilidade e reduzir a área aerodinâmica. Com isso, as portas descrevem suas trajetórias próximas ao solo. Em ruas que possuam guias de calçadas particularmente elevadas, podem ocorrer dificuldades na abertura das portas e conseqüentemente, dificuldades no acesso ao interior do veículo.

b.3) Existe alto risco de acidentes graves, durante movimentação da porta, quando esta se abre para o lado da pista de trânsito de veículos.

Todos os inconvenientes citados são particularmente agravados no caso dos veículos destinados ao transporte urbano de pequena capacidade (TÁXIS). Estes veículos operam com elevada freqüência de movimentação da porta (abertura e fechamento) e deparam freqüentemente com as situações relacionadas acima.

I.1.3. - CONCLUSÃO

Notamos que todos os inconvenientes se relacionam com a movimentação da porta, que em última análise , define um maior ou menor grau de facilidade e conforto no acesso dos usuários do veículo. Assim, o enfoque deste trabalho será o de aperfeiçoar o sistema no atendimento de uma das suas funções básicas, qual seja, possibilitar entrada e saída dos ocupantes do veículo. Isto será feito , tomando-se como idéia inicial, a modificação na trajetória da porta, alterando-se o sistema de movimentação em rotação para um sistema de movimentação que exija menor espaçamento lateral.

I.2. - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

I.2.1. - Introdução

Visto que o sistema a ser projetado visa exclusivamente aspectos referentes à movimentação da porta (SISTEMA ABERTO), estas especificações não condicionam aspectos referentes ao outro modo de operação da porta (SISTEMA FECHADO). Fica entretanto subentendido que o sistema a ser proposto deve atender a segunda função com eficiência pelo menos idêntica à fornecida pelo atual sistema.

As especificações técnicas serão estabelecidas segundo a seguinte classificação:

- a) **Especificações Funcionais:** relacionadas ao atendimento da função.
- b) **Especificações Operacionais:** relacionadas à forma como o sistema irá atender a função.
- c) **Especificações construtivas:** relacionadas à construção do sistema proposto.

I.2.2. - Especificações Funcionais

a) Desempenho

O sistema deve proporcionar uma área disponível de entrada de **pelo menos 80% da área total**, nas mesmas condições em que o sistema atualmente utilizado forneça 50% da área total.

b) Conforto

- b.1) O sistema deve ser passível de utilização por **95% das pessoas** que compõem o conjunto total de usuários.
- b.2) Quando em movimento, o sistema não deve ultrapassar, em nível de ruído, os valores alcançados pelo sistema atual.
- b.3) O esforço requerido para acionamento não deve ultrapassar o **valor de 0,5 kgf**.
- b.4) O usuário não deve ser solicitado a movimentar seu braço de uma **distância superior a 60 cm**, para acionar o sistema. ^c

I.2.3. - Especificações Operacionais

a) Durabilidade

- estrutura de fixação: vida útil de 10 anos
- partes móveis sujeitas a atrito: vida útil de 5 anos.

Obs.: Estas estimativas devem levar em consideração uma frequência média de operações de abertura e fechamento. Um valor que pode ser adotado e que foi retirado de observações da prática é: 5 operações completas / dia.

b) Confiabilidade

O sistema não pode apresentar falhas que interrompam seu funcionamento em número superior a uma vez a cada três anos.

c) Manutenção Preventiva

Como as condições de operação não são rigorosas é suficiente estabelecer um período de 3 anos para a realização de uma manutenção geral do sistema e períodos de 6 meses para limpeza e lubrificação.

I.2.4. - Especificações Construtivas

a) Dimensões Gerais

a.1) O conjunto de sustentação deve ser capaz de suportar o peso combinado da porta (estrutura da porta, janela de vidro e seu conjunto de acionamento) e possíveis sistemas acessórios (p. ex. motorização de acionamento da janela). O valor estimado para o peso a ser suportado é de aproximadamente 70 kgf.

a.2) O sistema, em qualquer posição (aberta, fechada ou intermediária), não deve interferir na movimentação e/ou utilização de equipamentos internos do veículo (cinto de segurança, extintor de incêndio, bancos reclináveis, etc).

b) Dimensões Funcionais

b.1) As trajetórias descritas pelos componentes do sistema não devem interferir na movimentação dos ocupantes no interior do veículo, nem dificultar a acomodação dos mesmos. Em especial, o motorista não deve ter seus movimentos restringidos nem sua visão prejudicada.

- b.2) O conjunto não deve apresentar folga superior a 2 mm entre batente e porta, durante o tempo previsto entre duas manutenções consecutivas.

c) **Segurança**

- c.1.) Deve-se evitar partes contundentes no interior do veículo. Quando houver, estabelecer uma proteção de carenagem suficiente para recobri-las.

- c.2.) As regiões da carroceria do veículo onde se fixará o sistema não podem ter sua estrutura fragilizada, devendo-se prever reforços a fim de manter sua resistência original, se necessário.

d) **Estética**

O sistema deve responder satisfatoriamente às condições estéticas do interior do veículo e prováveis modificações na cobertura de carenagem interna da porta devem acompanhar o estilo original.

e) **Detalhes Construtivos**

- e.1.) Os componentes que exigem manutenção mais freqüente devem se situar de maneira acessível, a fim de

facilitar sua remoção e colocação.

- e.2.) Articulações e regiões de atrito devem ser revestidas com camadas protetoras contra desgaste e construídas de modo a reter um filme suficiente de lubrificante.
- e.3.) Partes metálicas devem sofrer tratamento e/ou pintura anti-corrosão.
- e.4.) Durante a movimentação, o sistema não pode apresentar oscilações lineares nem angulares.
- e.5.) Possível fiação elétrica ("chicotes"), de acessórios instalados na porta, deve ser protegida contra choques, umidade e outros fatores prejudiciais, como tensionamento, dobramento, etc.

1.3. - SÍNTESE DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES

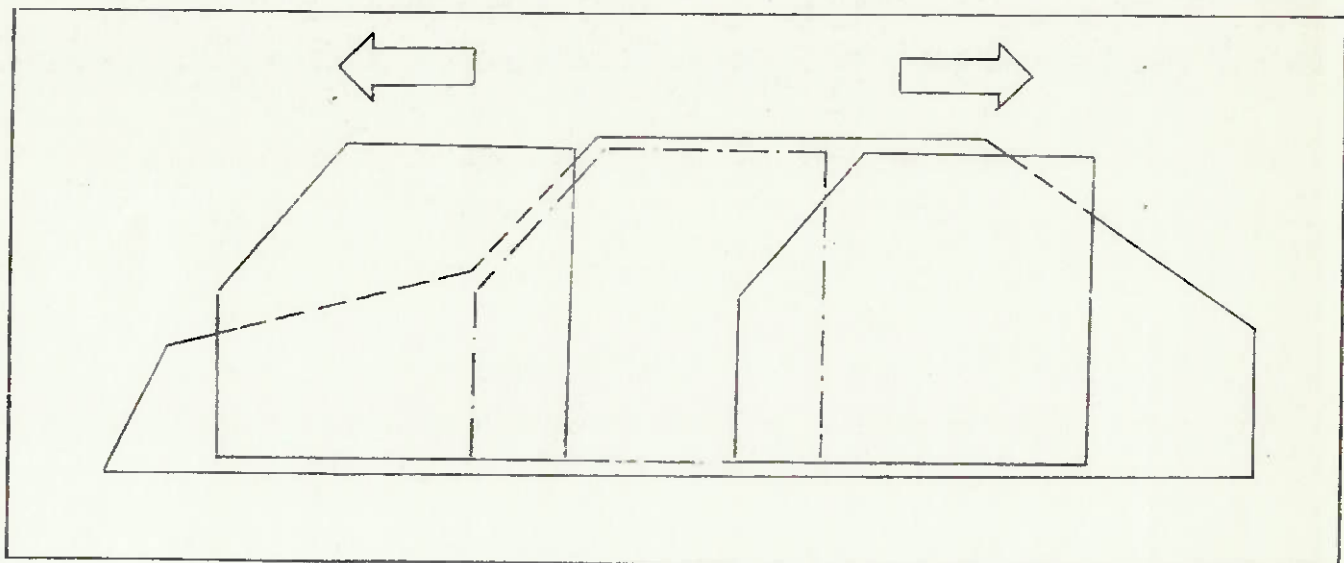
1.3.1. - Apresentação

O sistema alternativo para movimentação da porta deverá proporcionar facilidade de acesso (entrada e saída) do usuário mesmo operando em locais exíguos. As trajetórias resultantes para a porta podem ser antecipadamente definidas a fim de satisfazer essa condição. Deste modo, elaboramos os possíveis sistemas que geram essas trajetórias e os analisamos segundo três considerações :

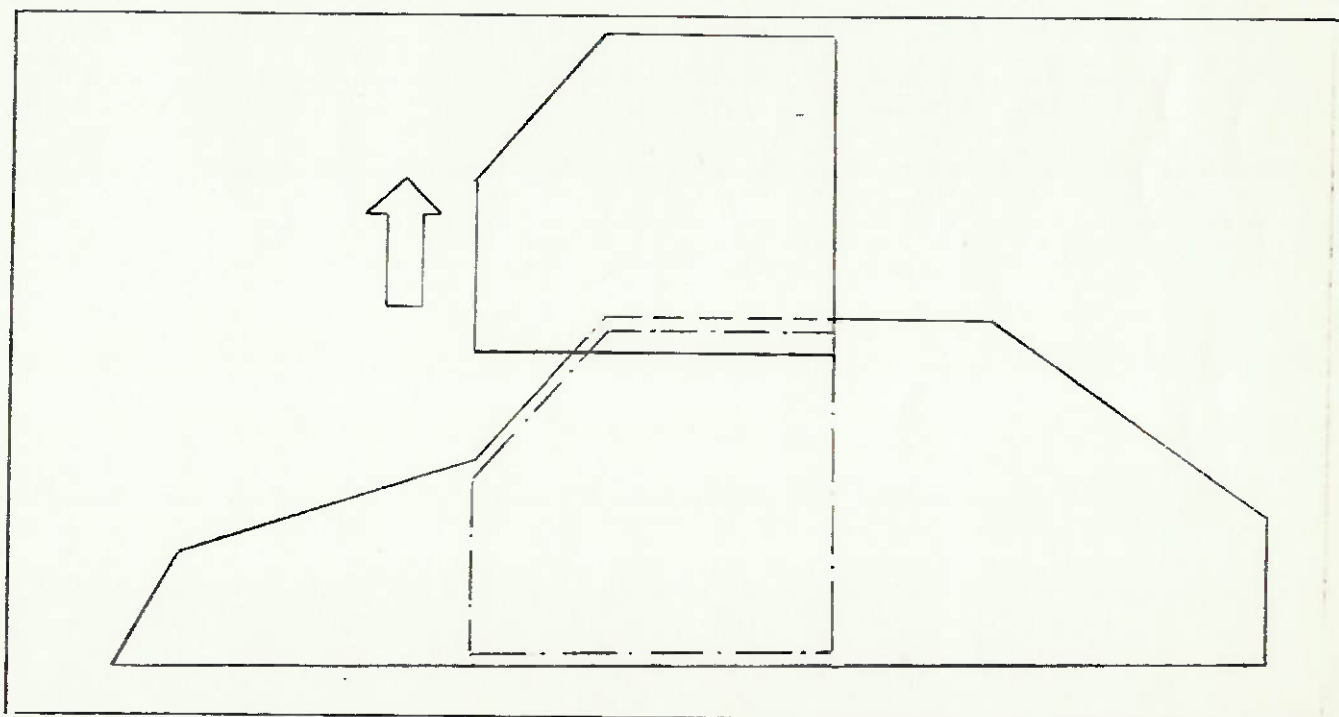
- a) exeqüibilidade física e funcional
- b) valor econômico
- c) viabilidade financeira

1.3.2. - Definição das Trajetórias Possíveis

De acordo com a formulação do nosso problema, verifica-se facilmente que a porta deverá ser movimentada segundo uma trajetória paralela ao veículo, mantendo-se sua posição, a cada instante, também , paralela ao veículo. Na Figura (3), observamos a existência de duas situações possíveis.



3.b.) TRAJETÓRIA ASCENDENTE



c

Fig. (3) - TRAJETÓRIAS PARALELAS PARA MOVIMENTAÇÃO DA PORTA.

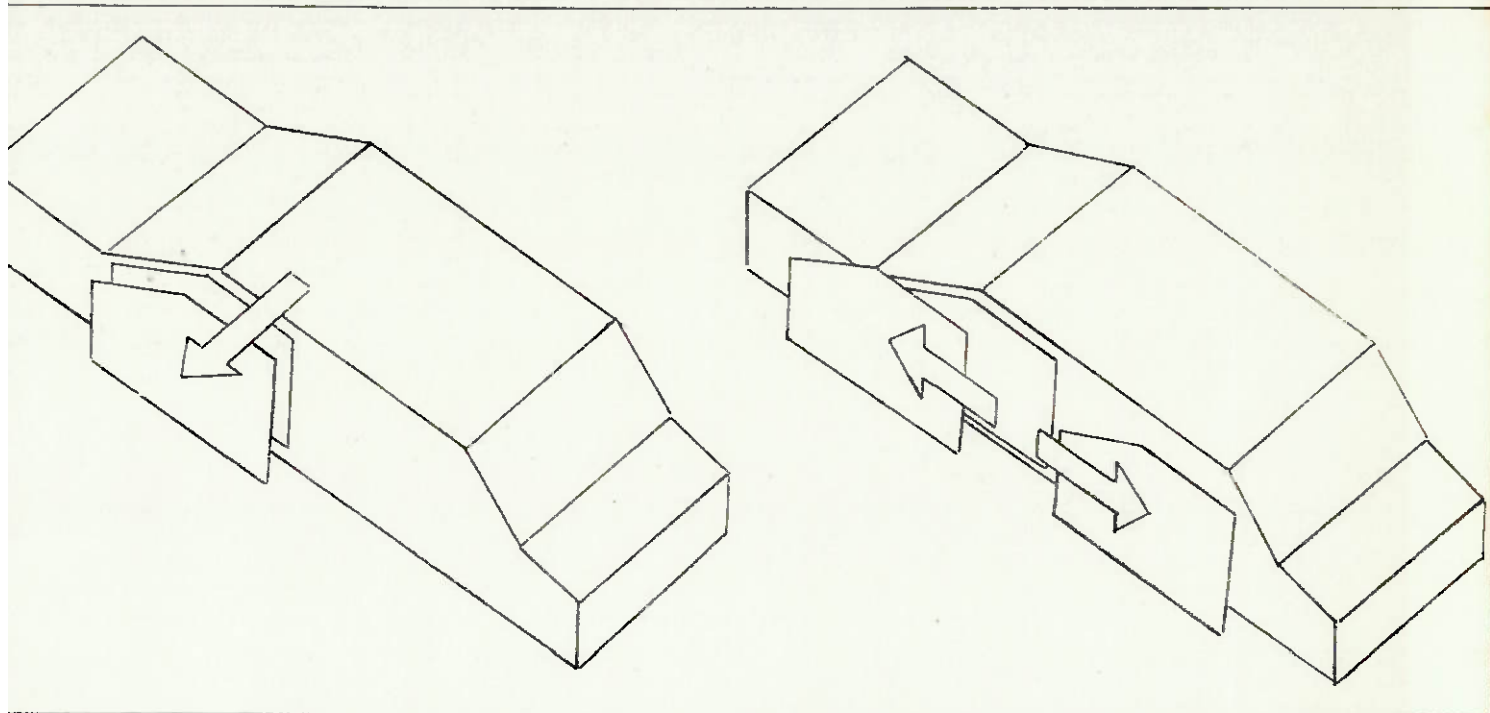
Observamos ainda que, a fim de conseguirmos estes dois tipos de movimentação, é necessária a existência de uma movimentação adicional que projete a porta para fora da carroceria do veículo.

Do que foi exposto, definimos as trajetórias requeridas que poderão ser fornecidas pelos possíveis sistemas de movimentação. Isto pode ser visualizado na figura (4).

I.3.3. - Critérios Adotados para Síntese de Possíveis Soluções.

- a) O sistema deve possuir alto grau de adaptabilidade à maioria dos modelos de automóveis existentes. A compatibilidade dimensional com cada modelo deve requerer mudanças não significativas em relação ao princípio de funcionamento do sistema.
- b) Deve-se procurar utilizar peças e componentes disponíveis no mercado, desde que não prejudiquem o desempenho, confiabilidade e durabilidade do sistema.
- c) O sistema alternativo deve ser projetado de modo a respeitar as características originais da porta .

4.a.) PROJEÇÃO LATERAL E TRAJETÓRIA LONGITUDINAL



4.b.) PROJEÇÃO LATERAL E TRAJETÓRIA ASCENDENTE

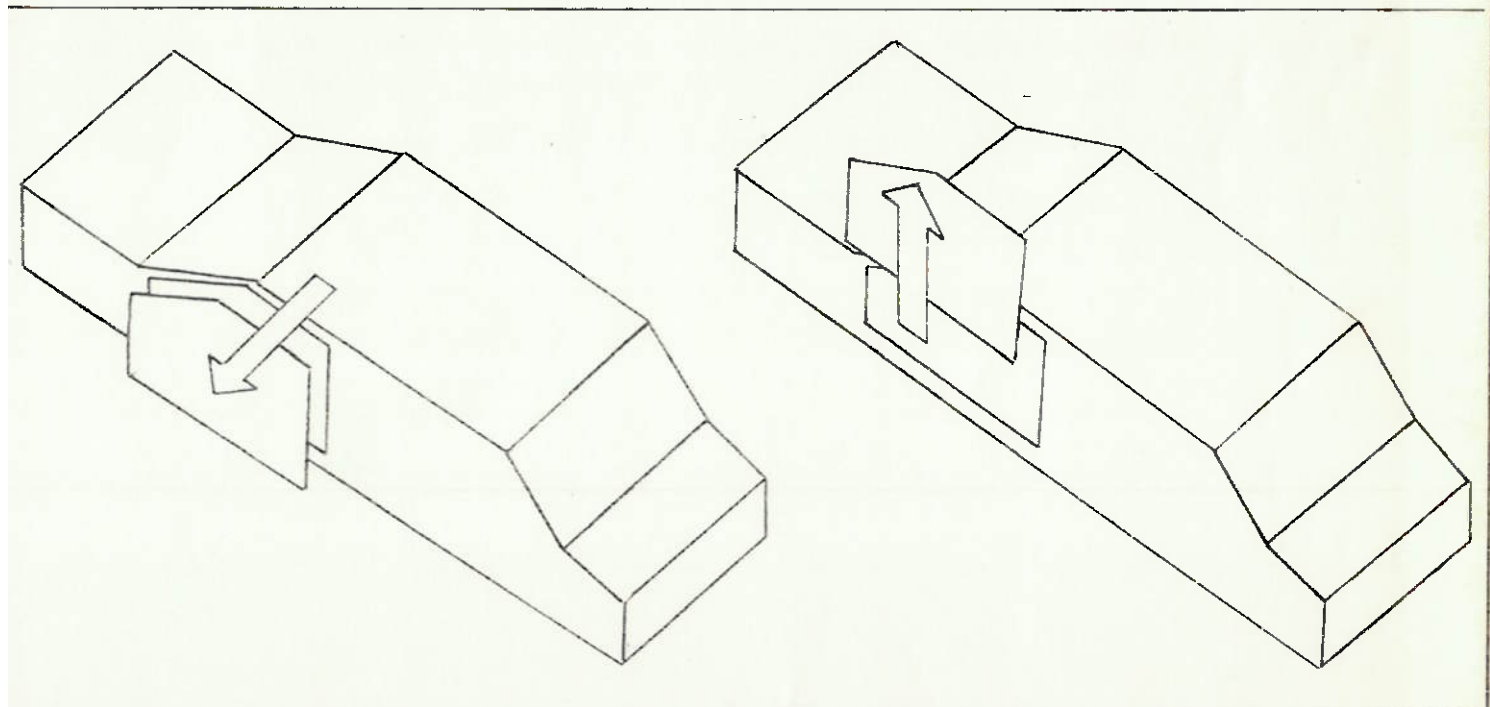


Fig. (4) - TRAJETÓRIAS REQUERIDAS PELAS POSSÍVEIS SOLUÇÕES

Como acessório pós-venda, o sistema deve ser tal que introduza mínimas alterações construtivas no veículo e não deve afetar seu estilo e linhas estéticas externas.

I.3.4.1.- Apresentação das Soluções

a.) Solução (1) - Exeqüibilidade Funcional [Fig. (5)]

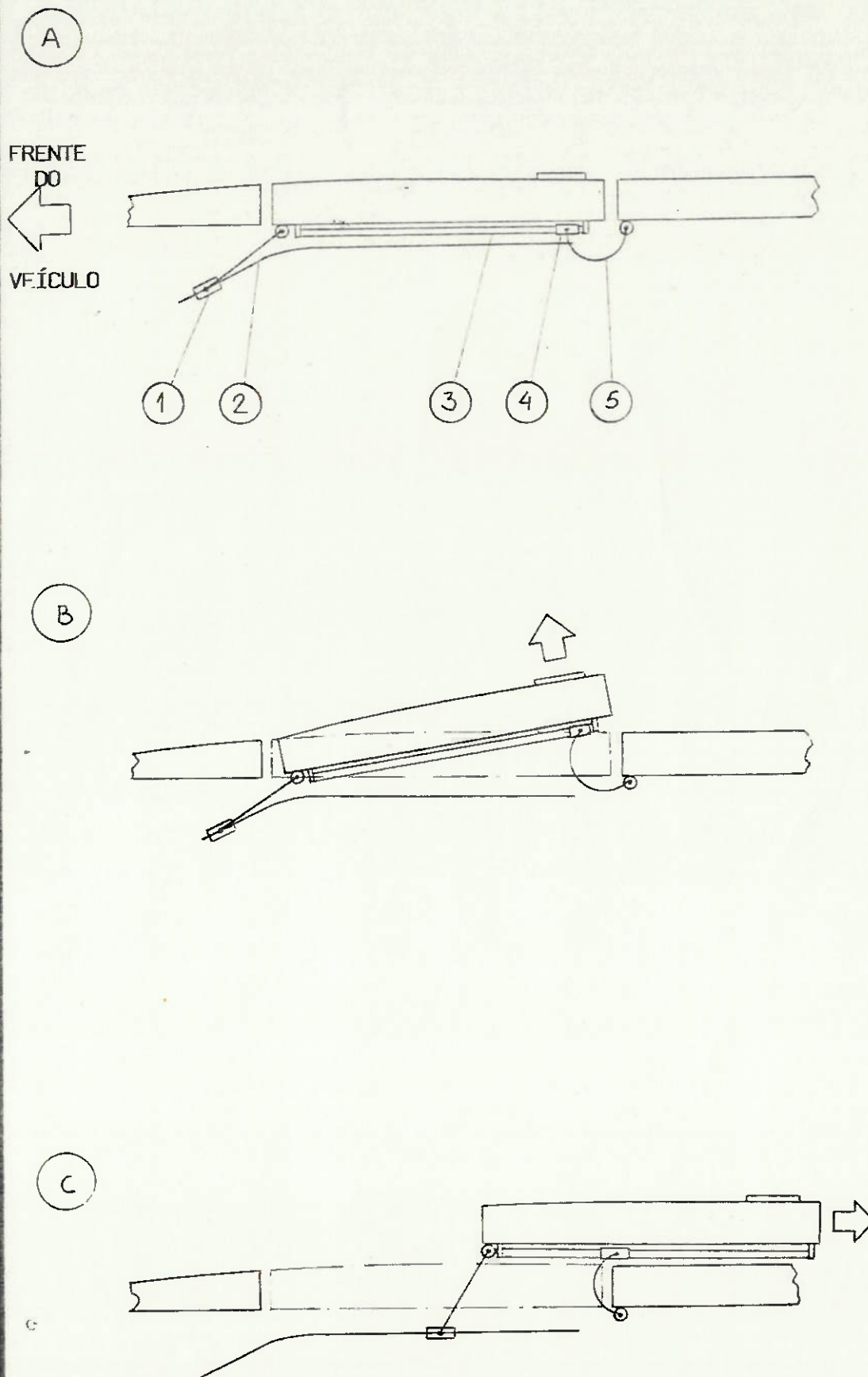
O sistema pode ser instalado no espaço disponível do interior do veículo facilmente.

As modificações introduzidas são tais que não afetam de maneira significativa o conforto dos passageiros, nem prejudicam a estrutura do veículo.

Estão previstas carenagens nos componentes a fim de atender a normas de segurança e impedir que o sistema contraste, em estilo, com o interior do veículo.

Para que o sistema funcione adequadamente (olhar etapa (B) do esquema de funcionamento) é necessário que exista uma trava (tipo trambulador) nas guias (3), que forneça uma garantia de posiciona -

Fig. (5) - Solução (1) - Esquema de Funcionamento



mento para a porta, no instante de abertura e fechamento da mesma. Com isto, se impediria a situação indesejável de a porta transladar durante a movimentação de abertura e fechamento, resultando choques entre porta e batente devido ao não enquadramento do conjunto.

b) Solução (1) - Exeqüibilidade Física

Todos os componentes podem ser construídos facilmente, não necessitando de processos produtivos sofisticados.

As duas "dobradiças" (5) (em formato tipo "pescoço de ganso") podem ser feitas de aço estrutural, devendo suportar aproximadamente 90% do peso da porta.

As duas guias (3) podem ser contruídas com lâminas de aço (tipo cantoneira comercial) tendo as faces de deslizamento um tratamento superficial a fim de minimizar o atrito (por exemplo, retificadas e polidas).

Os dois carrinhos deslizantes (4) podem ser feitos em aço resistente ao desgaste, devendo também ser retificados e polidos.

O efeito de lubrificação pode ser conseguido utilizando-se os elementos convencionais (graxas ou óleos lubrificantes) ou fazendo uso do processo de grafitação nas guias. Para o primeiro caso é necessário prever uma proteção das guias, a fim de não permitir contaminação no interior do veículo devida ao lubrificante.

O carrinho (1) e a guia (2) podem ser construídos de maneira análoga.

I.3.4.2. -

a) Solução (2) - Esquema de Funcionamento

Idêntico à solução (1) com a diferença de a movimentação se efetuar para a frente do veículo. Para isto, bastaria a mudança de posição entre os componentes (4) e (5), passando-os para a frente, e os componentes (1) e (2), invertendo-se a movimentação.

b) Solução (2) - Exeqüibilidade Física

Também análoga ao descrito para a solução(1).

c) Solução (2) - Exeqüibilidade Funcional

Para o funcionamento adequado seria necessário a mudança de posição do conjunto maçaneta-trava, passando-o para a frente, junto aos componentes (4) e (5). Desta maneira, o modo de operação se manteria análogo ao da solução (1).

I.3.4.3.a) Solução (3) - Exeqüibilidade Funcional (Fig. 6)

Semelhante ao descrito para a solução (1).

A fim de garantir que a porta somente se movimente para fechar quando a mesma estiver totalmente recolhida, pode-se imaginar um sistema de segurança conforme ilustrado na figura (8).

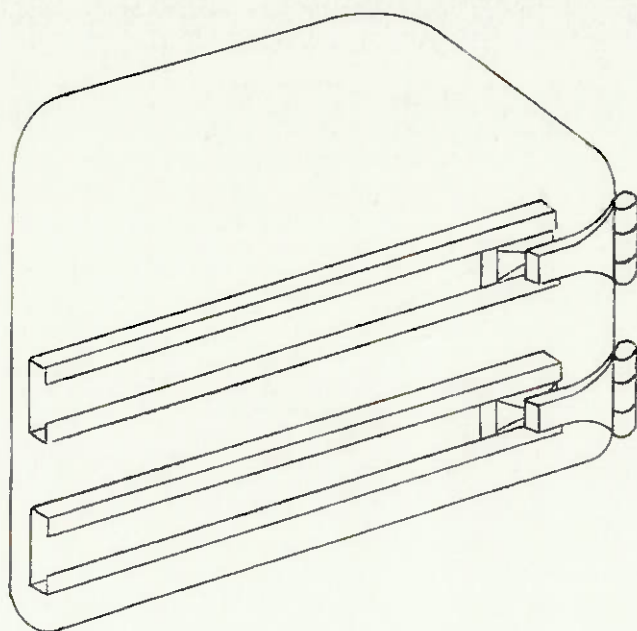
b) Solução (3) - Exeqüibilidade Física

Semelhante ao descrito para a solução (1).

A movimentação da porta, que mantém uma posição paralela ao veículo em todo o instante de abertura e fechamento, pode ser obtida por mecanismo quatro barras articulado, em conjunto com as dobradiças.

Um mecanismo que proporciona este tipo de movimentação está ilustrado na Fig. (7) sendo que inúmeros outros podem ser encontrados.

Fig. (6) - Solução (3) - Esquema de Funcionamento



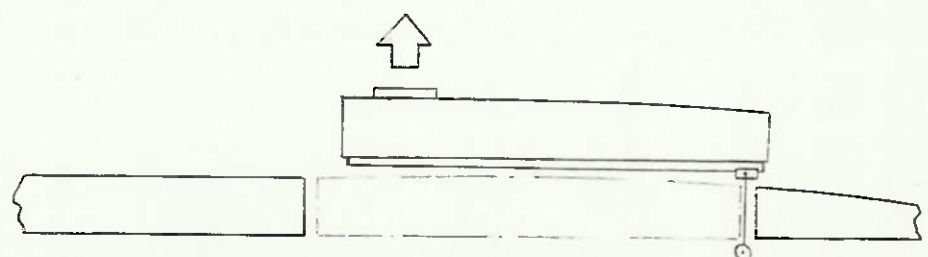
A



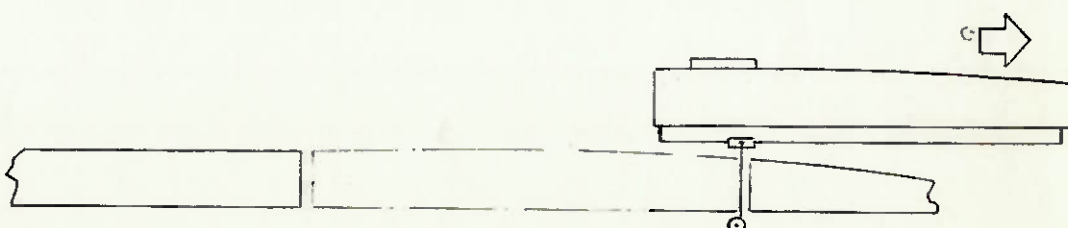
FRENTE
DO
VEÍCULO



B



C



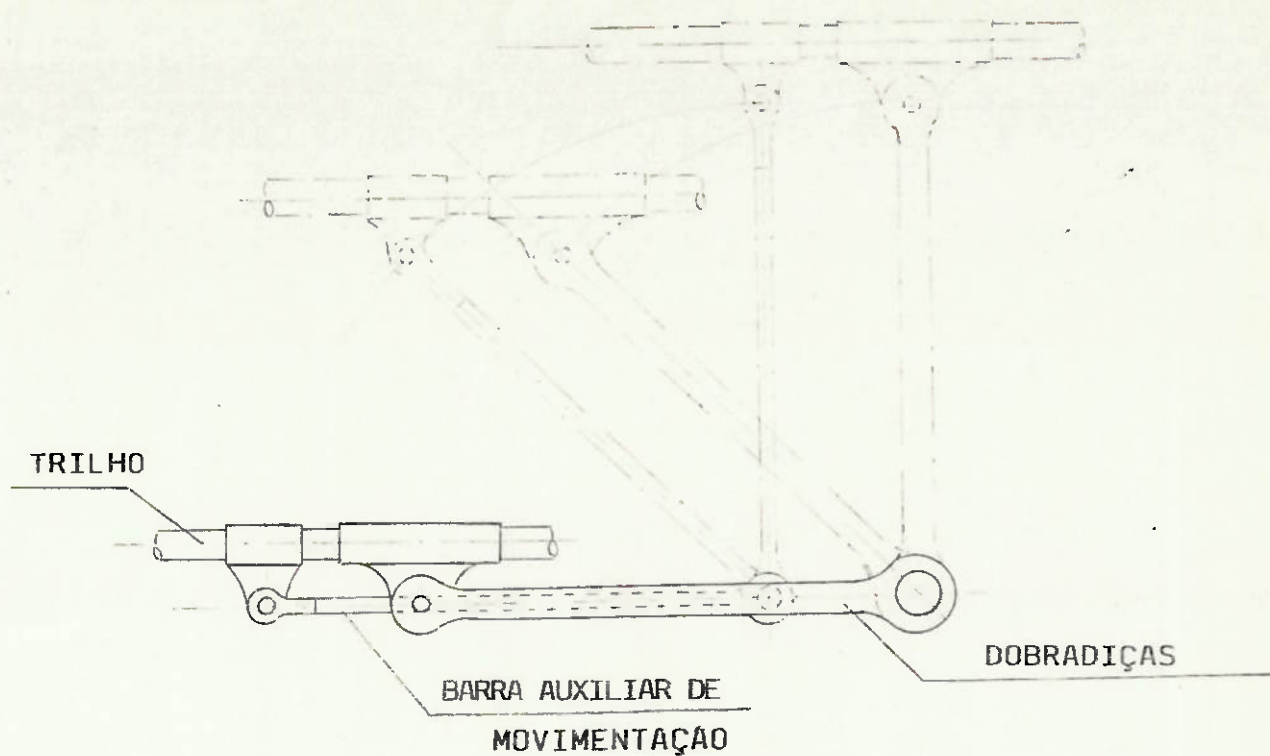


Fig. (7) Mecanismo de movimentação da porta (Solução 3)

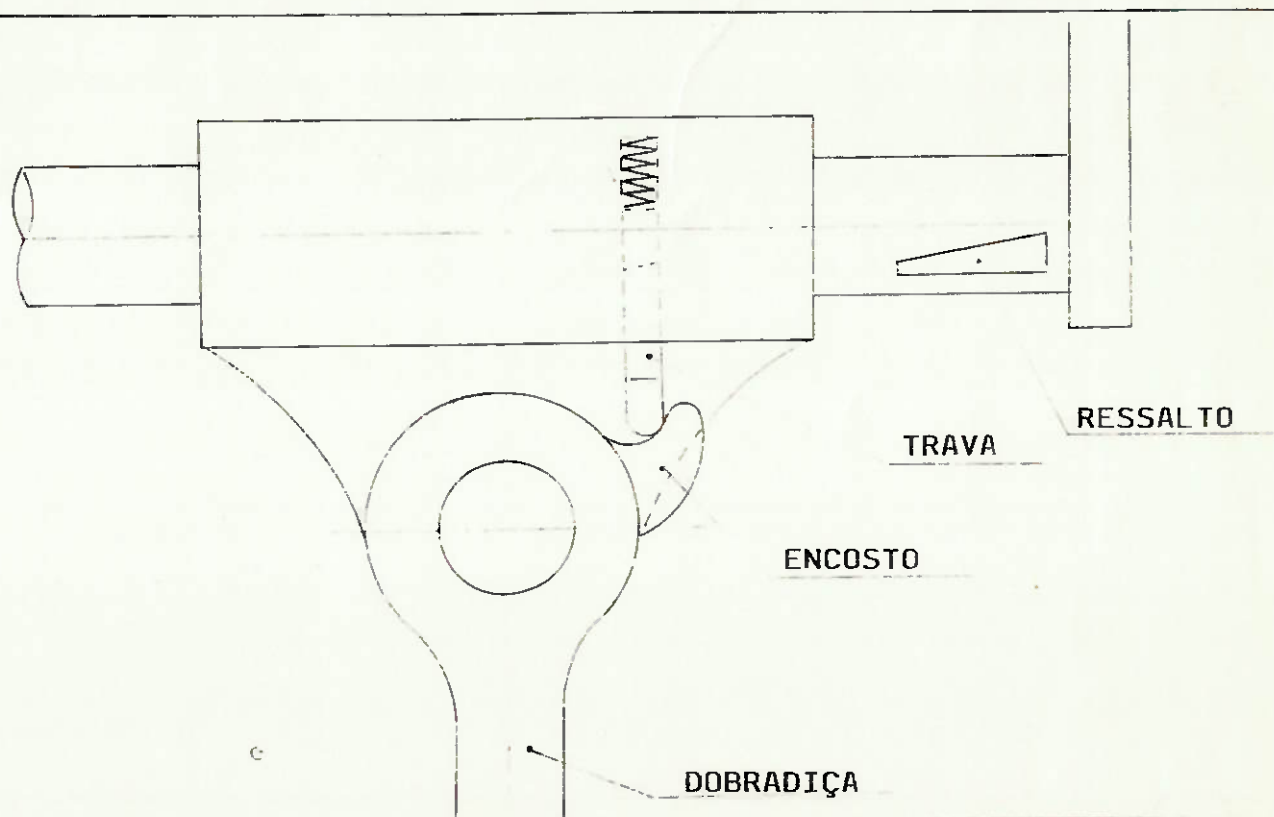


Fig. (8) Esquema de dispositivo de travamento de segurança.

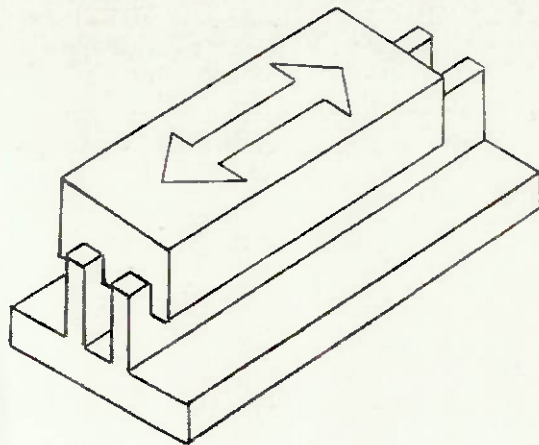
De acordo com a figura, enquanto o ressaltado não recolher a trava, não haverá possibilidade de rotação da dobradiça e conseqüentemente a porta não se fechará.

Ilustradas na figura (9), estão as possíveis maneiras de se conseguir um movimento de translação que podem ser utilizadas nas três soluções apresentadas.

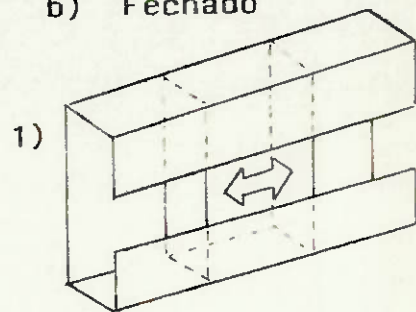
Fig. (9) - Sistemas de Translação

1. - Deslizamento

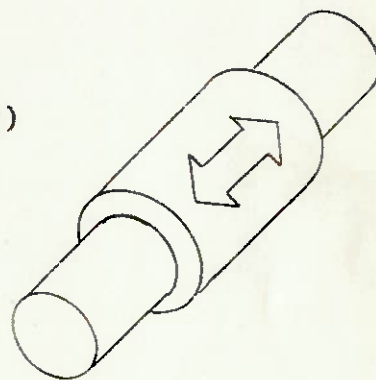
a) Aberto



b) Fechado

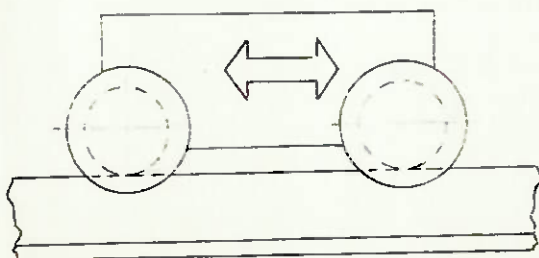


2)

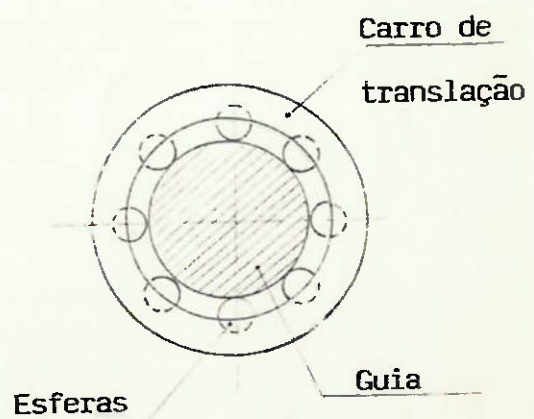


2. - Rolamento

a) Aberto



b) Fechado



I.4. - VALOR ECONÔMICO

I.4.1. - PONTO DE VISTA DO FABRICANTE

Para análise do valor econômico do ponto de vista do fabricante, devemos comparar o preço de venda do sistema alternativo com seu custo de produção e, portanto, avaliarmos o lucro obtido na operação.

O custo de produção pode ser avaliado de maneira semelhante para as três soluções encontradas, visto que estas não diferem significativamente em material de construção, alterações na cobertura interna da porta e instalação. Podemos, pois, tomar como base de cálculo, a solução (3).

Todos os valores adotados nesta avaliação foram fornecidos por uma empresa especializada em alterações estéticas e instalação de equipamentos opcionais em veículos utilitários.

O critério adotado para estimativa dos valores constantes neste trabalho, foi o da similaridade com produtos e/ou processos utilizados pela empresa atualmente, visto que se trata de um projeto sem antecedentes conhecidos, que fornecessem valores

comparativos mais precisos.

Os valores já incluem tanto o custo de matéria-prima quanto o custo de mão-de-obra. Para melhor visualização comparativa, a análise de custos de produção tomou como referência um setor da empresa, com 6 funcionários e maquinaria completa de usinagem leve, solda e equipamento de uso em tapeçaria.

A tabela abaixo fornece os valores estimados do custo de produção, discriminados por item e avaliados em cruzados e OTN's, para não se perder a idéia de seu valor real. (Valores em cruzados de Nov/87)

I T E M	C U S T O CZ\$	C U S T O OTN
Reforço na estrutura do veículo e da porta	10.000	11,49
Construção de peças e componentes	15.000	17,24
Alterações de caráter estético	7.000	8,05
Pintura e acabamento	5.000	5,74
T O T A L *	37.000	42,53

* PARA UMA PORTA

Devemos estimar agora qual deve ser o preço de venda do produto, ou aquele valor que o usuário estaria disposto a desembolsar para adquirir o equipamento.

Para isso, vamos analisar o valor econômico do ponto de vista do usuário e de posse de todos os valores, concluirmos sobre a viabilidade econômica do projeto.

I.4.2. - PONTO DE VISTA DO USUÁRIO

O usuário deve se sentir satisfeito se o sistema alternativo proposto oferecer-lhe benefícios tais que compensem o valor desembolsado em sua aquisição. Como o grau de satisfação é um critério de avaliação subjetivo, variando de indivíduo para indivíduo, e também em conformidade com determinadas situações nas quais um determinado indivíduo se encontra, vamos analisar o valor econômico do projeto em comparação com outros produtos ou acessórios normalmente adquiridos pelo usuário proprietário de um automóvel, e que também são avaliados subjetivamente.

Na tabela abaixo, se relacionam alguns acessórios pós-venda com respectivo custo para o usuário. (valores em Cz\$ e OTN's).

ACESSÓRIO / EQUIPAMENTO	PREÇO CZ\$	PREÇO OTN
Teto Solar	15.000	17,24
Acionamento elétrico do vidro	10.000	11,49
Rádio AM-FM Toca-fitas	38.000	43,68
Conserto leve de funilaria	25.000	28,74
Jogo de 4 pneus novos	16.000	18,39
Conjunto de 5 amortecedores	12.500	14,37
Regulagem de carburador	15.000	17,24

Logicamente, além da satisfação que o sistema alternativo pode proporcionar ao usuário, acrescentamos o valor de estima (algo difícil de ser mensurado monetariamente) e o valor de revenda do veículo, que acreditamos seja superior ao valor de revenda de um veículo com portas convencionais.

I.4.3. - CONCLUSÃO

Do item I.4.1. , determinamos, ainda que aproximadamente, o custo de produção do projeto como sendo Cz\$ 37.000 ou 42,53 OTN's.

Adotando uma margem de lucro para o fabricante da ordem de 15%, estimamos o preço de venda ao usuário como sendo Cz\$ 42.550 ou 48,9 OTN's.

De acordo com as considerações expostas no item I.4.2., acreditamos que o usuário obtenha um grau de satisfação razoável, com os benefícios fornecidos pelo sistema ao longo de sua vida útil e com seu valor de revenda, compensando largamente o investimento inicial.

Deste modo, estabelecemos a existência do valor econômico do projeto tanto para o usuário quanto para o fabricante, o que torna o projeto viável economicamente

I.5. - VIABILIDADE FINANCEIRA

Na análise do valor econômico para o fabricante foi admitido que o mesmo possuía todos os meios produtivos necessários para a fabricação do produto visto ser uma empresa especializada em modificações em veículos. Apesar disso, os equipamentos e processos utilizados são amplamente conhecidos, não necessitando de mão-de-obra qualificada, podendo ser encontrados em uma oficina mecânica razoavelmente bem equipada.

Por isso, o investimento inicial pode ser considerado nulo e financeiramente o projeto é viável.

II - PROJETO BÁSICO

II.1. - INTRODUÇÃO

De acordo com as possíveis soluções encontradas no estudo de viabilidade, vamos escolher aquela que apresente maiores possibilidades de sucesso.

Com a solução escolhida, faremos uma análise gráfica e matemática com a finalidade de identificar os parâmetros mais significativos do sistema, além de obter equações geométricas e matemáticas que as relacionem entre si.

Todo o estudo será feito da maneira mais geral possível, tendo em vista as diferenças existentes entre os vários modelos de automóveis. Durante a otimização do projeto, será escolhido um modelo de automóvel e obteremos o dimensionamento do sistema para este modelo.

II.2. - ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO

II.2.1. - DESCRIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE ESCOLHA

- a) **Facilidade de Operação:** diz respeito ao nível de adaptabilidade do usuário ao sistema proposto.

Numa situação ideal , o sistema deveria atender a 100% dos usuários de maneira satisfatória, ou seja , 100% dos usuários deveriam se sentir confortáveis , durante a operação do sistema, não importando seu tipo físico.

- b) **Desempenho:** diz respeito ao modo previsto com que o sistema atenderá à função. Engloba fatores como eficácia, eficiência e confiança.

- c) **Manutenção:** diz respeito à facilidade de realização de manutenção preventiva, bem como ao tempo estimado entre duas manutenções consecutivas.

- d) **Facilidade de Instalação:** diz respeito ao número de modificações a serem feitas para instalação do sistema, bem como à facilidade de realização das mesmas.

- e) **Estética:** diz respeito ao atendimento dos requisitos de estilo do modelo em que for instalado o sistema. O sistema deve ser versátil o suficiente, para que com poucas modificações, se ajuste esteticamente à maioria dos modelos de automóveis existentes.

- f) **Custo:** diz respeito ao montante que será desembolsado pelo usuário para instalação do sistema. Nota-se uma clara dependência dos itens anteriores, a saber, manutenção, facilidade de instalação e estética, além do custo dos componentes.

- g) **Nível de Ruído:** diz respeito ao nível de ruído durante operação do sistema. Está intimamente ligado ao subsistema de translação a ser adotado, visto ser esse o principal foco de ruído.

II.2.2. - DEFINIÇÃO DA ESCALA DE NOTAS E PESOS PONDERADOS

Vamos definir uma escala de valores de 0 a 10 para as notas atribuídas às soluções. Valores próximos a 10 correspondem a melhor desempenho, maior qualidade e menor custo. Os pesos ponderados adotados são mostrados na tabela abaixo:

C R I T É R I O	P E S O
FACILIDADE DE OPERAÇÃO	3
DESEMPENHO	5
MANUTENÇÃO	2
FACILIDADE DE INSTALAÇÃO	2
ESTÉTICA	4
CUSTO	4
NÍVEL DE RUÍDO	4

II.2.3. - MATRIZ DE ESCOLHA DO SISTEMA DE TRANSLAÇÃO

Soluções (Segundo Fig. 8)

C R I T É R I O	1.a	1.b.1	1.b.2	2.a.	2.b.
DESEMPENHO	25	35	35	25	40
NÍVEL DE RUÍDO	32	32	32	36	24
ESTÉTICA	20	20	32	28	32
CUSTO	32	28	32	20	16
FACILIDADE DE OPERAÇÃO	15	21	21	15	21
FACILIDADE DE INSTALAÇÃO	12	12	16	10	10
MANUTENÇÃO	16	18	18	16	18
T O T A L	152	166	186	150	161

II.2.4. - MATRIZ DE ESCOLHA DO SISTEMA ALTERNATIVO

C R I T É R I O	Soluções		
	1	2	3
DESEMPENHO	30	30	40
NÍVEL DE RUÍDO	20	20	32
ESTÉTICA	24	24	36
CUSTO	24	20	28
FACILIDADE DE OPERAÇÃO	12	15	21
FACILIDADE DE INSTALAÇÃO	12	10	16
MANUTENÇÃO	12	12	16
T O T A L	134	131	189

II.2.5. - CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos nos itens II.2.3. e II.2.4., concluimos que a solução com maior possibilidade de sucesso é a solução (3) (ilustrada na fig. 7) com o sistema de translação 1.b.2. (ilustrado na fig. 8).

Este será portanto o sistema a ser analisado e desenvolvido nos itens subseqüentes.

II.3. - ANÁLISE GRÁFICA

II.3.1. - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Conforme mostra a solução escolhida, a porta descreve uma trajetória mantendo-se paralela ao veículo em todo instante, embora seus pontos se movimentem segundo arcos de circunferência.

Observando a figura (10), notamos que a posição final da porta, após findo o deslocamento lateral, independe da posição da barra de movimentação.

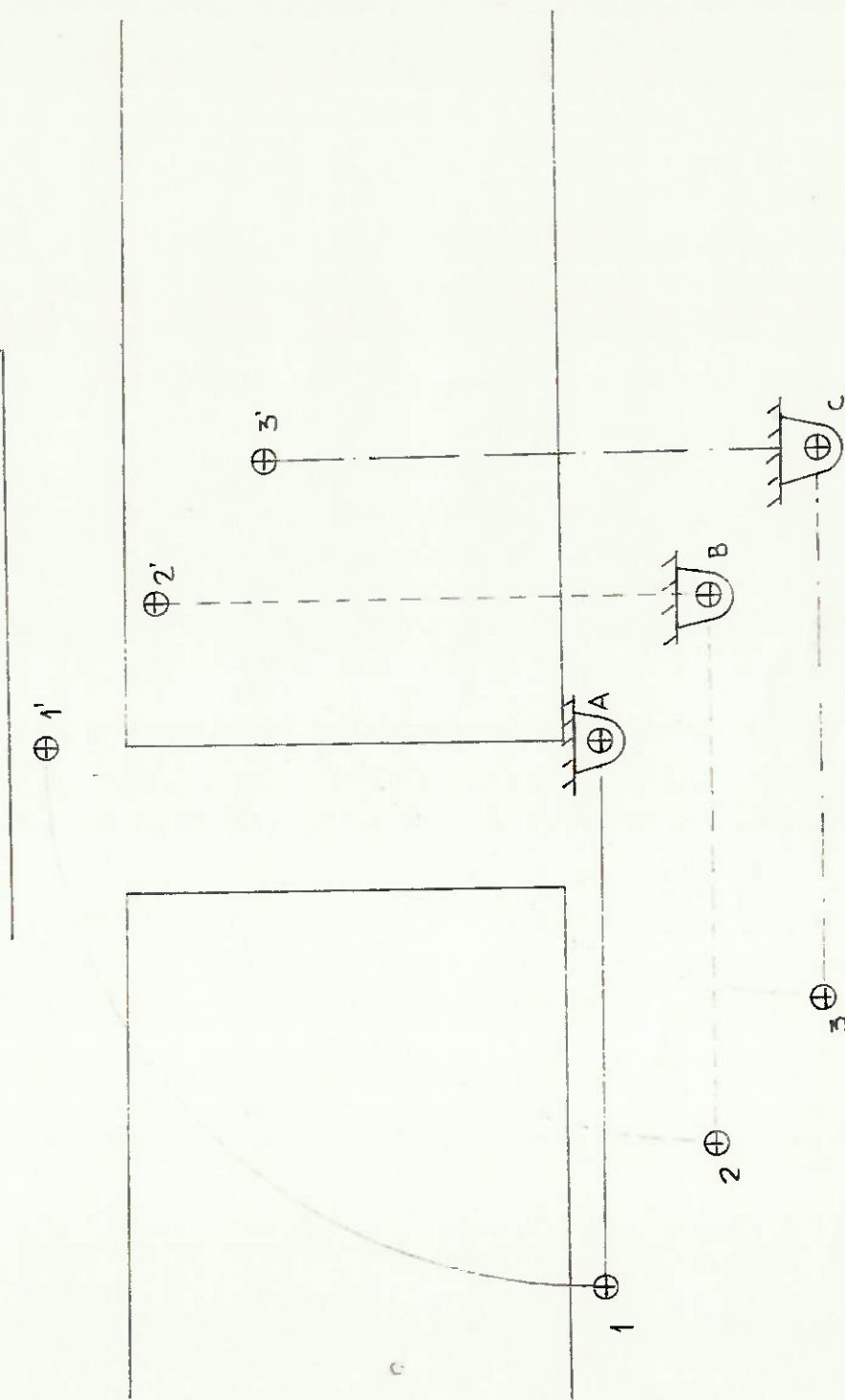


Fig. (10) - Posição final da porta independente da posição relativa da barra de movimento para mesmo comprimento de barra.

ção, com esta dimensão dependente da geometria do conjunto porta/ batentes/ estrutura, sendo variável de acordo com o modelo de automóvel em questão.

A figura (11) ilustra o método geométrico de determinação do comprimento l da barra de movimentação, a partir dos parâmetros geométricos f (distância entre pontos P e E, cotada na direção longitudinal) e g (distância entre pontos P e E, cotada na direção transversal).

P = ponto crítico pertencente a porta
 e = comprimento da barra
 f, g = parâmetros do veículo

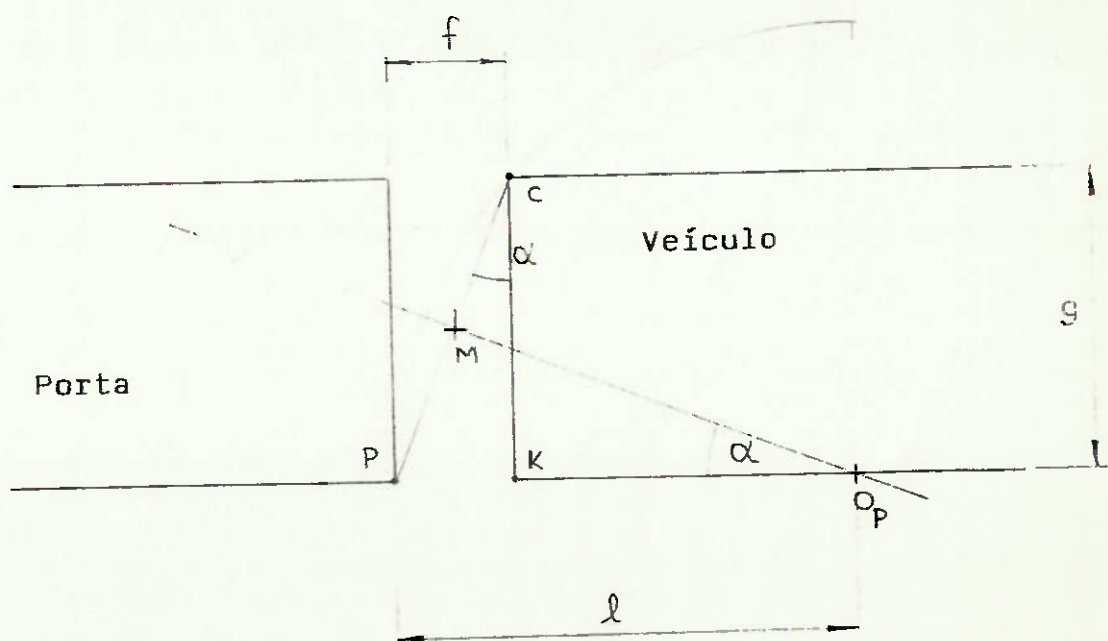


Fig. (11) - Método geométrico para determinação do comprimento da barra.

Deste modo, temos:

$$\text{Do } \triangle O_p MP \Rightarrow \sin \alpha = \frac{\sqrt{f^2 + g^2}}{\frac{2}{1}}$$

$$\therefore 1 = \frac{\sqrt{f^2 + g^2}}{2 \sin \alpha} \quad (1)$$

$$\text{Do } \triangle PCK \Rightarrow \sin \alpha = \frac{f}{\sqrt{f^2 + g^2}} \quad (2)$$

$$\text{De (2) em (1): } 1 = \frac{\sqrt{f^2 + g^2}}{2 \frac{f}{\sqrt{f^2 + g^2}}} = \boxed{1 = \frac{f^2 + g^2}{2f}}$$

$$(\text{Na verdade } 1 > \frac{f^2 + g^2}{2f})$$

II.4. - MODELAGEM MATEMÁTICA

II.4.1. - INTRODUÇÃO

De acordo com as equações desenvolvidas no Apêndice A, podemos desenvolver algumas expressões , utilizando princípios da resistência dos materiais, úteis num dimensionamento inicial.

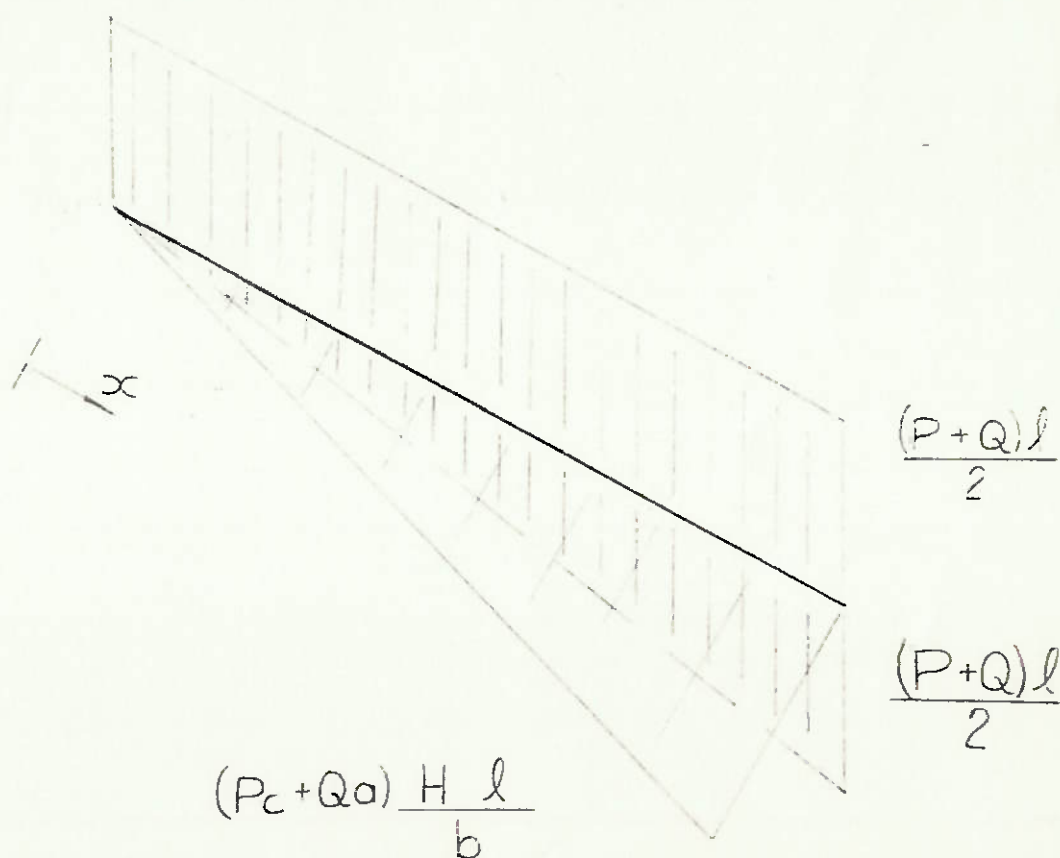
Procurou-se encontrar expressões, as mais gerais possíveis, a fim de serem passíveis de utilização, não importando o modelo de automóvel em questão.

No apêndice A, que mostra o encaminhamento lógico para determinação das expressões , foi adotado um modelo idealizado para o sistema de esforços atuantes , a fim de simplificar os cálculos.

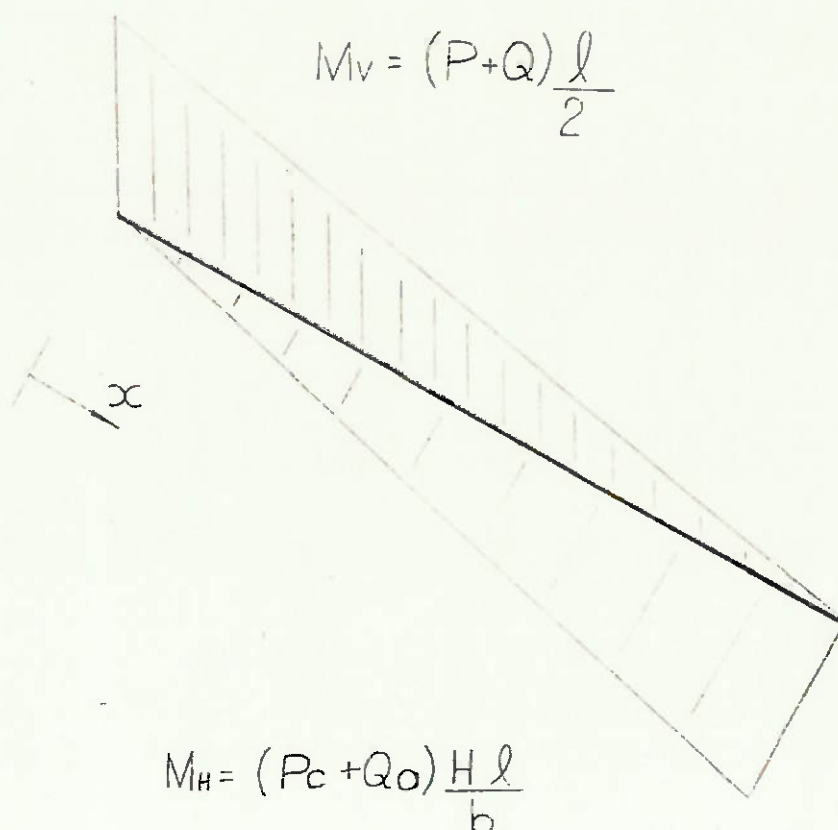
II.4.2. - EQUACIONAMENTO PARA AS BARRAS

II.4.2.1. - DETERMINAÇÃO DO MÁXIMO MOMENTO FLETOR

Obtidos os esforços atuantes nas barras chega - se ao diagrama de momentos fletores, devidos a R_5, R_6 e R_7 representados abaixo e torçores devidos a R_8 apenas.



Como existem dois momentos no mesmo plano, estes deverão ser somados.



Observando-se o gráfico nota-se que M_V e M_H dependem linearmente da coordenada x e podem ser representados por:

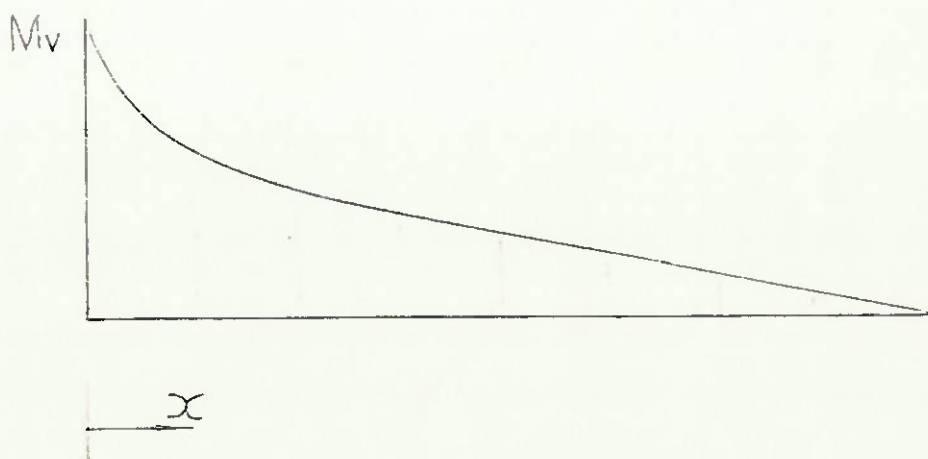
$$M_V = (P + Q) \frac{1}{2} (1 - x), \text{ e}$$

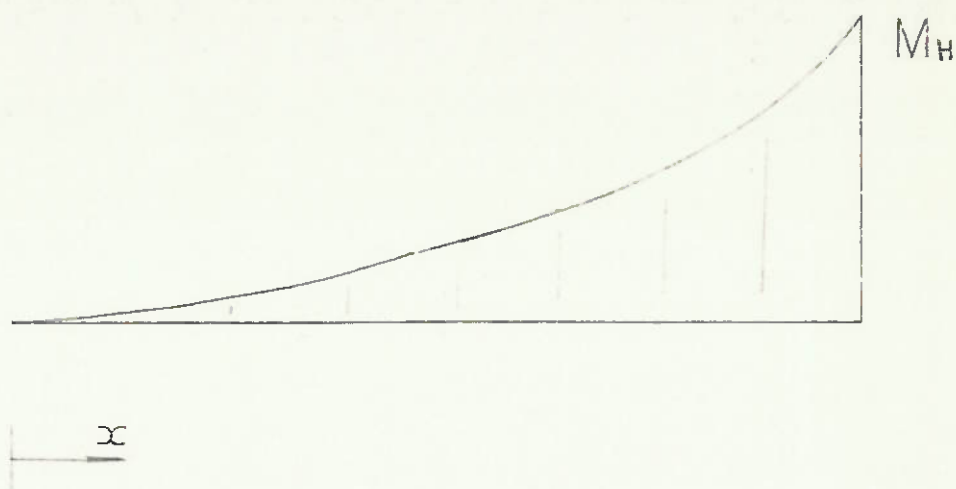
$$M_H = (Pc + Qa) \frac{Hl}{b} x$$

O momento fletor equivalente é obtido da média geométrica dos momentos fletores.

$$M_{feq} = \sqrt{M_V^2 + M_H^2}$$

M_V^2 e M_H^2 são equações de parábolas cujo valor máximo encontra-se em uma das extremidades da barra:





Desse modo o momento fletor equivalente máximo ,
ou seja, o esforço máximo de flexão, ocorre em $x=0$
se M_V for maior que M_H e em $x = 1$ se o contrá-
rio ocorrer.

II.4.2.2. - DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO DAS BARRAS

Obtido o momento fletor equivalente, o seguinte
roteiro será seguido para a determinação do diâme-
tro das barras, carregadas com esforços semelhan-
tes:

a) Momento equivalente máximo

O momento equivalente (M_{eq}) é a composição do momento fletor máximo com o momento torçor (constante em toda a barra):

$$M_{eq} = \sqrt{M^2_{feq} + M_t^2}$$

b) Diâmetro das barras

Da resistência dos materiais a tensão máxima (σ) é dada por:

$$\sigma = \frac{M_{eq} \cdot 16}{\pi \cdot D^3}$$

Chega-se , então, à expressão do diâmetro das barras:

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{eq}}{\pi \cdot \sigma}}$$

II.4.3. - EQUACIONAMENTO PARA DOBRADIÇAS

II.4.3.1. - Conjunto Dobradiça Superior (análogo para conjunto dobradiça inferior) - Dimensionamento

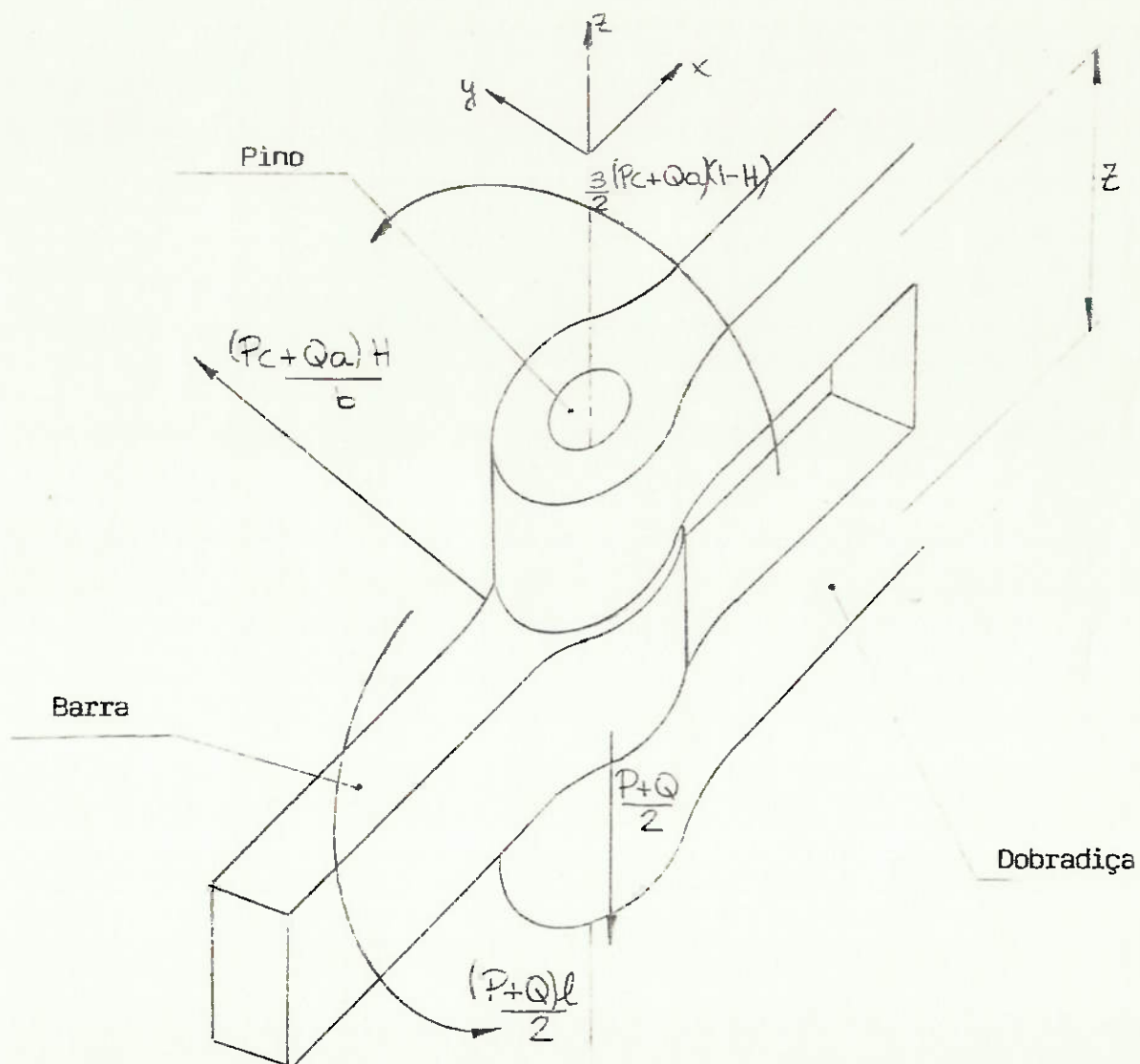


Fig (12) - Detalhe do conjunto dobradiça superior com esforços atuantes.

a) Análise das tensões internas

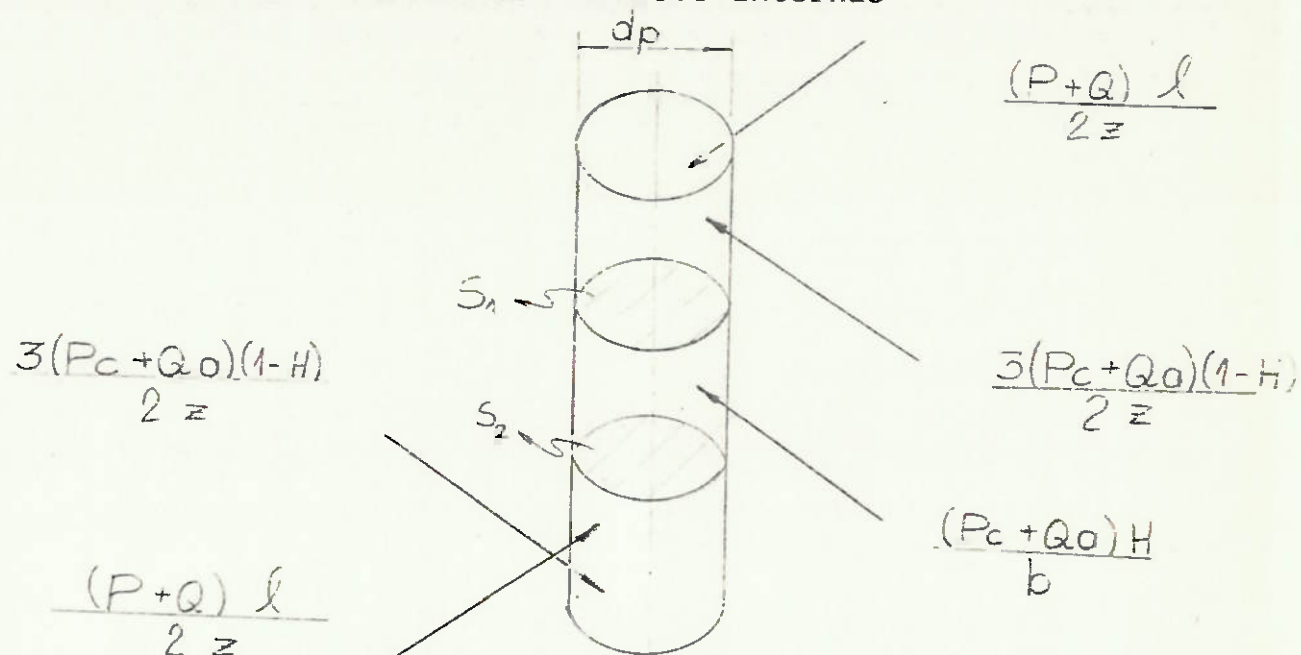
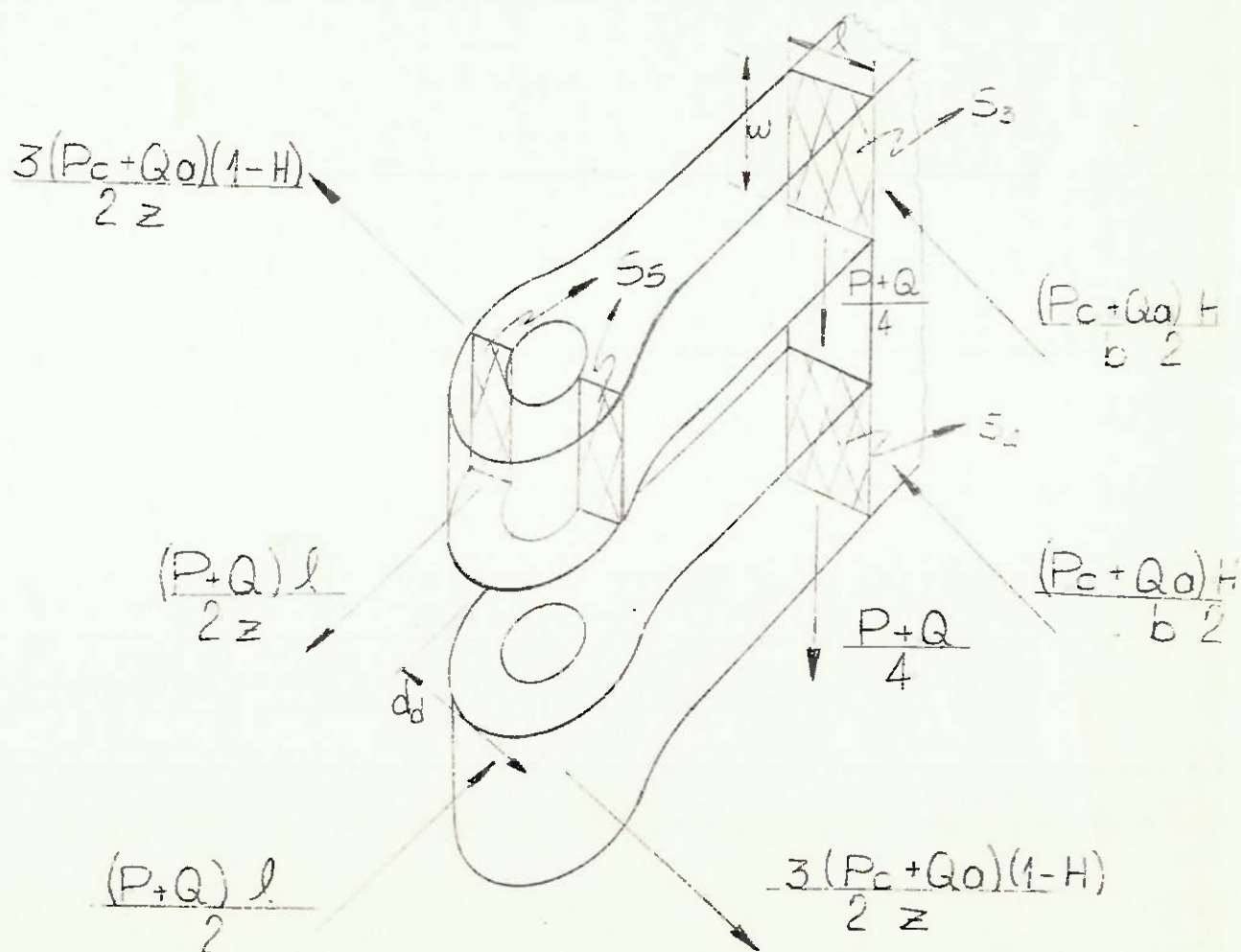


Fig (13) - Pino - Seções mais solicitadas.



Para dimensionamento dos componentes, vamos considerar as seguintes seções: S_1 , S_3 e S_5 . (Ver tabela 1). Respectivamente, vamos determinar o diâmetro do pino, seção transversal da dobradiça e diâmetro externo da dobradiça.

Tab.(1) - Esforços atuantes nas seções de interesse

SEÇÃO	TIPO DE SOLICITAÇÃO	ESFORÇO ATUANTE
S_1	CISALHAMENTO	$\frac{(P_c + Q_a)}{2} \frac{H}{b}$
	CISALHAMENTO	$(P + Q) \frac{1}{2z}$
	CISALHAMENTO	$\frac{3}{2z} (P_c + Q_a) (1-H)$
S_3	CISALHAMENTO	$(P + Q)/4$
	CISALHAMENTO	$(P_c + Q_a) \frac{H}{2b}$
	CISALHAMENTO	$\frac{3}{2z} (P_c + Q_a) (1 - H)$
	TRAÇÃO	$(P + Q) \frac{1}{2z}$
S_5	TRAÇÃO	$(P + Q) \frac{1}{2z}$

b) Determinação das dimensões básicas

b.1) Seção transversal do pino (S_1)

Temos:

$$\sigma = \frac{\frac{(P_c + Q_a)}{2} \frac{H}{b} + \frac{(P + Q)}{2z} \frac{l}{2z} + \frac{3}{2z} (P_c + Q_a) (1-H)}{\frac{\pi \cdot d_p^2}{4}}$$

Logo:

$$d_p = \sqrt{\frac{2(P_c + Q_a) \left[\frac{H}{b} + \frac{3}{z} (1-H) \right] + 2 \frac{(P + Q)}{z} \frac{l}{z}}{\pi \cdot \sigma}}$$

b.2) Seção transversal da dobradiça (S_3)

Temos:

$$\sigma = \frac{\frac{(P + Q)}{4} + \frac{(P_c + Q_a)H}{2b} + \frac{3}{2z} (P_c + Q_a)(1-H)}{e \cdot w}$$

$$E : \quad \sigma = \frac{\frac{(P + Q)}{2z} \frac{l}{e \cdot w}}$$

$$\text{Logo: } ew = \frac{2(Pc+Qa) \left[\frac{H}{b} + \frac{3}{z} (1-H) \right] + (P + Q)}{4 \cdot \sigma}$$

$$\text{Ou } ew = \frac{(P + Q) \cdot 1}{2 \cdot \sigma \cdot z}$$

b.3) Seção transversal da dobradiça (na região do pino) (S_5)

Temos:

$$\sigma = \frac{(P + Q) \cdot 1}{\frac{2 \cdot z}{w \cdot (d_d - d_p)}}$$

Logo:

$$w (d_d - d_p) = \frac{(P + Q) \cdot 1}{\sigma_{2z}}$$

II.4.4. - EQUACIONAMENTO PARA CARRO DE TRANSLAÇÃO E TRILHO

II.4.4.1. - Conjunto carro de translação + trilho superior (análogo para conjunto inferior) - Dimensionamento

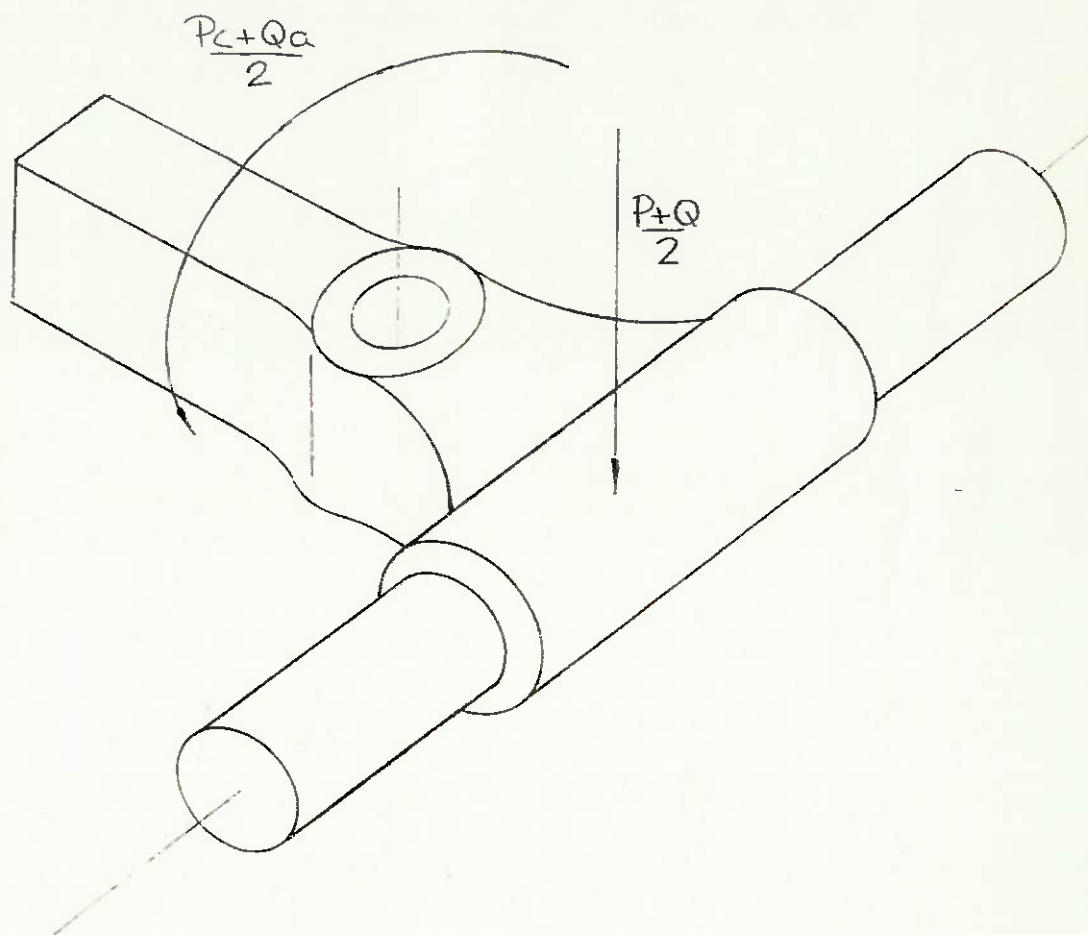


Fig. (14) - Detalhe do conjunto carro de translação + trilho com esforços atuantes.

a) Análise das tensões internas

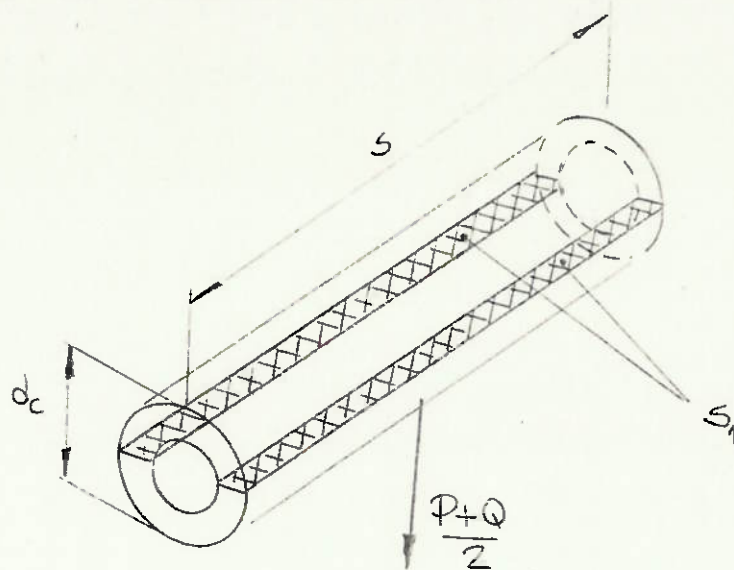


Fig. (15) - Carro de translação - Seções mais solicitadas.

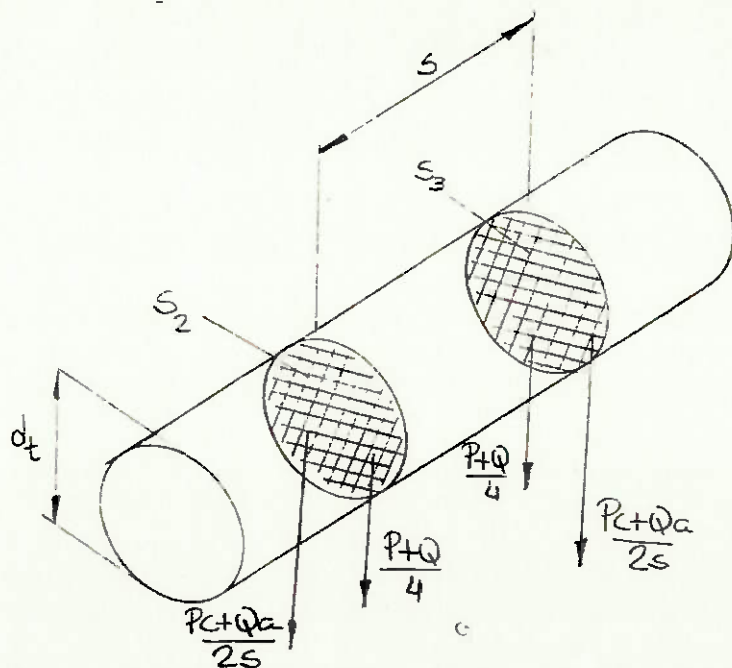


Fig. (16) - Trilho - Seções mais solicitadas.

Para dimensionamento dos componentes, vamos considerar as seguintes seções: S_1 e S_2 . Respectivamente vamos determinar o comprimento e diâmetro externo do carro de translação e o diâmetro de trilho. (ver tabela 2).

Tabela (2) - Esforços atuantes nas seções de interesse.

SEÇÃO	TIPO DE SOLICITAÇÃO	ESFORÇO ATUANTE
S_1	TRAÇÃO	$\frac{P + Q}{2}$
S_2	CISALHAMENTO	$\frac{P + Q}{4}$
	CISALHAMENTO	$\frac{Pc + Qa}{2s}$

b) Determinação das dimensões básicas

b.1) Comprimento e diâmetro externo do carro de translação.

Temos:

$$\sigma = \frac{P + Q}{4s (d_c - d_t)}$$

Logo:

$$s (d_c - d_t) = \frac{P + Q}{4 \sigma}$$

b.2) Diâmetro do trilho

Temos:

$$\sigma = \frac{\frac{P + Q}{4} + \frac{Pc + Qa}{s}}{\frac{\pi d_t^2}{4}} = \frac{(P + Q) + \frac{4(Pc + Qa)}{s}}{\pi d_t^2}$$

Logo:

$$d_t = \sqrt{\frac{s (P + Q) + 4 (Pc + Qa)}{\pi \sigma s}}$$

II.5. - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE (gráfica)

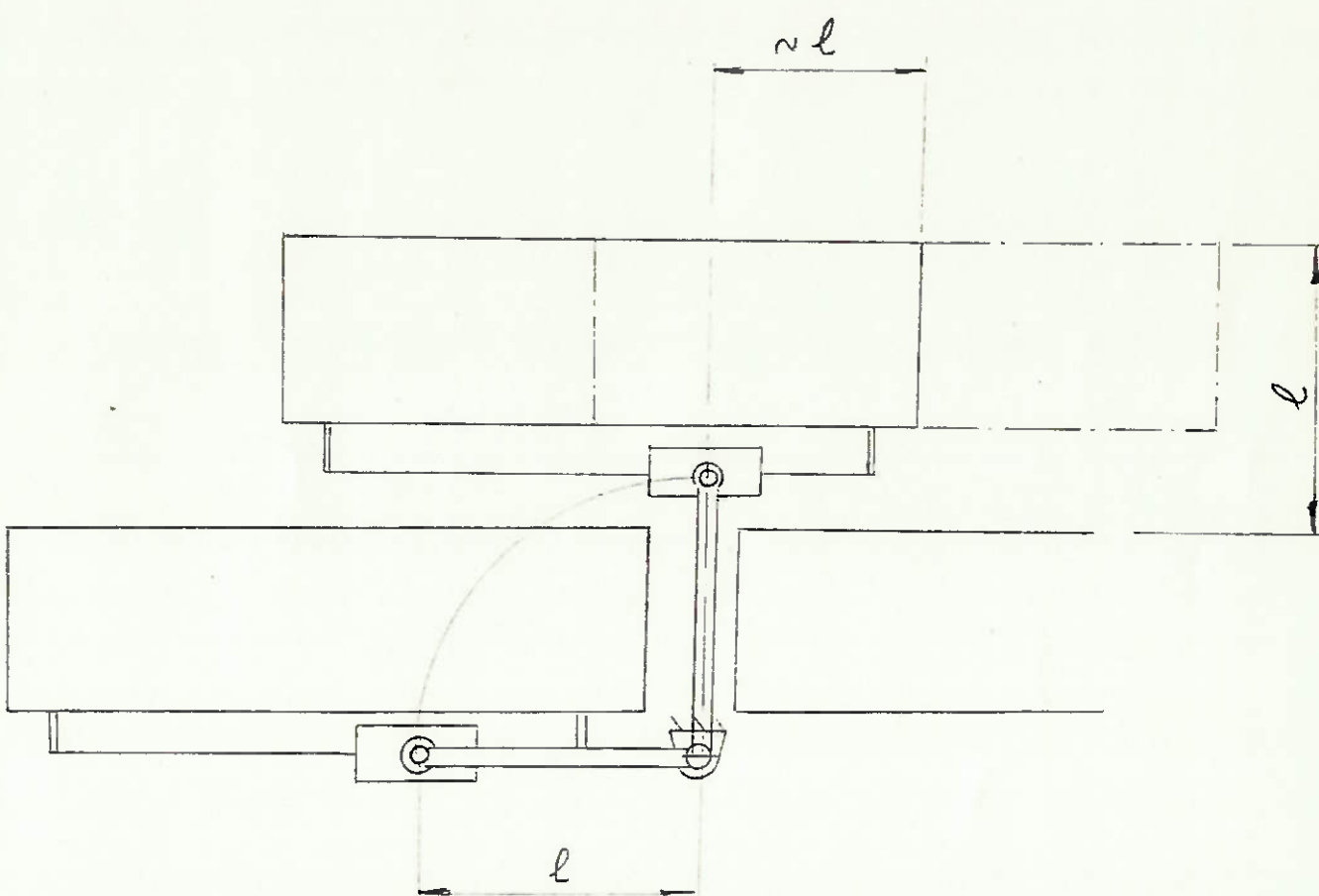


Fig. (17) - Variação do comprimento da barra - Consequências na ocupação de espaço externo.

II.6. - ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE

Nosso intuito é minimizar as reações , de modo a conseguirmos dimensões reduzidas para os componentes do sistema. De acordo com as equações encontradas, A (1) a A(8) do apêndice A obteremos reações mínimas quando:

- a) l for mínimo valor possível
- b) b for máximo valor possível

Como já foi visto anteriormente, l_{\min} pode ser determinado pelas dimensões do automóvel.

Da mesma forma, b_{\max} pode ser determinado tomando-se o espaço disponível para instalação do sistema.

Convém ressaltar o fato de encontrarmos distintos valores de l_{\min} e b_{\max} , para diferentes modelos de automóveis. Disto resultam sistemas distintos de diferentes dimensões, cada qual relacionado a um modelo de automóvel particular.

II.7. - ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Para o dimensionamento dos principais componentes ,
devemos ter:

$$\tau \leq \bar{\tau} \quad (\text{tensão de cisalhamento máxima admissível})$$

$$\sigma \leq \bar{\sigma} \quad (\text{tensão normal máxima admissível})$$

a fim de não ocorrer a ruína do material.

Portanto, temos:

$$(1) \quad dp \geq \sqrt{\frac{2 (Pc+Qa) \left[\frac{H}{b} + \frac{3(1-H)}{z} \right] + 2 \frac{(P+Q)l}{z}}{\bar{\tau} \bar{\sigma}}}$$

$$(2) \quad ew \geq \frac{2 (Pc + Qa) \left[\frac{H}{b} + \frac{3}{z} (1 - H) \right] + (P + Q)}{4 \bar{\sigma}}$$

OU

$$ew \geq \frac{(P + Q) l}{2 \bar{\sigma} z}$$

$$(3) \quad w (d_d - d_p) \geq \frac{(P + Q) 1}{2 \bar{\sigma} z}$$

$$(4) \quad s (d_c - d_t) \geq \frac{P + Q}{4 \bar{\sigma}}$$

$$(5) \quad d_t \geq \sqrt{s \frac{(P + Q) + 4 (P_c + Q_a)}{\pi \bar{\sigma} s}}$$

$$(6) \quad D \geq \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \frac{M_{eq}}{\bar{\sigma}}}$$

II.8. - OTIMIZAÇÃO FORMAL

II.8.1. - DADOS

II.8.1.1. - Material para construção dos componentes:

- Aço com seguintes propriedades:

$$K = \frac{GJ_t}{EJ} = 0,77$$

$$\bar{\sigma} = 1,4 \text{ t}_f/\text{cm}^2$$

$$\bar{\sigma} = 0,92 \text{ t}_f/\text{cm}^2$$

II.8.1.2. - Dimensões da Porta

$$f = 5 \text{ cm}$$

$$g = 10 \text{ cm}$$

$$a = 95 \text{ cm} \quad (\text{MODELO: PASSAT})$$

$$c = 50 \text{ cm}$$

$$b_{\text{máx}} = 15 \text{ cm}$$

II.8.1.3. - Carregamentos externos

$$P = 80 \text{ kgf (peso próprio)}$$

$$Q = 150 \text{ kgf (carregamento com coeficiente de} \\ \text{segurança} = 2)$$

Obs.: os valores dos carregamentos são tipicamente utilizados na indústria automobilística, para ensaios de resistência das dobradiças.

II.8.2. - DIMENSIONAMENTO BÁSICO

II.8.2.1. - COMPRIMENTO DA BARRA

$$l_{\min} = \frac{f^2 + g^2}{2f} \Rightarrow l_{\min} = 12,5 \text{ cm}$$

II.8.2.2. - DIÂMETRO DA BARRA

$$H = \frac{1}{1 + \frac{(8kl^3 + 12l^2b)}{(kb^3 + 6lb^2)}} = 0,327$$

$$M_{\max} = M_H = (Pc + Qa) \frac{Hl}{b} = 4.973,1 \text{ kgf cm}$$

$$M_t = \frac{3}{8} (Pc + Qa) (1-H) = 4.608,7 \text{ kgf cm}$$

$$M_{eq} = \sqrt{M_f^2 + M_t^2} = 6.780,3 \text{ kgf cm}$$

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \frac{M_{eq}}{\sigma}} \Rightarrow D \geq 2,9 \text{ cm}$$

II.8.2.3. - SEÇÃO TRANSVERSAL DO PINO

$$d_p \geq \sqrt{\frac{2(P_c + Q_a) \left[\frac{H}{b} + \frac{3}{z} (1-H) \right] + 2(P + Q) \frac{1}{z}}{\pi \bar{C}}}$$

$$d_p \geq \sqrt{0,275 + \frac{27,49}{z}}$$

Admitindo z da ordem de 5 cm, temos:

$$d_p \geq 2,4 \text{ cm}$$

II.8.2.4. - SEÇÃO TRANSVERSAL DA DOBRADIÇA

$$a) \quad ew \geq \frac{2(P_c + Q_a) \left[\frac{H}{b} + \frac{3}{z} (1-H) \right] + (P + Q)}{4 \bar{C}}$$

$$ew \geq 4,28 \text{ cm}^2$$

$$b) \quad ew \geq \frac{(P + Q) l}{2 \bar{\sigma}_z}$$

$$ew \geq 0,20 \text{ cm}^2$$

Logo:

$$ew \geq 4,28 \text{ cm}^2$$

(A)

II.8.2.5. - SEÇÃO TRANSVERSAL DA DOBRADIÇA (na Região do Pino)

$$w (d_d - d_p) \geq \frac{(P + Q) l}{2 \bar{\sigma}_z}$$

$$w (d_d - 2,4) \geq 0,20$$

(B)

II.8.2.6. - DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES e , w , d_d

$$\text{Admitindo: } z \cong 2 w = \boxed{w \cong 2,5 \text{ cm}}$$

Logo:

$$\boxed{e \geq 1,7 \text{ cm}}$$

E:

$$\boxed{d_d \geq 2,5 \text{ cm}}$$

II.8.2.7. - DIÂMETRO DO TRILHO

$$d_t \geq \sqrt{s \frac{(P + Q) + 4 (Pc + Qa)}{\pi \bar{E} s}}$$

$$d_t \geq \sqrt{0,0796 + \frac{25,26}{s}}$$

Admitindo s da ordem de 10 cm, temos:

$$\boxed{d_t \geq 1,6 \text{ cm}}$$

II.8.2.8. - CARRO DE TRANSLAÇÃO

$$s (d_c - d_t) \geq \frac{P + Q}{4}$$

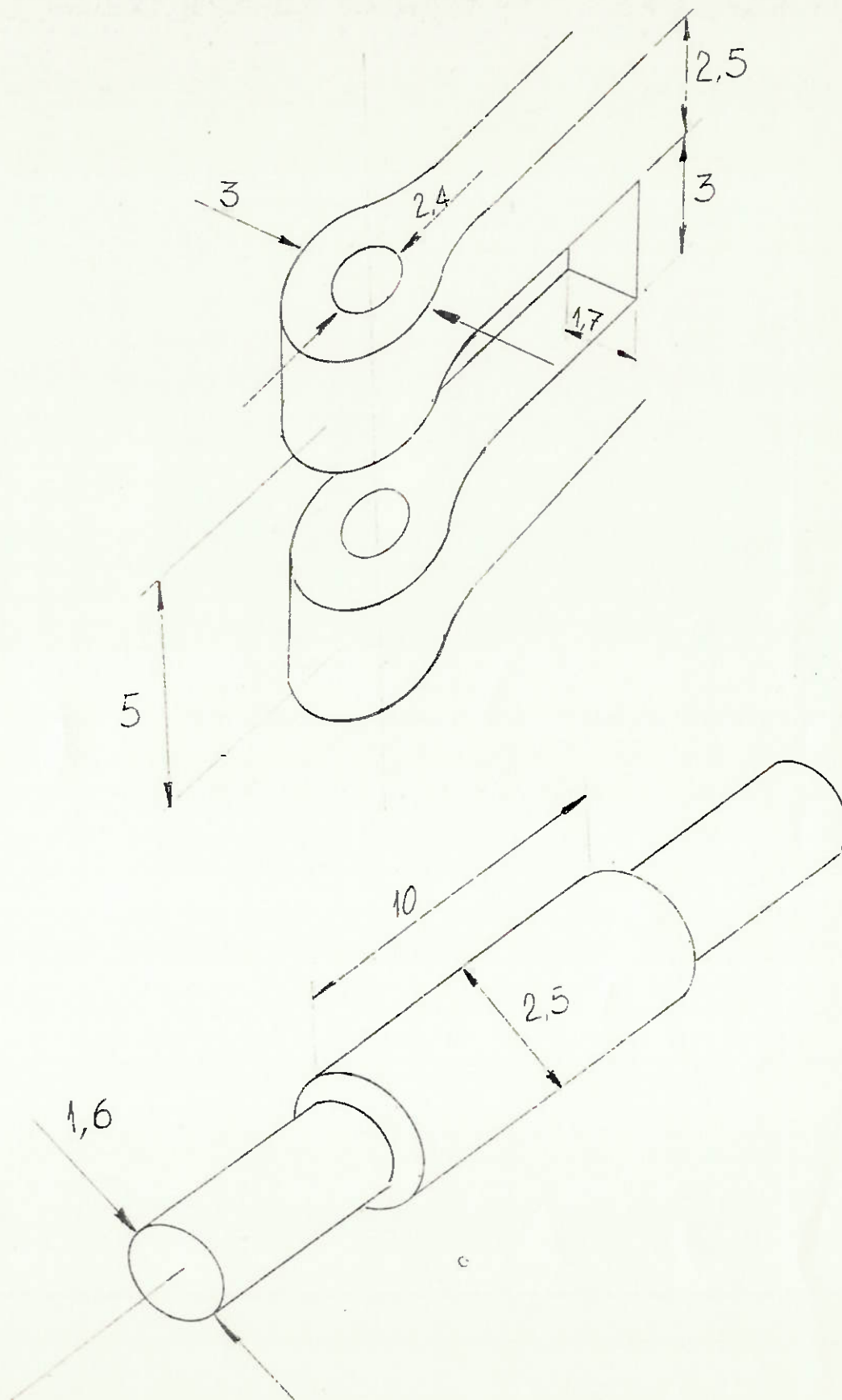
4

$$s (d_c - d_t) \geq 0,041$$

Logo:

$$d_c \geq 1,6 \text{ cm}$$

II.8.3. - DIMENSIONAMENTO FINAL



II.9. - PREVISÕES PARA O FUTURO

De acordo com observações , que podem ser feitas facilmente, conclui-se que uma nova concepção de porta, como a que estamos apresentando, deverá ser objeto de estudos mais aprofundados.

Isto deve ocorrer em face da necessidade de se dispor de menor espaço para movimentação da porta uma vez que os espaços disponíveis para tal se tornam cada vez mais exíguos.

Além disso, com o desenvolvimento dos chamados carros urbanos , próprios para utilização em cidades, por sua própria característica, se harmonizam com esse tipo de movimentação da porta, tornando esses carros prováveis portadores do sistema.

II.10 - PREVISÕES DE TEMPO DE FUNCIONAMENTO

Visto que o sistema alternativo para movimentação da porta resultou num conjunto relativamente compacto e simples é razoável supor que sua vida útil seja superior ou pelo menos igual à vida útil do automóvel em que for instalado.

Em outras palavras pode-se assegurar com boa margem de segurança , que o desempenho do sistema não será afetado de modo perceptível durante a vida útil do automóvel.

II.11. - ENSAIOS E TESTES DOS PROTÓTIPOS

Os protótipos podem ser feitos em escala natural, visto que as dimensões do sistema assim o permitem.

Nos ensaios e testes deverão ser verificadas, principalmente se as dimensões adotadas (as quais sempre que possível, foram adotadas com valor mínimo) se comportam de maneira satisfatória, com respeito a folgas produzidas quando em posições extremas.

II.12 - SIMPLIFICAÇÃO

Como simplificação do projeto, poder-se-ia pensar numa diminuição no número de peças do conjunto.

Por exemplo ao invés de duas barras de movimentação, se colocaria uma placa que uniria os dois carros de translação e as duas dobradiças simultaneamente, conforme mostra a figura (18).

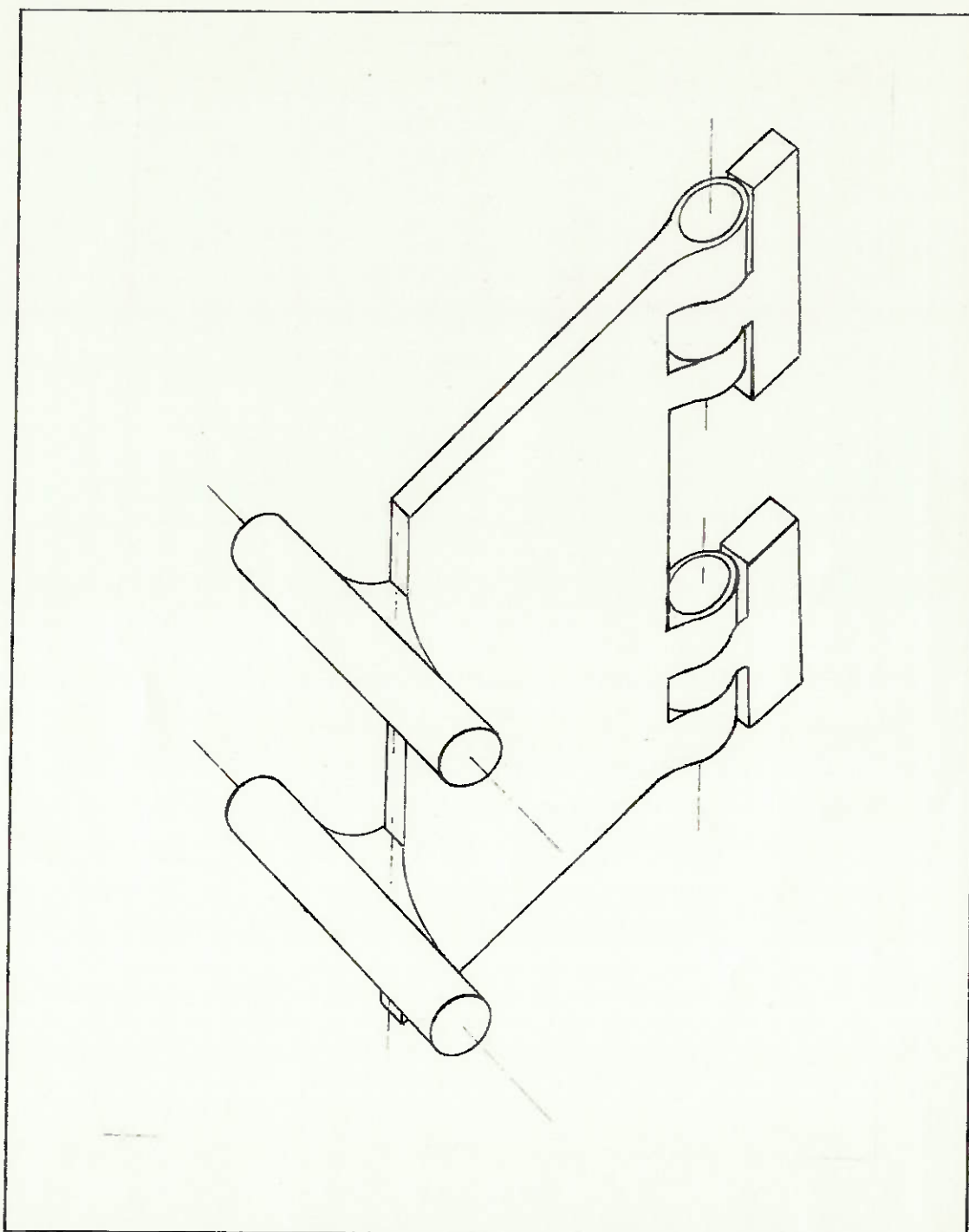
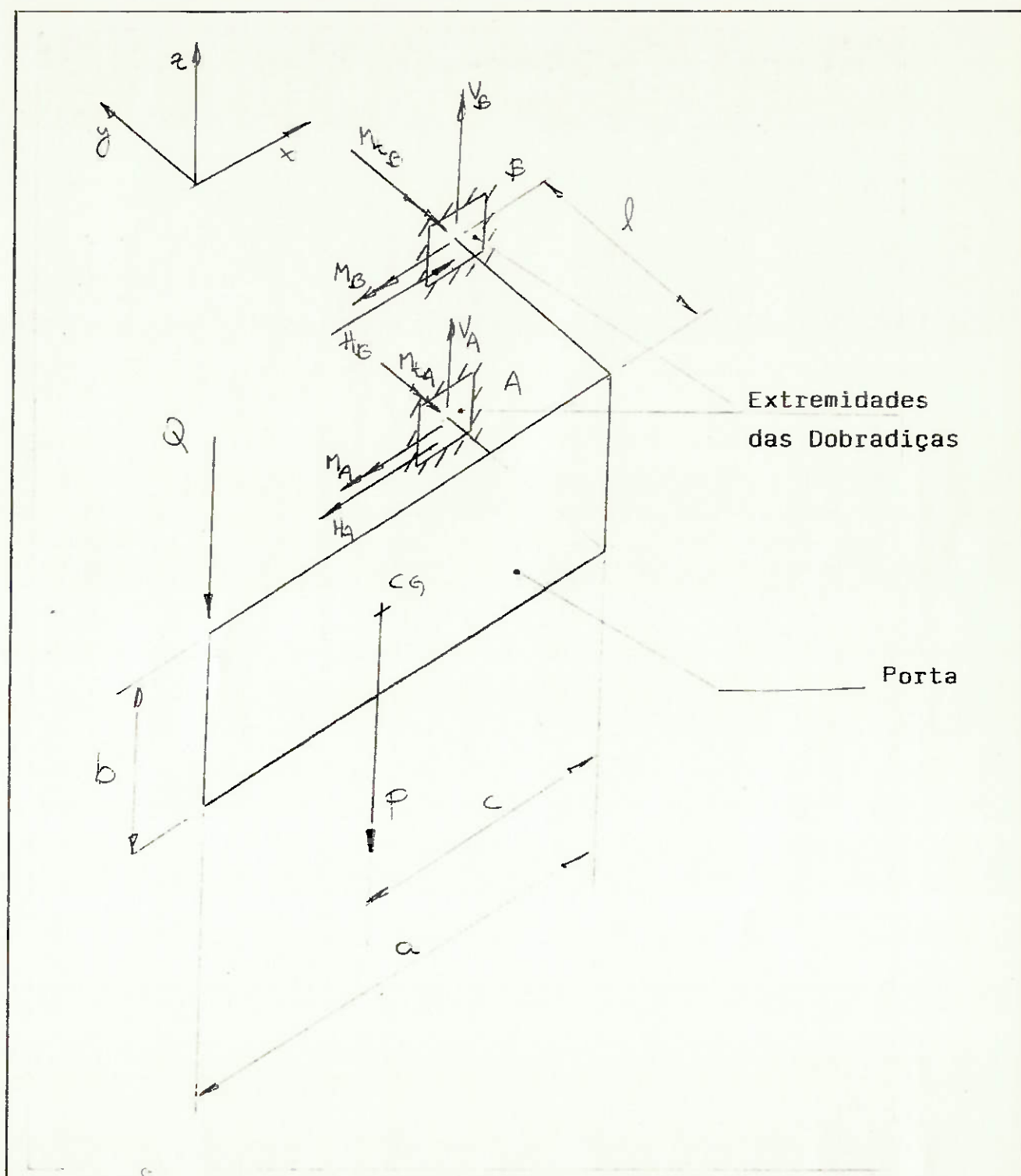


Fig. (18) - Simplificação do projeto

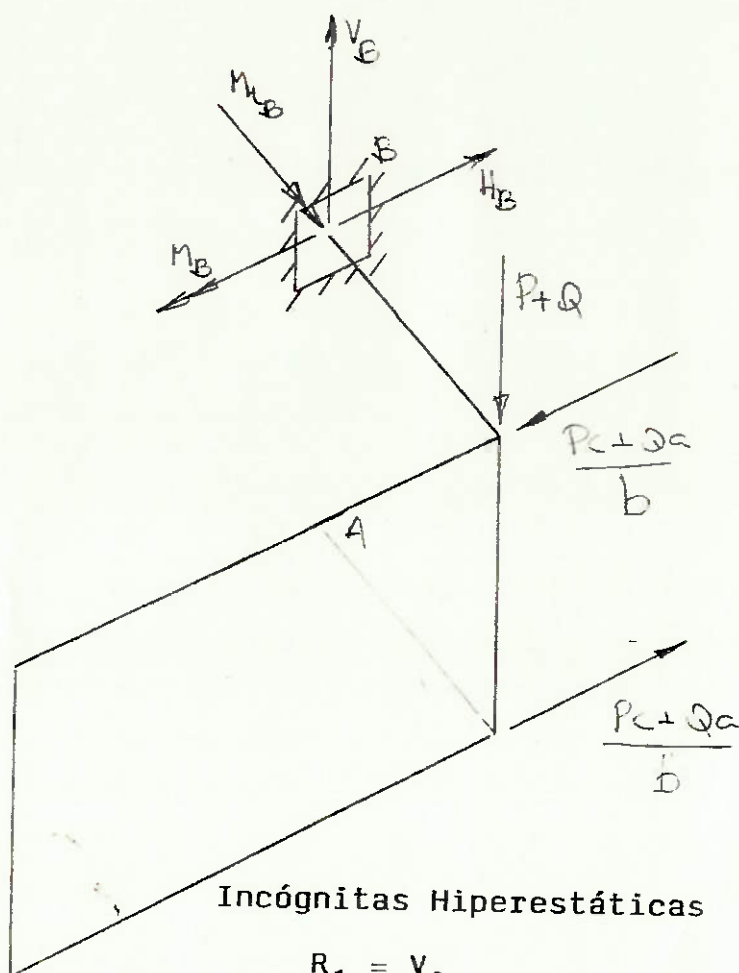
A P Ê N D I C E

A. - Determinação dos esforços solicitantes na
estrutura

A.1) ESQUEMA UTILIZADO PARA MODELAGEM MATEMÁTICA



A.2) ISOSTÁTICA FUNDAMENTAL ADOTADA



$$R_1 = V_A$$

$$R_2 = H_A$$

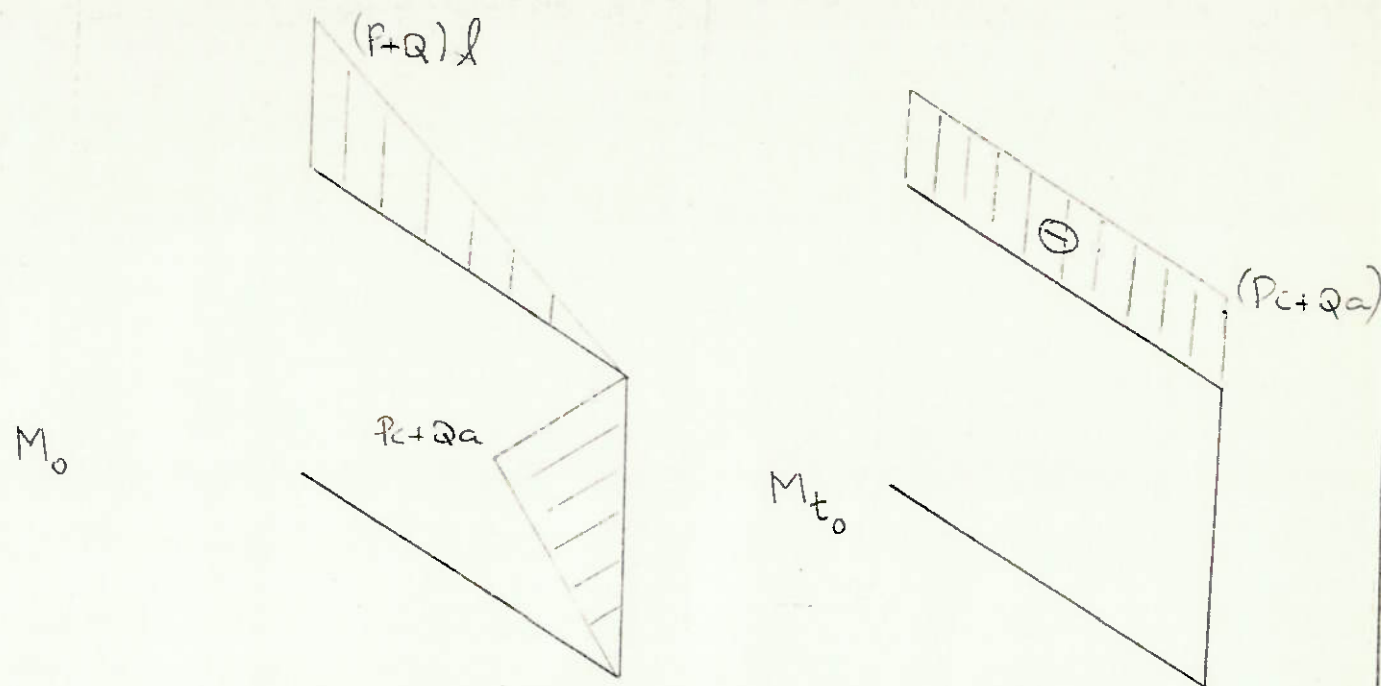
$$R_3 = M_A$$

$$R_4 = M_{tA}$$

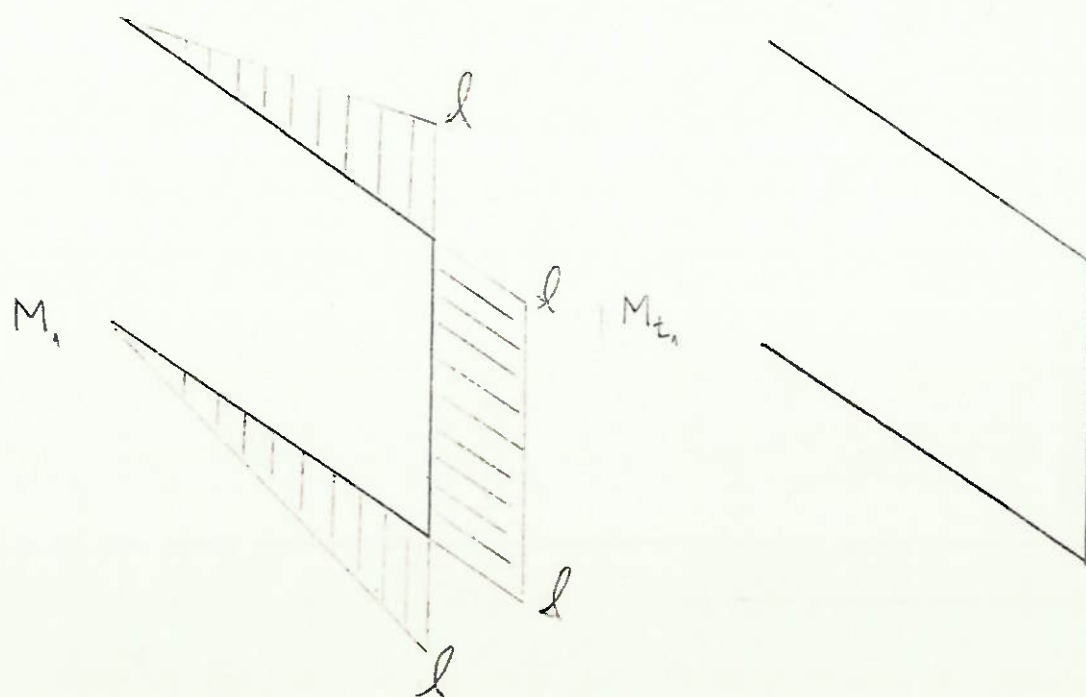
A.3) DIAGRAMA DE ESFORÇOS SOLICITANTES

79

3.a) Caso (0)



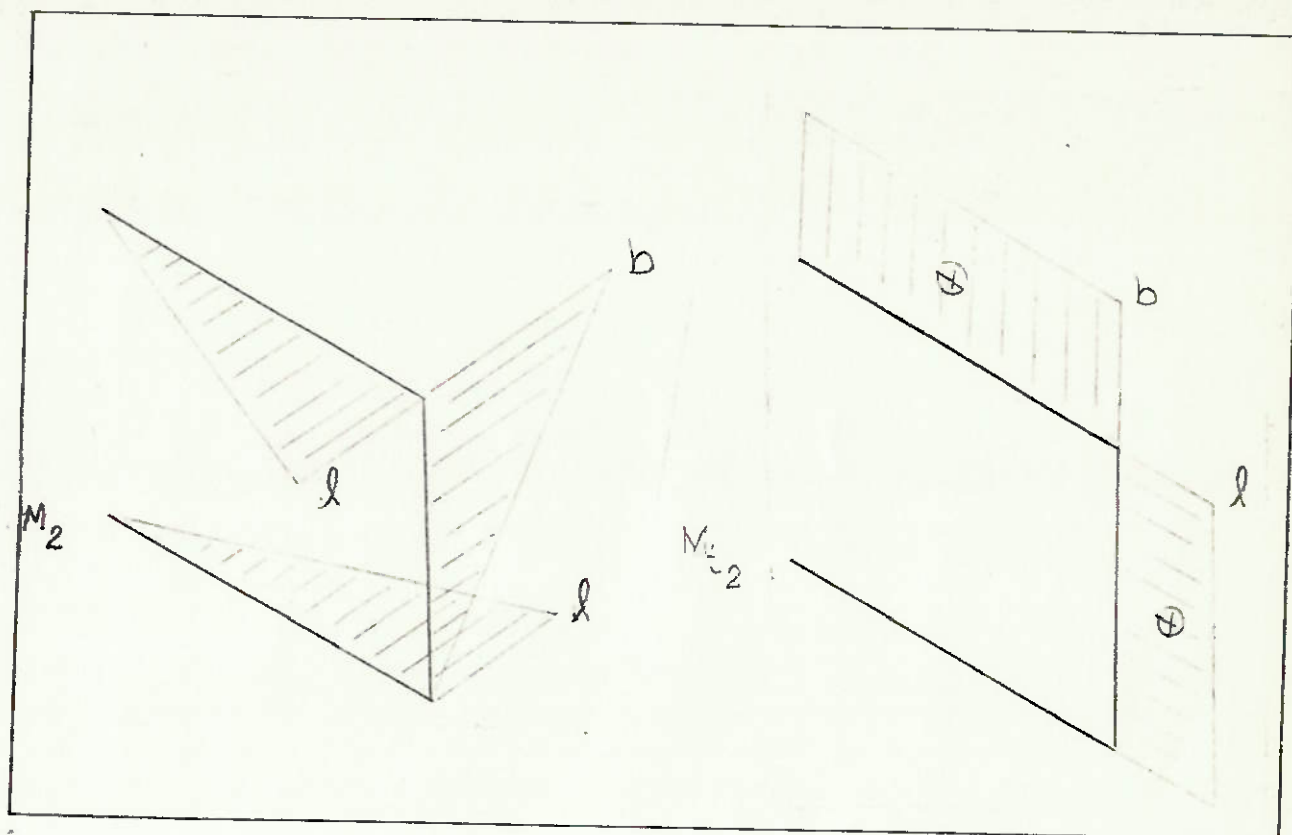
3.b) Caso (1)



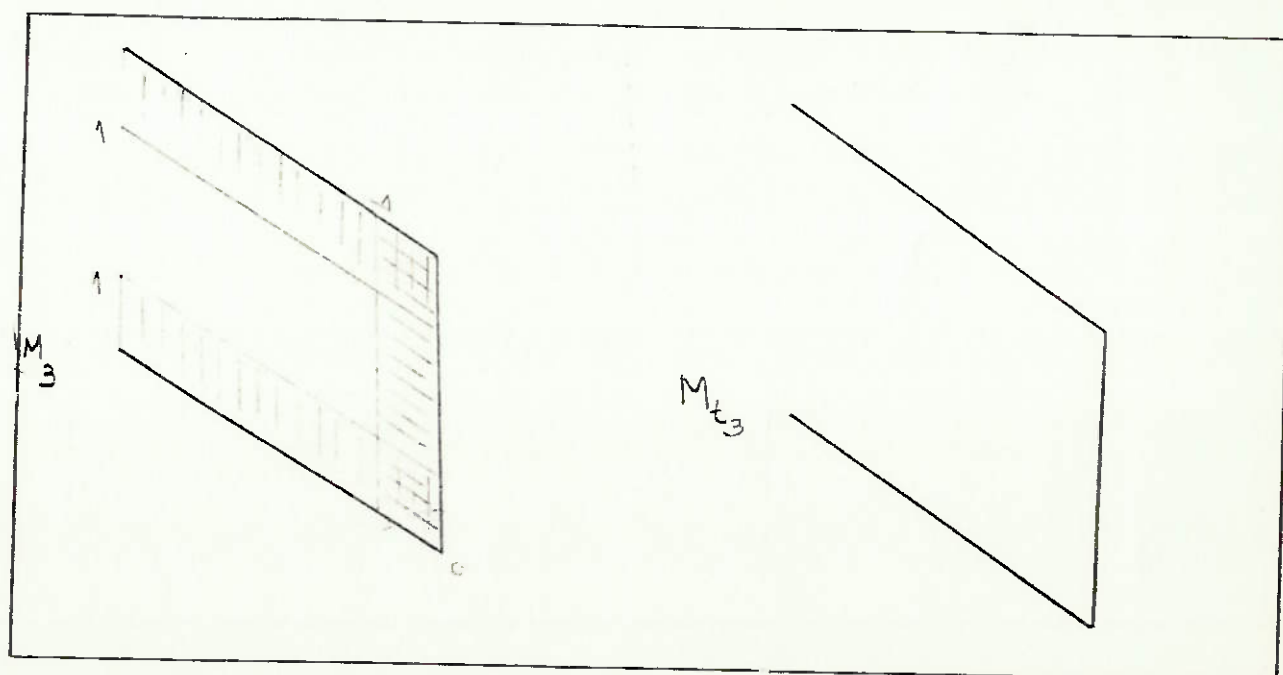
3.c)

Caso (2)

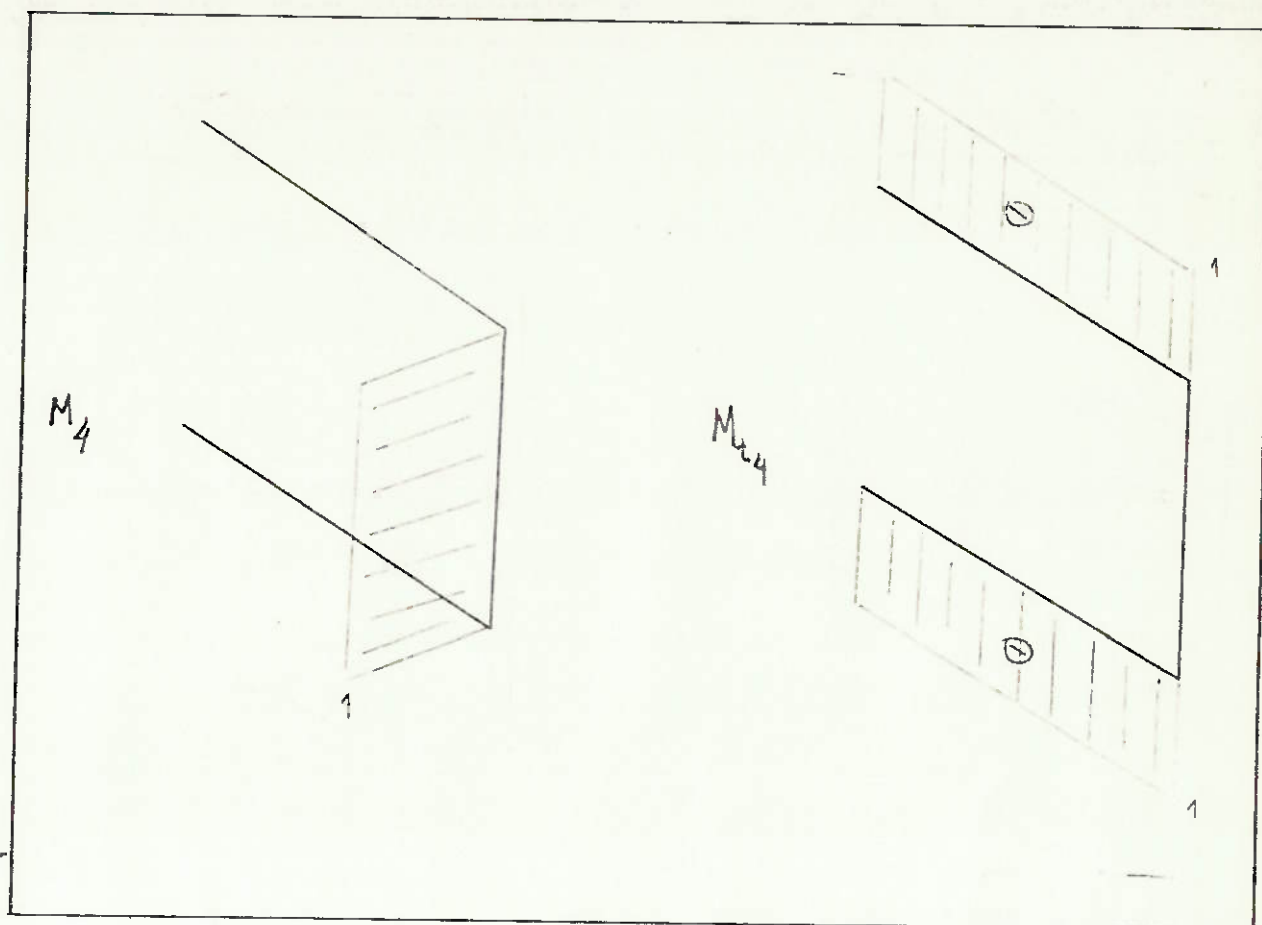
80



3.d) - Caso (3)



3.e) Caso (4)



A.4) SISTEMA DE EQUAÇÕES PARA DETERMINAÇÃO DAS INCÓGNITAS HIPERESTÁTICAS.

$$\begin{bmatrix} F(1,1) & F(1,2) & F(1,3) & F(1,4) \\ F(2,1) & F(2,2) & F(2,3) & F(2,4) \\ F(3,1) & F(3,2) & F(3,3) & F(3,4) \\ F(4,1) & F(4,2) & F(4,3) & F(4,4) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -F(Q_1) \\ -F(Q_2) \\ -F(Q_3) \\ -F(Q_4) \end{bmatrix}$$

$$F(i,j) = \frac{1}{EJ} \left[\int M_{x_i} M_{x_j} dx + \int M_{y_i} M_{y_j} dx + \int M_{z_i} M_{z_j} dx \right] + \frac{1}{GJ_t} \int M_{t_i} M_{t_j} dx$$

$$e: F(i,j) = F(j,i)$$

A.5) DETERMINAÇÃO DOS VALORES $F(i,j)$

5.a) $F(0,1)$

$$\int M_{x_0} M_{x_1} dx = \left(\frac{(P+Q)l}{2} \right) \times \left(\frac{l}{3} \right) = \frac{(P+Q)l^2}{2} \cdot \frac{1}{3} l = \frac{(P+Q)l^3}{6}$$

$$\int M_{y_0} M_{y_1} dx = \int M_{z_0} M_{z_1} dx = \int M_{t_0} M_{t_1} dx = 0$$

$$F(0,1) = \frac{1}{EJ} \frac{(P+Q)l^3}{6}$$

5.b) $F(0,2)$

$$\int M_{x_0} M_{x_2} dx = \int M_{z_0} M_{z_2} dx = 0$$

$$\int M_{y_0} M_{y_2} dx = \left(\frac{(P_c+Qa)b}{2} \right) \times \left(\frac{b}{3} \right) = -\frac{(P_c+Qa)b^2}{3}$$

$$\int M_{t_0} M_{t_2} dx = \left(\frac{(P_c+Qa)b}{l} \right) \times \left(\frac{b}{l} \right) = -(P_c+Qa)bl$$

$$F(0,2) = \frac{-1}{EJ} \frac{(P_c+Qa)b^2}{3} - \frac{1}{GJ_t} (P_c+Qa)bl$$

$$\int M_{x0} M_{x3} dx = \left(\frac{(P+Q)l}{2} \right) \times \left(\frac{l}{2} \right) = -\frac{(P+Q)l^2}{2}$$

$$\int M_{y0} M_{y3} dx = \int M_{t0} M_{t3} dx = \int M_{t0} M_{t3} dx = 0$$

$$F(0,3) = -\frac{1}{EJ} \frac{(P+Q)l^2}{2}$$

$$\int M_{x0} M_{x4} dx = 0$$

$$\int M_{y0} M_{y4} dx = \left(\frac{(Pc+Qa)b}{2} \right) \times \left(\frac{l}{2} \right) = \frac{(Pc+Qa)bl}{2}$$

$$\int M_{t0} M_{t4} dx = 0$$

$$\int M_{t0} M_{t4} dx = \left(\frac{(Pc+Qa)l}{2} \right) \times \left(\frac{l}{2} \right) = \frac{(Pc+Qa)l^2}{2}$$

$$F(0,4) = \frac{1}{EJ} \left[\frac{(Pc+Qa)bl}{2} \right] + \frac{1}{GJ_t} \frac{(Pc+Qa)l^2}{2}$$

5.h) F (1,4)

85

$$\int M_{x_1} M_{x_4} dx = 0$$

$$\int M_{y_1} M_{y_4} dx = \int M_{z_1} M_{z_4} dx = \int M_{t_1} M_{t_4} dx = 0$$

$$F(1,4) = 0$$

5.i) F (2,2)

$$\int M_{x_2}^2 dx = 0$$

$$\int M_{y_2}^2 dx = \frac{b}{2} \times \frac{b}{2} = \frac{b^2}{2} \times \frac{2}{3} = \frac{b^3}{3}$$

$$\int M_{z_2}^2 dx = 2 \left(\frac{l}{2} \times \frac{l}{2} \right) = 2 \times \frac{l^2}{2} \times \frac{2}{3} = \frac{2}{3} l^3$$

$$\int M_{t_2}^2 dx = \frac{b}{2-l} \times \frac{b}{2} + \frac{l}{b} \times \frac{l}{2} = lb^2 + l^2 b$$

$$F(2,2) = \frac{1}{EJ} \left[\frac{b^3}{3} + \frac{2}{3} l^3 \right] + \frac{1}{GJ_t} (bl^2 + b^2 l)$$

5.j) F (2,3)

$$\int M_{x_2} M_{x_3} dx = \int M_{y_2} M_{y_3} dx = \int M_{z_2} M_{z_3} dx = \int M_{t_2} M_{t_3} dx = 0$$

$$F(2,3) = 0$$

5.k) F (2,4)

$$\int M_{x_2} M_{x_4} dx = \int M_{z_2} M_{z_4} dx = 0$$

$$\int M_{y_2} M_{y_4} dx = \frac{b}{2} \times \frac{b}{2} = -\frac{b^2}{2}$$

$$\int M_{x_2} M_{x_0} dx = \int \left(\frac{b}{l} x \right) \times \left(-x \right) dx = -\frac{b l}{2}$$

$$F(2,4) = -\frac{1}{EJ} \frac{b^2}{2} - \frac{1}{GJ_t} b l$$

5.1) F(3,3)

$$\int M_{x_3}^2 dx = 2 \left(\int \frac{x}{l} dx \right) + \int b^2 dx = 2l + b$$

$$\int M_{y_3}^2 dx = \int M_{z_3}^2 dx = \int M_{t_3}^2 dx = 0$$

$$F(3,3) = \frac{1}{EJ} (2l + b)$$

5.m) F(3,4)

$$\int M_{x_3} M_{x_0} dx = 0$$

$$\int M_{y_3} M_{y_0} dx = \int M_{z_3} M_{z_0} dx = \int M_{t_3} M_{t_0} dx = 0$$

$$F(3,4) = 0$$

5.n) F(4,4)

$$\int M_{x_0}^2 dx = 0$$

$$\int M_{y_0}^2 dx = \int b^2 dx = b$$

$$\int M_{x_4}^2 dx = 2 \left(\int \frac{x}{l} dx \right) = 2l$$

$$\int M_{z_0}^2 dx = 0$$

$$F(4,4) = \frac{1}{EJ} b + \frac{1}{GJ_t} 2l$$

A.6) RESOLUÇÃO DO SISTEMA DE EQUAÇÕES

6.a) Sistema de Equações

$$I) \quad \frac{1}{EJ} \frac{(2l^3 + l^2b)R_1}{3} - \frac{1}{EJ} (l^2 + bl) R_3 = - \frac{1}{EJ} (P + Q) \frac{l^3}{6}$$

$$II) \quad \left[\frac{1}{EJ} \frac{(b^3 + 2l^3)}{3} + \frac{1}{GJ_t} (lb^2 + l^2b) \right] R_2 - \left[\frac{1}{EJ} \frac{b^2}{2} + \frac{1}{GJ_t} bl \right] R_4 = \frac{1}{EJ} \frac{(Pc+Qa)b^2}{3} + \frac{1}{GJ_t} \frac{(Pc+Qa)bl}{3}$$

$$III) \quad - \frac{1}{EJ} \frac{(l^2+bl)R_1}{2} + \frac{1}{EJ} \frac{(2l+b)R_3}{2} = \frac{1}{EJ} \frac{(P+Q)l^2}{2}$$

$$IV) \quad - \left[\frac{1}{EJ} \frac{b^2}{2} + \frac{1}{GJ_t} bl \right] R_2 + \left[\frac{1}{EJ} b + \frac{1}{GJ_t} 2l \right] R_4 = - \frac{1}{EJ} \frac{(Pc + Qa)b}{2} - \frac{1}{GJ_t} \frac{(Pc + Qa)l}{2}$$

6.b) Solução

$$\text{De (I): } \frac{(2l^3 + l^2b)R_1}{3} = (l^2 + bl) R_3 - (P + Q) \frac{l^3}{6}$$

$$R_1 = [(l^2 + bl) R_3 - (P + Q) \frac{l^3}{6}] \cdot \frac{1}{\frac{2l^3 + l^2b}{3}}$$

$$\text{De (III): } - (l^2 + lb) R_1 + (2l + b) R_3 = (P + Q) \frac{l^2}{2}$$

$$\left[(P + Q) \frac{l^3}{6} - (l^2 + bl) R_3 \right] \cdot \frac{l^2 + lb + (2l + b) R_3}{\frac{2l^3}{3} + \frac{l^2}{b}} = (P + Q) \frac{l^2}{2}$$

$$\left(\frac{Pl^3}{6} + \frac{Ql^3}{6} - l^2 R_3 - lb R_3 \right) (l^2 + lb) + (2l R_3 + b R_3) \left(\frac{2l^3}{3} + l^2 b \right) = \frac{(Pl^2 + Ql^2) \left(\frac{2l^3}{3} + l^2 b \right)}{2}$$

Portanto:

$$R_3 = \frac{P (l^2 + 2lb) + Q (l^2 + 2lb)}{4b + 2l}$$

$$R_3 = (P + Q) \frac{(l^2 + 2lb)}{2 (2b + l)} =$$

$$R_3 = (P + Q) \frac{l}{2}$$

$$\text{Em (I): } \left(\frac{2l^3}{3} + l^2 b \right) R_1 = (P + Q) \left(\frac{l^3}{3} + \frac{l^2 b}{2} \right)$$

$$R_1 = \frac{(P + Q) (2l^3 + 3l^2b)}{(2l^3 + 3l^2b)} \Rightarrow \boxed{R_1 = \frac{P + Q}{2}}$$

Chamando: $\frac{GJ_t}{EJ} = K$

De (IV): $(kb + 2l) R_4 - \frac{(kb^2 + lb)}{2} R_2 = -k (Pc + Qa) \frac{b}{2} - (Pc + Qa) l$

$$R_4 = \frac{[(kb + l)b R_2 - (Pc + Qa) \frac{(kb + l)}{2}]}{2} \frac{1}{kb + 2l}$$

$$R_4 = \frac{(b R_2 - Pc - Qa) \frac{(kb + l)}{2}}{(kb + 2l)} = \frac{1}{2} (R_2 b - Pc - Qa)$$

$$\text{De (II): } \left[k \frac{(b^3 + 2l^3)}{3} + (lb^2 + l^2b) \right] R_2 - \frac{(kb^2 + lb)}{2} R_4 = k (Pc + Qa) \frac{b^2 + (Pc+Qa) lb}{3}$$

$$\left(\frac{kb^3}{3} + \frac{2kl^3}{3} + b^2l + l^2b \right) R_2 - \frac{(kb^2 + lb)}{2} \frac{1}{2} (R_2b - Pc - Qa) = (Pc + Qa) \frac{(kb^2 + lb)}{3}$$

$$\left(\frac{kb^3}{12} + \frac{2kl^3}{3} + \frac{lb^2 + l^2b}{2} \right) R_2 = (Pc + Qa) \left(\frac{kb^2 + lb}{3} - \frac{kb^2 - lb}{4} \right)$$

$$\text{Portanto: } R_2 = (Pc + Qa) \frac{(kb^2 + 6lb)}{(kb^3 + 8kl^3 + 6lb^2 + kl^2b)}$$

$$R_2 = (Pc + Qa) \left[\frac{1}{b + \left(\frac{8kl^3}{kb^2} + \frac{12l^2b}{6lb} \right)} \right]$$

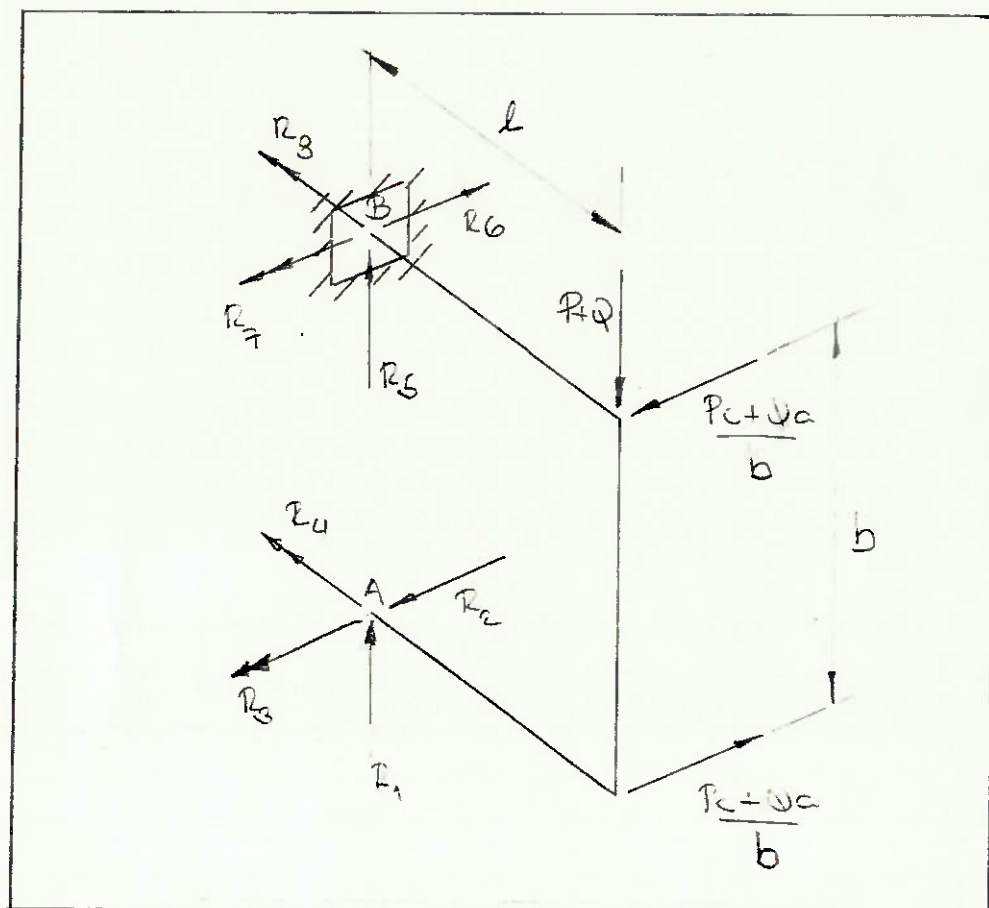
$$R_4 = \frac{1}{2} [(Pc + Qa) \left[\frac{1}{b + \left(\frac{8kl^3 + 12l^2b}{kb^2 + 6lb} \right)} \right] \cdot b - (Pc + Qa)]$$

$$R_4 = \frac{1}{2} (Pc + Qa) \left[\frac{b}{b + \left(\frac{8kl^3 + 12l^2b}{kb^2 + 6lb} \right)} - 1 \right]$$

$$R_4 = \frac{1}{2} (Pc + Qa) \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{8kl^3 + 12l^2b}{Kb^3 + 6lb^2} \right)} - 1 \right]$$

A.7) DETERMINAÇÃO DAS DEMAIS INCÓGNITAS

7.a) Esquema de Esforços Atuantes



$$R_5 = V_B$$

$$R_6 = H_B$$

$$R_7 = M_B$$

$$R_8 = M_{tB}$$

7.b) Equações da Estática

$$\text{I)} \quad \sum F_z = R_5 + R_1 - (P + Q) = 0$$

$$\text{II)} \quad \sum F_x = R_6 - R_2 = 0$$

$$\text{III)} \quad \sum M_x = -R_7 - R_3 + (P + Q) l = 0$$

$$\text{IV)} \quad \sum M_y = + R_8 + R_4 - \left(\frac{Pc + Qa}{b} \right) \cdot b + R_2 b = 0$$

$$\text{De (II):} \quad R_6 = R_2$$

$$R_6 = \frac{Pc + Qa}{b} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{8kl^3}{kb^3} + \frac{12l^2b}{6lb^2} \right)} \right]$$

$$\text{De (I):} \quad R_5 = (P + Q) - R_1 = (P + Q) - \frac{P + Q}{2}$$

$$R_5 = \frac{P + Q}{2}$$

A.8) CONCLUSÃO

Em resumo temos: (chamando $\frac{1}{1 + (\frac{8kl^3 + 12l^2b}{kb^3 + 6lb^2})} = H$)

A.1)

$$R_1 = \frac{P + Q}{2}$$

A.5)

$$R_5 = \frac{P + Q}{2}$$

A.2)

$$R_2 = \frac{(Pc + Qa)}{b} H$$

A.6)

$$R_6 = \frac{(Pc + Qa)}{b} H$$

A.3)

$$R_3 = (P + Q) \frac{1}{2}$$

A.7)

$$R_7 = (P + Q) \frac{1}{2}$$

A.4)

$$R_4 = \frac{1}{2} (Pc + Qa) (H - 1)$$

A.8)

$$R_8 = \frac{3}{2} (Pc + Qa) (1 - H)$$