

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO

10
Prof. O. Moore de Madureira
18-12-89

PROJETO DE ISOLADORES
PARA
MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA
(APLICAÇÃO PARA ÔNIBUS URBANOS)

Autor: ADRIANO VAZ GRANJO FILHO

Orientador: PROF.OMAR MOORE DE MADUREIRA

Dedico este trabalho aos meus pais,

Adriano e Ludovina,

pelo apoio e dedicação durante toda
a vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Registro aqui meus agradecimentos ao Prof. OMAR MOORE DE MADUREIRA que, com sua capacidade e experiênça, muito me auxiliou e orientou, não sã para o desenvolvimento deste trabalho mas, também, para toda a vida profissional.

Gostaria de destacar a importãncia deste trabalho, no sentido de evidenciar de maneira mais clara o que ã, efetivamente, Engenharia. Também nesse sentido, agradeço ao Prof. OMAR.

Agradeço ã Srta. Edna Mizumoto, pela eficãcia e eficiênça demonstrada

SUMÁRIO

	Pag.
- Terminologia e Convenções	i
- Estudo da Viabilidade	1
. 1ª Fase: Estudo da Necessidade	1
. 2ª Fase: Especificações Técnicas.....	14
. 3ª Fase: Síntese das Possíveis Soluções	19
. 4ª Fase: Exequibilidade Física.....	42
. 5ª Fase: Valor Econômico	50
. 6ª Fase: Viabilidade Financeira	60
. 7ª Fase: Conclusão	64
- Projeto Básico	66
. 1ª Fase: Escolha da Melhor Solução	66
. 2ª Fase: Construção de Modelos Matemáticos.....	74
. 3ª Fase: Análise da Sensibilidade	103
. 4ª Fase: Análise da Combatibilidade	110
. 5ª Fase: Análise da Estabilidade	115
. 6ª Fase: Otimização Formal	120
. 7ª Fase: Ensaios e Testes de Protótipos.....	125
. 8ª Fase: Conclusão	129
- Conclusão	131
- Bibliografia	133

SUMÁRIO

- ANEXOS:

- . Anexo A: Requisitos para os ônibus urbanos
- . Anexo B: Introdução à acústica
- . Anexo C: Grau de intelegibilidade
- . Anexo D: Resolução CONTRAN nº 448/71
- . Anexo E: Ruídos e vibrações nos motores de combustão interna
- . Anexo F: Propriedades da borracha
- . Anexo G: Determinação do valor do produto
- . Anexo H: Determinação do custo do produto (método de Delphi)
- . Anexo I: Processamento e composição da borracha
- . Anexo J: Métodos para determinação das propriedades de inércia de um corpo rígido
- . Anexo K: Listagem dos programas utilizados
- . Anexo L: Resultados dos programas desenvolvidos
- . Anexo M: Desenho do isolador

TERMINOLOGIA E CONVENÇÕES

- a, b = coordenadas de posicionamento dos isoladores
 a_2 = coeficiente harmônico
 B_2 = coeficiente harmônico
 c = coeficiente de amortecimento
 cv = cavalo-vapor
 D = diâmetro do cilindro
 dB = decibel
 E = módulo de elasticidade
 F_T = fator de transmissibilidade
 F_x, F_y, F_z = força nas direções x, y, z
 g = aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m/s}^2$)
 GL = grau de liberdade
 Hz = hertz
 K = constante elástica
 l = comprimento da biela
 m = massa recíproca por cilindro (massas de movimento alternativo)
 m^* = massa da estrutura do motor
 $M.C.I.$ = motor de combustão interna
 M_{comb} = momento devido à explosão dos gases
 M_x, M_y, M_z = momentos nas direções x, y, z
 $ORTN$ = Obrigação Reajustável do Tesouro Nacional
 $O.U.$ = Ônibus urbano
 r = raio de giração do motor
 R = raio da manivela
 x, y, z = eixos de coordenadas
 w = velocidade angular da manivela
 λ = relação r/l
 α, β, γ = coordenadas angulares

ESTUDO DA VIABILIDADE

1ª FASE: ESTUDO DA NECESSIDADE

- I. INTRODUÇÃO: O ÔNIBUS COMO MEIO DE TRANSPORTE
- II. REQUISITOS PARA O ÔNIBUS URBANO
- III. A VIBRAÇÃO COMO FATOR DE DESCONFORTO (LIMITES DE TOLERÂNCIA)
- IV. O RUÍDO COMO FATOR DE DESCONFORTO (LIMITES DE TOLERÂNCIA)
- V. FONTES DE RUÍDO E VIBRAÇÃO NO ÔNIBUS URBANO
- VI. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA - CONCLUSÃO

I. INTRODUÇÃO : O ônibus como meio de transporte

I.1- EVOLUÇÃO E POSIÇÃO ATUAL NO BRASIL [14]

O ônibus motorizado dos nossos dias é um produto industrial evoluído das antigas carruagens de tração animal, atravessando sucessivos estágios de desenvolvimento (a fase da caldeira a vapor, por exemplo). No Brasil, o primeiro serviço de ônibus motorizado foi organizado no Rio de Janeiro, em torno de 1920. O bonde, com grande difusão àquela época, sofreu um duro golpe ao desorganizar-se o comércio internacional por consequência da Segunda Guerra Mundial. Foram afetados os negócios de importação de peças de reposição dos bondes, subestações e trilhos, propiciando o seu declínio. O sistema de bondes teria então seu colapso, precipitado pela acirrada disputa do espaço viário com o automóvel, até então contida pela guerra.

Expulso o bonde, o ônibus foi ocupando seu espaço. Hoje, as "encarroçadoras" (1) vinculadas à Fabus (2) formam um parque industrial de onze fábricas, empregando 11.500 pessoas.

Produziram 12.300 ônibus em 1981 (dos quais: 55% urbanos, 28% "rodoviários", 15% microônibus e 2% de tipos especiais).

Em 1981, a produção nacional de ônibus alcançou os números apresentados na tabela abaixo:

Fabricante	Rodoviário [A]	Urbano [B]	[A] + [B]
Mercedes-Benz	1.838	1.161	2.999
Associadas Fabus	3.488	8.778	12.267
Total	5.327	9.939	15.266

(1) As "encarroçadoras" constroem e montam carroçarias em chassis produzidos pelas grandes fabricantes de veículos comerciais.

(2) Fabus = Associação Nacional dos Fabricantes de Carroçarias para ônibus

I.2- O ESTIMULO AO TRANSPORTE COLETIVO: ALGUMAS RAZÕES [14]

No Brasil, a população tem se concentrado, ao longo das últimas décadas, nas áreas urbanas. Tal concentração é resultante de um movimento migratório cada vez mais intenso. Segundo dados do IBGE, a proporção de população nas áreas urbanas, na região Sudeste, cresceu de 39,42% em 1940 para 82,79% em 1980. Esse impulso migratório tem concentrado a população nas áreas urbanas, o que exige um constante e exagerado esforço no sentido de se manter o nível da qualidade do transporte num padrão aceitável, indispensável à mobilidade das populações urbanas.

Some-se a isso a elevação dos preços do petróleo em meados dos anos 70, o que motivou a opção de grande parcela da população pelo transporte coletivo.

O ônibus é, no Brasil, o principal meio de transporte de massa, não podendo tal situação ser modificada nem a curto nem a médio prazos, mesmo com a implantação de alguns novos serviços de transporte sobre trilhos, cujo esforço financeiro é reconhecidamente considerável.

Apesar disso, observa-se também que a quase totalidade dos investimentos públicos é canalizada para a ampliação do sistema viário requerido pelo transporte individual, "tolerando-se" o acesso dos ônibus em alguns casos.

II- REQUISITOS PARA OS ÔNIBUS URBANOS

Os ônibus urbanos devem, como meio de transporte, atender a certas exigências (impostas legalmente ou não) de maneira a minimizar os efeitos decorrentes de sua operação sobre o meio ambiente externo. Da mesma forma, devem possibilitar aos passageiros um nível de conforto aceitável durante o seu embarque/viagem/desembarque.

No anexo A(1) é dado um panorama geral dos requisitos internacionalmente aceitos para a construção dos ônibus urbanos, de maneira que estes atendam às exigências, tanto para conforto dos passageiros, como para minimização dos efeitos sobre o meio ambiente.

Vários são os fatores de influência sobre o conforto dos passageiros de ônibus urbano: facilidade de embarque/desembarque, conforto no assento, ventilação, iluminação etc. Dentre esses fatores, dois são de importância considerável: as vibrações e os ruídos.

Nos itens III e IV, analisar-se-ão as vibrações e os ruídos como fatores de desconforto, explicitando-se os limites aceitáveis para a manutenção do conforto dos passageiros.

No item V será feita uma análise das "fontes" de vibração e ruído dentro de um ônibus urbano, citando sua parcela de "contribuição". Finalmente, no item VI, fica estabelecido o objetivo deste trabalho, que é, em primeira aproximação, isolar as vibrações do motor, oriundas das forças de pressão e de inércia.

(1) Anexo A: Requisitos para os Ônibus Urbanos

III- A VIBRAÇÃO COMO FATOR DE DESCONFORTO (LIMITES DE TOLERÂNCIA)

Nos ônibus urbanos, os ocupantes podem ter seu nível de conforto comprometido pela presença de vibrações originadas tanto por fontes externas (devido a irregularidades na superfície de rodagem) como por fontes internas (motor, mecanismo de direção, conjunto roda/pneu, etc.)(1). Nestes veículos, podem ser distinguidas duas formas básicas de exposição à vibração, quais sejam:

- a) vibrações transmitidas para o corpo como um todo, através da superfície suporte, ou seja, através dos pés quando o passageiro estiver de pé, ou do assento, quando aquele estiver sentado (fig. 1);

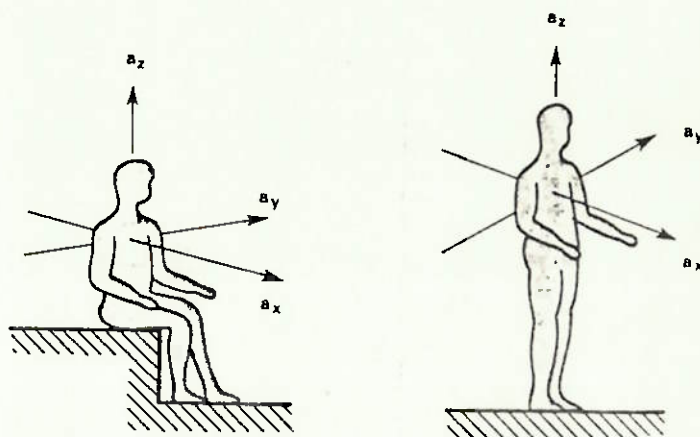


Fig.1- Vibrações transmitidas através da superfície suporte

- b) vibrações aplicadas em partes específicas do corpo, quando o passageiro as apoia sobre alguma superfície que vibra (fig.2).

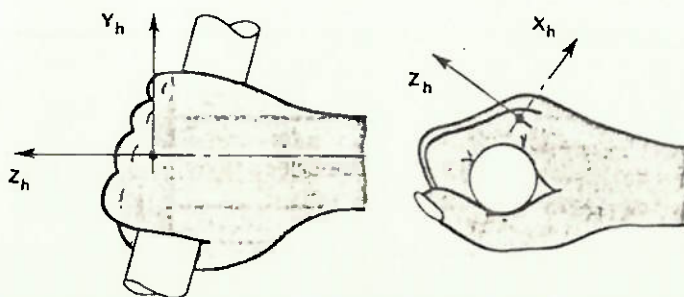


Fig.2- Vibrações transmitidas através da mão

(1) As fontes de ruído e vibração serão examinadas com detalhes no item V deste Estudo de Necessidade.

A primeira publicação internacional de recomendações acerca de vibração para o corpo humano foi a norma ISO 2631 [17] de 1978, a qual estabelece curvas limites para exposição de 1 minuto a 12 horas, relativas à faixa de frequência na qual o corpo humano apresenta maior sensibilidade, qual seja, de 1 Hz a 80 Hz. As recomendações abrangem casos em que o corpo humano, como um todo, é submetido a três superfícies de apoio, quais sejam: os pés de uma pessoa erecta, o assento de uma pessoa sentada e a área total de uma pessoa deitada.

A norma define e atribui valores numéricos para limites de exposição dentro dos seguintes critérios:

- (1) limites de conforto;
- (2) limites para redução de eficiência devido à fadiga;
- (3) limites de exposição a determinadas condições que oferecem perigo à saúde.

Neste projeto, o interesse fica voltado para o primeiro critério, o qual se aplica diretamente a setores como o de transporte de passageiros. Vale ressaltar que os valores atribuídos pela norma, aplicam-se somente para pessoas em estado normal de saúde.

Existem quatro fatores físicos de importância primária para a determinação da resposta humana às vibrações, quais sejam:

- intensidade
- frequência
- direção
- duração (tempo)

O último desta lista corresponde à nossa "variável independente". Pode-se estimá-la a partir do tempo médio de uma viagem num ônibus urbano no Brasil. Pode-se então adotar como tempo de exposição o intervalo de 1 hora. Os valores de intensidade e frequência apresentadas pela norma baseiam-se nas direções a_x , a_y , a_z (fig. 3):

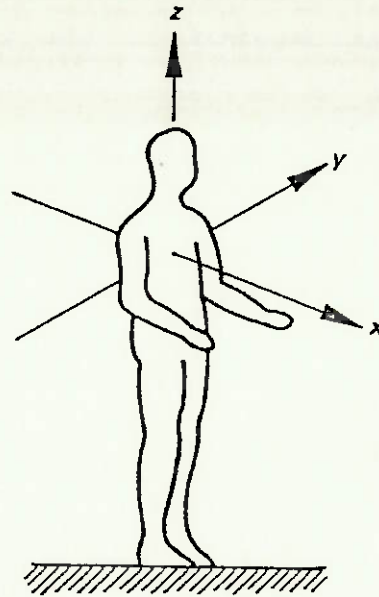


Fig.3- Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas sobre o corpo

Tipicamente, na maioria das situações de transporte coletivo, a_z (longitudinal) será aplicada para uma pessoa sentada ou em pé (conhecida como "vibração vertical").

Frequency (centre frequency of third-octave band)	Acceleration, m/s^2							
	Exposure times							
	24 h	16 h	8 h	4 h	2,5 h	1 h	25 min	16 min
Hz								
1,0	0,280	0,425	0,63	1,06	1,40	2,36	3,55	4,25
1,25	0,250	0,375	0,56	0,95	1,26	2,12	3,15	3,75
1,6	0,224	0,335	0,50	0,85	1,12	1,90	2,80	3,35
2,0	0,200	0,300	0,45	0,75	1,00	1,70	2,50	3,00
2,5	0,180	0,265	0,40	0,67	0,90	1,50	2,24	2,65
3,15	0,160	0,235	0,355	0,60	0,80	1,32	2,00	2,35
4,0	0,140	0,212	0,315	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12
5,0	0,140	0,212	0,315	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12
6,3	0,140	0,212	0,315	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12
8,0	0,140	0,212	0,315	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12
10,0	0,180	0,265	0,40	0,67	0,90	1,50	2,24	2,65
12,5	0,224	0,335	0,50	0,85	1,12	1,90	2,80	3,35
16,0	0,280	0,425	0,63	1,06	1,40	2,36	3,55	4,25
20,0	0,355	0,530	0,80	1,32	1,80	3,00	4,50	5,30
25,0	0,450	0,670	1,0	1,70	2,24	3,75	5,60	6,70
31,5	0,560	0,850	1,25	2,12	2,80	4,75	7,10	8,50
40,0	0,710	1,060	1,60	2,65	3,55	6,00	9,00	10,6
50,0	0,900	1,320	2,0	3,35	4,50	7,50	11,2	13,2
63,0	1,120	1,700	2,5	4,25	5,60	9,50	14,0	17,0
80,0	1,400	2,120	3,15	5,30	7,10	11,8	18,0	21,2

Tabela 1 - Valores numéricos para aceleração da vibração na direção a_z

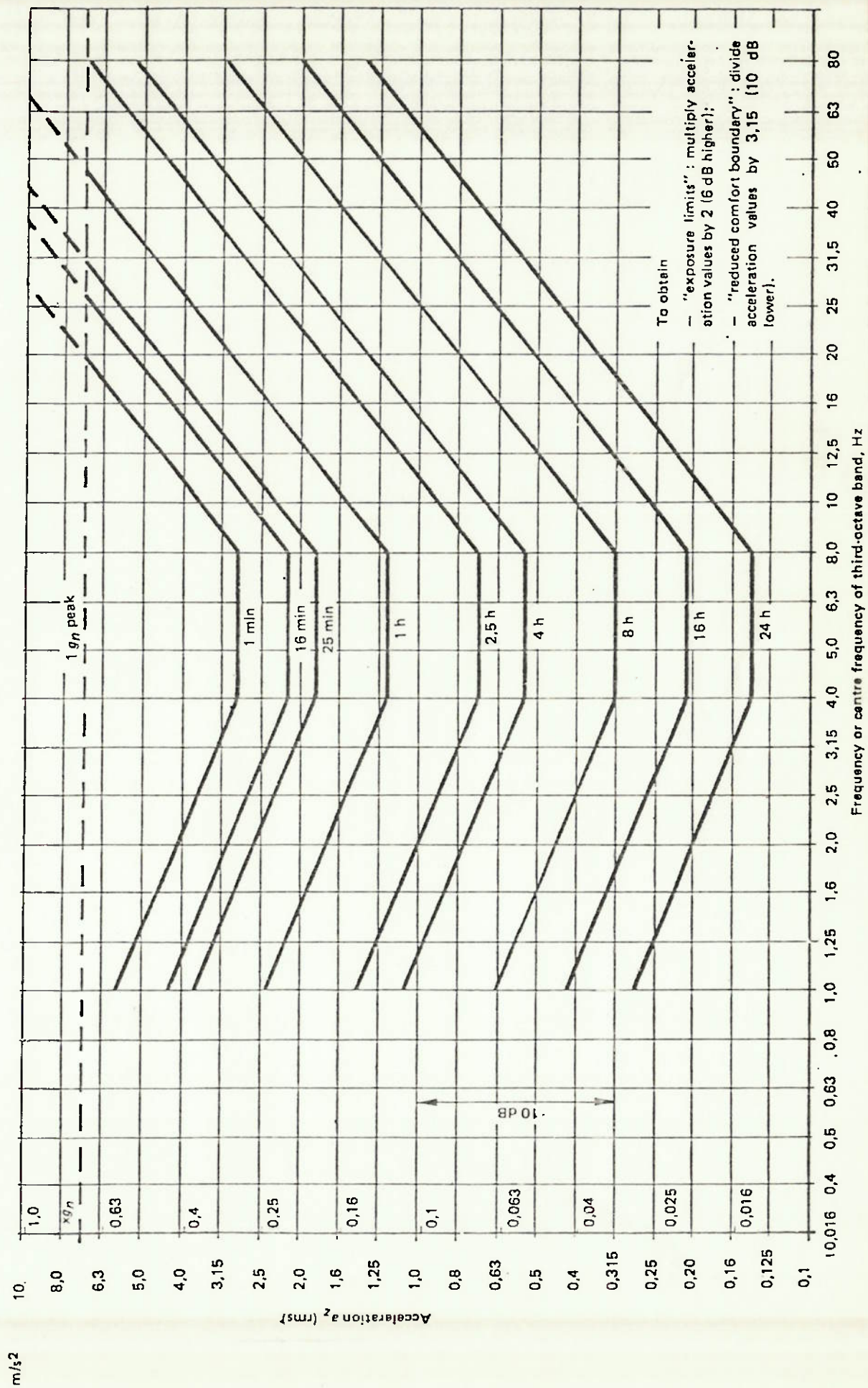


Fig. 4 - Aceleração a_z função da frequência e do tempo de exposição

O gráfico (fig. 4) e a tabela (tab.1) anteriores mostram os valores adotados segundo o critério de "redução de eficiência devido à fadiga".

Como indica o ISO 2631, para se obter os valores correspondentes ao "critério de conforto", devem ser divididos por três os valores correspondentes aos níveis de fadiga. (ver curva tracejada sobre o gráfico)

IV- O RUIDO COMO FATOR DE DESCONFORTO (LIMITES DE TOLERANCIA) (1)

Ainda que o conceito de ruído seja subjetivo a cada indivíduo, ruído pode ser definido como qualquer som indesejável, perturbador ou mesmo prejudicial. Sons dentro da faixa de 0 a 90 dBA apresentam principalmente efeitos psicológicos sobre o homem.

Para o campo da acústica aplicada à engenharia, interessa-nos saber como o som pode tornar um ambiente mais adequado para o homem exercer suas funções de trabalho, lazer ou repouso.

Neste trabalho, o interesse está em manter o conforto acústico dos passageiros, durante sua viagem num ônibus urbano. Este conforto acústico pode ser avaliado através do conceito de "Grau de Intelegibilidade" (2).

O nível de ruído, tanto exterior quanto interior, dos ônibus urbanos devem ser estabelecidos como fatores de projeto, não se podendo, contudo, estabelecer níveis arbitrária e desnecessariamente baixos, atingindo-se valores anti-econômicos.

Os níveis de ruído externo máximos permissíveis são, pela legislação brasileira, estabelecidas pela Resolução nº 448/71 - Contran (3). Esta estabelece, em seu artigo 1º, que:

"Veículos de carga, ônibus, máquinas de tração agrícolas, máquinas industriais de trabalhos e demais veículos:

- a) até 185 cv 89 dBA
- b) acima de 185 cv 92 dBA

Tais valores são muito altos e antigos. Internamente, os níveis de ruído, medidos a uma altura de 1,20 m acima do centro do banco do cobrador, não podem exceder

[14] :

- veículo parado, motor em marcha lenta: 75 dBA
- veículo em movimento no ensaio, conforme resolução do Contran nº 448/71: 80 dBA

(1) Para facilitar a compreensão dos conceitos aqui utilizados, recomenda-se a consulta inicial ao Anexo B: "Introdução à Acústica".

(2) Ver Anexo C: Grau de Intelegibilidade.

(3) Ver Anexo D: Resolução Contran nº 448/71.

V- FONTES DE RUÍDO E VIBRAÇÃO NO ÔNIBUS URBANOS

As principais fontes de ruído e vibração nos ônibus urbanos atuais são:

1- Ruído de exaustão dos gases de combustão do M.C.I.

Constitui normalmente a segunda maior fonte de ruído nos ônibus urbanos atuais. Sua atenuação deve ser obtida através de acústica aplicada. Estudos tem sido desenvolvidos no sentido de se conseguir níveis de ruído cada vez mais baixos, porém, encontrando como fator limitante o volume do sistema de exaustão (que não pode ser exageradamente grande, em função do espaço disponível no veículo).

O ruído de exaustão contém componentes significativos em baixa frequência (abaixo de 125 Hz).

2- Ruído devido ao ventilador

Constitui, normalmente, o terceiro maior produtor para o aumento do nível de ruído nos ônibus urbanos. Seu ruído pode ser controlado, a nível de projeto, por atuações do tipo: limitação da velocidade de rotação do ventilador; minimização da obstrução para o fluxo de ar; espaçamento não uniforme para as pás, de maneira a evitar a geração de tons puros, etc.

3- Motor de propulsão

Os ônibus urbanos utilizaram, ao longo de sua evolução, várias formas de propulsão, baseados principalmente no vapor e na eletricidade. O ônibus motorizado, contudo, a partir de 1895, ano em que circulou na Alemanha o primeiro modelo, vem consagrando o M.C.I. até os nossos dias.

O M.C.I. pode ser apontado como o principal produtor na geração de ruído e vibração no interior dos ônibus urbanos. No anexo E (1) é feito um apanhado do ruído e vibrações gerados num M.C.I. Fala-se também nas formas de atenuações possíveis a nível de projeto (como o baleamento, por exemplo).

(1) Ver Anexo E: Ruídos e vibrações nos motores de combustão interna

VI- IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA - CONCLUSÃO

No projeto de isoladores para M.C.I., vão interessar diretamente as vibrações produzidas pelas forças de inércia (não balanceadas) e pelas forças de pressão(1).

Neste estudo de viabilidade inicial, partiu-se da necessidade atual dos ônibus urbanos e do importante papel desempenhado por estes como meio de transporte.

Em seguida procurou-se descrever alguns requisitos de conforto aos quais os ônibus urbanos devem atender como meio de transporte e foi dado ênfase aos ruídos e vibrações como fatores de conforto a serem observados.

Foram então identificadas as fontes de ruído e vibração num ônibus urbano, ficando evidente a forte influência do M.C.I. na geração daqueles. A atenuação das vibrações causadas pelas forças de pressão e de inércia (desbalanceadas) através de suportes elásticos foi então definida como objetivo deste trabalho.

(1) Ver Anexo E: Ruídos e vibrações nos motores de combustão interna.

ESTUDO DA VIABILIDADE

2ª FASE: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

- I. ESPECIFICAÇÕES FUNCIONAIS
- II. ESPECIFICAÇÕES OPERACIONAIS
- III. ESPECIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS

O problema consiste na determinação dos suportes elásticos com as características dinâmicas adequadas, corretamente posicionados, de maneira a atender às seguintes especificações:

I- ESPECIFICAÇÕES FUNCIONAIS

- 1- Os isoladores deverão atenuar ou reduzir as forças transmitidas para o interior do veículo, originadas das forças de inércia e pressão do motor, que não foram eliminadas a nível de projeto e que podem gerar distúrbios estruturais, agrupadas em vibrações mecânicas (15-50 Hz) ou ruído (50-20.000 Hz). Tal atenuação deverá permitir que:
 - Os níveis de ruído, medidos a uma altura de 1,20m acima do centro do banco do cobrador, não podem exceder:
 - veículo parado, motor em marcha lenta: 75 dBA
 - veículo em movimento no ensaio, conforme Resolução Contran nº 448/71: 80 dBA
 - Com o veículo parado e o motor em marcha lenta, em nenhum ponto do interior da carroçaria o nível de vibração poderá exceder $0,5 \text{ m/s}^2$
- 2- Os isoladores deverão atenuar o movimento dinâmico transmitido pela estrutura suporte (a partir de irregularidades externas) ao motor.
- 3- Posicionamento Relativo

Os isoladores deverão prevenir o contato, sob cargas dinâmicas, do motor, com a estrutura (limitações nos 6 graus de liberdade), nas seguintes condições (fig.5):

 - . Longitudinalmente (frenagem ou aceleração oriundas de pequenas colisões): $\pm 1,5 \text{ g}$
 - . Lateralmente (oriunda das curvas): $\pm 1 \text{ g}$

- . Verticalmente (oriunda de irregularidades do terreno) : $\pm 3 - 4 g$.
- . Torsional (torque especificado pelo fabricante do motor) * 2

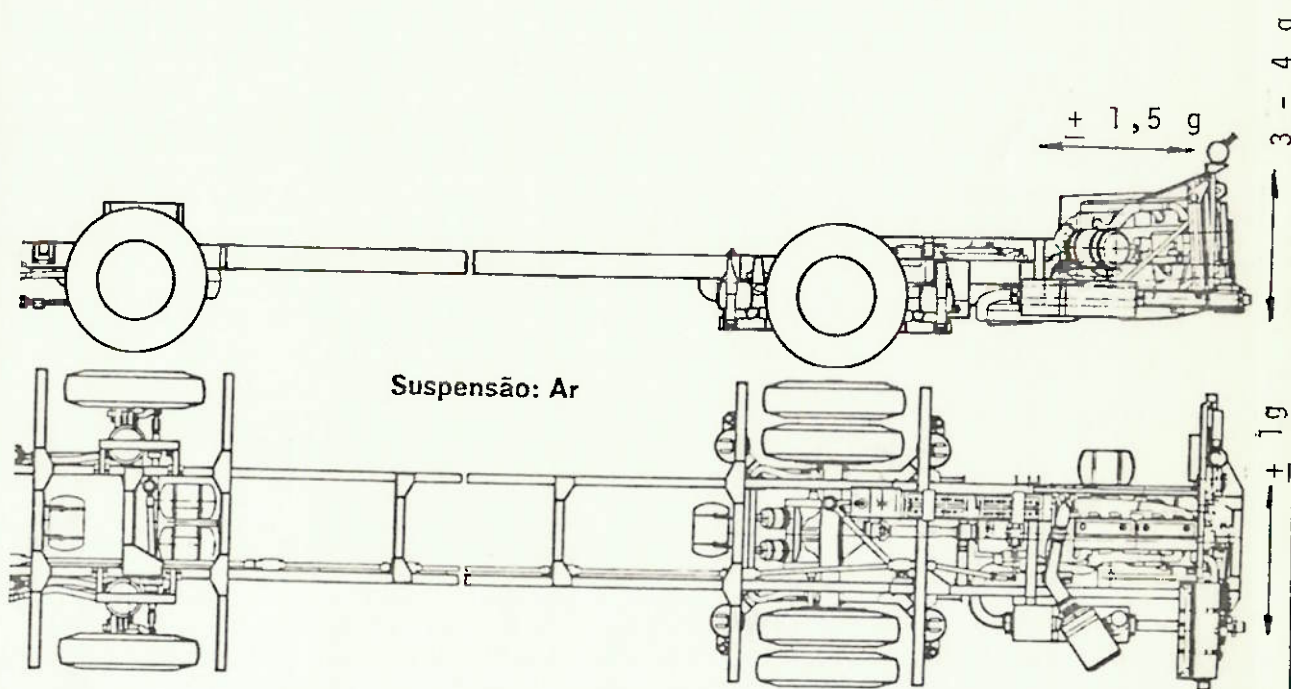


Fig.5- Requisitos de posicionamento relativo

4- Requisitos de espaço (Distâncias geométricas)

Devem ser mantidas distâncias geométricas entre o motor e a estrutura. Adotar-se-ã tais distâncias de aproximadamente 100 mm.

II- ESPECIFICAÇÕES OPERACIONAIS

1- Durabilidade:

Os isoladores deverão possuir uma vida por fadiga compatível com a durabilidade exigida para outros elementos do ônibus (vida mínima de 10 anos). Adotar-se-á como vida útil o intervalo de tempo no qual o isolador ainda mantém 90% das suas características dinâmicas.

2- Manutenção:

Os isoladores não devem, ao longo de sua vida útil, exigir qualquer tipo de manutenção. A disposição dos isoladores deve, contudo, prever a possibilidade de manutenção e/ou substituição do motor, facilitando tais operações.

III- ESPECIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS

- 1- Os isoladores deverão ser de materiais resistentes a uma ampla gama de fatores "ambientais", devendo o mesmo conservar suas características quando:
 - em contato com lubrificantes, combustíveis, fluidos hidráulicos e eventualmente produtos químicos;
 - em contato com pó, terra e areia;
 - submetido a luz do sol, umidade, frio ($T=0^{\circ}\text{C}$) ou calor excessivos ($T= 80^{\circ}\text{C}$)

- 2- Os isoladores deverão ser dispostos e arrançados de acordo com as soluções existentes de motopropulsor.

ESTUDO DA VIABILIDADE

3^a FASE: SINTESE DAS POSSÍVEIS
SOLUÇÕES

- I. INTRODUÇÃO
- II. MATERIAIS PARA OS ISOLADORES
- III. FORMAS CONSTRUTIVAS PARA OS ISOLADORES
- IV. MATRIZ DE PROJETO
- V. POSICIONAMENTO DOS ISOLADORES

I- INTRODUÇÃO

Como definido na 2ª fase deste Estudo da Viabilidade (Especificações Técnicas), o problema da atenuação das vibrações do motor, originadas das forças de inércia e de pressão, consiste na determinação dos suportes elásticos com as características dinâmicas corretas e corretamente posicionados.

Pode-se, portanto, dividir esta fase de síntese de soluções em duas fases distintas:

- 1ª fase: determinação dos suportes elásticos adequados, onde devem ser procurados os materiais elásticos e as formas construtivas adequadas para aqueles suportes elásticos;
- 2ª fase: determinação do número de suportes elásticos (isoladores) que podem ser utilizados, bem como o posicionamento correto daqueles.

II- MATERIAIS PARA OS ISOLADORES

II.1- A BORRACHA

A borracha é um material elástico, exibindo características de pequena deformação plástica, alta elongação e alta velocidade de retração. Esta definição inclui a borracha natural e uma grande família de borrachas sintéticas, fabricadas de polímeros e copolímeros de vários compostos orgânicos.

A borracha tem um módulo de elasticidade baixo, sendo capaz de sustentar uma deformação de mais de 1000% e assumir rapidamente suas dimensões originais. É um material resiliente, exibindo ainda amortecimento interno.

A borracha pode ser processada nas mais variadas formas, podendo ainda aderir a insertos metálicos. (fig. 6)

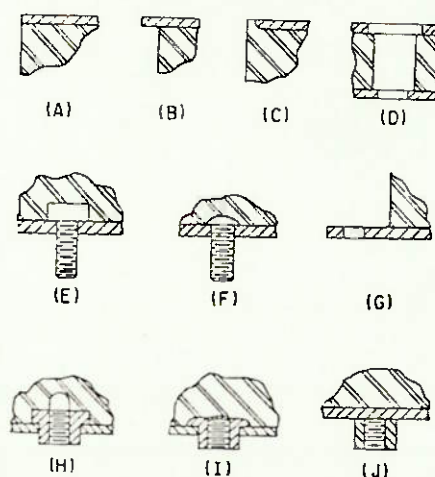


Figura 6: Adesão da borracha a insertos metálicos

Sua composição variada implica em ampla gama de propriedades(1). A curva Carga-Deformação de um isolador de borracha pode ser alterada por mudanças na sua forma. A borracha não sofre corrosão e normalmente não reque lubrificação. Devido a essas propriedades, a borracha é o elemento mais utilizado para problemas de isolamento.

II.2- ESPECIFICAÇÕES DOS COMPOSTOS DE BORRACHA PARA APLICAÇÃO AUTOMOBILÍSTICA (2) (3)

Os compostos de borracha estão classificados, segundo a Society of Automotive Engineers (SAE), segundo tipos, classes e graus. Estes, juntamente com letras-sufixo na designação do grau, definem as propriedades dos compostos de borracha após a vulcanização. Os compostos de borracha estão divididos em três tipos, designados pela letra prefixo R, S e T; a saber:

- . Tipo R: compostos de borracha natural, borracha recuperada ou borracha sintética, pura ou em combinação, para serviços nos quais resistência à ação de fluídos à base de petróleo não seja requerida.
- . Tipo S: compostos de borracha sintética, para serviços onde resistência a temperaturas anormais e a fluídos à base de petróleo seja requerida.
- . Tipo T: compostos de borracha sintética, para serviços onde resistência a temperaturas anormais e a fluídos à base de petróleo não seja requerida.

Os compostos do tipo R possuem uma só classe. Os compostos do tipo S são divididos em três classes: SA, SB e SC; os compostos do tipo T são divididos em duas classes: TA e TB. Estas classes estão de acordo com:

[1] Ver Anexo F: Propriedades da Borracha

[2] Segundo SAE 10R

[3] Recomenda-se a leitura preliminar do Anexo F: Propriedades da Borracha, para a total compreensão deste item.

- . Classe SA: compostos de borracha sintética, que apresentam aumento de volume ("inchamento") muito pequeno quando expostos a fluídos a base de petróleo (1)
- . Classe SB: compostos de borracha sintética, que apresentam aumento de volume ("inchamento") pequeno quando expostos a fluidos à base de petróleo.
- . Classe SC: compostos de borracha sintética, que apresentam aumento de volume ("inchamento") médio quando expostos a fluídos à base de petróleo.
- . Classe TA: compostos de borracha sintética, tendo máxima resistência aos efeitos de temperatura.
- . Classe TB: compostos de borracha sintética, tendo resistência ao calor e a óleos a alta temperatura.

Cada classe de composto é dividida em graus, de acordo com suas propriedades físicas. Os graus são designados por números, seguindo as letras-prefixo e, quando necessário, por letras-sufixo após o número de grau. Os números de grau devem ser descritas por três dígitos: o primeiro indicando a faixa de dureza (por exemplo, 3 para 30+5, 4 para 40+ 5); o segundo e o terceiro para indicar a mínima tensão de resistência - "tensile strengh" (por exemplo, 05 para 500 psi, 15 para 1500 psi).

As tabelas a seguir (tab. 2 a 7) dão as propriedades para cada composto (tipo, classe, grau).(2).

(1) Segundo método de teste previsto pela ASTM D-471

(2) Propriedades definidas conforme Anexo F.

Grade No.	Basic Requirements										Requirements Added by Suffix Letter, ^b			
	Durometer Hardness No.	Min Tensile Strength, Psi	Min Ultimate Elongation, %	Heat Aged 70 Hr at 158 F (70 C)			Max Compression Set after 22 Hr at 158 F(70C), %	D	B	R				
				Max Change in Tensile Strength, %	Max Change in Ultimate Elongation, %	Max Change in Durometer Hardness								
R310	30 ± 5	1000	400	-25	-35	+10	50	70 ± 10	25	—	—			
R315	30 ± 5	1500	500	-25	-25	+10	50	70 ± 10	25	—	—			
R320	30 ± 5	2000	600	-25	-25	+10	50	70 ± 10	25	—	—			
R325	30 ± 5	2500	600	-25	-25	+10	50	70 ± 10	25	—	—			
R410	40 ± 5	1000	400	-25	-35	+10	50	100 ± 15	25	—	—			
R415 ^a	40 ± 5	1500	500	-25	-25	+7	50	100 ± 15	25	—	70			
R420 ^a	40 ± 5	2000	500	-25	-25	+7	50	100 ± 15	25	—	75			
R425	40 ± 5	2500	500	-25	-25	+7	50	100 ± 15	25	—	80			
R430	40 ± 5	3000	600	-25	-25	+7	50	100 ± 15	25	—	80			
R505	50 ± 5	500	300	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R508	50 ± 5	800	350	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R510 ^a	50 ± 5	1000	400	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R512	50 ± 5	1200	400	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R515 ^a	50 ± 5	1500	400	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R520 ^a	50 ± 5	2000	400	-25	-25	+7	50	140 ± 20	25	—	65			
R525 ^a	50 ± 5	2500	500	-25	-25	+7	50	140 ± 20	25	—	65			
R530	50 ± 5	3000	600	-25	-25	+7	50	140 ± 20	25	—	75			
R535	50 ± 5	3500	600	-25	-25	+7	50	140 ± 20	25	—	75			
R605	60 ± 5	500	300	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R608	60 ± 5	800	300	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R610 ^a	60 ± 5	1000	300	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R612	60 ± 5	1200	300	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R615 ^a	60 ± 5	1500	350	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R620 ^a	60 ± 5	2000	400	-25	-25	+7	50	195 ± 30	25	—	60			
R625 ^a	60 ± 5	2500	450	-25	-25	+7	50	195 ± 30	25	—	60			
R630	60 ± 5	3000	500	-25	-25	+7	50	195 ± 30	25	—	70			
R635	60 ± 5	3500	550	-25	-25	+7	50	195 ± 30	25	—	70			
R705	70 ± 5	500	150	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R708	70 ± 5	800	150	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R710 ^a	70 ± 5	1000	200	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R712	70 ± 5	1200	200	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R715 ^a	70 ± 5	1500	250	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R720 ^a	70 ± 5	2000	300	-25	-25	+7	50	300 ± 70	25	—	50			
R725	70 ± 5	2500	300	-25	-25	+7	50	300 ± 70	25	—	50			
R730	70 ± 5	3000	400	-25	-25	+7	50	300 ± 70	25	—	60			
R805	80 ± 5	500	100	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R810	80 ± 5	1000	100	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R815	80 ± 5	1500	150	-25	-25	+7	50	475 ± 100	—	—	—			
R820	80 ± 5	2000	200	-25	-25	+7	50	475 ± 100	—	—	—			
R825	80 ± 5	2500	200	-25	-25	+7	50	475 ± 100	—	—	—			
R905	90 ± 5	500	75	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R910	90 ± 5	1000	100	-25	-35	+10	50	—	—	—	—			
R915	90 ± 5	1500	125	-25	-25	+7	50	—	—	—	—			

^a See section, Methods of Testing
^b See section on Types, Classes, and Grades of Compounds.
^c In order to keep to a minimum the number of grades required, it is suggested that, wherever practical, these grades be used.

Tabela 2: Propriedades físicas dos compostos tipo R.

Grade No	Basic Requirements					Requirements Added by Suffix Letter ¹⁾							
	Duro-meter Hardness No.	Min Tensile Strength, psi	Min Ultimate Elongation, %	Oil Aged 70 Hr at 212 F (100 C)		E ₁			E ₂				
				ASTM Oil No. 3	Volume Change, % (Limits)	Change in Tensile Strength, %	Change in Ultimate Elongation, %	Max Tensile Strength, %	Change in Ultimate Elongation, %	Change in Duro-meter Hardness (Limits)	Max Tensile Strength, %	Change in Ultimate Elongation, %	Change in Duro-meter Hardness (Limits)
SA405	40 ± 5	300	400	0 to +10	-15	-40	+15	65	~20	-5 to +10	-3 to +5	-20	-5 to +10
SA505	50 ± 5	500	400	0 to +10	-15	-40	+15	60	-20	-5 to +10	-3 to +5	-20	-5 to +10
SA605	60 ± 5	700	300	0 to +10	-15	-40	+10	50	-30	-5 to +10	-3 to +5	-20	-5 to +10
SA710	70 ± 5	1000	250	0 to +10	-15	-40	+10	50	-30	-5 to +10	-3 to +5	-30	-5 to +10
SA810	80 ± 5	1000	150	0 to +10	-15	-40	+10	50	-30	-5 to +10	-3 to +5	-30	-5 to +10
SA910	90 ± 5	1000	100	0 to +10	-15	-40	+10	50	-30	-5 to +10	-3 to +5	-30	-5 to +10

¹⁾ See section, Methods of Testing.

¹⁾ See section, Types, Classes, and Grades of Compounds.

Tabela 3: Propriedades físicas dos compostos tipo S, classe SA.

Tabela 4: Propriedades físicas dos compostos tipo S, classe SB.

Grade No.	Duro- mer Hard- ness No.	Min Tensile Strength, psi	Min Ultimate Elonga- tion, %	Basic Requirements										Requirements Added by Suffix Letter ^b					
				Oil Immersion 70 Hr at 212 F (100 C)		Heat Aged 70 Hr at 212 F (100 C)		Max Compression Set after 70 Hr at 212 F (100 C), %	E ₁			E ₂							
				Volume Change, % (Limits)	ASTM Oil No. 3	Max Change in Tensile Strength, % (Limits)	Max Change in Ultimate Elonga- tion, % (Limits)		Max Change in Durem- eter Hardness (Limits)	Max Change in Tensile Strength, % (Limits)	Max Change in Ultimate Elonga- tion, % (Limits)	Volume Change, % (Limits)	Change in Durem- eter Hardness (Limits)	Max Change in Tensile Strength, % (Limits)	Max Change in Ultimate Elonga- tion, % (Limits)	Volume Change, % (Limits)	Change in Durem- eter Hardness (Limits)		
SB410	40 ± 5	1000	450	-5 to +40		-25	+20	80	-25	-5 to +5	-15 to +5	-5 to +15	-40	-50	0 to +30	-15 to +5			
SB415	40 ± 5	1500	450	0 to +40		-25	+20	80	-30	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-45	-50	0 to +35	-15 to +5			
SB505	50 ± 5	800	300	0 to +40		-25	+15	75	-25	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-45	-50	0 to +25	-15 to +5			
SB508	50 ± 5	800	300	0 to +40		-25	+15	75	-25	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-45	-50	0 to +25	-15 to +5			
SB510	50 ± 5	1000	350	0 to +40		-25	+15	75	-25	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-45	-50	0 to +25	-15 to +5			
SB512	50 ± 5	1200	350	0 to +40		-25	+15	75	-25	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-45	-50	0 to +25	-15 to +5			
SB515	50 ± 5	1500	400	0 to +60		-25	+15	75	-25	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-45	-50	0 to +30	-15 to +5			
SB520	50 ± 5	2000	400	0 to +60		-25	+15	75	-30	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-45	-50	0 to +30	-15 to +5			
SB505	60 ± 5	500	200	0 to +40		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +25	-10 to +5			
SP608	60 ± 5	800	200	0 to +40		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +25	-10 to +5			
SB510*	60 ± 5	1000	250	0 to +40		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +25	-10 to +5			
SB615*	60 ± 5	1200	250	0 to +40		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +25	-10 to +5			
SB620	60 ± 5	1500	300	0 to +50		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +25	-10 to +5			
SB625	60 ± 5	2000	350	0 to +50		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +30	-10 to +5			
SB705	70 ± 5	500	150	0 to +35		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +25	-10 to +5			
SP708	70 ± 5	800	150	0 to +35		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +25	-10 to +5			
SB710	70 ± 5	1000	200	0 to +35		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +25	-10 to +5			
SB715*	70 ± 5	1200	200	0 to +35		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +25	-10 to +5			
SB720	70 ± 5	1500	250	0 to +40		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +25	-10 to +5			
SB725	70 ± 5	2000	250	0 to +40		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +30	-10 to +5			
SB805	80 ± 5	500	100	0 to +30		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +20	-10 to +5			
SB810	80 ± 5	1000	100	0 to +30		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +20	-10 to +5			
SB815	80 ± 5	1500	125	0 to +30		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +20	-10 to +5			
SB820	80 ± 5	2000	125	0 to +30		-20	+15	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +20	-10 to +5			
SB905	90 ± 5	500	50	0 to +25		-20	+10	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +20	-10 to +5			
SP910	90 ± 5	1000	100	0 to +25		-20	+10	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +20	-10 to +5			
SB915	90 ± 5	1500	100	0 to +25		-20	+10	75	-20	-5 to +5	-10 to +5	-5 to +10	-40	-40	0 to +20	-10 to +5			

Grades meeting either or both Suffix E₁ and E₂ requirements and meeting the requirements of Suffix F may NOT be commercially available.
^a See section, Methods of Testing.
^b See section, Types, Classes, and Grades of Compounds.
^c In order to keep to a minimum the number of grades required, it is suggested that, wherever practical, these grades be used.

Basic Requirements				Requirements Added by Suffix Letter											
Grade No.	Durometer Hardness No.	Min. Tensile Strength, psi	Min. Ultimate Elong., %	Oil Immersion 70 Hr at 212 F (100 C)		Heat Anneal 70 Hr at 212 F (100 C)		B		E ₁		E ₂		E ₃	R
				Max. Change in Strength, %	Max. Change in Elong., %	Max. Change in Strength, %	Max. Change in Elong., %	Max. Change in Tensile Strength, %	Max. Change in Elong., %	Max. Change in Tensile Strength, %	Max. Change in Elong., %	Max. Change in Tensile Strength, %	Max. Change in Elong., %		
SC305	30 ± 5	500	300	+15	-40	+20	+20	80	50	-20	-30	-10 to +15	-80	-60	-
SC310	30 ± 5	1000	400	-15	-40	+20	+20	75	50	-20	-30	-10 to +15	-80	-60	-
SC315	30 ± 5	1500	500	-15	-40	+20	+20	65	50	-30	-30	-10 to +15	-80	-60	-
SC320	30 ± 5	2000	500	-15	-40	+20	+20	60	45	-30	-30	-10 to +15	-80	-60	70
SC405	40 ± 5	500	300	+15	-40	+20	+20	65	45	-20	-30	-10 to +15	-75	-55	-
SC410	40 ± 5	1000	400	-15	-40	+20	+20	65	45	-20	-30	-10 to +15	-75	-55	-
SC415 ^a	40 ± 5	1500	500	-15	-40	+15	+15	65	45	-20	-30	-10 to +15	-75	-55	60
SC420 ^a	40 ± 5	2000	500	-15	-40	+15	+15	60	40	-30	-30	-10 to +15	-80	-60	70
SC125	40 ± 5	2500	500	-15	-40	+15	+15	60	40	-30	-30	-10 to +15	-80	-60	70
SC505	50 ± 5	500	300	+15	-40	+20	+20	50	40	-30	-30	-10 to +15	-70	-55	-
SC508	50 ± 5	800	300	-15	-40	+20	+20	60	40	-30	-30	-10 to +15	-70	-55	-
SC510	50 ± 5	1000	300	-15	-40	+20	+20	60	40	-30	-30	-10 to +15	-70	-55	-
SC512	40 ± 5	1200	300	-15	-40	+20	+20	60	40	-30	-30	-10 to +15	-70	-55	-
SC515 ^a	50 ± 5	1500	350	-15	-40	+15	+15	60	40	-30	-30	-10 to +15	-70	-55	-
SC520 ^a	50 ± 5	2000	400	-15	-40	+15	+15	50	40	-30	-30	-10 to +15	-70	-55	60
SC525	50 ± 5	2500	450	-15	-40	+15	+15	50	40	-30	-30	-10 to +15	-70	-55	65
SC530	50 ± 5	3000	500	-15	-40	+15	+15	50	40	-40	-30	-10 to +15	-70	-55	70
SC535	50 ± 5	3500	500	-15	-40	+15	+15	50	40	-40	-30	-10 to +15	-80	-60	70
SC605	60 ± 5	500	300	+15	-40	+20	+20	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	-
SC608	60 ± 5	800	300	-15	-40	+20	+20	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	-
SC610	60 ± 5	1000	300	-15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	-
SC612	60 ± 5	1200	300	-15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	-
SC615 ^a	60 ± 5	1500	350	-15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	-
SC620 ^a	60 ± 5	2000	350	-15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	55
SC625	60 ± 5	2500	400	-15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	60
SC630	60 ± 5	3000	400	-15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-70	-55	65
SC635	60 ± 5	3500	400	-15	-40	+15	+15	50	45	-40	-30	-10 to +15	-80	-60	70
SC705	70 ± 5	500	200	+15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	-
SC708	70 ± 5	800	200	-15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	-
SC710 ^a	70 ± 5	1000	200	-15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	-
SC712	70 ± 5	1200	200	-15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	-
SC715 ^a	70 ± 5	1500	250	-15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	-
SC720	70 ± 5	2000	300	-15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-65	-55	50
SC725	70 ± 5	2500	300	-15	-40	+15	+15	50	45	-30	-30	-10 to +15	-70	-55	55
SC805	80 ± 5	500	100	+15	-40	+15	+15	45	50	-15	-30	-5 to +10	-45	-30	-
SC810	80 ± 5	1000	100	-15	-40	+15	+15	45	50	-15	-30	-5 to +10	-45	-30	-
SC815	80 ± 5	1500	100	-15	-40	+15	+15	45	50	-15	-30	-5 to +10	-45	-30	-
SC820	80 ± 5	2000	150 ^b	-15	-40	+15	+15	45	50	-15	-30	-5 to +10	-45	-30	-
SC905	90 ± 5	500	50	+10	-40	+10	+10	45	50	-15	-30	-5 to +10	-40	-20	-
SC910	90 ± 5	1000	100	-15	-40	+10	+10	45	50	-15	-30	-5 to +10	-40	-20	-
SC915	90 ± 5	1500	150	-15	-40	+10	+10	45	50	-15	-30	-5 to +10	-40	-20	-
SC920	90 ± 5	2000	150	-15	-40	+10	+10	45	50	-15	-30	-5 to +10	-40	-20	-

^a See section, Methods of Testing
^b See section, Types, Classes, and Grades of Compounds.
^c In order to keep to a minimum the number of grades required, it is suggested that, wherever practical, these grades be used.

Tabela 5: Propriedades físicas dos compostos tipo S, classe SC.

Grade No.	Basic Requirements				Requirements Added by Suffix Letter ^h							
	Durometer Hardness No.	Min Tensile Strength, psi	Min Ultimate Elongation, %	Heat Aged ⁱ 70 Hr at 437 F (225 C)	E ₁		E ₂		L			
					70 Hr at 302 F (150 C), ASTM Oil No. 1	70 Hr at 302 F (150 C), ASTM Oil No. 3	70 Hr at 302 F (150 C), ASTM Oil No. 1	70 Hr at 302 F (150 C), ASTM Oil No. 3				
TA505	50 ± 5	500	200	Max Change in Tensile Strength, %	Max Change in Ultimate Elongation, %	Max Change in Durometer Hardness	Max Change in Tensile Strength, %	Max Change in Ultimate Elongation, %	Max Change in Durometer Hardness	Max Change in Durometer Hardness	Max Change in Volume Change, %	Water Absorption after 70 Hr in Boiling Water
TA507	50 ± 5	700	250	+20	-40	50	-20	-20	-30	+60	-10 ^l	+5 ^m
TA604	60 ± 3	400	100	+10	-30	35	-20	-20	-30	+60	-10	+5
TA606	60 ± 3	600	200	+20	-50	40	-20	-20	-35	+60	-10	+5
TA704	70 ± 5	400	75	+15	-40	40	-20	-20	-35	+60	-10	+5
TA706	70 ± 5	600	125	+10	-25	40	-20	-20	-40	+60	-10	+5
TA805	80 ± 5	500	50	+15	-40	40	-20	-20	-40	+60	-10	+5
TA806	80 ± 5	600	100	+10	-25	45	-20	-20	-45	+60	-10	+5

^h See section, Methods of Testing.
ⁱ See section, Types, Classes, and Grades of Compounds.
^j Heat aging tests shall be according to ASTM D 573, except that a temperature of 437 F (225 C) ± 5 F shall be used. Experience has shown that most commercial laboratory ovens vary widely in temperature between different sections of the oven. It is recommended that thermometers or thermocouples be placed of several points immediately adjacent to the test specimen to indicate accurately the test temperature.
^k Lower values can be obtained with sacrifice of tensile strength and elongation.
^l These values can be met with sacrifice of tensile and elongation properties.

Grade No.	Basic Requirements				Requirements Added by Suffix Letter ^h							
	Durometer Hardness No.	Min Tensile Strength, psi	Min Ultimate Elongation, %	Heat Aged ⁱ 70 Hr at 347 F (175 C)	E ₁		E ₂		E ₃			
					70 Hr at 302 F (150 C), ASTM Oil No. 1	70 Hr at 302 F (150 C), ASTM Oil No. 3	70 Hr at 302 F (150 C), ASTM Oil No. 1	70 Hr at 302 F (150 C), ASTM Oil No. 3				
TA408	40 ± 5	800	225	0 to +15	0 to +15	30	5 to +10 ^l	3 to +5	0 to +20	0 to +20	0 to +20	0 to +20
TA507	50 ± 5	1200	225	0 to +10	0 to +10	30	5 to +10 ^l	3 to +5	0 to +20	0 to +20	0 to +20	0 to +20
TA615	60 ± 5	1500	200	0 to +10	0 to +10	30	5 to +10 ^l	3 to +5	0 to +20	0 to +20	0 to +20	0 to +20
TA715	70 ± 5	1500	175	0 to +10	0 to +10	40	5 to +10 ^l	3 to +5	0 to +20	0 to +20	0 to +20	0 to +20
TA815	80 ± 5	1500	125	0 to +10	0 to +10	50	5 to +10 ^l	3 to +5	0 to +20	0 to +20	0 to +20	0 to +20

^h The values shown in this table were established from tests made on laboratory prepared test specimens. Deviations may be required on test values based on test specimens obtained from factory prepared finished products.
ⁱ See section, Methods of Testing.
^j See section, Types, Classes, and Grades of Compounds.
^k Heat aging tests shall be according to ASTM D 573, except that a temperature of 347 F (175 C) ± 5 F shall be used.
^l Bend test shall be made as follows: Test specimen shall be a dumbbell prepared according to ASTM D 412, Die C, or if desired, a specimen 4 in. long by 0.25 in. wide by 0.075 ± 0.010 in. thick. After aging, test specimens shall be cooled to room temperature and then bent 180 deg around a mandrel 0.25 in. OD. The test specimen shall show no cracking.

Tabela 6: Propriedades físicas dos compostos tipo T, classe TA.

Tabela 7: Propriedades físicas dos compostos tipo T, classe TB.

Letras-Sufixo: podem ser adicionadas (sõ ou combinadas) apõs o nũmero de classe, indicando caracterĩsticas adicionais para os diversos compostos, segundo o quadro a seguir . (tab. 8)

Suffix Letters

A ₁	Heat aging test for 70 hr at 212 F (100 C).
B.....	Compression set.
C.....	Weather resistance.
D.....	Load deflection.
E ₁	Oil resistance—ASTM Oil No. 1.
E ₃	Oil resistance—ASTM Oil No. 3.
E ₄	Oil resistance—Hydrocarbon test fluid.
F ₁	Low temperature at -40 F.
F ₂	Low temperature at -67 F.
G.....	Tear resistance.
H.....	Flex resistance.
J.....	Abrasion resistance.
K ₁	Adhesion to metal—Bond made during vulcanization.
K ₂	Adhesion—Cemented bond made after vulcanization. ^a
L.....	Water resistance.
M.....	Flammability resistance.
N.....	Impact resistance.
P.....	Nonstaining.
R.....	Resilience.
Z.....	Special requirements.

^a Suffix K₂ denotes that the finished vulcanized part will be adhered to a rigid surface some time after vulcanization and that all surface imperfections and/or the use of materials which might be an or bloom to the surface and be detrimental to obtaining good bonds must be avoided.

Tabela 8: Letras sufixo.

Assim, por exemplo, a notação R 520 LN, representa um composto com as seguintes caracterĩsticas:

- classe R
- faixa de dureza: 50₊₅
- 2000 psi de tensõ de resistẽncia ("tensile strength")
- caracterĩstica de resistẽncia ã ãgua e ao impacto

III- FORMAS CONSTRUTIVAS PARA OS ISOLADORES

III.1- ISOLADORES DE BORRACHA

A borracha, quando de sua aplicação como isolador, deve aparecer sustentada por elementos metálicos. Em geral, esses isoladores apresentam dispositivos de maneira a facilitar sua montagem (fig. 7).

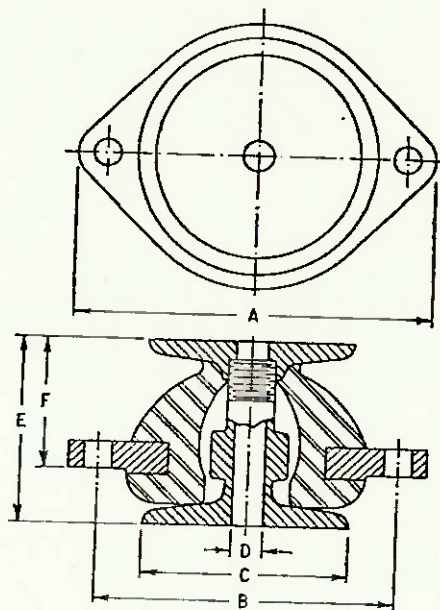


Figura 7: Isolador de borracha sustentado por elementos metálicos.

A seguir são apresentadas formas construtivas para isoladores de borracha:

* Forma construtiva (A)

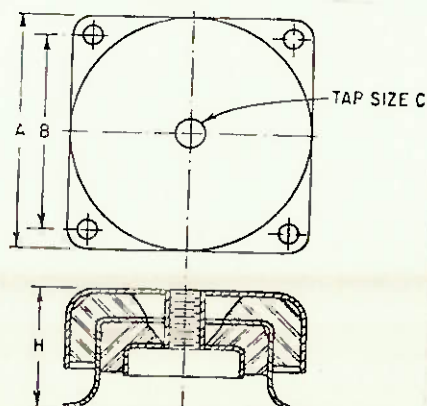


Figura 8

* Forma constructiva (B):

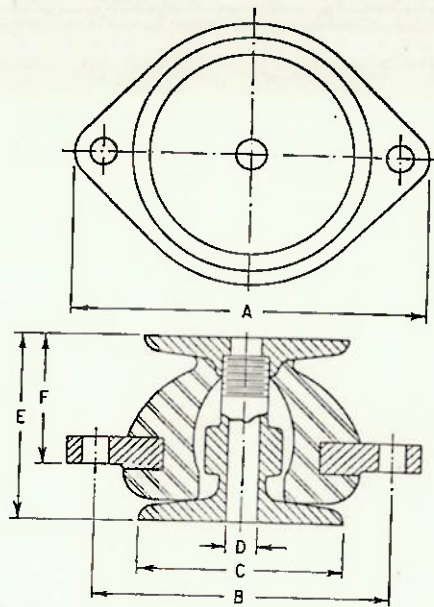


Figura 9

* Forma constructiva (C):

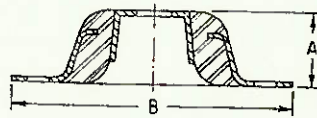


Figura 10

* Forma constructiva (D):



Figura 11

* Forma construtiva (E):

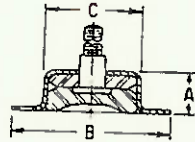


Figura 12

* Forma construtiva (F):

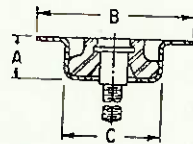


Figura 13

* Forma construtiva (G):

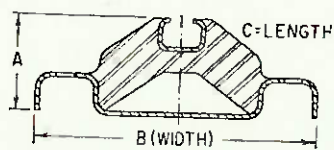


Figura 14

* Forma construtiva (H):

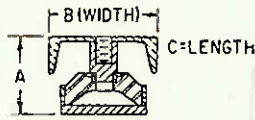


Figura 15

* Forma construtiva (I):

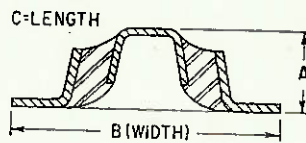


Figura 16

* Forma construtiva (J):

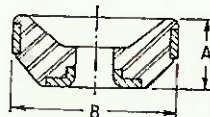


Figura 17

* Forma constructiva (K):

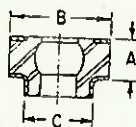


Figura 18

* Forma constructiva (L):

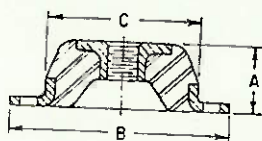


Figura 19

* Forma constructiva (M):

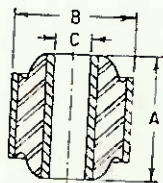


Figura 20

* Forma construtiva (N):

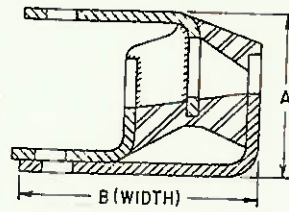


Figura 21

* Forma construtiva (O):

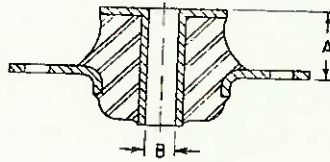


Figura 22

* Forma construtiva (P):

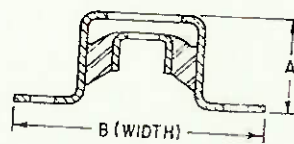


Figura 23

* Forma constructiva (Q):

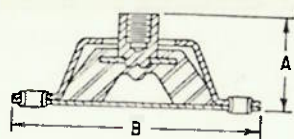


Figura 24

* Forma constructiva (R):

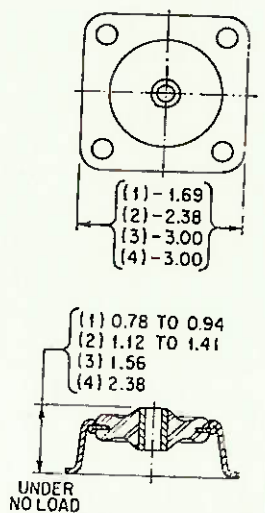


Figura 25

* Forma constructiva (S):

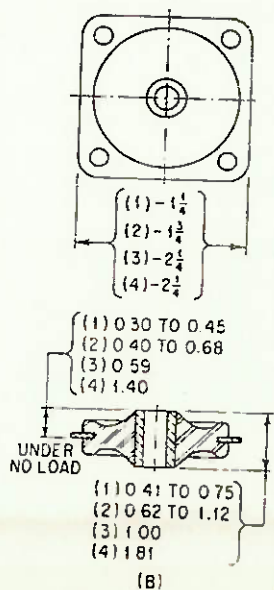


Figura 26

* Forma constructiva (T):

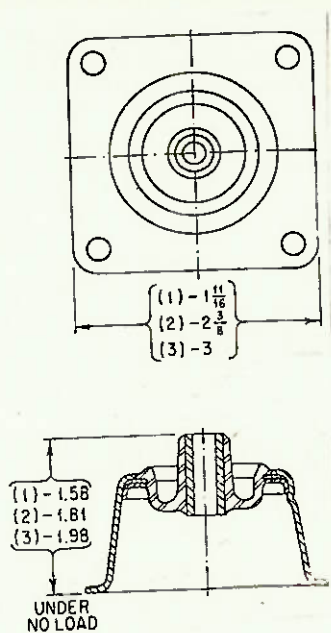


Figura 27

* Forma constructiva (U):

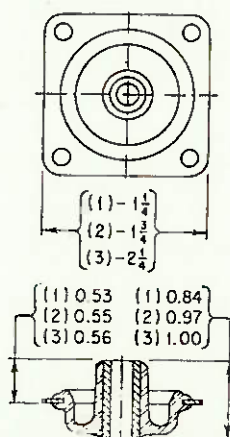


Figura 28

* Forma constructiva (V):

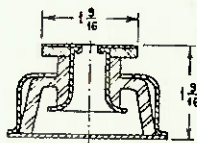
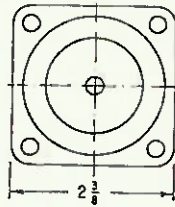


Figura 29

* Forma constructiva (X):

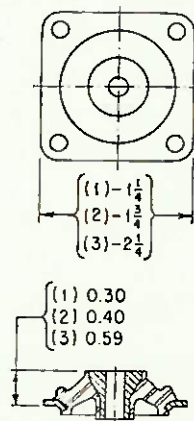


Figura 30

* Forma constructiva (Z):

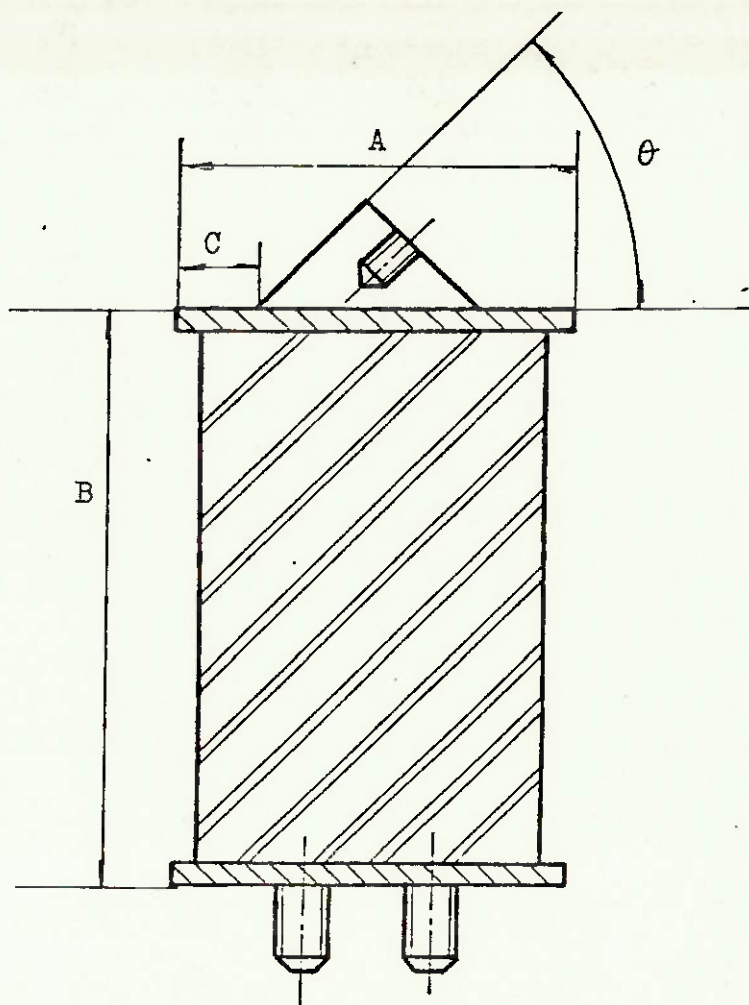


Figura 31

IV- MATRIZ DE PROJETO

Definidos os compostos de borracha (6) e as formas construtivas possíveis (26), obtêm-se 138 soluções (combinações) possíveis. (tab.9).

		FORMAS CONSTRUTIVAS																											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	X	Z				
MATERIAL	R																												
	SA																												
	SB																												
	SC																												
	TA																												
	TB																												

Tabela 9 - Combinações possíveis

V- POSICIONAMENTO DOS ISOLADORES

A figura 31 indica, esquematicamente, os pontos nodais de um mci, considerado simplificadaamente como uma viga bi-apoiada. Idealmente, os isoladores deverão ser posicionados nesses pontos nodais.

Uma vez que a viga não sofre perturbação nesses pontos, os isoladores ali posicionados isolam da estrutura do veículo tais perturbações.

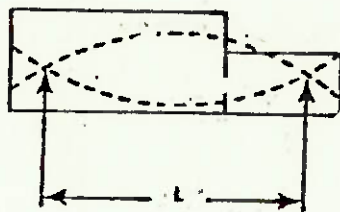


Figura 32: Pontos Nodais

ESTUDO DA VIABILIDADE

4^a FASE: EXEQUIBILIDADE FÍSICA

- I - INTRODUÇÃO
- II - O QUE DEVE SER VERIFICADO
- III - MODELAGEM MATEMÁTICA - SISTEMA COM
1 G.L.
- IV - DIMENSÕES DO SUPORTE FLÁSTICO
- V - CONCLUSÃO

I - INTRODUÇÃO

Da fase anterior ("Síntese das Possíveis Soluções"), resultou um conjunto de soluções (formas construtivas) plausíveis. O problema, nesta fase, é saber se é possível a incorporação física prática dessas soluções, como foram organizadas e concebidas.

II- O QUE DEVE SER VERIFICADO

Basicamente, a função dos suportes elásticos do M.C.I. é isolar, da estrutura, as vibrações originadas no MCI (das forças dos gases e forças de inércia) e vice-versa.

Para tanto, deverá ser verificada a magnitude das dimensões que esses suportes elásticos deverão ter para desempenhar essa tarefa.

Será utilizado, nesta fase de "Exequibilidade Física", um modelo com 1 G.L.. Como será visto na fase de "Construção de Modelos Matemáticos", o problema é na verdade, muito mais complicado, envolvendo 6 G.L. Todavia, para efeito da análise que se pretende desenvolver e um função dos recursos de que se dispõe, evidencia-se suficiente a adoção de um sistema com 1 G.L.

III - MODELO MATEMÁTICO - SISTEMA COM 1 G.L.

REFERÊNCIA= posição neutra do movimento

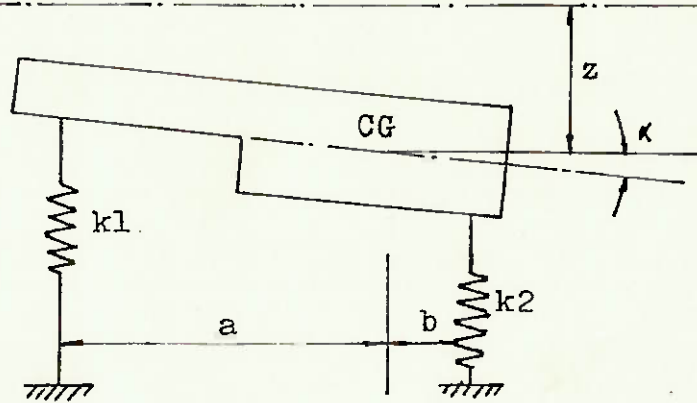


Figura 33 - Sistema com 2 G.L.

O sistema com 2 G.L. da figura 33 será substituído por um sistema torsional equivalente com um 1 G.L., de acordo com a figura 34.



Figura 34 - Sistema torsional com 1 G.L.

Tem-se que: $K_T = K_1 a^2 + K_2 b^2$, supondo-se que α é suficientemente pequeno, de modo que: $\alpha \approx \sin \alpha \approx \tan \alpha$

O momento de excitação sobre o corpo do motor é dado por:

$$M = M_0 \sin(3\omega t), \text{ onde:}$$

$$M_0 = 1,56 m B_2 R^2 \omega^2 - 0,39 \pi D^3 a_2 R, \text{ sendo}$$

- m = massa recíproca por cilindro (massas de movimento alternativo) = 3,5 kg;

$$- B_2 = \text{coeficiente harmônico, dado por } B_2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{32 \lambda^6},$$

onde $\lambda = 1/3.5$ (relação comprimento da biela/raio da manivela);

- R = raio da manivela = 0,064 m;

- ω = velocidade angular da manivela, dada por $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$;

onde n = rotação do motor;

- D = diâmetro do cilindro = 0,097 m;

- a_2 = coeficiente harmônico, dado em função da relação de compressão e da pressão média efetiva = 2.

A equação que define o sistema é dada por:

$$m^* r^2 \ddot{\alpha} = -(K_1 a^2 + K_2 b^2) \alpha + M, \text{ onde}$$

m^* = massa da estrutura do motor = 500 kg;

r = raio de giração do motor em torno do eixo y = 0,30m;

Logo, tem-se:

$$\ddot{\alpha} + \frac{K_1 a^2 + K_2 b^2}{m^* r^2} \alpha = \frac{M_0}{m^* r^2} \sin(3\omega t)$$

Fazendo-se: $\alpha = \alpha_0 \sin(3\omega t)$ e substituindo-se na equação anterior tem-se:

$$-9\omega^2 \alpha_0 \sin(3\omega t) + \frac{K_1 a^2 + K_2 b^2}{m^* r^2} \alpha_0 \sin(3\omega t) = \frac{M_0}{m^* r^2} \sin(3\omega t)$$

$$\text{Logo: } \alpha_0 \left[\frac{K_1 a^2 + K_2 b^2}{m^* r^2} - 9\omega^2 \right] = \frac{M_0}{m^* r^2}$$

$$\text{ou seja: } \alpha_0 = \frac{M_0 / m^* r^2}{\frac{K_1 a^2 + K_2 b^2}{m^* r^2} - 9\omega^2}$$

Pode ser definido o fator de transmissibilidade, como sendo:

$$F_T = \frac{\text{momento transmitido}}{\text{momento aplicado}} = \frac{\alpha_o \cdot (K_1 a^2 + K_2 b^2) \cdot \text{sen}(3\omega t)}{M_o \text{sen}(3\omega t)}$$

$$F_T = \frac{1}{1 - \frac{9 \omega^2 \cdot m \cdot r^2}{K_1 a^2 + K_2 b^2}}$$

Fazendo-se $K_1 = K_2$, tem-se que:

$$F_T = \frac{1}{1 - \frac{9 \omega^2 m \cdot r^2}{(a^2 + b^2) K}}$$

e, portanto:

$$K = \frac{9 F_T \omega^2 m \cdot r^2 / (a^2 + b^2)}{F_T - 1}$$

IV - DIMENSÕES DO SUPORTE ELÁSTICO

Numericamente, a expressão anterior fica:

$$K = 1800 \omega^2 \cdot \frac{F_T}{F_T - 1}$$

Assumindo-se F_T da ordem de 10^{-1} (bastante baixo), com $\omega = 62$ ($\cong 600$ RPM), resulta:

$$K \cong 700.000 \text{ N/m}$$

Sabe-se que para um material elástico $\sigma = E \cdot \frac{\Delta l}{l}$ (Na verdade, para a borracha, E não é constante).

Logo: $\frac{F}{A} = \frac{E}{l} \cdot \Delta l$ e portanto

$$F = \frac{E A}{l} \cdot \Delta l = K \cdot \Delta l$$

Logo: $K = \frac{E \cdot A}{l}$

Para a borracha: $E \cong 24300 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cong 240.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Logo, sendo $K = 700000 \text{ N/m}$, tem que:

$$700.000 = \frac{240.000 A}{l} \rightarrow \frac{l}{A} \cong 0,4$$

V - CONCLUSÃO

Para que o isolador desempenhe a função de isolamento conforme proposto, ou seja, que ele isole 90% da amplitude da força aplicada sobre ele, o mesmo deverá atender à seguinte relação geométrica (figura 35):

$$\frac{l}{A} = \frac{\text{comprimento}}{\text{área}} = 0,4$$

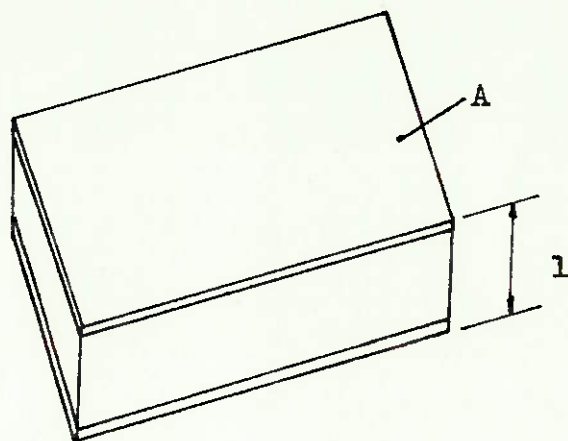


Figura 35 - Relação $l \times A$

Apesar das limitações do modelo adotado (1G.L), evidenciou-se que não existe qualquer empecilho físico para a isolação das vibrações do motor através de suportes elásticos de borracha.

ESTUDO DA VIABILIDADE

5ª FASE: VALOR ECONÔMICO

- I - INTRODUÇÃO
- II - DETERMINAÇÃO DO VALOR DOS ISOLADORES
- III - DETERMINAÇÃO DO CUSTO DOS ISOLADORES
- IV - CONCLUSÃO

I - INTRODUÇÃO

A indústria, hoje em dia e como sempre foi, está volta da para suprir produtos, sistemas ou serviços com três objetivos: satisfazer os consumidores, fornecer um meio de vida aos trabalhadores e dar um retorno sobre o capital investido. Para que a empresa tenha sucesso, os preços cobrados pelos bens precisam ser maiores que os custos de produção e distribuição. Estes custos são a soma das despesas em materiais, mão de obra, administração, uso de capital, venda e projetos.

Para o consumidor, a compensação não pode ser estabelecida numericamente, já que o valor da utilização não pode ser objetivamente medido. Pode-se estimar que o consumidor se sentiu compensado se ele estiver disposto a comprar novamente o produto.

Assim, "qualquer projeto deverá ter um valor que compense economicamente, tanto o fabricante como o consumidor".

[12]

II - DETERMINAÇÃO DO VALOR DOS ISOLADORES (1)

Neste item, pretende-se aplicar o método descrito no Anexo G. A tabela 10 dá os fatores de valor para os isoladores, bem como seus respectivos coeficientes de peso (importância relativa dos fatores de valor).

CATEGORIA DE FATORES	FATORES DE VALOR	COEFICIENTE DE PESO	ÍNDICE MÁXIMO
ESTÉTICO	.Forma, Aparência	1	10
	.Tamanho em geral	3	10
ERGONÔMICO	-	-	-
TÉCNICO	.Capacidade de atenuar/reduzir forças e movimentos (motor/estrutura)	4	10
	.Necessidade de espaço para atenuação/redução	3	10
	.Durabilidade	2	10
	.Necessidade de manutenção	2	10
	.Facilidade de manutenção/substituição do motor	2	10
	.Resistência aos fatores ambientais	3	10

TABELA 10 - Importância dos fatores de valor

Definidos os fatores de valor, devem ser estabelecidos os índices de valor para cada uma das soluções estabelecidas durante a terceira fase deste Estudo de Viabilidade (Síntese de Soluções). Juntamente com todas as soluções sintetizadas, submeteu-se à análise um modelo existente na praça, ao preço de custo de aproximadamente 3,5 ORTN's (Tabela 11).

(1) Antes da leitura deste item, recomenda-se a consulta ao Anexo G.

CATEGORIA DE FATORES	FATOR DE VALOR	COEFICIENTE PESO	ÍNDICE MÁXIMO	FORMAS CONSTRUTIVAS (ÍNDICE x COEF.PESO)																										MODELO EXISTENTE
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	X	Z			
ESTÉTICO	Forma, Aparência	1	10	7	8	6	6	6	7	8	7	6	6	5	6	6	6	6	7	7	8	8	8	8	8	8	6			
	Tamanho em geral (1)	3	10	21	21	18	27	21	24	18	18	18	15	15	15	21	21	21	24	15	15	15	15	18	18	27	21			
ERGÔNOMICO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Capacidade de atenuar/reduzir forças e movimentos (motor/estrutura) (1)	4	10	28	28	28	32	28	36	24	28	28	28	32	28	28	28	32	24	24	24	24	24	24	24	36	28			
TÉCNICO	Necessidade de espaço para atenuação/redução (1)	3	10	24	21	18	24	18	24	21	21	21	21	21	18	24	24	21	21	15	15	15	15	15	24	24				
	Durabilidade (1)	2	10	12	12	12	14	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	14				
	Necessidade de manutenção(1)	2	10	14	14	14	12	12	14	12	12	12	12	12	14	10	12	12	2	8	8	8	8	8	14	12				
	Facilidade de manutenção/substituição do motor	2	10	14	14	14	12	12	14	12	12	12	12	12	14	10	12	12	2	8	8	8	8	8	14	12				
Resistência aos fatores ambientais	3	10	106	104	99	117	97	119	95	98	97	92	94	94	105	101	100	107	81	81	82	82	97	85	121	105				
TOTAL				106	104	99	117	97	119	95	98	97	92	94	94	105	101	100	107	81	81	82	82	97	85	121	105			

(1) Parâmetros avaliados apenas qualitativamente

O quociente entre o preço de custo desse modelo e o índice total alcançado pelo mesmo resulta na relação P, ou seja:

$$P = \frac{3,5}{\text{Índice total}} \quad (\text{ORTN}) = 0,0333\dots$$

Para todas as soluções sintetizadas, o produto da relação P pelos respectivos índices totais resulta nos preços que cada forma construtiva poderia ter em função da valoração a ela atribuída (Tabela 12).

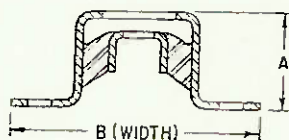
FORMA CONSTRU- TIVA	PREÇO EM ORTN
A	3,53
B	3,47
C	3,30
D	3,90
E	3,23
F	3,23
G	3,97
H	3,17
I	3,27
J	3,23
K	3,07
L	3,13
M	3,13
N	3,50
O	3,37
P	3,33
Q	3,57
R	2,70
S	2,70
T	2,73
U	2,83
V	3,23
X	2,83
Z	4,03

TABELA 12 - Preço para cada forma construtiva

III - DETERMINAÇÃO DO CUSTO DOS ISOLADORES (1)

Neste item, pretende-se aplicar o método de Delphi, descrito no anexo H. Para a aplicação do método, classificaram-se os isoladores em três grupos distintos, segundo o disposto abaixo:

1. Isoladores do Grupo I: apresentam suportes metálicos do tipo "fêmea". Fazem parte do grupo I as formas(2): A, B, C, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, X.



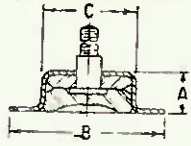
2. Isoladores do Grupo II: apresentam suportes metálicos do tipo "macho". Faz parte do grupo II a forma: D



(1) Antes da leitura deste item, recomenda-se a consulta ao Anexo H.

(2) Formas construtivas apresentadas na fase de síntese das soluções.

3. Isoladores do Grupo III: apresentam um suporte do tipo "fêmea" e um do tipo "macho". Fazem parte do Grupo III as formas: E, F, Z.



A árvore de composição é basicamente a mesma para os três grupos (figura 36).

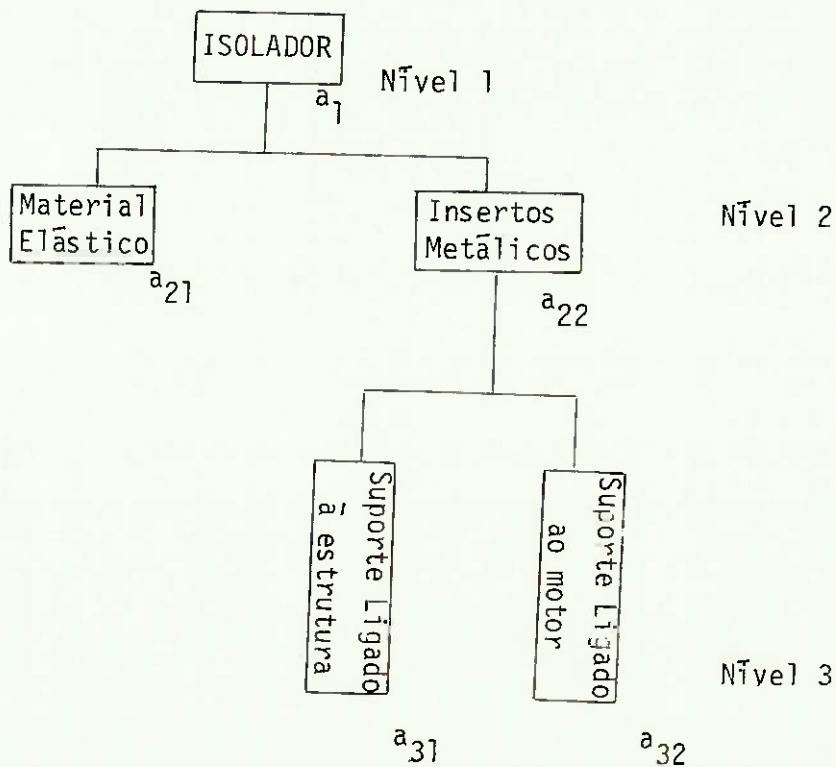
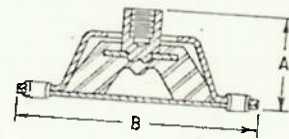


Figura 36 - Árvore de composição

Todavia, o custo relativo das unidades (1) (2) varia de grupo para grupo. Assim, tem-se:

1. Para os isoladores do Grupo I:

SUBSISTEMA E NÍVEL			NOME DO SUBSISTEMA	CUSTO PORC. & NÍVEL			CUSTO P/ UNIDADE
1	2	3		1	2	3	
a ₁			Isolador	100			2,0 ORTN
	a ₂₁		Material elástico		60		1,2 ORTN
	a ₂₂		Insertos Metálicos		40		0,8 ORTN
		a ₃₁	Suporte-Estrutura			60	0,48 ORTN
		a ₃₂	Suporte Motor			40	0,32 ORTN

TABELA 13 - Custo Total Estimado
ou
Cotado 2,0 ORTN

2. Para os isoladores do Grupo II:

SUBSISTEMA E NÍVEL			NOME DO SUBSISTEMA	CUSTO PORC. & NÍVEL			CUSTO P/ UNIDADE
1	2	3		1	2	3	
a ₁			Isolador	100			2,9 ORTN
	a ₂₁		Material Elástico		30		0,9 ORTN
	a ₂₂		Insertos Metálicos		70		2,0 ORTN
		a ₃₁	Suporte-Estrutura			60	1,2 ORTN
		a ₃₂	Suporte Motor			40	0,8 ORTN

TABELA 14 - Custo Total Estimado
ou
Cotado 2,9 ORTN

- (1) Os custos considerados já incluem: gastos com mão de obra, energia, aluguel, etc.
(2) Os custos estão baseados, também, no processo de fabricação (ver Anexo I)

3. Para os isoladores do Grupo III :

SUBSISTEMA E NÍVEL			NOME DO SUBSISTEMA	CUSTO PORC. & NÍVEL			CUSTO P/ UNIDADE
1	2	3		1	2	3	
a ₁			Isolador	100			3,8 ORTN
	a ₂₁		Material Elástico		45		1,7 ORTN
	a ₂₂		Insertos Metálicos		55		2,1 ORTN
		a ₃₁	Suporte-Estrutura			60	1,3 ORTN
		a ₃₂	Suporte Motor			40	0,8 ORTN

TABELA 15 -

Custo Total Estimado

ou

Cotado 3,8 ORTN

IV - CONCLUSÃO

Em função do anteriormente visto, evidenciaram-se como soluções economicamente viáveis:

- . as que apresentaram valor econômico superior ao do modelo existente;
- . as que apresentaram, pelas tabelas anteriores, valor superior ao custo.

Assim, as soluções viáveis economicamente são as de forma construtiva: A, G, N, Q, D e Z (1)

(1) Ver figuras: 8, 14, 21, 24, 11 e 31

ESTUDO DA VIABILIDADE

6ª FASE: VIABILIDADE FINANCEIRA

I - QUANTIDADE MÍNIMA A SER PRODUZIDA

II - INVESTIMENTO NECESSÁRIO

I - QUANTIDADE MÍNIMA A SER PRODUZIDA:

Na fase anterior foram determinadas algumas soluções (formas construtivas) consideradas viáveis economicamente, por proporcionarem suficiente retorno de valor para compensar os recursos gastos na sua elaboração.

A figura 37 ilustra um método para a determinação do número de unidades do produto a ser vendido, para obter um rendimento de modo a compensar os custos de produção, distribuição e promoção.

Neste caso, o custo de produção e o rendimento foram assumidos lineares, o que não é perfeitamente correto na prática.

Para a elaboração deste estudo, é necessário que sejam determinados os custos de produção. Neste ponto do projeto, contudo, a única estimativa de custo variável (1) existente é a estabelecida pelo Método de Delphi na fase anterior do projeto.

Os custos fixos (de manutenção, de administração e facilidades em equipamentos não diretamente envolvidos na produção) podem ser admitidos aproximadamente os mesmos que os existentes na fábrica antes de se começar a produzir esse novo elemento proposto.

Com estes valores, através da figura 37, pode-se estimar o número mínimo de produção ou ponto de equilíbrio mínimo que é de 83 unidades/mês (2).

(1) Custo variável inclui: material, mão de obra, equipamento de produção ou depreciação, promoção ou outros custos diretamente envolvidos.

(2) Essa quantidade pode ser absorvida pelo mercado, uma vez que a produção de ônibus urbanos, em 1981, foi de aproximadamente 1.000 veículos/mês.

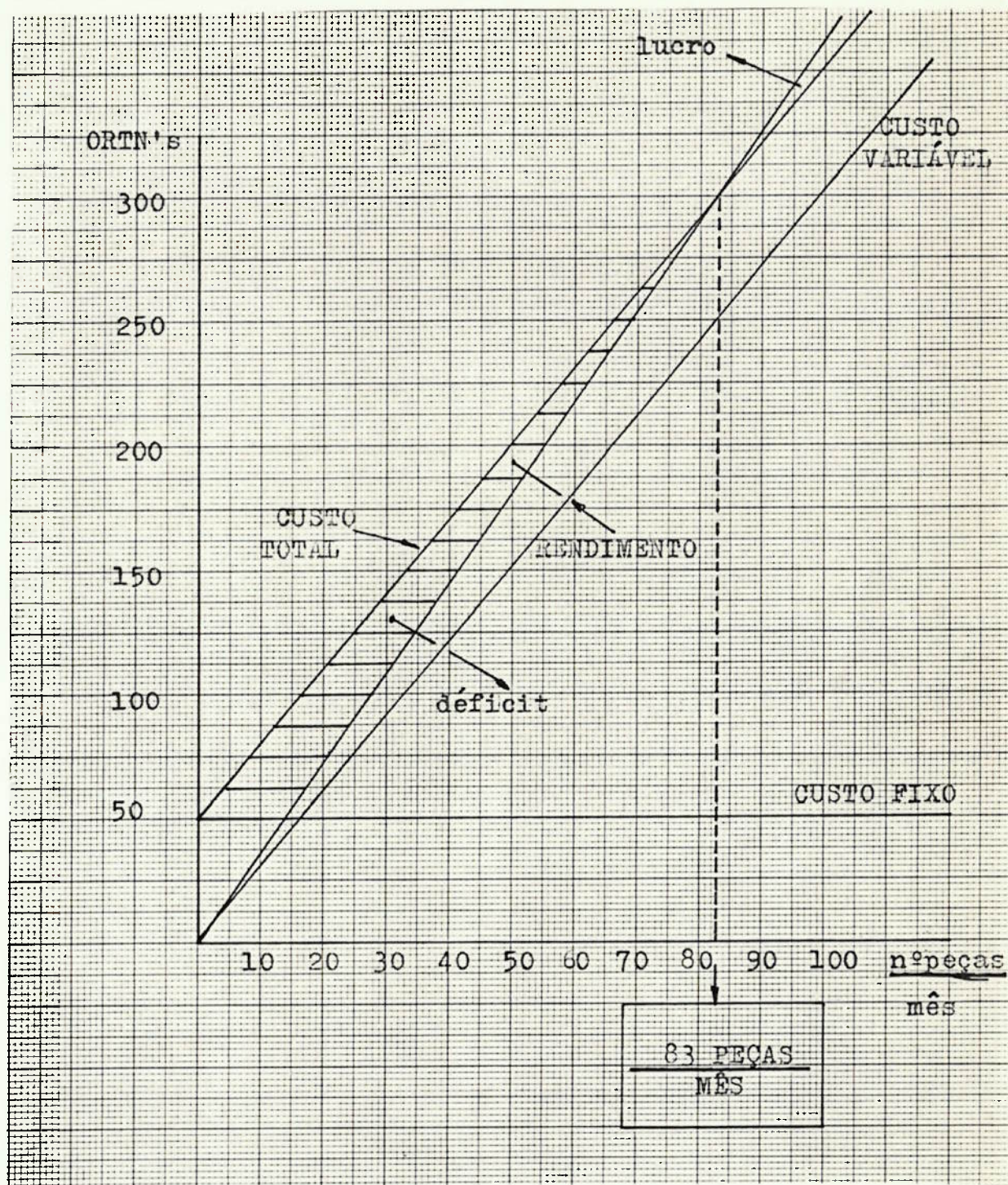


Figura 37 - Custo total x rendimento

II - INVESTIMENTO NECESSÁRIO

Para uma solução alternativa, que seja economicamente viável, pode não haver fundos para sua implementação. Portanto, deve-se, nesta etapa, levantar as fontes de recurso de como os fundos podem ser levantados pela organização, e se suficientes fundos poderão estar disponíveis, dado que as soluções alternativas sejam, de fato, viáveis economicamente.

A partir da quantidade mínima exigida para que o projeto se evidencie viável (estabelecida no item anterior) e do custo estimado pelo Método de Delphi na fase anterior, considera-se necessário, em primeira aproximação, para uma indústria típica de fabricação desses elementos, um investimento, para a produção desse novo modelo, de 250 ORTN's.

Tal investimento é considerado viável para uma indústria com capital de 1600 ORTN's. (o capital investido nesse projeto é inferior a 16% do capital da indústria).

ESTUDO DA VIABILIDADE

7ª FASE: CONCLUSÃO

As três últimas fases do Estudo da Viabilidade podem ser comparadas com peneiras. Através da primeira, passaram somente as soluções fisicamente viáveis; através da segunda, somente aquelas economicamente compensadoras para o produtor; através da terceira, somente as financeiramente exequíveis. O conjunto de soluções úteis compreende as que passam sucessivamente através de cada uma das três peneiras.

Enfim, neste Estudo da Viabilidade, estabeleceu-se o problema ("Estudo da Necessidade" e "Especificações Técnicas"), estabeleceram-se soluções prováveis de serem utilizadas ("Síntese das Possíveis Soluções") e, finalmente, estabeleceu-se um conjunto de soluções úteis ("Exequibilidade Física", "Valor Econômico" e "Viabilidade Financeira").

PROJETO BÁSICO

1ª FASE: ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO

- I - INTRODUÇÃO
- II - VALORAÇÃO DAS SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE FORMAS CONSTRUTIVAS
- III - SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE POSICIONAMENTO
- IV - TIPO DE BORRACHA

I - INTRODUÇÃO

Na 3ª fase do "Estudo da Viabilidade" foi determinada uma série de soluções alternativas para os elementos/suportes elásticos do M.C.I. No passo seguinte, através do estudo da viabilidade física, econômica e financeira, estas soluções foram analisadas para verificar se atendiam às exigências e especificações principais do projeto. Assim, tem-se nesta etapa seis formas construtivas (A, G, N, Q, D e Z) (1)

O passo seguinte é a seleção da melhor solução, ou a solução ótima, e para isto deverão ser estabelecidos critérios de seleção ou, em outras palavras, definida uma função critério. A seleção será feita através de uma comparação relativa entre as soluções alternativas.

[1] Ver figuras 8, 14, 21, 24, 11 e 31.

II - VALORAÇÃO DAS SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE FORMAS CONSTRUTIVAS

II.1- MONTAGEM DO SISTEMA DE CRITÉRIO

O primeiro passo específico da valoração das soluções alternativas é a identificação das propriedades e o estabelecimento dos critérios através dos quais as soluções serão avaliadas. Estes critérios são estabelecidos a partir dos requisitos de projeto.

Para os elementos/suportes elásticos será utilizado o sistema de critérios representado na figura 38.

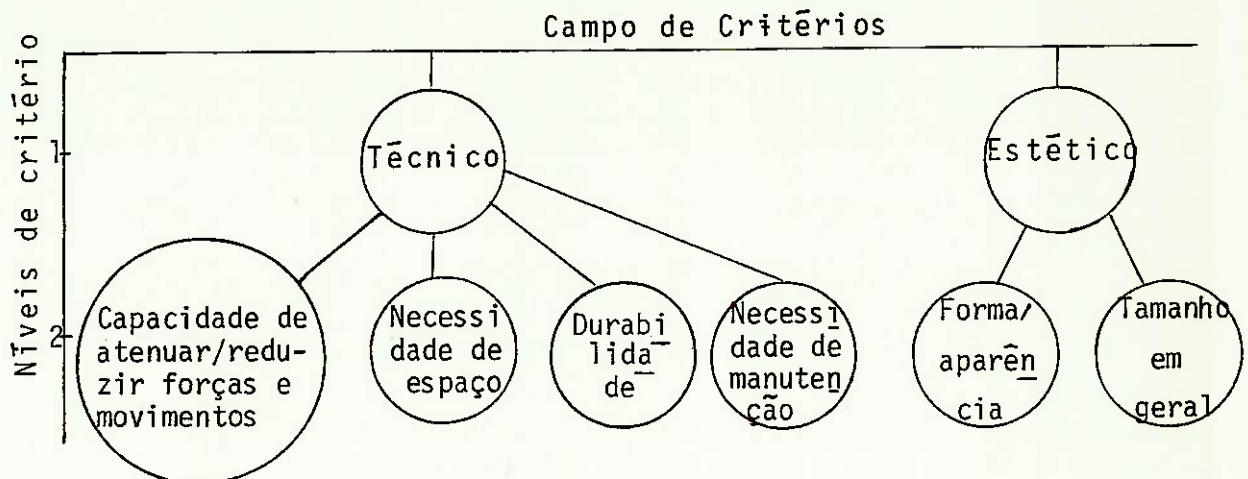


Figura 38- Sistema de critérios para os suportes elásticos

II.2- DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE PESO DOS CRITÉRIOS

Na composição dos critérios de valoração é necessário conhecer seus pesos. Um coeficiente de peso é um número real positivo e fornece o peso de um critério em relação aos outros.

Os coeficientes de peso adotados para os critérios de avaliação dos elementos/suportes elásticos estão representados na figura 39.

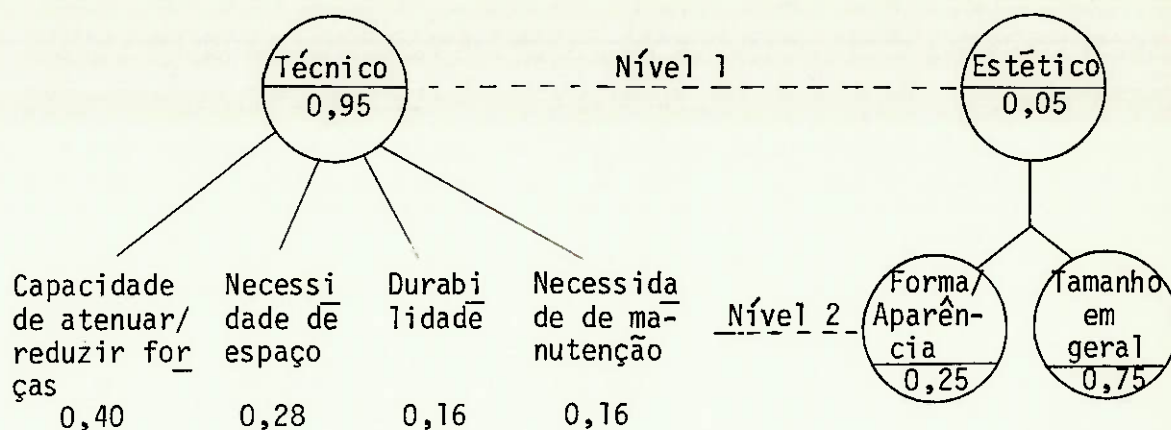


Figura 39 - Coeficientes de peso dos critérios

II.3- VALORAÇÃO DAS SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

Os critérios estabelecidos no item II.2 serão avaliados qualitativamente, como mostra a tabela 16, e às avaliações qualitativas serão designadas pontos ou notas, estabelecendo-se a tabela 17.

SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

CRITÉRIO	COEF. PESO	A	PESOS X NOTA	G	PESOS X NOTA	N	PESOS X NOTA	Q	PESOS X NOTA	D	PESOS X NOTA	Z	PESOS X NOTA
		TÉCNICO											
Capacidade de atenuar/reduzir forças	0,40	1	0,38	2	0,76	2	0,76	2	0,76	3	0,96	3	1,14
Necessidade de Espaço	0,28	3	0,798	2	0,532	2	0,532	2	0,532	1	0,532	2	0,266
Durabilidade	0,16	2	0,304	2	0,304	2	0,304	2	0,304	2	0,304	2	0,304
Necessidade de Manutenção	0,16	1	0,152	2	0,304	2	0,304	2	0,304	2	0,304	2	0,304
Força/Aparência	0,25	1	0,0125	1	0,0125	1	0,0125	1	0,0125	1	0,0125	1	0,0125
Tamanho em Geral	0,75	3	0,1125	1	0,0375	2	0,075	1	0,0375	2	0,0375	2	0,075
ESTÉTICO													
0,05													
VALOR TOTAL		1,759		1,950		1,9875		1,950		2,1015		2,3675	

Tabela 17 - Comparação das soluções alternativas

Em função da tabela 17, escolhe-se a solução alternativa Z como a forma construtiva do elemento elástico (figura 40).

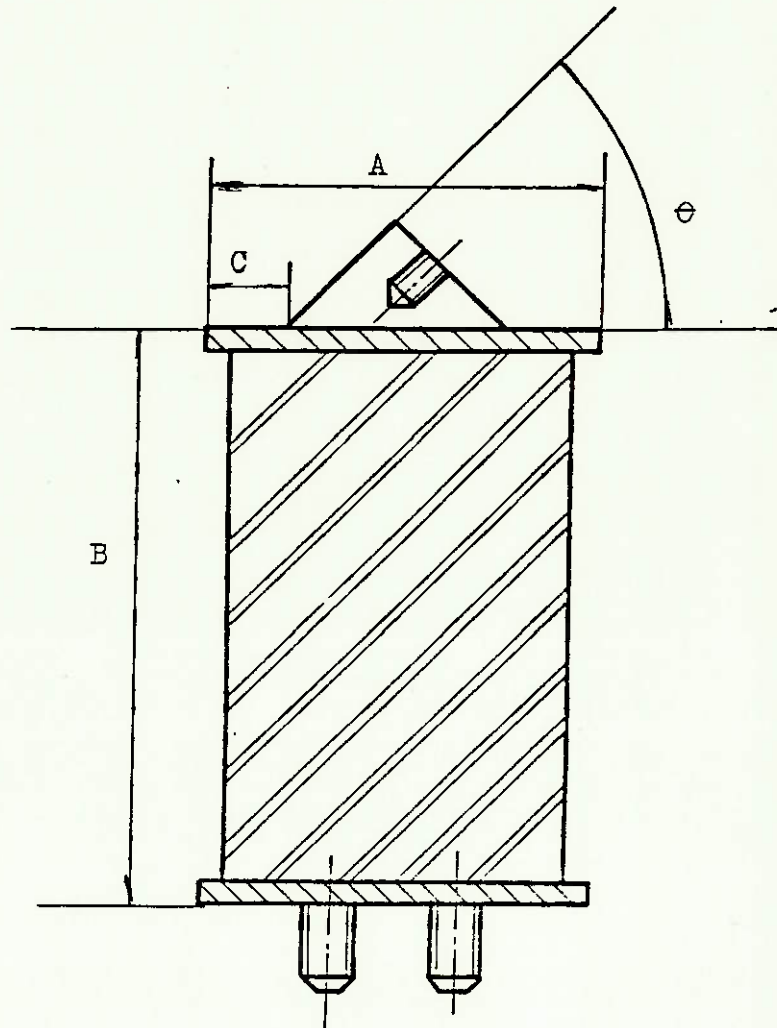


Figura 40 - Forma construtiva Z

III - SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE POSICIONAMENTO

A disposição dos isoladores deve prever a possibilidade de manutenção e/ou substituição do M.C.I., facilitando tais operações. Os isoladores deverão, ainda, ser dispostos de acordo com as soluções existentes de moto propulsor.

Poderão ser utilizados:

- a) Sistema de três isoladores. (figura 41): típico para aplicação em automóveis, nas quais tem-se o conforto como maior objetivo;

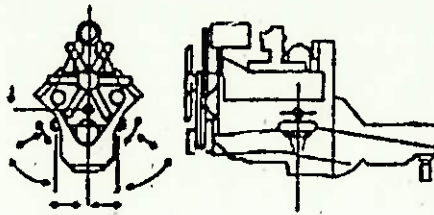


Figura 41 - Sistema com 3 isoladores

- b) Sistema de quatro isoladores (figura 42): típico para aplicações mais pesadas; facilita a manutenção/substituição do M.C.I.;

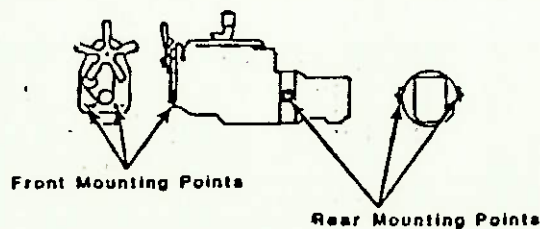


Figura 42 - Sistema com 4 isoladores

Evidencia-se como mais interessante a utilização de um sistema de quatro isoladores.

IV - TIPO DE BORRACHA

Os isoladores deverão ser de materiais resistentes a uma ampla gama de fatores "ambientais", devendo o mesmo conservar suas características quando:

- em contato com lubrificantes, combustíveis, fluidos hidráulicos e, eventualmente, produtos químicos;
- em contato com pó, terra e areia;
- submetido à luz do sol, umidade, frio ($T=5^{\circ}\text{C}$) ou calor excessivos ($T=40^{\circ}\text{C}$)

Em função dessas exigências, evidencia-se necessária a utilização de um composto de borracha do tipo S, classe SA (1)

(1) Ver "Síntese das Possíveis Soluções"

PROJETO BÁSICO

2ª FASE: CONSTRUÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS

- I - INTRODUÇÃO
- II - MODELO SIMPLIFICADO - SISTEMA COM 2 GRAUS DE LIBERDADE
- III - MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA - CARACTERÍSTICAS
- IV - RESPOSTA DO SISTEMA (2 G.L.) ÀS EXCITAÇÕES DO MOTOR
- V - RESPOSTA DO SISTEMA A IMPULSOS LONGITUDINAIS (FREADAS E ACELERAÇÃO)
- VI - RESPOSTA DO SISTEMA A IMPULSOS VERTICAIS (IRREGULARIDADES NO TERRENO)
- VII - CONCLUSÃO

I - INTRODUÇÃO [1]

As equações diferenciais para o movimento de um corpo rí- gido são dadas abaixo, onde F's e M's são as forças e os momentos atuando sobre o corpo, tanto diretamente como através dos suportes elásticos. A figura 43 mostra esse corpo rí- gido, com um sistema de eixos (\bar{x} , \bar{y} , \bar{z}) e um outro sistema de eixos (x, y, z), coincidente com o primeiro e fixo ao corpo rí- gido, ambos os sistemas passando pe- lo centro de massa do corpo.

$$\begin{aligned}
 m\ddot{x}_c + \Sigma k_{xz}(x_c - u) + \Sigma k_{xy}(y_c - v) + \Sigma k_{xz}(z_c - w) \\
 + \Sigma(k_{xz}a_y - k_{xy}a_z)(\alpha - a) + \Sigma(k_{xz}a_x - k_{xy}a_z)(\beta - \beta) \\
 + \Sigma(k_{xy}a_x - k_{xz}a_y)(\gamma - \gamma) = F_x \\
 I_{zz}\ddot{\alpha} - I_{xy}\ddot{\beta} - I_{xz}\ddot{\gamma} + \Sigma(k_{xz}a_y - k_{xy}a_z)(\dot{x}_c - u) \\
 + \Sigma(k_{yz}a_y - k_{yy}a_z)(y_c - v) + \Sigma(k_{xz}a_y - k_{yz}a_z)(z_c - w) \\
 + \Sigma(k_{yy}a_z^2 + k_{zz}a_y^2 - 2k_{yz}a_ya_z)(\alpha - a) \\
 + \Sigma(k_{xz}a_ya_z + k_{yz}a_xa_z - k_{zz}a_xa_y - k_{xy}a_z^2)(\beta - \beta) \\
 + \Sigma(k_{xy}a_ya_z + k_{yz}a_xa_y - k_{yy}a_xa_z - k_{zz}a_y^2)(\gamma - \gamma) = M_x
 \end{aligned}$$

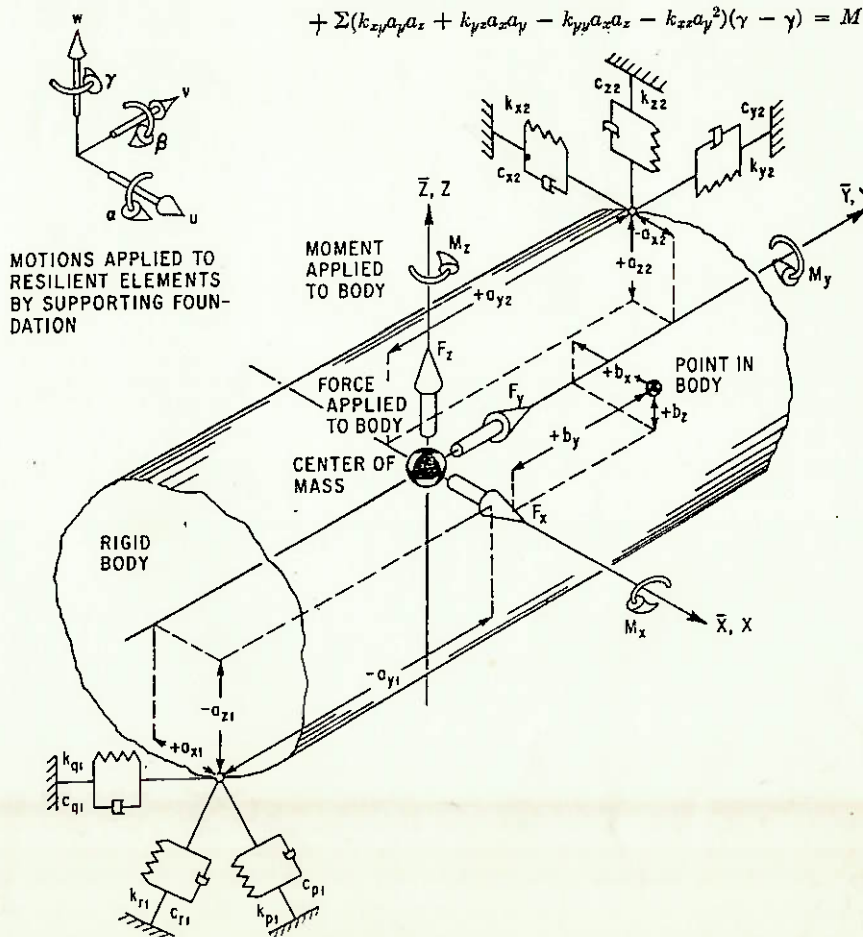


Figura 43

$$\begin{aligned}
& m\ddot{y}_c + \Sigma k_{xy}(x_c - u) + \Sigma k_{yy}(y_c - v) + \Sigma k_{yz}(z_c - w) \\
& \quad + \Sigma(k_{yz}a_y - k_{yy}a_z)(\alpha - a) + \Sigma(k_{xy}a_z - k_{yz}a_x)(\beta - \beta) \\
& \quad + \Sigma(k_{yy}a_x - k_{xy}a_y)(\gamma - \gamma) = F_y \\
I_{yy}\ddot{\beta} - I_{xy}\ddot{\alpha} - I_{yz}\ddot{\gamma} + \Sigma(k_{xz}a_x - k_{xz}a_x)(x_c - u) \\
& \quad + \Sigma(k_{xy}a_x - k_{yz}a_x)(y_c - v) + \Sigma(k_{xz}a_z - k_{xz}a_x)(z_c - w) \\
& \quad + \Sigma(k_{xz}a_ya_x + k_{yz}a_xa_x - k_{xz}a_xa_y - k_{xy}a_x^2)(\alpha - a) \\
& \quad + \Sigma(k_{xz}a_x^2 + k_{xz}a_x^2 - 2k_{xz}a_xa_x)(\beta - \beta) \\
& \quad + \Sigma(k_{xy}a_xa_x + k_{xz}a_xa_y - k_{xz}a_ya_x - k_{yz}a_x^2)(\gamma - \gamma) = M_y \\
m\ddot{z}_c + \Sigma k_{xz}(x_c - u) + \Sigma k_{yz}(y_c - v) + \Sigma k_{zz}(z_c - w) \\
& \quad + \Sigma(k_{xz}a_y - k_{yz}a_x)(\alpha - a) + \Sigma(k_{xz}a_x - k_{xz}a_x)(\beta - \beta) \\
& \quad + \Sigma(k_{yz}a_x - k_{xz}a_y)(\gamma - \gamma) = F_z \\
I_{zz}\ddot{\gamma} - I_{xz}\ddot{\alpha} - I_{yz}\ddot{\beta} + \Sigma(k_{xy}a_x - k_{xz}a_y)(x_c - u) \\
& \quad + \Sigma(k_{yz}a_x - k_{xy}a_y)(y_c - v) + \Sigma(k_{yz}a_x - k_{xz}a_y)(z_c - w) \\
& \quad + \Sigma(k_{xy}a_ya_x + k_{yz}a_xa_y - k_{yz}a_xa_x - k_{xz}a_y^2)(\alpha - a) \\
& \quad + \Sigma(k_{xy}a_xa_x + k_{xz}a_xa_y - k_{xz}a_ya_x - k_{yz}a_x^2)(\beta - \beta) \\
& \quad + \Sigma(k_{xz}a_y^2 + k_{yz}a_x^2 - 2k_{xy}a_xa_y)(\gamma - \gamma) = M_z
\end{aligned}$$

Nessas equações, x_c , y_c , z_c indicam o deslocamento do centro de gravidade do corpo na direção \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} ; α , β , γ indicam a rotação do corpo rígido em torno daqueles eixos; a_x , a_y , a_z representam o ponto de fixação de cada elemento elástico; I 's representam os momentos e produtos de inércia em relação aos eixos x , y , z e os coeficientes de rigidez dos elementos elásticos são definidos por:

$$\begin{aligned}
k_{xx} &= k_p \lambda_{xp}^2 + k_q \lambda_{xq}^2 + k_r \lambda_{xr}^2 \\
k_{yy} &= k_p \lambda_{yp}^2 + k_q \lambda_{yq}^2 + k_r \lambda_{yr}^2 \\
k_{zz} &= k_p \lambda_{zp}^2 + k_q \lambda_{zq}^2 + k_r \lambda_{zr}^2 \\
k_{xy} &= k_p \lambda_{xp} \lambda_{yp} + k_q \lambda_{xq} \lambda_{yq} + k_r \lambda_{xr} \lambda_{yr} \\
k_{xz} &= k_p \lambda_{xp} \lambda_{zp} + k_q \lambda_{xq} \lambda_{zq} + k_r \lambda_{xr} \lambda_{zr} \\
k_{yz} &= k_p \lambda_{yp} \lambda_{zp} + k_q \lambda_{yq} \lambda_{zq} + k_r \lambda_{yr} \lambda_{zr}
\end{aligned}$$

onde os λ 's são os cossenos dos ângulos entre os eixos principais elásticos dos elementos elásticos e os eixos de coordenadas. Por exemplo, λ_{xp} é o cosseno do ângulo entre o eixo x e o eixo principal elástico P.

As equações diferenciais, vistas anteriormente, não incluem as forças aplicadas ao corpo rígido devido à característica de amortecimento dos elementos elásticos. Para incluir o amortecimento, deverão ser acrescentados termos análogos aos termos de rigidez para cada equação. Por exemplo:

$$\begin{aligned}
m\ddot{x}_c + \Sigma c_{zx}(\dot{x}_c - \dot{u}) + \Sigma k_{zx}(x_c - u) + \dots \\
+ \Sigma(c_{xz}a_y - c_{xy}a_z)(\dot{\alpha} - \dot{a}) + \Sigma(k_{xz}a_y - k_{xy}a_z)(\alpha - a) + \dots = F_x
\end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned}
c_{zx} &= c_p \lambda_{zp}^2 + c_q \lambda_{zq}^2 + c_r \lambda_{zr}^2 \\
c_{xy} &= c_p \lambda_{xp} \lambda_{yp} + c_q \lambda_{xq} \lambda_{yq} + c_r \lambda_{xr} \lambda_{yr}
\end{aligned}$$

O número de graus de liberdade de um sistema é o número mínimo de coordenadas necessário para definir completamente as posições do elemento massa no espaço.

O MCI, suportado por elementos elásticos, requer um mínimo de seis coordenadas ($x_c, y_c, z_c, \alpha, \beta, \gamma$) para definir a sua posição no espaço; apesar de se poder fa-

zer algumas simplificações sobre as equações diferenciais, o número de termos nessas equações é muito grande, dificultando a sua resolução. Assim, a nível de projeto básico, será construído um modelo matemático fundamentado num sistema com apenas dois graus de liberdade.

A nível de projeto executivo, porém, evidencia-se necessária uma modelagem mais rigorosa, com seis graus de liberdade, como visto nesta introdução.

II - MODELO SIMPLIFICADO - SISTEMA COM 2 GRAUS DE LIBERDADE

Neste projeto básico, as equações que modelam matematicamente o sistema motor/suportes elásticos serão desenvolvidas sobre um sistema com 2 graus de liberdade como o da figura 44

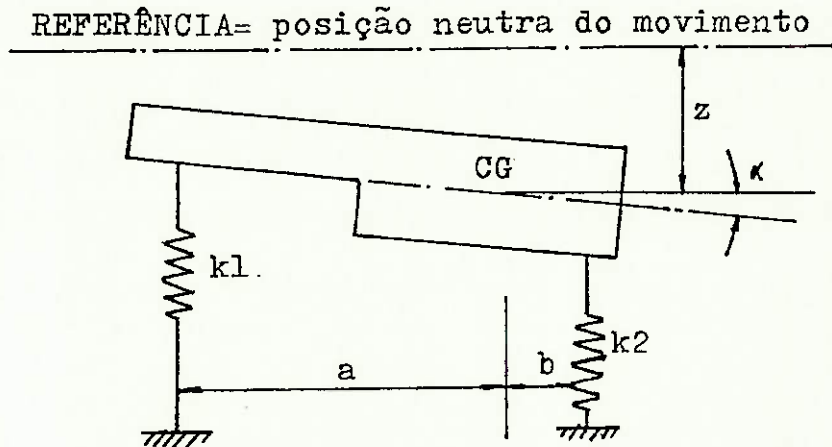


Figura 44 - Sistema com 2 G.L.

III - MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA - CARACTERÍSTICAS

O MCI deverá ser de ciclo DIESEL, 4 tempos, com aspiração natural ou com sobre-alimentação por turbo compressor.

Recomenda-se que, para atender às características de desempenho do veículo, o motor tenha conjugado e potência líquida por unidade de peso bruto total superiores a 40 Nm/ton e 9kw/ton, respectivamente (aferidos conforme a norma ABNT - MB - 372) [14]

Será adotado um motor com as seguintes características:

- . Ciclo diesel
- . Injeção direta
- .. 6 cilindros em linha
- . Diâmetro do cilindro: 97 mm
- . Curso do êmbolo: 128 mm
- .. Cilindrada total: 5675 cm³
- . Razão de compressão: 17:1
- . Potência DIN: 130 cv/96 kw/2800 rpm
- . Potência SAE: 147 cv/108 kw/2800 rpm
- . Torque DIN: 37 m kgf/363 mN/2000 rpm
- . Torque SAE: 41 m kgf/402 mN/2000 rpm
- . Sequência de ignição: 1-5-3-6-2-4
- . Alternador: 14 V/55 A
- . Motor de partida: 4 xv/3 kw/12 V
- . Bateria: 2 x 135 Ah/12 V
- . Curvas características: (figura 45)

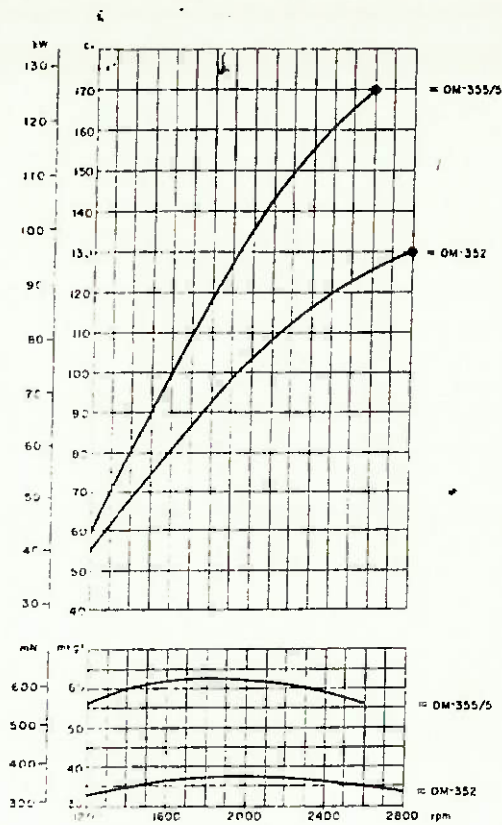


Figura 45 - Curvas características do motor

IV - RESPOSTA DO SISTEMA (2_GL) ÀS EXCITAÇÕES DO MOTOR

IV.1- LOCALIZAÇÃO DOS SUPORTES ELÁSTICOS

De acordo com o visto na "Síntese das Possíveis Soluções", os suportes elásticos deverão estar localizados sobre os pontos nodais.

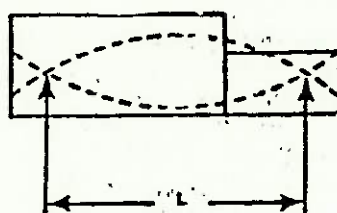


Figura 46 - Pontos nodais

IV.2- PROPRIEDADES DE INÉRCIA DE UM M.C.I.

As propriedades de um corpo rígido que são importantes em dinâmica e vibrações são: a massa, a posição do centro de massa (ou centro de gravidade), os momentos de inércia, os produtos de inércia e as direções dos eixos principais de inércia. No Anexo J são discutidas tais propriedades, sendo indicados métodos analíticos e experimentais para sua determinação. Tais métodos podem, portanto, ser aplicados na determinação dessas propriedades para os M.C.I.

A figura 47 indica esquematicamente os eixos principais de inércia de um M.C.I.

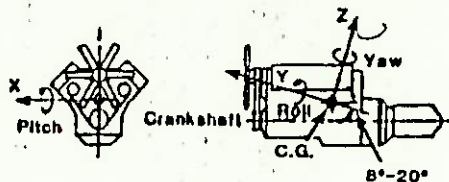


Figura 47 - M.C.I.- Eixos principais de inércia

Se existirem transmissões ou bombas hidráulicas acopladas ao motor, pode ser feita uma aproximação na determinação dos eixos, ligando-se, por uma reta, o centro de massa do motor ao da transmissão. Tal reta normalmente resulta com inclinação de 8 a 25^o, em relação à horizontal.

Para o desenvolvimento desta modelagem matemática, serão adotadas como propriedades (aproximadas) de inércia do MCI (figura 48)

- massa: 500 kg
- centro de massa: (localização aproximada)

- eixos principais de inércia: (localização aproximada)

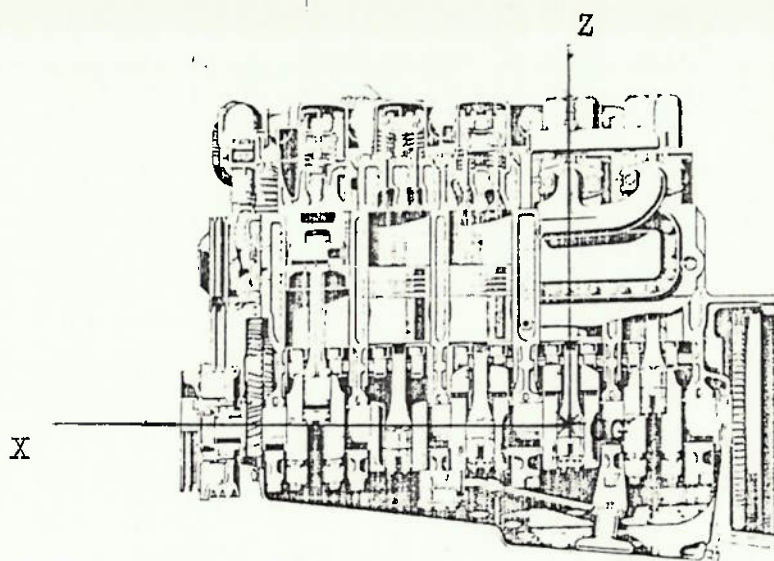


Figura 48 - M.C.I. - Propriedades de inércia

IV.3- FORÇAS E MOMENTOS DE EXCITAÇÃO

No Anexo E estão demonstradas as origens das forças e momentos de excitação nos MCI (forças/momento de inércia e forças/momentos devido à pressão das gases). Para um motor de 6 cilindros em linha, 4 tempos, tem-se (figura 49):

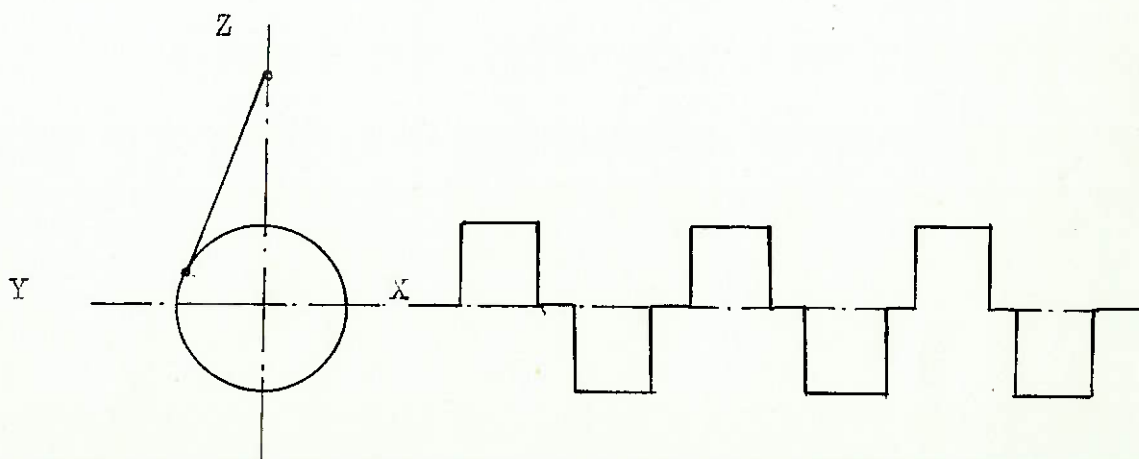


Figura 49 - M.C.I. , 6 cilindros, 4 tempos

$$F_x = F_y = F_z$$

$$M_y = 4 m R^2 w^2 \cdot B_2 \cdot 0,39 \sin(3\theta)$$

$$M_x = M_z = 0$$

$$M_{comb} = -4 \frac{\pi \cdot D^3}{4} R \cdot 0,39 \left[a_2 \sin(3\theta) + b_2 \cos(3\theta) \right]$$

onde:

F_x, F_y, F_z = forças de vibração na direção x, y e z, respectivamente;

M_x, M_y, M_z = momentos de vibração em torno dos eixos x, y e z, respectivamente;

M_{comb} = momento de vibração, devido a explosão, em torno do eixo y;

D = diâmetro do cilindro;

R = raio da manivela;

m = massa recíproca por cilindro;

θ = ângulo de rotação da manivela;

w = velocidade angular de rotação da manivela ($d\theta/dt$);

l = comprimento da biela.

Cada um dos coeficientes pode ser calculado pelas seguintes fórmulas, onde $\lambda = \frac{l}{R}$:

$$A_2 = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{4 \cdot \lambda^3} + \frac{15}{128 \cdot \lambda^5} + \dots$$

$$A_4 = -\frac{1}{4 \cdot \lambda^3} - \frac{3}{16 \cdot \lambda^5} - \dots$$

.....

$$B_2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{32 \cdot \lambda^6} + \dots$$

$$B_4 = \frac{1}{4 \cdot \lambda^2} + \frac{1}{8 \cdot \lambda^4} + \dots$$

.....

e $a_2, a_4, \dots, b_2, b_4, \dots$ são dados pelo gráfico da figura 50.

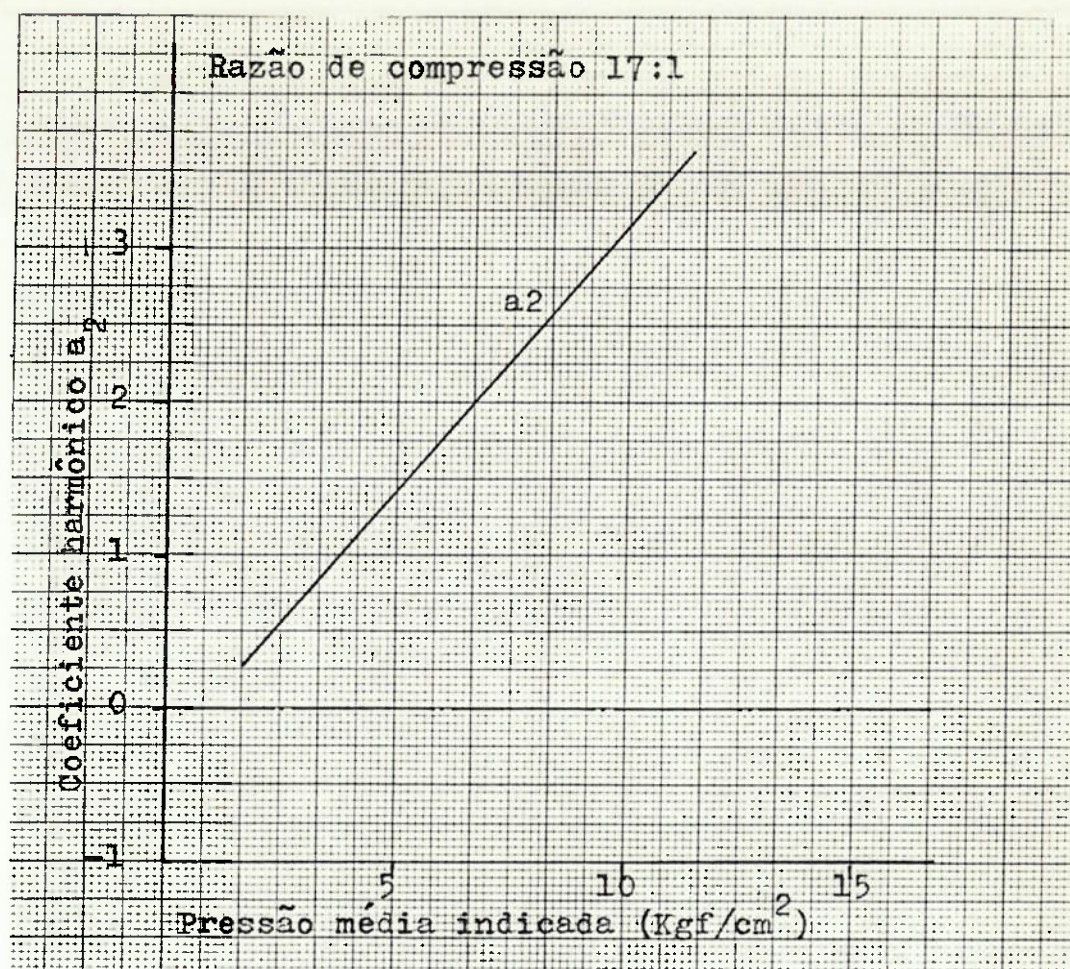


Figura 50 - Determinação de a_2

Sendo o coeficiente b_2 muito menor do que a_2 , pode-se desprezar a parcela $b_2 \cos(3\theta)$ na expressão de M_{comb} . Fica-se então com:

$$M_y = 1,56 m B_2 R^2 w^2 \sin(3\theta)$$

e

$$M_{comb} = -0,39 \pi \cdot D^3 a_2 R \sin(3\theta)$$

Atua ainda sobre o MCI, o torque desenvolvido pelo motor. Esse torque pode ser obtido, em função da rotação do MCI, das suas curvas características (figura 51).

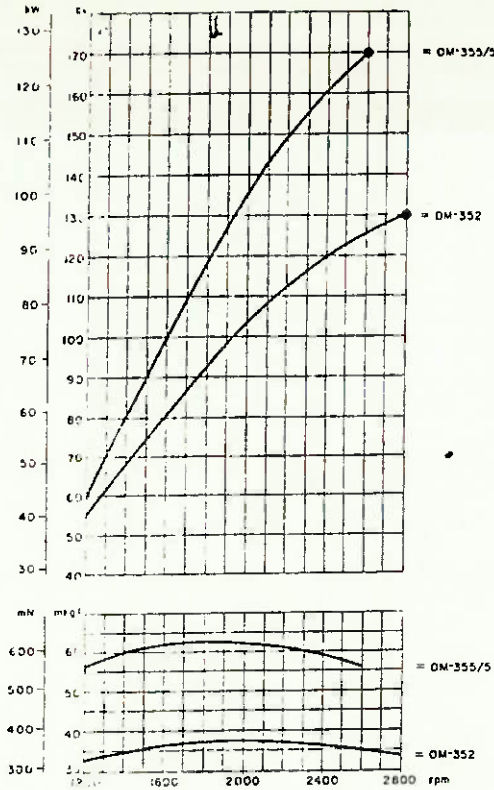


Figura 51-Curvas características do motor

IV.5- SISTEMA COM DOIS GRAUS DE LIBERDADE

Considere-se o sistema mostrado na figura 52, consistindo de um corpo não simétrico (MCI), suportado por molas desiguais (suportes elásticos) e podendo se mover no plano da figura.

REFERÊNCIA= posição neutra do movimento

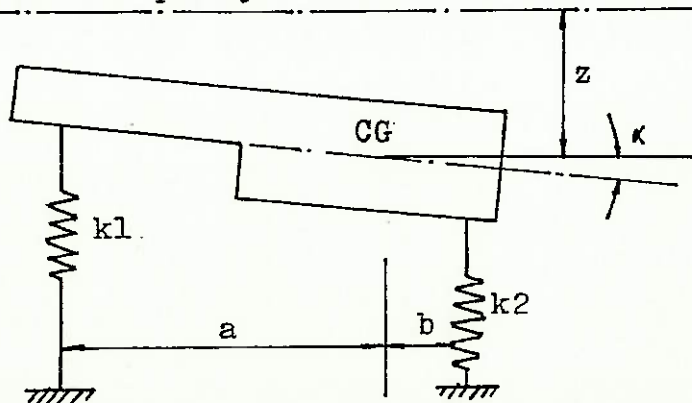


Figura 52 - Sistema com 2 G.L.

A adoção desse sistema implica nas seguintes simplificações:

- a. Adoção do comportamento dinâmico do suporte elástico como sendo uma mola simples, ou seja, $F = Kx$. Tal hipótese não corresponde ao que efetivamente ocorre com elementos de borracha; estes apresentam, na verdade, um comportamento viscoelástico (1);
- b. Adoção de comportamento linear, para a constante de mola K , em função da força que atua no elemento elástico. Na verdade, essa constante não apresenta tal comportamento; todavia, a adoção de outra hipótese iria resultar num sistema não linear, dificultando sobremaneira os cálculos.

A figura 53 resume, esquematicamente, os esforços atuantes sobre a MCI:

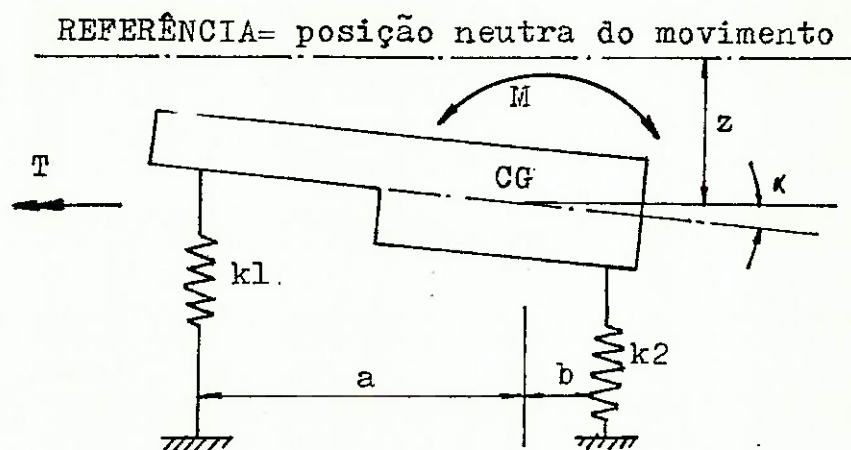


Figura 53 - Esforços sobre o M.C.I.

(1) Consultar o Anexo F, para maiores detalhes.

Para se definir a configuração do sistema, deve-se usar a coordenada z , que especifica a posição linear do centro de massa G medido desde a linha de referência, e a coordenada α , que define a posição angular do corpo.

O diagrama de corpo livre para o sistema está mostrado na figura 54, assumindo-se α ser pequeno.

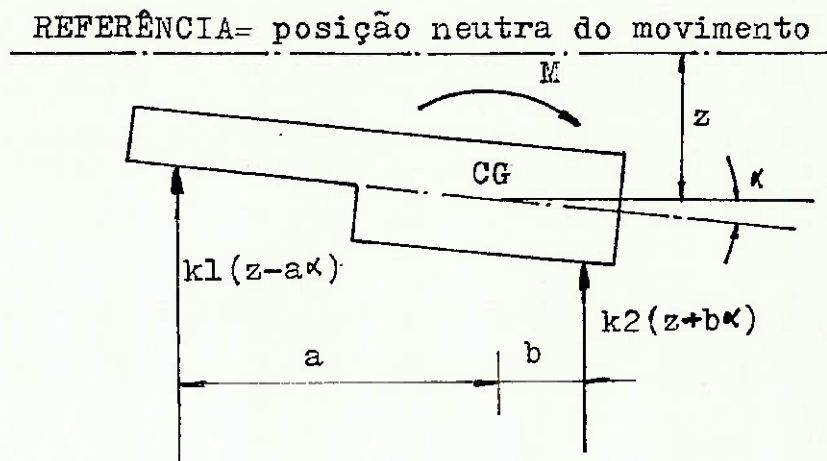


Figura 54- Diagrama de corpo livre

Tomar-se-ã: m^* = massa do corpo

r = raio de giração do corpo em relação ao centro de massa G .

As equações que definem o movimento são:

$$(1) m^* \ddot{z} = -k_1(z - a\alpha) - k_2(z + b\alpha) + F_z$$

$$(2) m^* r^2 \ddot{\alpha} = k_1(z - a\alpha)a - k_2(z + b\alpha)b + M$$

1º caso: Resposta do sistema ã F_z e M dados por:

$$F_z = 0$$

$$M = \left[1,56 m B_2 R^2 w^2 - 0,39 \pi D^3 a_2 R \right] \sin(3\theta)$$

Tem-se que:

$$(1) \ddot{z} + \frac{K_1 + K_2}{m^*} z + \frac{K_2 \cdot b - K_1 \cdot a}{m^*} \alpha = 0$$

$$(2) \quad \ddot{\alpha} + \frac{K_2 \cdot b - K_1 \cdot a}{m^* \cdot r^2} \cdot z + \frac{K_1 a^2 + K_2 \cdot b^2}{m^* \cdot r^2} = \left[1,56 m B_2 R^2 w^2 + \frac{-0,39 \pi D^3}{m^* r^2} a_2 R \right] \text{sen}(3\theta)$$

Fazendo-se:

$$\beta = \frac{K_1 + K_2}{m^*}$$

$$\gamma = \frac{K_2 \cdot b - K_1 \cdot a}{m^*}$$

$$\eta = \frac{K_1 a^2 + K_2 b^2}{m^* r^2}$$

Tem-se que:

$$(1) \quad \ddot{z} + \beta z + \gamma = 0$$

$$(2) \quad \ddot{\alpha} + \frac{\gamma}{r^2} z + \eta \cdot \alpha = \frac{1,56 m B_2 R^2 w^2 - 0,39 \pi D^3 a_2 R}{m^* r^2} \text{sen}(3\theta)$$

É razoável tomar-se as soluções desse sistema com a mesma frequência das forças e momentos de excitação ($\Omega = 3w$). Impõem-se portanto, que:

$$x = \bar{x}_1 e^{i\Omega t} \quad \text{e} \quad \alpha = \alpha_1 \cdot e^{i\Omega t}$$

$$\text{com: } \bar{x}_1 = x_1 e^{-i\psi_1} \quad \text{e} \quad \bar{\alpha}_1 = \alpha_1 \cdot e^{-i\psi_2}$$

Logo, tem-se:

$$\dot{z} = \bar{z}_1 i\Omega e^{i\Omega t} \quad \dot{\dot{x}} = -\bar{z}_1 \Omega^2 e^{i\Omega t}$$

$$\dot{\alpha} = \alpha_1 i\Omega e^{i\Omega t} \quad \dot{\dot{\alpha}} = -\bar{\alpha}_1 \Omega^2 e^{i\Omega t}$$

substituindo-se nas equações (1) e (2) obtém-se:

Da equação (1):

$$-\Omega^2 \bar{z}_1 e^{i\Omega t} + \beta \bar{z}_1 e^{i\Omega t} + \gamma \bar{\alpha}_1 e^{i\Omega t} = 0$$

$$\left[-\Omega^2 + \beta \right] \bar{z}_1 + \gamma \bar{\alpha}_1 = 0 \quad (1')$$

Da equação (2):

$$-\Omega^2 \bar{\alpha}_1 e^{i\Omega t} + \frac{\gamma}{r^2} \bar{z}_1 e^{i\Omega t} + \eta \bar{\alpha}_1 e^{i\Omega t} =$$

$$\frac{1}{m^* r^2} \left[1,56 m B_2 R^2 w^2 - 0,39 \pi D^3 a_2 R \right]$$

$$\left[\frac{\gamma}{r^2} \right] \bar{z}_1 + \left[\eta - \Omega^2 \right] \bar{\alpha}_1 = \frac{1}{m^* r^2} \left[1,56 m B_2 R^2 w^2 - 0,39 \pi D^3 a_2 R \right] \quad (2')$$

Portanto, as amplitudes de resposta do sistema de 2 GL serão obtidas resolvendo-se o sistema de equações a seguir, composto pelas equações (1') e (2') anteriores:

$$\left[-\Omega^2 + \beta \right] \bar{z}_1 + \gamma \bar{\alpha}_1 = 0$$

$$\frac{\gamma}{r^2} \bar{z}_1 + \left[\eta - \Omega^2 \right] \bar{\alpha}_1 = \frac{1}{m^* r^2} \left[1,56 m B_2 R^2 w^2 - 0,39 \pi D^3 a_2 R \right]$$

Usando-se determinantes e a regra de Cramer, pode-se estabelecer que:

$$\bar{z}_1 = \frac{D_{\bar{z}_1}}{D} = \frac{\begin{vmatrix} \frac{1}{m^* r^2} [1,56 m B_2 R^2 w^2 - 0,39 \pi D^3 a_2 R] & \eta - \Omega^2 \\ -\Omega^2 + \beta & \gamma \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -\Omega^2 + \beta & \gamma \\ \frac{\gamma}{r^2} & \eta - \Omega^2 \end{vmatrix}}$$

$$\bar{z}_1 = \frac{-\gamma}{m^* r^2} \frac{\left[1,56 m B_2 R^2 w^2 - 0,39 \pi D^3 a_2 R \right]}{(\eta - \Omega^2)(\beta - \Omega^2) - \gamma^2 / r^2}$$

Ao mesmo tempo:

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{D \bar{\alpha}_1}{D} = \frac{\begin{vmatrix} -\Omega^2 + \beta & 0 \\ \frac{\gamma}{r^2} & \frac{1}{m^* r^2} (1,56 m B_2 R^2 w^2 - 0,39 \pi D^3 a_2 R) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -\Omega^2 + \beta & \gamma \\ \frac{\gamma}{r^2} & \eta - \Omega^2 \end{vmatrix}}$$

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{\frac{(\beta - \Omega^2)}{m^* r^2} [1,56 m b_2 R^2 w^2 - 0,39 \pi D^3 a_2 R]}{(\eta - \Omega^2)(\beta - \Omega^2) - \gamma^2 / r^2}$$

Define-se aqui o fator de transmissibilidade, como sendo a razão da amplitude da força transmitida pela amplitude da força aplicada, ou seja:

$$T_F = \frac{\text{amplitude da força transmitida}}{\text{amplitude da força aplicada}}$$

No caso em questão, está sendo estudado um sistema com 2 G.L. (figura 55)

REFERÊNCIA= posição neutra do movimento

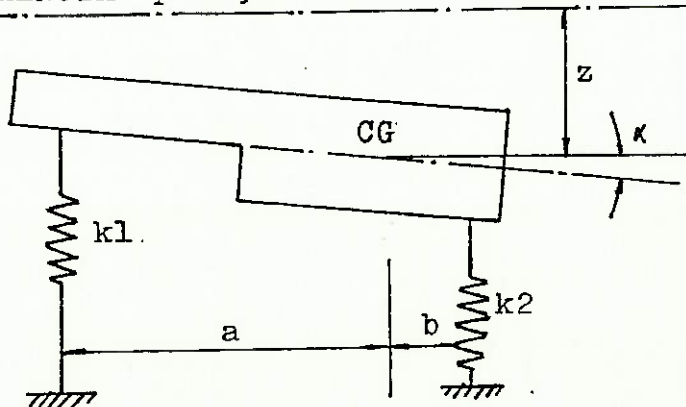


Figura 55 - Sistema com 2 G.L.

Serão definidos, portanto, dois fatores de transmissibilidade, a saber:

T_{F_1} = fator de transmissibilidade para o elemento elástico 1;

T_{F_2} = fator de transmissibilidade para o elemento elástico 2.

A força aplicada sobre cada elemento elástico será:

REFERÊNCIA= posição neutra do movimento

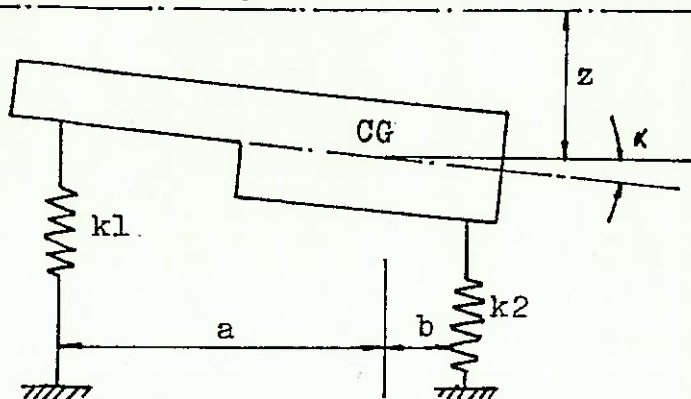


Figura 56 - Força aplicada sobre cada elemento elástico

Hipótese: admite-se que a força sobre cada elemento elástico não varie ao longo do ciclo do movimento; tal fato não é exatamente verdade, uma vez que, com o movimento do corpo (z e α), alteram-se as cotas a e b .

a. Força sobre o elemento elástico 1:

$$F_1 = \frac{1}{a+b} (b F_z - M) \quad \text{sendo } F_z = 0, \text{ tem-se:}$$

$$F_1 = \frac{-1}{a+b} M \rightarrow F_1 = \frac{-1}{a+b} [1,56mB_2R^2w^2 - 0,39\pi D^3a_2R] \cdot \text{Imag.} e^{i\Omega t}$$

b. Força sobre o elemento elástico 2:

$$F_2 = -F_1 = \frac{1}{a+b} [1,56mB_2R^2w^2 - 0,39\pi D^3a_2R] \cdot \text{Imag.} e^{i\Omega t}$$

A força transmitida por cada elemento elástico será:

REFERÊNCIA= posição neutra do movimento

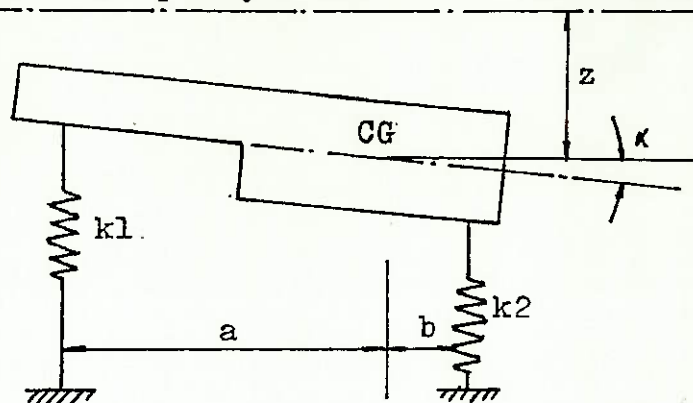


Figura 57 - Força transmitida por cada elemento elástico

a. Força transmitida pelo elemento elástico 1:

$$F_{T1} = K_1 (\bar{z}_1 - a \bar{\alpha}_1)$$

Nota: admitiu-se $\alpha_1 \cong \sin \alpha_1 \cong \text{tg } \alpha_1$, por α_1 ser muito pequeno

b. Força transmitida pelo elemento elástico 2:

$$F_{T2} = K_2 (\bar{z}_1 + b \bar{\alpha}_1)$$

Assim, os fatores de transmissibilidade, para os elementos elásticos (1) e (2), serão definidos pelas seguintes equações transcendentes:

- a. Fator de transmissibilidade para o elemento elástico 1:

$$T_{F_1} = \frac{K_1(a+b) \left[\delta + a(\beta - \Omega^2) \right]}{m^* r^2 \left[(\eta - \Omega^2)(\beta - \Omega^2) - \delta^2/r^2 \right]}$$

- b. Fator de transmissibilidade para o elemento elástico 2:

$$T_{F_2} = \frac{K_2(a+b) \left[b(\beta - \Omega^2) - \delta \right]}{m^* r^2 \left[(\eta - \Omega^2)(\beta - \Omega^2) - \delta^2/r^2 \right]}$$

Nessas equações tem-se:

. T_{F_1} , T_{F_2} = fatores de transmissibilidade;

. m = massa recíproca por cilindro (massas de movimento alternativo), composta por massa do pistão e pino, massa dos anéis, massa das buchas, travas e haste com cruzeta quando existirem.

Assim:

$$m = m_{\text{pistão}} + m_{\text{pino}} + m_{\text{anéis}} + m_{\text{travas}} + \frac{1}{3} m_{\text{biela}} +$$

m_{cruzeta} (quando existir);

. B_2 = coeficiente harmônico, dado por: $B_2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{32\lambda^6}$,

onde $\lambda = \frac{l}{R}$, sendo: l = comprimento da biela
 R = raio da manivela;

. R = raio da manivela;

. ω = velocidade angular da manivela, dada por:

$$w = \frac{\pi \cdot n}{30}, \text{ onde } n = \text{rotação do motor};$$

.D= diâmetro do cilindro;

.a₂= coeficiente harmônico, dado em função da relação de compressão e da pressão média efetiva;

.m*= massa da estrutura do motor;

.r = raio de giração do motor, em torno do eixo y;

.η = constante, dada por:

$$\eta = \frac{K_1 a^2 + K_2 b^2}{m^* r^2}, \text{ onde}$$

K₁ e K₂= constantes elásticas

a e b = distâncias dos elementos elásticos ao CG do corpo;

.Ω = 3 w, onde w = velocidade angular da biela;

.β = constante, dada por:

$$\beta = \frac{K_1 + K_2}{m^*};$$

$$\delta = \frac{K_2 b - K_1 a}{m^*}$$

V - RESPOSTA DO SISTEMA A IMPULSOS LONGITUDINAIS (FREADAS E ACELERAÇÕES)

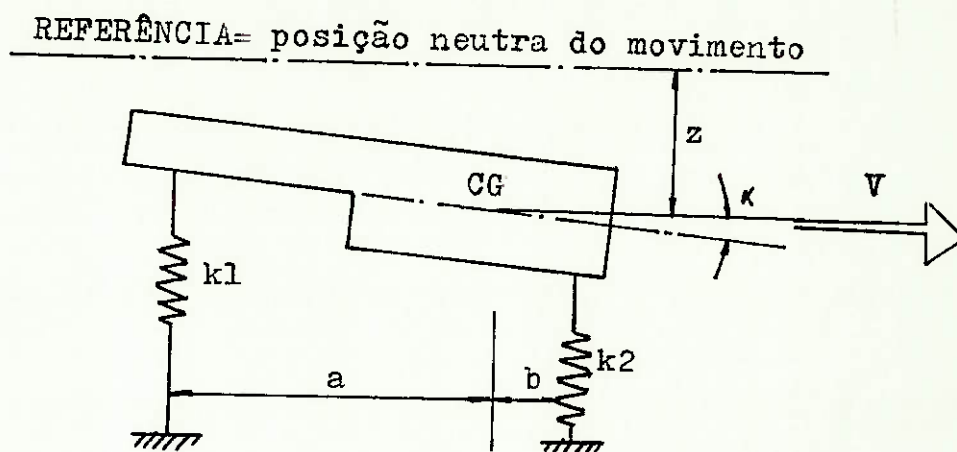


Figura 58 - Sistema com 2 G.L.

Estabeleceu-se na fase de "Especificações Técnicas" que: "os isoladores deverão prevenir o contato, sob cargas dinâmicas, do motor com a estrutura, nas seguintes condições:

- . Longitudinalmente (frenagem ou aceleração oriundas de pequenas colisões): $\pm 1,5 g$;"

Assim, estabelecer-se-ã, neste item, um modelo matemático simplificado, que relacione o deslocamento do motor (posicionamento relativo motor/estrutura) com as acelerações de frenagem/partida.

A energia cinética do motor, com massa \$m^*\$ e velocidade \$V\$, é dada por (figura 58):

$$E_c = \frac{1}{2} m^* V^2$$

Supondo-se que o ônibus alcance velocidade nula (devido a uma colisão) pode-se admitir que a energia cinética do motor será transformada totalmente em energia de deformação dos elementos elásticos (figura 59).

Esta hipótese não corresponde totalmente à realidade, no caso de uma colisão, uma vez que há também a energia de deformação do veículo propriamente dito.

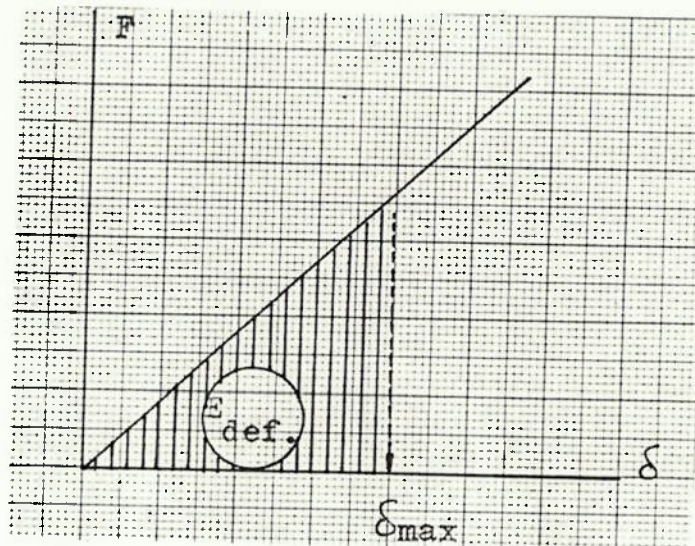


Figura 59 - Energia de deformação

Assim, tem-se a seguinte equação:

$$E_{\text{deformação}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Mas, para um elemento elástico linear, tem-se que:

$$E_{\text{def}} = \frac{F \cdot K}{2} \quad \text{e} \quad F = K \cdot \delta x$$

Logo: $E_{\text{def}} = \frac{K^2 \cdot \delta x}{2} \text{ max}$ e portanto, neste caso, onde se tem dois elementos elásticos:

$$\frac{1}{2} m^* v^2 = \frac{K_1^2 \delta_1 \text{ max}}{2} + \frac{K_2^2 \delta_2 \text{ max}}{2}$$

Fazendo-se: $\delta_1 \text{ max} \cong \delta_2 \text{ max} = \delta_x \text{ max}$, tem-se:

$$\delta_x \text{ max} = v \sqrt{\frac{m^*}{K_1^2 + K_2^2}} \quad (\text{III}) \quad , \text{ onde}$$

$\delta_x \text{ max}$ = máximo deslocamento longitudinal do motor (posicionamento relativo motor/estrutura);

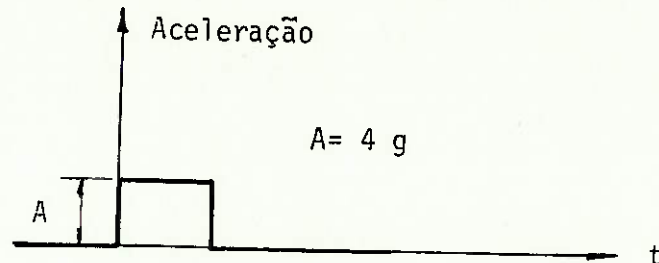
m^* = massa do motor;

v = velocidade do veículo antes da colisão;

K_1, K_2 = constante elásticas dos elementos elásticos

VI -- RESPOSTA DO SISTEMA A IMPULSOS VERTICAIS (IRREGULARIDADES NO TERRENO)

A excitação originada de uma irregularidade do terreno é uma função do tipo:



A determinação da resposta de um sistema com 2 GL a uma excitação do tipo "pulso" é, matematicamente bastante trabalhosa, só tornando-se exequível com o auxílio de métodos numéricos e com o auxílio de computador.

Neste trabalho, a nível de projeto básico, será utilizado um modelo simples, de apenas 1 GL, como ilustrado pela figura 60.

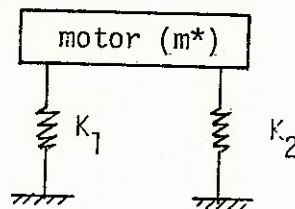


Figura 60 - Sistema com 1 G.L.

O pulso de aceleração (4 g), indicado no gráfico da figura gera uma força dada por:

$$F_z = m^* \cdot 4g = 4m^*g$$

O máximo deslocamento que o motor sofrerá, para poder contrabalancear essa força será dada por δ_z max na equação a seguir:

$$F_z = (K_1 + K_2) \cdot \delta_z \text{ max} = 4 m^*g$$

ou seja:
$$\delta_z \text{ max} = \frac{4 m^*g}{K_1 + K_2} \quad (\text{IV}), \text{ onde:}$$

δ_z max = máximo deslocamento vertical do motor (posicionamento motor/estrutura);

m^* = massa do motor;

K_1, K_2 = constantes elásticas dos elementos elásticos.

VII - CONCLUSÃO

Os modelos aqui utilizados simplificam bastante o comportamento real de um motor de combustão interna sobre suportes elásticos. Muitas hipóteses simplificadoras foram adotadas, podendo ser destacadas, basicamente:

- . a adoção de sistema com 2 e 1 grau de liberdade, ao invés de sistemas com 6 graus de liberdade ($x, y, z, \alpha, \beta, \gamma$);
- . a adoção de comportamento constante para a constante elástica (K) dos elementos elásticos, quando tal não é perfeitamente verdade;
- . a não consideração do amortecimento (c) dos elementos elásticos, etc..

Contudo, foram estabelecidas quatro equações transcendentais, as quais servirão como ferramentas para as fases posteriores. (análise de sensibilidade, análise de estabilidade e análise de compatibilidade).

PROJETO BÁSICO

3ª FASE: ANÁLISE DA SENSIBILIDADE

- I - INTRODUÇÃO
- II - EQUAÇÕES - VARIÁVEIS DE ENTRADA E DE SAÍDA
- III - PROCEDIMENTO DE ANÁLISE
- IV - CONCLUSÕES

I - INTRODUÇÃO

Tendo-se estabelecido um modelo matemático na fase anterior, tem-se uma série de variáveis do projeto (parâmetros) que relacionam as variáveis de entrada e de saída. Nesta análise de sensibilidade, pretende-se determinar o grau com que o funcionamento do projeto é afetado pelas variações de seus parâmetros.

Para estudar o comportamento do sistema em função dos seus parâmetros, escolhem-se as variáveis independentes (de entrada) e através das equações transcendentes (estabelecidas na fase anterior) determinam-se os valores das variáveis de saída.

Os resultados principais desta análise de sensibilidade são:

- . um conhecimento intenso do projeto;
- . identificação dos parâmetros mais importantes (críticos);
- . indicação da adequacidade das limitações impostas;
- . uma idéia quantitativa do desempenho do projeto.

II - EQUAÇÕES-VARIÁVEIS DE ENTRADA E DE SAÍDA

No projeto dos isoladores para os M.C.I. tem-se:

Referência

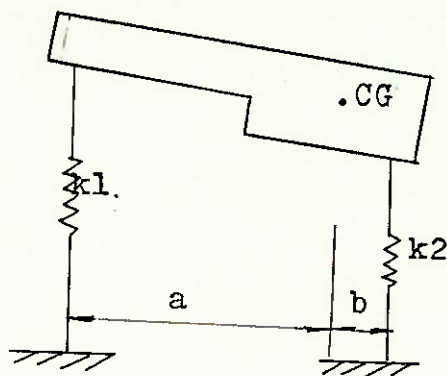


Figura 61 - Sistema com 2 G.L.

. PARÂMETROS:

1. a : distância do elemento elástico 1;
2. b : distância do elemento elástico 2;
3. K_1 : constante elástica do elemento elástico 1;
4. K_2 : constante elástica do elemento elástico 2.

. VARIÁVEIS DE SAÍDA:

1. T_{F1} : fator de transmissibilidade para o elemento elástico 1;
2. T_{F2} : fator de transmissibilidade para o elemento elástico 2.

. VARIÁVEIS DE ENTRADA:

- . Forças de inércia e dos gases e rotação do motor.

. CONSTANTES: (para o motor adotado):

1. Massa recíproca por cilindro: $m = 3,5 \text{ kg}$

2. Raio de manivela: $R = \frac{\text{curso do embolo}}{2} = 64 \text{ mm} = 0,064 \text{ m}$

3. Coeficiente : $\lambda = \frac{R}{l} = \frac{1}{3,5}$

4. Diâmetro do cilindro : $D = 97 \text{ mm} = 0,097 \text{ m}$

5. Coeficiente harmônico B_2 :

$$B_2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{32 \lambda^6} = \frac{1}{2} + \frac{(3,5)^6}{32} \rightarrow B_2 = 58$$

6. Coeficiente harmônico a_2 (dado em função do gráfico da figura 50)

$$a_2 \cong 2$$

7. Massa da estrutura do motor: $m^* \cong 500 \text{ xg}$

8. Raio de giração do motor:

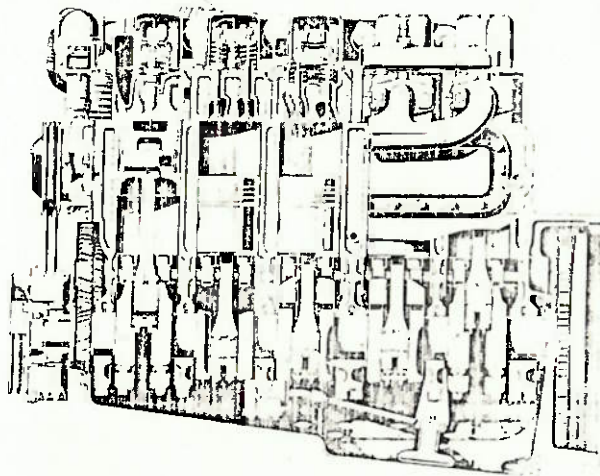


Figura 62

O momento de inércia em relação ao eixo longitudinal que passa pelo baricentro \bar{e} é dado por:

$$I_{\text{bar}} = \frac{bh^3}{3}$$

Fazendo-se a translação para o eixo I_{xx} , tem-se:

$$I_{xx} = \frac{bh^3}{3} + \left(\frac{h}{4}\right)^2 bh = \frac{bh^3}{3} + \frac{bh^3}{16} = 0,40 bh^3$$

O raio de giração será, portanto:

$$r = 0,40 h \quad \text{no} \quad r = 0,30 m$$

9. Velocidade angular w : depende de n , que varia na faixa de 600 a 2800 RPM

Substituindo-se essas constantes nas equações estabelecidas na modelagem matemática, tem-se:

$$w = \frac{\pi n}{30} \quad \text{e} \quad \Omega = 3w$$

$$\beta = \frac{K_1 + K_2}{m^*} \quad \frac{K_1 + K_2}{500}$$

$$r = \frac{K_2 b - K_1 a}{m^*} \quad \frac{K_2 b - K_1 a}{500}$$

$$\eta = \frac{K_1 a^2 + K_2 b^2}{m^* r^2} \quad \frac{K_1 a^2 + K_2 b^2}{500 \cdot (0,30)^2} = \frac{K_1 a^2 + K_2 b^2}{45}$$

$$\text{Tem-se: } T_{F1} = \frac{K_1(a+b) [\delta + a(\beta - \Omega^2)]}{m^* r^2 [(\eta - \Omega^2)(\beta - \Omega^2) - \delta^2/r^2]}$$

$$T_{F2} = \frac{K_2(a+b) [b(\beta - \Omega^2) - \delta]}{m^* r^2 [(\eta - \Omega^2)(\beta - \Omega^2) - \delta^2/r^2]}$$

Para se obter unidades compatíveis usar: K_1 e K_2 (N/m)
 a, b (m) e w (+rd/s)

III - PROCEDIMENTO DE ANÁLISE

Foram utilizados programas(1), com os seguintes objetivos:

- . Programa 1: determinar a influência de a e b sobre o fator de transmissibilidade; variou-se b na faixa de 0,05 a 0,15 m e a na faixa de 0,05 a 0,35 m;
- . Programa 2; 3; 4;5 e 6: determinar a influência de K_1 e K_2 sobre o fator de transmissibilidade.

(1) ver Anexo K: Listagem dos programas utilizados.

IV - CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos (1) através dos programas desenvolvidos, evidencia-se que :

- . quanto menores \underline{a} e \underline{b} , menores os fatores de transmissibilidade, ou seja, melhor o isolamento;
- . quanto menor K_1 e K_2 , menores os fatores de transmissibilidade, ou seja, melhor o isolamento.

Antes disso, é necessário estabelecer-se uma faixa estável para os coeficientes elásticos, pois sabe-se que se K_1 e K_2 forem muito pequenos, o deslocamento relativo motor/estrutura será muito grande, quando de freadas, pequenas colisões, irregularidades no terreno, etc. Isso será feito nas fases seguintes: "Análise de estabilidade" e "Análise de compatibilidade".

(1) ver Anexo L : Resultados dos programas desenvolvidos.

PROJETO BÁSICO

4ª FASE: ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE

- I - INTRODUÇÃO
- II - FAIXA INDICADA PARA AS CONSTANTES ELÁSTICAS
- III - CONCLUSÃO

I - INTRODUÇÃO

Para que haja um funcionamento harmônico entre motor/suporte elástico/estrutura, é preciso que a interação destes elementos seja compatível. Deve-se pensar aqui, nas dimensões necessárias do suporte elástico e sua compatibilidade com o espaço que se pretende dispor para que o mesmo seja inserido. Pode-se estabelecer essa limitação através da relação $\frac{1}{A} = 1,5$

II - FAIXA INDICADA PARA AS CONSTANTES ELÁSTICAS

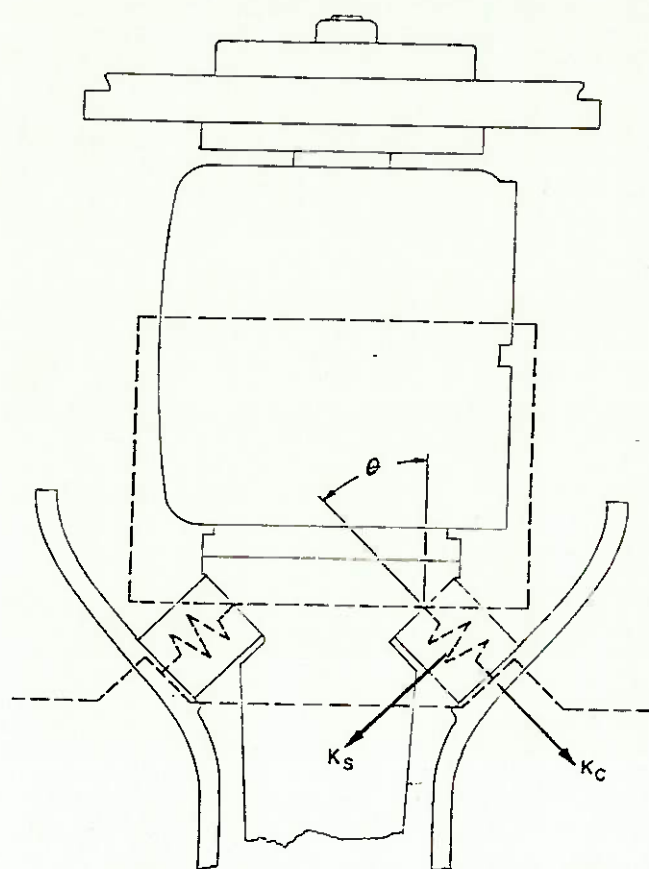


Figura 63 - M.C.I. - Vista frontal

Sabe-se que:

$$K_1 = \frac{2 K_{s1} K_{c1}}{K_{c1} \cos^2 \theta + K_{s1} \sin^2 \theta}$$

e

$$K_2 = \frac{2 K_{s2} K_{c2}}{K_{c2} \cos^2 \theta + K_{s2} \sin^2 \theta}$$

onde:

K = constante elástica equivalente
 K_s = rigidez de cisalhamento do elemento elástico
 K_c = rigidez de compressão do elemento elástico
 θ = ângulo indicado na figura

Por outro lado:

$$K_s = \frac{GA}{l} \quad \text{e} \quad K_c = \frac{EA}{l},$$

onde: A = área do elemento elástico
 l = espessura do elemento elástico
 G = módulo de elasticidade transversal
 E = módulo de elasticidade

logo; para o elemento elástico l :

$$K_l = \frac{2 \frac{E_1 A_1}{l_1} \cdot \frac{E_1 A_1}{l_1}}{\frac{E_1 A_1}{l_1} \cos^2 \theta + \frac{E_1 A_1}{l_1} \cdot \text{sen}^2 \theta}$$

fazendo-se $\theta = 45^\circ$, $G \approx 0,8 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, $E = 3,25 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ e
 impondo-se $\frac{l}{A} = 1,5$ tem-se que:

$$K_l = \frac{2 (G_1 \cdot E_1) A_1 / l_1}{E_1 \cdot \frac{l}{A} + G_1 \cdot \frac{l}{A}} = \frac{4 G_1 E_1}{1,5 E_1 + G_1}$$

$$K_l = \frac{4(0,8 \times 3,25) \times 10^{12}}{1,5(0,8 + 3,25) \times 10^6}$$

$$K_l = 1,7 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

III - CONCLUSÃO

De maneira aproximada, pode-se dizer que, para que o sistema motor/suporte elástico/estrutura seja compatível, deve-se obedecer à seguinte relação:

$$K_1 + K_2 > 3,4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

PROJETO BÁSICO

5ª FASE: ANÁLISE DA ESTABILIDADE

- I - INTRODUÇÃO
- II - RESPOSTA DO SISTEMA A IMPULSOS
LONGITUDINAIS
- III - RESPOSTA DO SISTEMA A IMPULSOS
VERTICAIS
- IV - CONCLUSÃO

I - INTRODUÇÃO

O sistema de isolamento projetado está exposto e deve ajustar-se a um "meio ambiente" dinâmico. O ônibus urbano estará, ao longo de sua operação, sujeito a impactos devido a irregularidades do terreno, pequenas colisões, freadas e acelerações mais bruscas, etc.

Pretende-se que o sistema projetado tenha uma estabilidade inerente, de maneira que as perturbações anteriormente apontadas não causem falhas ou defeitos graves de funcionamento.

II - RESPOSTA DO SISTEMA A IMPULSOS LONGITUDINAIS

Verificou-se na fase de "Construção de Modelos Matemáticos" que:

$$\delta_{x\max} = V \sqrt{\frac{m^*}{K_1^2 + K_2^2}}$$

onde: $\delta_{x\max}$ = máximo deslocamento longitudinal do motor;

m^* = massa do motor = 500 kg;

V = velocidade do veículo antes da colisão;

K_1, K_2 = constante elástica dos elementos elásticos

Impondo-se $V = 80$ km/h (velocidade máxima em pavimento plano horizontal)(1) e $\delta_{x\max} = 10$ mm. Tem-se que as constantes elásticas deverão obedecer à seguinte relação:

$$K_1^2 + K_2^2 \geq 2,5 \times 10^9 \text{ N}^2/\text{m}^2$$

(1) conforme estabelecido no Anexo A.

III - RESPOSTA DO SISTEMA A IMPULSOS VERTICAIS

Verificou-se na fase de "Construção de Modelos Matemáticos" que:

$$\delta_{zmax} = \frac{4 m^*g}{K_1 + K_2}$$

onde: δ_{zmax} = máximo deslocamento vertical do motor;

m^* = massa do motor = 500 kg;

K_1, K_2 = constantes elásticas dos elementos elásticos

Impondo-se $\delta_{zmax} = 10$ mm. Tem-se que as constantes elásticas deverão obedecer à seguinte relação:

$$K_1 + K_2 \geq 2 \times 10^6 \text{ N/m}$$

IV - CONCLUSÃO

Em função do que foi visto anteriormente, as constantes elásticas K_1 e K_2 devem obedecer às seguintes relações:

$$K_1^2 + K_2^2 \geq 2,5 \times 10^9 \text{ N}^2/\text{m}^2$$

e

$$K_1 + K_2 \geq 2,0 \times 10^6 \text{ N/m}$$

Deve-se ter, portanto:

$$K_1 + K_2 \geq 2,0 \times 10^6 \text{ N/m}$$

PROJETO BÁSICO

6^a FASE: OTIMIZAÇÃO FORMAL

- I - INTRODUÇÃO
- II - CARACTERÍSTICAS DOS SUPORTES ELÁSTICOS
- III - FORMA FINAL DO ISOLADOR

I - INTRODUÇÃO

A partir deste ponto, para que o projeto se desenvolva, todos os principais parâmetros devem ter valores específicos e bem definidos. Um modo de se determinar tal valor é simplesmente escolher qualquer combinação viável que seja considerada conveniente.

Neste projeto, escolher-se-ão os valores dos parâmetros a partir dos resultados obtidos do computador, observando-se sempre a necessidade de se obedecer a seguinte relação:

$$K_1 + K_2 > 3,4 \times 10^6 \text{ N/m}$$

II - CARACTERÍSTICAS DOS SUPORTES ELÁSTICOS

Como visto na fase de "Análise de Sensibilidade", quanto menor a constante elástica do isolador, menor o fator de transmissibilidade, ou seja, melhor o isolamento. Assim sendo, adotar-se-ão os valores mínimos possíveis para K_1 e K_2 , impostos pelas "Análise de Estabilidade" e "Análise de Compatibilidade".

Assim, deve-se obedecer a:

$$K_1 + K_2 \geq 3,4 \times 10^6 \text{ N/m}$$

Assumindo-se $K_1 = K_2 = K$, tem-se que:

$$K = 1,7 \times 10^6 \text{ N/m}$$

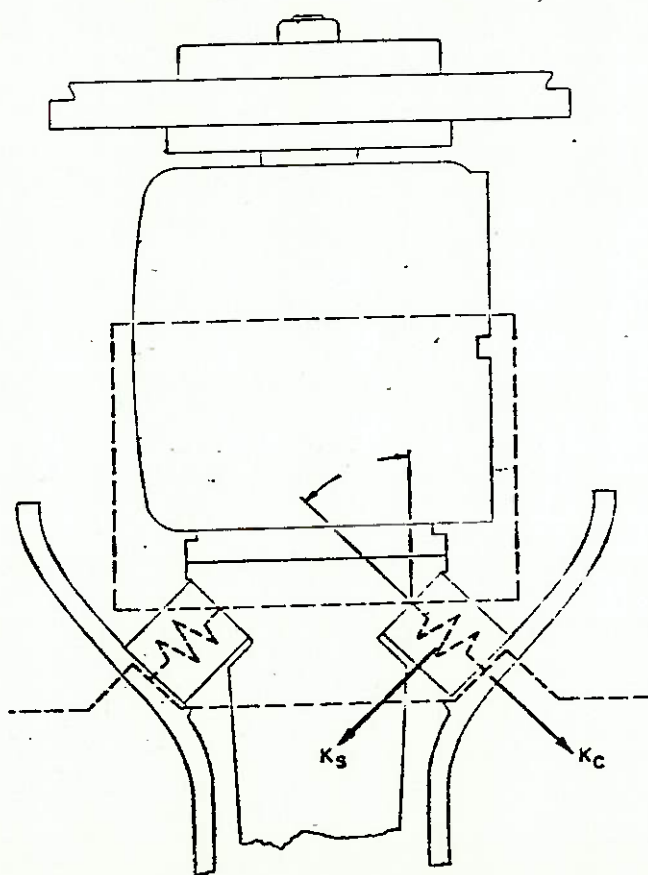


Figura 64

Sabe-se que:

$$K = \frac{2 G E A / l}{E \cos^2 \theta + G \sin^2 \theta}$$

onde: G = módulo de elasticidade transversal
($0,8 \times 10^6 \text{ N/m}^2$)

E = módulo de elasticidade ($3,0 \times 10^6 \text{ N/m}^2$)

A = área transversal do isolador

l = espessura do isolador

θ = ângulo indicado na figura

Fazendo-se $\theta = 45^0$, tem-se que, para se obter
 $K \times 1,3 \times 10^6 \text{ N/m}$,

$$\frac{l}{A} = 1,5$$

III - FORMA FINAL DO ISOLADOR (1)

O desenho do anexo M mostra o isolador com suas dimensões principais.

(1) ver Anexo M : Desenho do Isolador

PROJETO BÁSICO

7^a FASE: PROGRAMA DE ENSAIOS E TESTES

I - TESTES DINÂMICOS - INTRODUÇÃO

II - TESTE DINÂMICO COM BARRA RESSONANTE

I - TESTES DINÂMICOS - INTRODUÇÃO

Muitos testes dinâmicos tem sido desenvolvidos para se medir as propriedades dinâmicas da borracha. Os testes são geralmente feitos com uma amostra específica e uma forma normalizada. Contudo, para uma melhor avaliação das propriedades dinâmicas deve ser utilizada a forma real que será usada.

Desenvolver-se-ã aqui apenas um sistema.

II - TESTE DINÂMICO COM BARRA RESSONANTE ("resonante beam dynamic tester")

O sistema consiste de uma barra pivotada, sobre uma articulação sem atrito e sustentada, a uma determinada distância da articulação, pelo isolador a ser testado. Um vibrador eletrodinâmico, ligado à outra extremidade da barra, fornece uma força de excitação senoidal de frequência conhecida. Todo esse sistema é conhecido como teste dinâmico com barra ressonante, e está mostrado esquematicamente na figura 65.

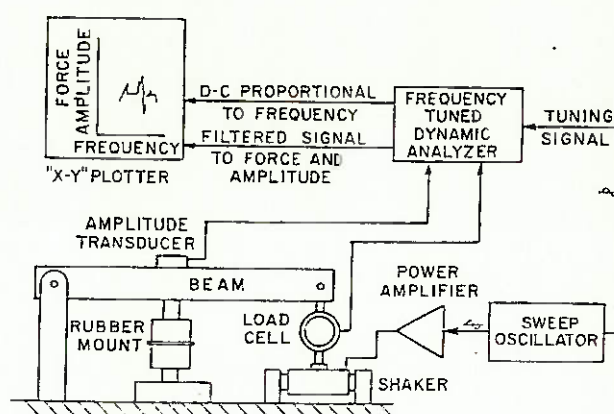


Figura 65 - Teste dinâmico com barra ressonante

Em operação, um outro oscilador é usado, em conjunto com o vibrador, para excitar a barra num intervalo finito de frequências.

Os limites do oscilador são ajustados de maneira que o intervalo contenha a frequência de ressonância. A força de entrada do vibrador é medida com um "load cell". A amplitude é medida usando-se um "velocity pickup".

Os sinais de amplitude e a força são transmitidas para um analisador de frequências. Os sinais filtrados no analisador são gravados num registrador x-y, onde a frequência de ressonância, a força de entrada e a amplitude podem ser lidas.

Neste ponto, a constante elástica do isolador pode ser calculada pela relação:

$$K = \frac{4 \pi^2 F^2 J}{R^2}$$

onde: K = constante elástica do isolador, lb/in;
 F = frequência de ressonância do sistema, cps;
 J = momento de inércia da barra pivotada, in-lb
 seg²;
 R = distância horizontal da articulação à linha
 de centro do isolador, in.

O coeficiente de amortecimento pode ser calculado por:

$$c = F/wx$$

onde: c = coeficiente de amortecimento, lb -seg/in;
 F = força de entrada sobre o isolador, lb;
 w = frequência natural circular, rad/seg;
 x = amplitude da vibração no isolador, in.

Assim, a barra ressonante oferece um procedimento simples para a determinação da constante elástica e do coeficiente de amortecimento.

III - TESTE PARA MEDIDA DO NÍVEL DE RUÍDO

O nível de ruído aceitável foi estabelecido, na fase de "Especificações Técnicas", num ponto situado 1,20 m acima do centro do banco do cobrador. Assim, no ensaio, de-se posicionar o microfone nesse ponto.

As medições devem ser realizadas numa câmara acústica ou câmara anecônica. Esta câmara tem por finalidade reproduzir condições tais que a reflexão do som é inexistente, equivalente a situação do campo livre de propagação do som (o campo livre, como o próprio termo sugere, reter-se a uma condição onde o som se propagaria como num campo aberto, sem superfícies refletoras interferindo em seu curso). Isto é conseguido através de um design geométrico da câmara apropriado, além do uso de materiais com superfícies altamente absorventes. Na prática, muitas vezes, a condição de campo livre se limita a uma região particular da câmara, onde medições levadas a termo neste ponto resultam numa apurada leitura da potência sonora irradiada e diretividade da fonte.

A câmara acústica deve dispor de rolos deslizantes em seu interior (figura 67), de tal forma que seja possível simular-se diferentes condições de carga.

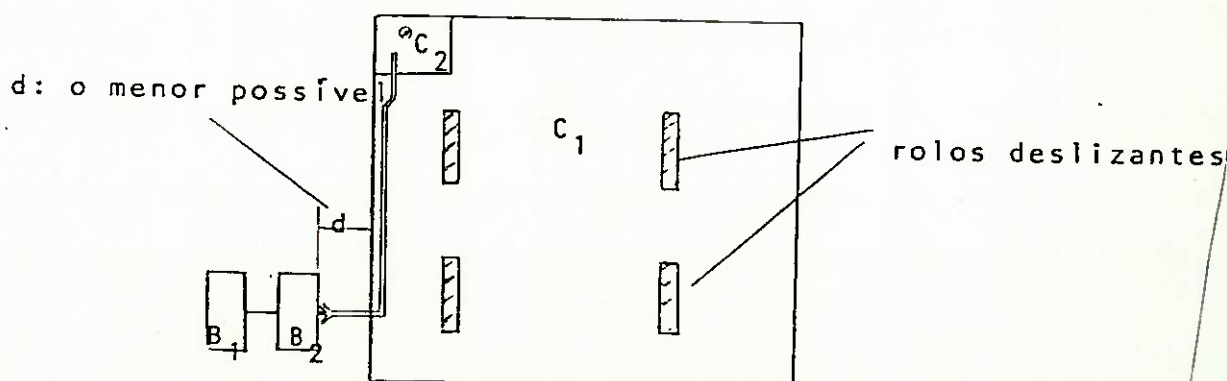


Figura 67 - Câmara anecônica (com rolos deslizantes)

Estes rolos permitem que um dos eixos seja travado (dianteiro ou traseiro), de acordo com o interesse e necessidade do teste. Deve-se ter ainda um sistema de sucção dos gases de escape, evitando que estes se concentrem no interior da câmara.

III.1 - PROCEDIMENTO PARA MEDIÇÃO E REGISTRO

Com uma rotação constante e posição de leitura definida, o ruído interno do veículo é captado por um microfone, transformando estes em impulsos elétricos que, por sua vez, são introduzidos diretamente num analisador.

Uma segunda possibilidade, que é utilizada principalmente em medições de ruído de estrada, consiste em gravar em fita magnética os ruídos obtidos durante os testes. Posteriormente, estes sinais seriam introduzidos no analisador.

O analisador desdobra os sinais em frequências seccionadas correspondentes ao espectro de terças. Os valores são armazenados e poderão ser reaproveitados para vários fins, posteriormente.

Analogamente, os sinais podem ser transmitidos para um registrador x-y, que registrará o espectro em terças. Os valores digitados são enviados ao computador que, com o auxílio de um programa, calcula o grau de intelegibilidade correspondente

Na figura 68 tem-se o arranjo para medição e análise do ruído em faixas de terças ou oitavas.

O pulso captado pelo microfone e transmitido a um amplificador de medidas que, por sua vez, envia a mensagem ao filtro seletor à frequências. A seguir a mensagem é registrada e plotada, se necessário.

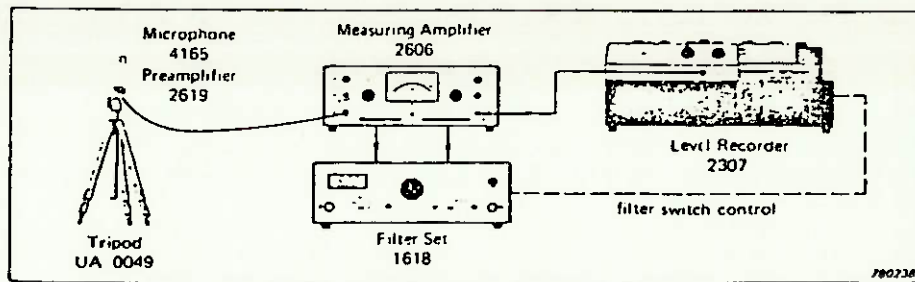


Figura 68 - Arranjo para medida e análise de ruído

PROJETO BÁSICO

8^a FASE: CONCLUSÃO

Após as etapas de "Estudo da Viabilidade" e "Projeto Básico" chegou-se aos seguintes resultados:

- . a forma do suporte elástico (isolador) com suas dimensões principais (1);
- . o material (tipo de borracha) do isolador: composto de borracha tipo S, classe SA;
- . o posicionamento dos isoladores na M.C.I. (figura 66)

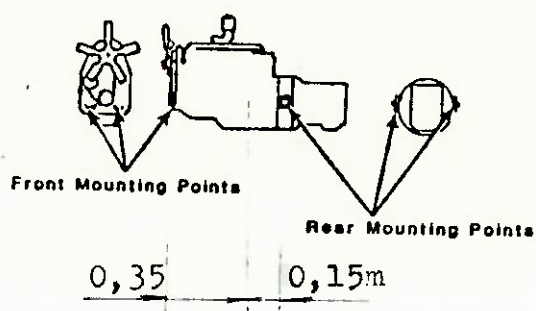


Figura 66 - Posicionamento dos isoladores

(1) ver Anexo M: Desenho do Isolador

C O N C L U S ã O

Num projeto como este, cujo objetivo é a redução do nível de ruído dos ônibus urbanos, é muito difícil de se avaliar, em termos teóricos, o nível de sucesso alcançado. Atuou-se sobre o isolamento das vibrações do motor, através da determinação dos suportes elásticos com as características dinâmicas corretas, corretamente posicionados. Outros fatores, todavia, contribuem para o nível de ruído dos ônibus urbanos.

A atuação sobre tais fatores não constituiu objetivo deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

I - LIVROS

- [1] "Shock And Vibration Handbook" (3 volumes)
Cyril M. Harris
Charles E. Crede
Mc Graw-Hill Book Company - 1961
- [2] "Handbook of Noise Control"
Cyril M. Harris
Mc Graw Hill Book Company - 1957
- [3] "Metodologia de Projeto de Produtos Industriais"
Nelson Back
Editora Guanabara Dois S/A - 1983
- [4] "Internal Combustion Engines"
L.C. Lichty
Mc Graw Hill Book Company - 1951 - 6^a edição
- [5] "Choque e Vibração nos Projetos de Engenharia"
Charles E. Crede
Ao Livro Técnico S.A. - 1972
- [6] "Manual de Acústica - BIDIM"
Rhodia S/A

II - ARTIGOS

- [7] "Bearing Vibration is major contributor to noise"
Revista Automotive Engineering
Vol. 89, nº 11 - novembro 81
- [8] "Diesel Noise Reduction : A Study"
Revista Automotive Engineering
Vol. 90, nº 6, junho 82
- [9] "A Guide to Selecting Powertrain Isolators"
Revista Automotive Engineering
Vol. 90, nº 11, novembro 82
- [10] "Power Train Engineering for Public Service Vehicles"
K.E. Lea PSV - C222/77
R.J. Varley
- [11] "Environmental Requirements for PSV Operation"
B.J. Cox PSV C 132/77

III - DIVERSOS

- [12] Apostila de "PMC 516 - Projeto Industrial"
Prof. Omar M. Madureira
- [13] Notas de aula do curso de "PMC 516 - Projeto Industrial"
Prof. Omar M. Madureira
- [14] "Estudo de Padronização dos Ônibus Urbanos -
Relatório final - 1983"
Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes - GEIPOT
- [15] "Projeto Básico do Sistema de Escapamento de Veículo com Motor de Combustão Interna"
TF. Nelson Waisbich - 1981
- [16] "Onibus e Troleibus Articulados"
Relatório PROMEC nº R-111-06/TR -1979

IV - NORMAS

- [17] ISO 2631 "Guide for evaluation of human exposure to whole body vibration"
- [18] UITP - Recommendations
"Recommendations for the standardisation of motobuses"
- [19] Resolução CONTRAN nº 448/71

ANEXO A - REQUISITOS PARA OS ÔNIBUS URBANOS

Apresentar-se-ão aqui, alguns requisitos básicos a serem atendidos pelos ônibus urbanos:

1- DIMENSÕES: (1)

- Comprimento máximo	12.000 mm
- Largura máxima	2.600 mm
- Altura máxima	3.300 mm
- Altura interna mínima	2.000 mm
- Largura do corredor mínima	650 mm
- Altura máxima do primeiro degrau	350 mm
- Altura máxima dos demais degraus	250 mm
- Profundidade mínima dos degraus	300 mm
- Altura máxima do piso em relação ao solo, na região das portas	800 mm
- Inclinação máxima ao longo do piso	3 %

(1) Requisitos estabelecidos na Ref [14]

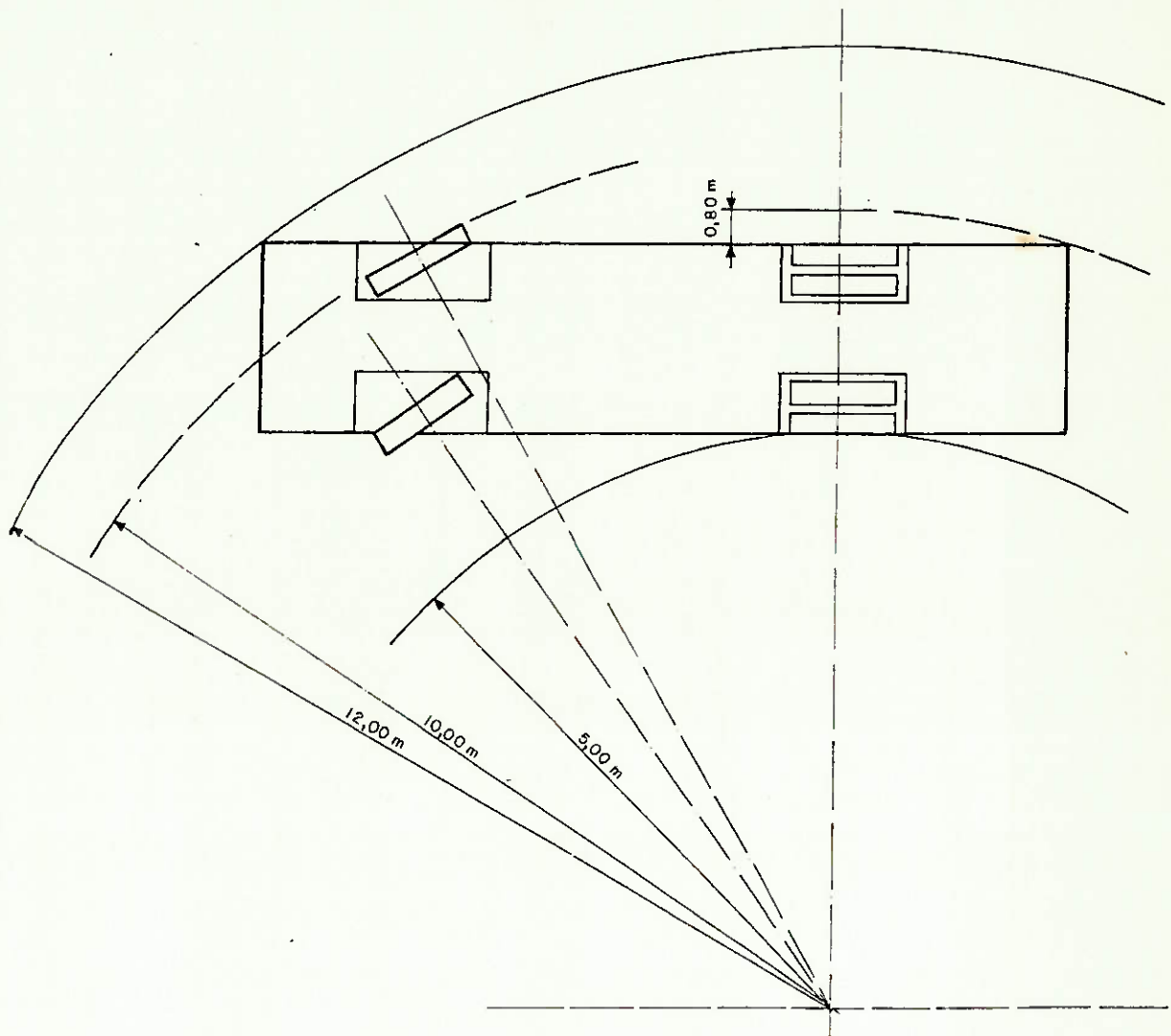
2- MANOBRABILIDADE:

Figura A.1

Para a manobra em curva de máximo "esterçamento", devem ser respeitados os seguintes valores:

- raio de giro externo máximo entre paredes: 12,00 m
- raio de giro interno máximo entre guias: 10,00 m
- raio de giro interno mínimo entre guias: 5,00 m
- avanço radial máximo de traseira: 0,80 m

3- CAPACIDADE DE PASSAGEIROS:

- Número mínimo de passageiros: 80
- Percentagem mínima de passageiros sentados em relação ao total: 30%
- Taxa nominal de ocupação: 5 pessoas/m²

4- CAPACIDADE DE CARGA:

As cargas máximas nos eixos estão definidas pela legislação em vigor:

- Eixo dianteiro 5.000 kgf
- Eixo traseiro 10.000 kgf
- Total 15.000 kgf

5- DESEMPENHO: (para o veículo com seu peso bruto total nominal)

5.1- Acelerações:

. Aceleração mínima em pavimento plano horizontal:

- de 0 a 40 km/h em 18 segundos;
- de 20 a 60 km/h em 35 segundos

. Aceleração mínima em aclive de 15%:

- partida em 0,2 m/s²

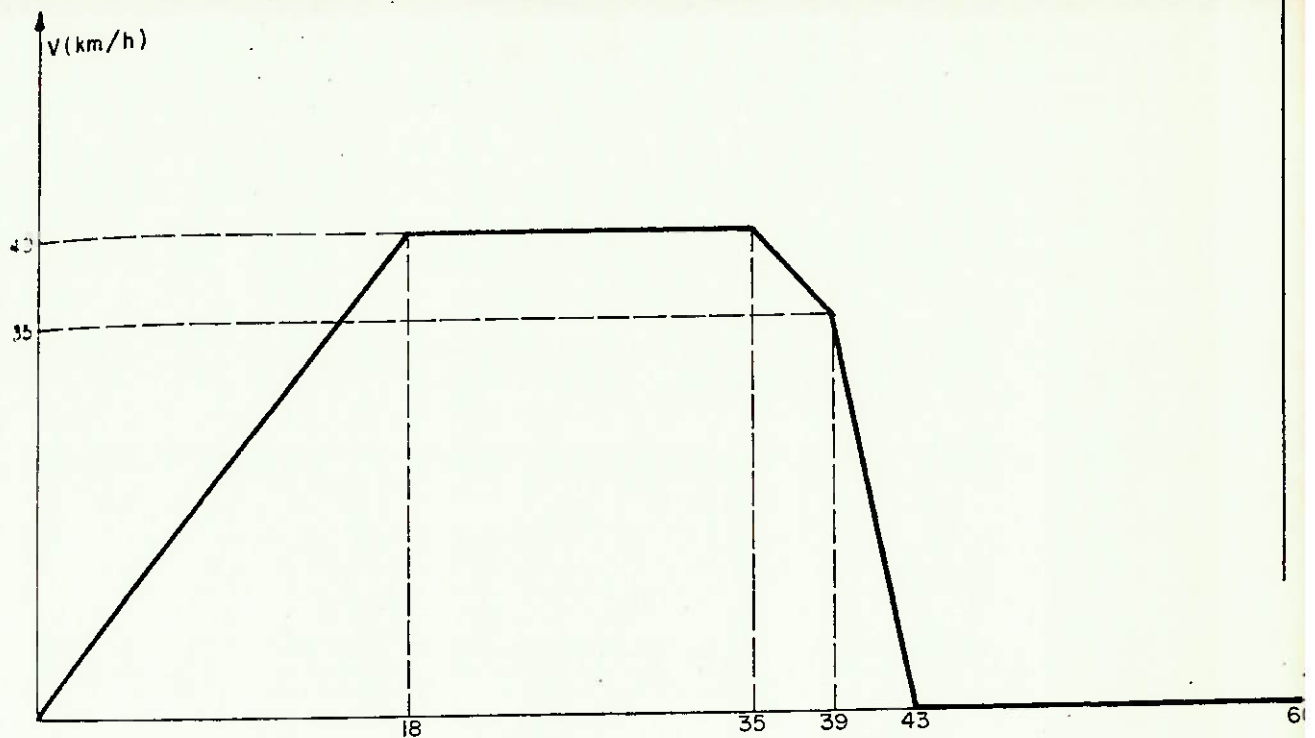


Figura A.2

5.2- Velocidades:

- Velocidade máxima em pavimento plano horizontal:
80 km/h
- Velocidade mínima em aclive de 6%: 35 km/h

6- EMISSÃO DE POLUENTES:

O nível máximo de fumaça dos gases de escape, medido conforme grau de enegrecimento BOSCH, deve ser:

- para altitudes até 500 m: 2
- para altitudes acima de 500 m: 3

7- NÍVEIS DE RUÍDO E VIBRAÇÃO: conforme estabelecido nas especificações técnicas.

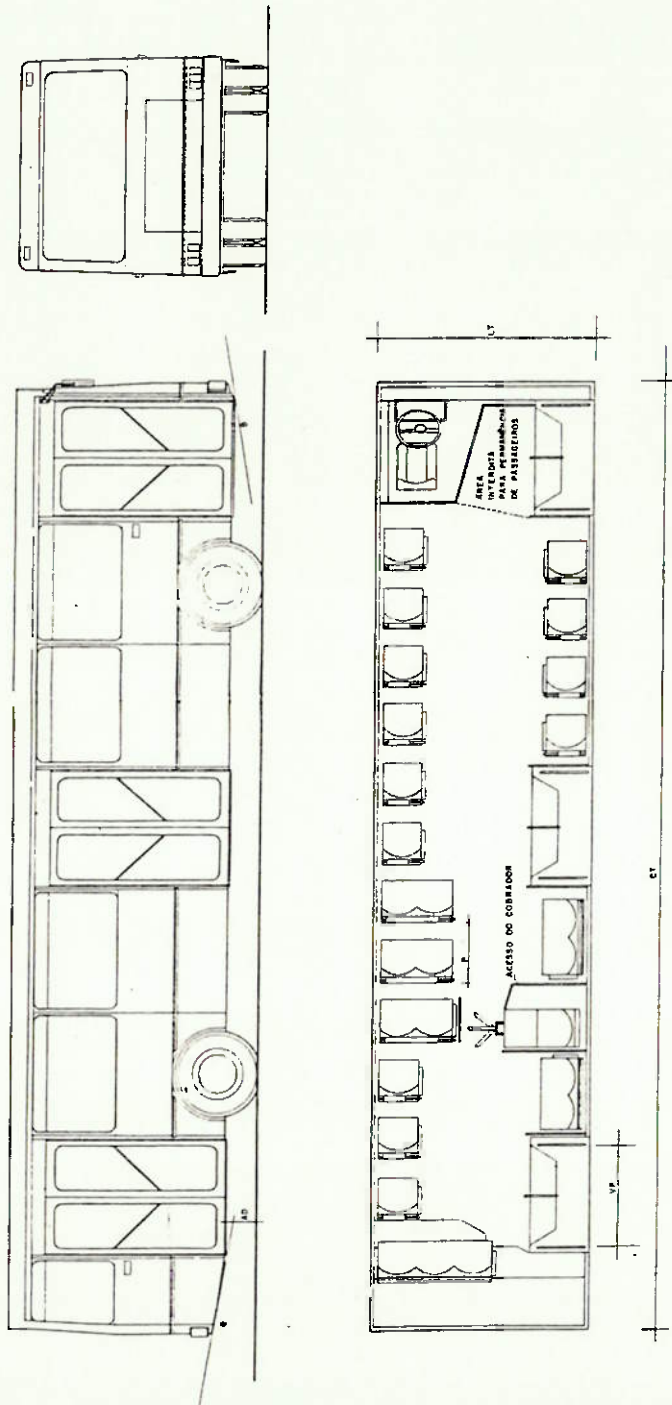
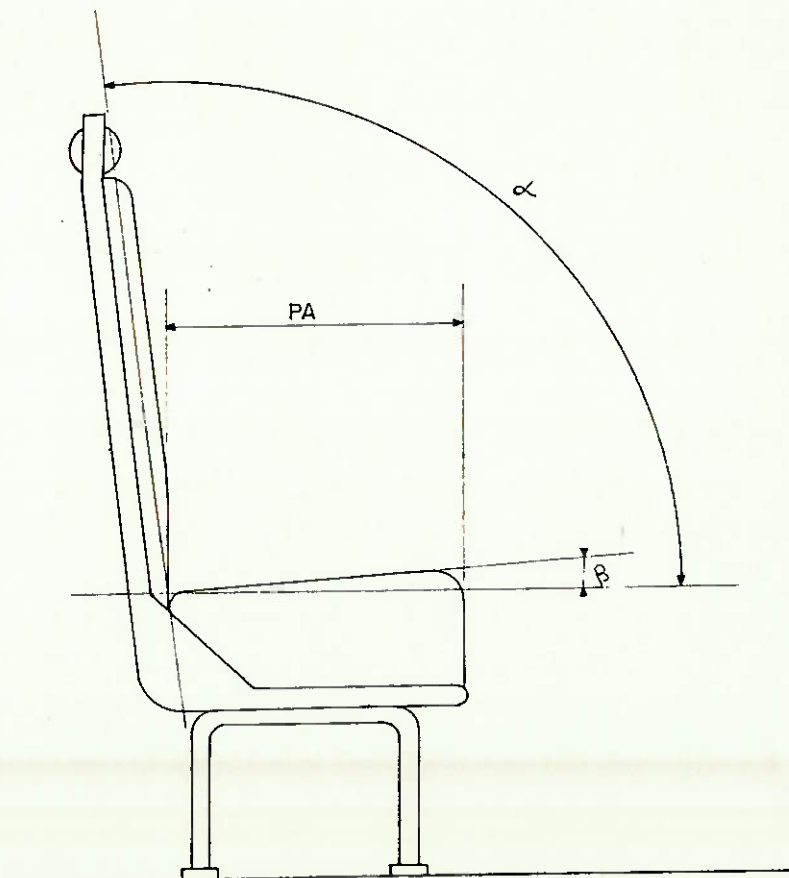
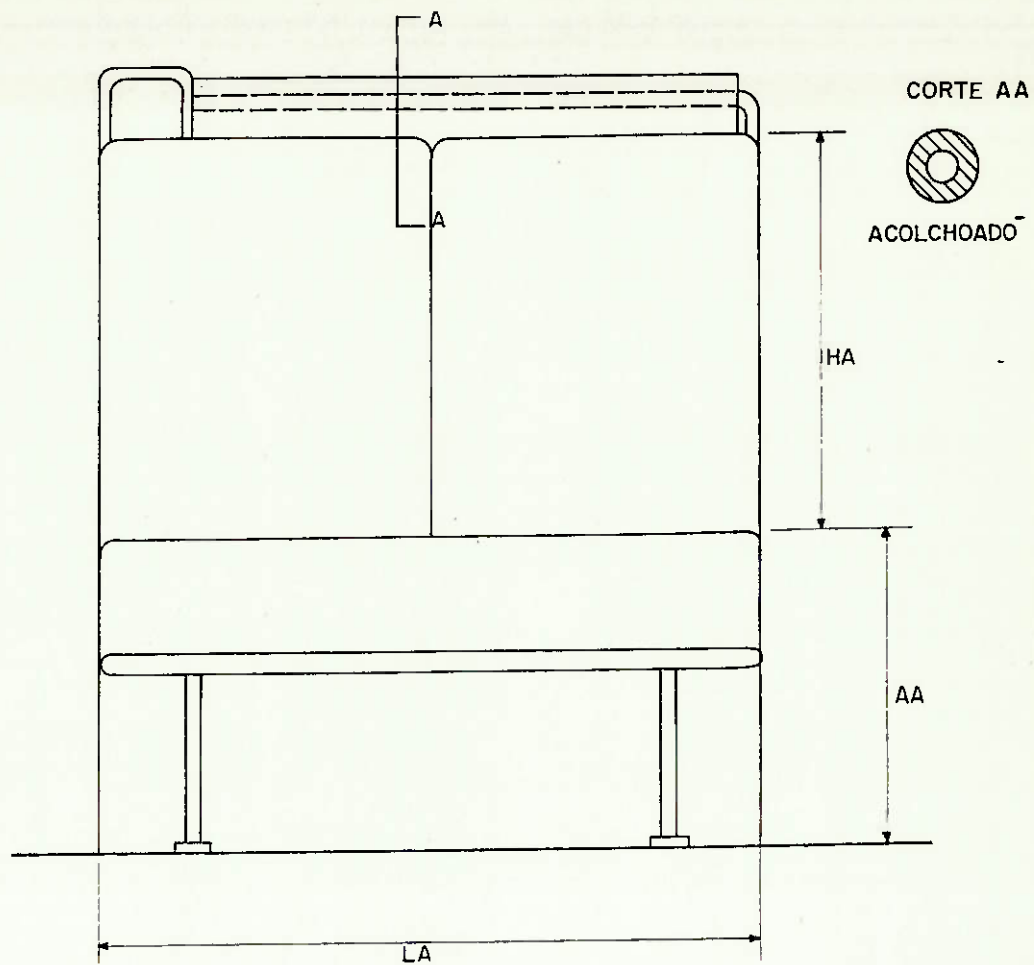
8- CARROÇARIA:8.1- Janelas:

Figura A.3

8.2- Assentos:



$LA \geq 860$
 $PA = 380 - 400$
 $HA \geq 500$
 $AA = 380 - 450$
 $B = 6^\circ \pm 1^\circ$
 $\alpha = 100^\circ - 105^\circ$

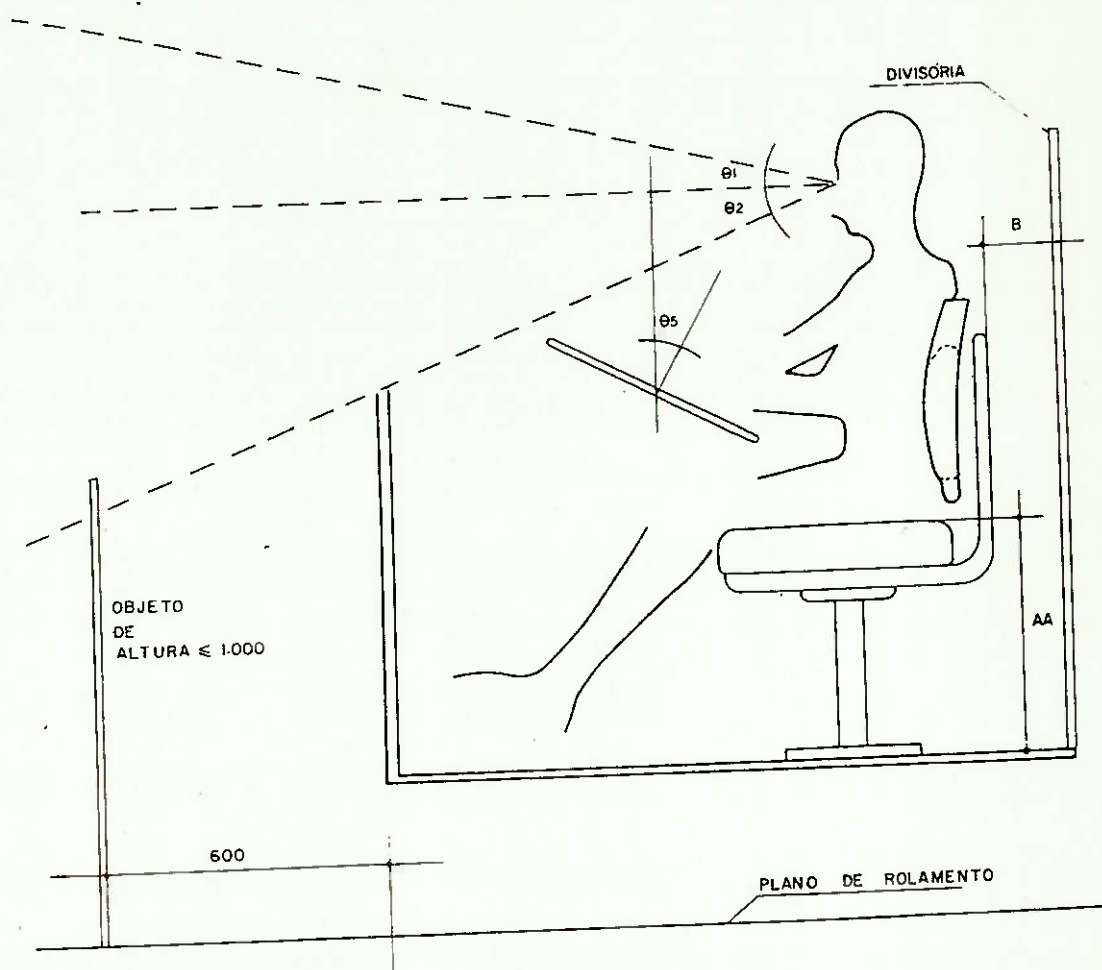
Dimensões em mm
 Desenho sem escala

Figura A.4

8.3- Deverão ser previstas ainda:

- . Balaústres horizontais, proximas ao teto e ao longo do corredor de circulação;
- . Balaústres verticais, junto aos bancos, de modo que o passageiro que caminhe pelo corredor sempre disponha de um apoio.

9- POSTO DE MOTORISTA:



$\theta_1 \approx 15^\circ$	AA = 400 a 530
$\theta_2 \approx 30^\circ$	PA = 450 a 500
$\theta_3 \approx 60^\circ$	LA = 450 a 500
$\theta_4 \approx 30^\circ$	B = 200 a 250
$\theta_5 = 12^\circ$ a 25°	

Dimensões em mm
Desenho sem escala

Figura A.5

10- ILUMINAÇÃO INTERNA:

O arranjo das luminárias deve oferecer uma iluminação uniforme, com um índice de luminosidade não inferior a 200 lux, a 1000 mm acima do nível do assoalho.

11- VENTILAÇÃO:

O ônibus deve dispor de um sistema de ventilação mecânica que assegure a renovação do ar de, pelo menos, 20 vezes por hora.

ANEXO B - INTRODUÇÃO À ACÚSTICA

1- INTRODUÇÃO

O som pode ser definido como qualquer vibração em um meio elástico (sólido, líquido ou gasoso) que possa ser detectada pelo ouvido humano, isto é, que esteja dentro da "faixa de audio" que vai de 20 Hz a 20.000 Hz.

O som é então gerado quando um meio elástico é dinamicamente perturbado. Tal perturbação afeta principalmente a pressão do meio e a velocidade de suas partículas.

Fisicamente ocorre o seguinte: a energia mecânica de vibração da superfície (1) transmite movimento às moléculas vizinhas que assimilam essa energia em forma de energia cinética. Contudo, devido ao fator elasticidade do ar, é criada uma força contrária ao movimento das moléculas.

Essa força faz com que as moléculas diminuam sua velocidade até pararem e iniciarem o movimento de volta em direção à posição de equilíbrio. No momento em que as moléculas estão paradas, sua energia cinética é nula, contudo estão com o máximo de energia potencial (um campo de forças agindo sobre uma massa). Podemos então distinguir duas situações: na primeira, as moléculas estão com um máximo de velocidade, criando-se uma região onde existem poucas moléculas, sendo por isso uma região de rarefação, gerando uma pressão na segunda, abaixo do nível da pressão atmosférica; as moléculas estão paradas iniciando seu movimento de volta, criando-se uma região de acúmulo de moléculas, gerando uma pressão acima do nível da pressão atmosférica.

Assim, no movimento do ar vamos encontrar, alternadamente, no espaço e no tempo, regiões de depressão e regiões de compressão, criando ondas de pressão alternadamente abaixo e acima da pressão ambiente. Essas ondas denominam-se ondas sonoras e caminham com a velocidade do som.

(1) Essa superfície pode ser a do motor, por exemplo.

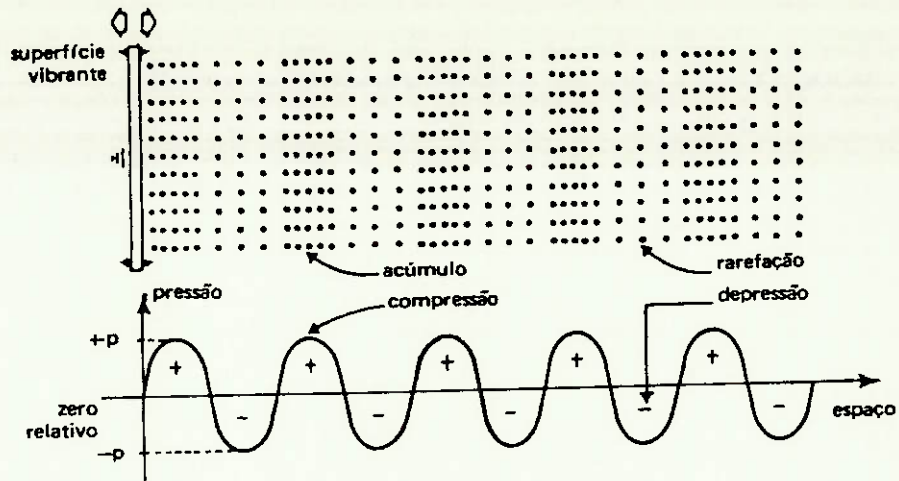


Fig. B.1 - A onda sonora

2- DEFINIÇÕES

- Velocidade do som: \bar{c} é a velocidade de propagação da perturbação e depende do meio elástico

É dada por:

$$c = K \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{onde: } K = \text{constantes}$$

$E =$ módulo de elasticidade do meio
 $\rho =$ densidade do meio

- Frequência (f): é o número de vezes por segundo que a onda de pressão oscila entre um valor positivo e outro negativo.
- Período (T): é o tempo necessário para um ciclo completo

$$T = \frac{1}{f}$$

- Comprimento de onda (λ): é a distância entre pontos análogos de duas ondas sucessivas.

Vale a relação: $\lambda = \frac{c}{f}$

3- O DECIBEL3.1- Definição

O decibel, décima parte do BEL, é uma unidade relativa que nos dá o nível de uma pressão sonora em relação a uma pressão sonora de referência.

Definiu-se o BEL como o logaritmo na base 10 da razão de duas potências acústicas e como isto resultava em valores elevados, adotou-se como unidade 1/10 do BEL, o decibel.

$$dB = 10 \log_{10} \frac{W_1}{W_2}, \text{ onde } W = \frac{p^2 A}{\rho \cdot c}$$

p = pressão acústica

A = área através da qual a energia acústica escoar

ρ = densidade do gás

c = velocidade do som

A tabela a seguir mostra alguns níveis em dB para ruídos característicos.

NÍVEL SUBJETIVO	DESCRIÇÃO	NÍVEL EM dB	INTENSIDADE RELATIVA	PRESSÃO RELATIVA	PRESSÃO ABSOLUTA
		$10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$ $20 \log_{10} \frac{P}{P_0}$	$\frac{I}{I_0}$	$\frac{P}{P_0}$	P (N/m ²)
ESTRONDOSO	Perigo de ruptura do tímpano Avião a jato a 1 metro Fogo de Artilharia	140	10^{14}	10.000.000	200
	Limar de dor Tambor de graves a 1 metro Avião a jato a 5 metros	130	10^{13}	3.162.278	63
MUITO BARULHENTO	Limar do desconforto auditivo Avião a pistão a 3 metros Broca pneumática	120	10^{12}	1.000.000	20
	Metro Próximo a um rebatedor	110	10^{11}	316.228	6,3
	Indústria barulhenta Dentro de um avião	100	10^{10}	100.000	2
BARULHENTO	Banda ou orquestra sinfônica Rua barulhenta OBS. Ambientes com níveis de ruído superior a 85 dB são considerados INSALUBRES.	90	10^9	31.623	0,63
	Dentro de um automóvel a alta velocidade Escritório barulhento Aspirador de pó	80	10^8	10.000	0,2
MODERADO	Rua de barulho médio Pessoa falando a 1 metro	70	10^7	3.162	0,063
	Escritório de barulho médio Rádio com volume médio	60	10^6	1.000	0,02
TRANQUILO	Restaurante tranquilo Escritório aberto (com tratamento acústico).	50	10^5	316	0,006
	Sala de aula (ideal) Escritório privado (ideal)	40	10^4	100	0,002

Tabela B.1- Níveis em dB

3.2- Operações com decibéis

O decibel, por não ser uma unidade linear, não admite os conceitos comuns de soma e subtração. Na prática, utiliza-se o gráfico abaixo. Vamos demonstrar sua utilização através de um exemplo.

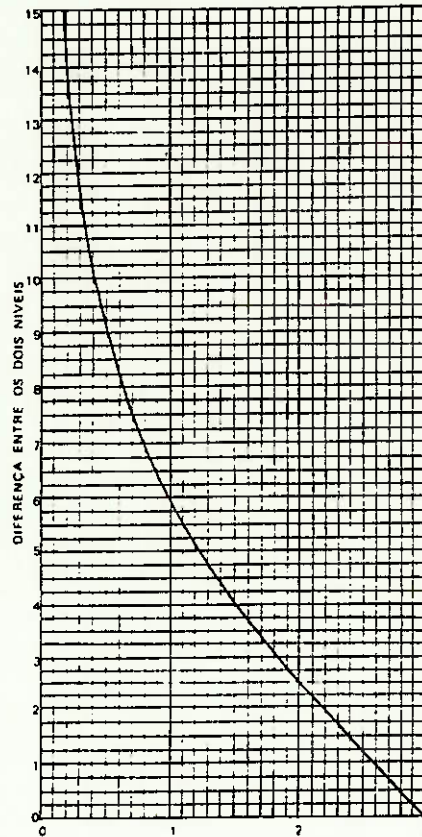
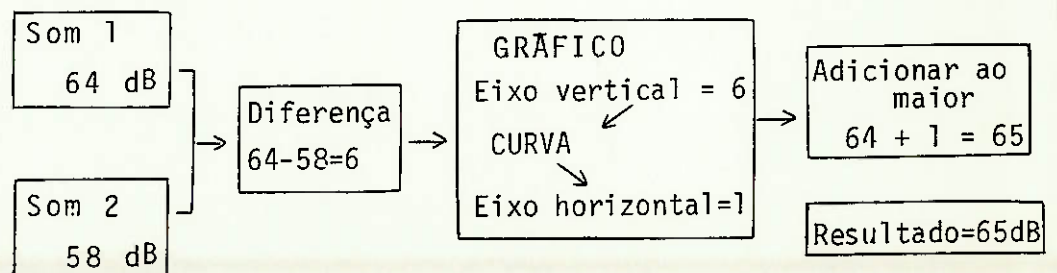


Fig. .B.2- Operação com dB

Suponhamos que temos um som de 64 dB e a ele superpomos outro som de 58 dB. O resultado será 65 dB e o método é o seguinte:



ANEXO C - GRAU DE INTELEGIBILIDADE

--

Nota: Este anexo foi extraído da Ref. [15], a qual publica parte da conferência proferida pelo engenheiro B. Witzgall em Colônia, Alemanha (s/referência de data).

GRAU DE INTELIGIBILIDADE COMO UMA MEDIDA OBJETIVA PARA AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO EM VEÍCULOS

1. INTRODUÇÃO

Em medida crescente o ser humano está sujeito a perturbações do meio ambiente que influenciam o seu bem estar e reduzem o seu poder de concentração.

Principalmente o ruído representa em certos casos hoje em dia, uma carga insuportável para o ser humano, e todos nós sabemos, que justamente os veículos automotivos contribuem consideravelmente para esta perturbação sonora. Além da forte emissão de ruído dos veículos automotivos ao meio ambiente os ocupantes do veículo estão sujeitos às vezes a outros ruídos consideráveis (Ruído da voz) ou fala.

Como dirigir um veículo requer um alto grau de concentração - devido ao crescente aumento de veículos no trânsito - um baixo nível de ruído no compartimento interno do veículo é um fator importante não só quanto a conforto mas também quanto à segurança.

A melhoria do conforto acústico nos veículos automotivos contribui portanto consideravelmente para a proteção do meio ambiente e na segurança do trânsito.

Porém para alcançar este objetivo é necessário estabelecer exatas regras fundamentais de avaliação e aplicar métodos de medições objetivas. Isto tem três vantagens:

- 1) Os resultados de medições são reproduzíveis;
- 2) Os resultados de medições independem da sensibilidade subjetiva de vários avaliadores;
- 3) A sensibilidade dos métodos é consideravelmente maior do que a dos métodos subjetivos.

É no entanto primordial que quando métodos objetivos são utilizados a relação entre os resultados das medições objetivas e a sensibilidade subjetiva seja bem conhecida, para que os resultados possam ser corretamente interpretados.

2. AVALIAÇÕES DE RUÍDO E MEDIÇÕES NO VEÍCULO

Na indústria automobilística é comum se efetuar avaliações e medições de ruído simultaneamente, para se obter o máximo de informações.

Além disto existem alguns ruídos que não são perceptíveis pelos métodos objetivos atualmente existentes.

Entretanto, para ruídos normais do veículo a relação entre os resultados das medições e avaliações subjetivas é conhecida.

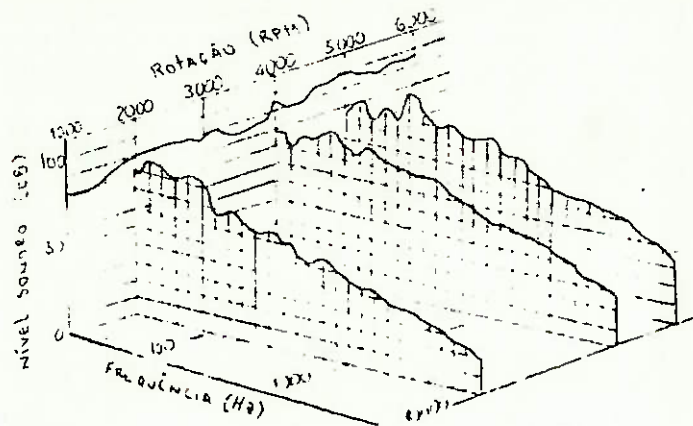


Figura C.1

O gráfico (figura C.1) mostra a dependência no nível de ruído da rotação e da distribuição de frequência em 3 pontos de rotações escolhidos, aqui no caso a 2.000, 4.000 e 5.000 rpm.

Esta "Serra de Ruído" vale para uma certa marcha (Cambio) e para uma certa posição de medição no interior do veículo.

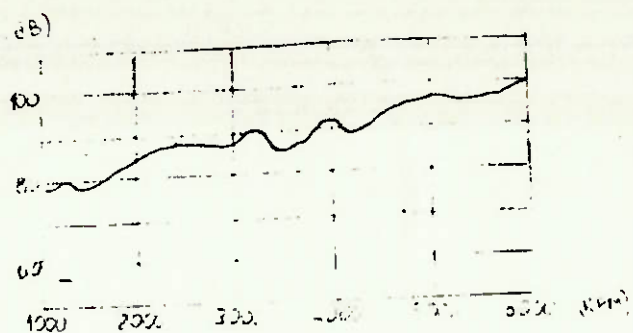


Figura C.2

Como veremos posteriormente, é adequado para certos casos usar o "Grau de Inteligibilidade" em função da rotação no lugar do "Diagrama do Nível de Ruído". (figura C.2 e C.3)

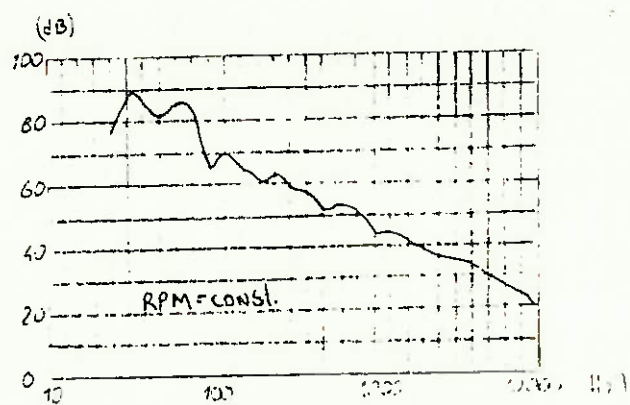


Figura C.3

3. O OUVIDO HUMANO E A VOZ

Perguntamo-nos quais as possibilidades que existem para descrever o conforto acústico em veículos.

Para isto quero descrever em poucas palavras a influência do ruído no ser humano.

O ouvido humano percebe ecos sonoros através de mudanças de pressão do ar. Estas mudanças de pressão ocorrem com intensidade e frequências variáveis fisicamente sem limites.

A captação e percepção dos acontecimentos é no entanto limitado.

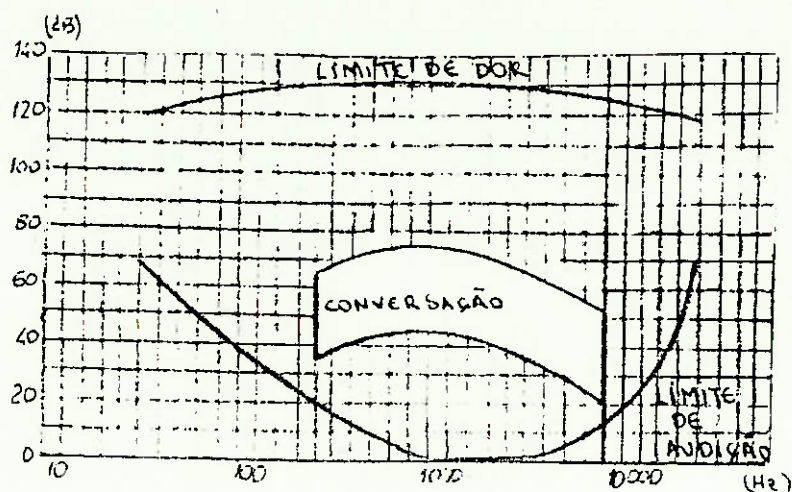


Figura C.4

O menor nível do ruído perceptível ao ouvido humano numa região com nível de ruído extremamente baixo é denominada de "Limite de Audição". (Figura C.4) Aumentando progressivamente o nível de ruído, vamos alcançar uma condição em que se torna insuportável ao ser humano; esta condição denominada "Limite de Dor" (Figura C.4).

O "Limite de Audição" geralmente é ultrapassado e o "Limite de Dor" normalmente não é alcançado.

Mais interessante e importante entretanto para nós é o alcance da voz humana.

Na figura C.4 a área representa uma conversa em tonalidade normal.

Nas figuras seguintes estão representados vários aspectos de ruído interno do veículo em relação à faixa da voz humana encontrados na maioria dos veículos em uso.

Na figura C.5 a faixa representada é para uma velocidade de 60 km/h.

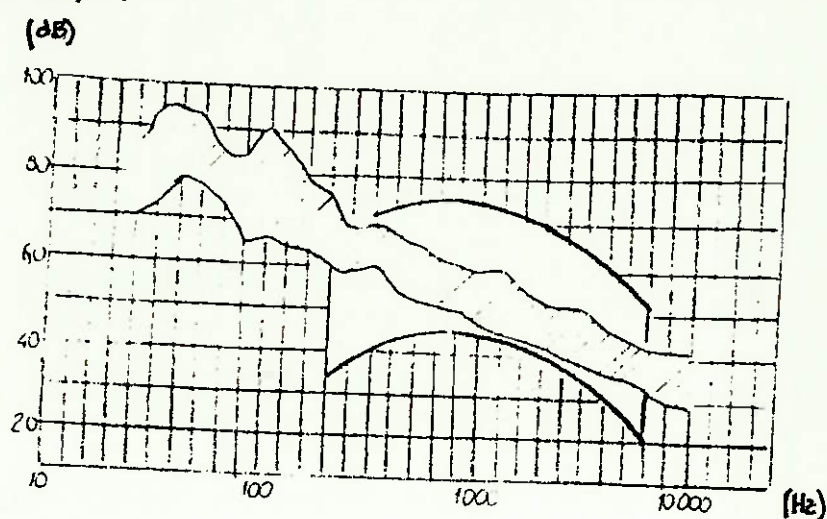


Figura C.5

A linha limite superior representa um veículo com nível de ruído inaceitável e a linha inferior um veículo com conforto acústico aceitável.

Na figura C.6 abaixo representa um veículo à velocidade de 120 km/h.

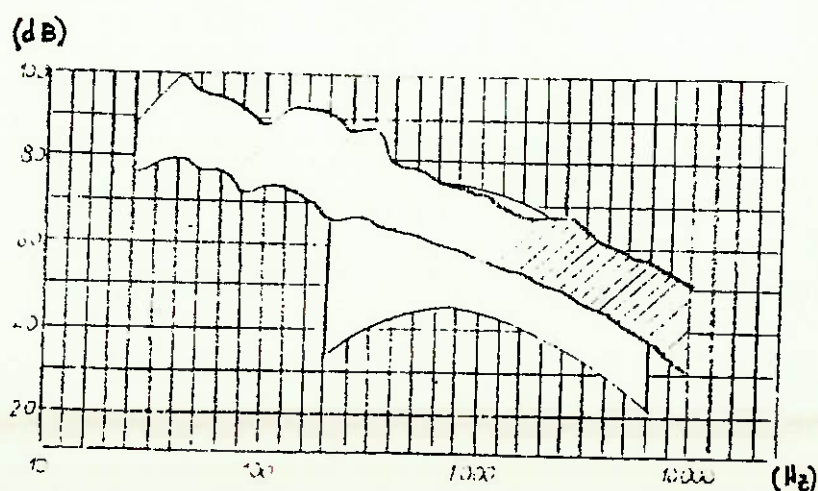


Figura C.6

Pelas figuras C.5 e C.6 é mostrado que tanto um veículo com nível de ruído aceitável a 60 km/h como um de nível inaceitável a 120 km/h cruzam a área da "voz humana", isto significa que uma conversa normal é fortemente perturbada.

4. DEFINIÇÃO DO "GRAU DE INTELIGIBILIDADE"

A comparação do aspecto perturbador (ruído interno do veículo) em relação à "área de alcance da voz humana" oferece a nós uma medida para a determinação do conforto acústico. (figura C.7)

Define-se na figura C.7 o "Grau de inteligibilidade" entre 0% e 100%.

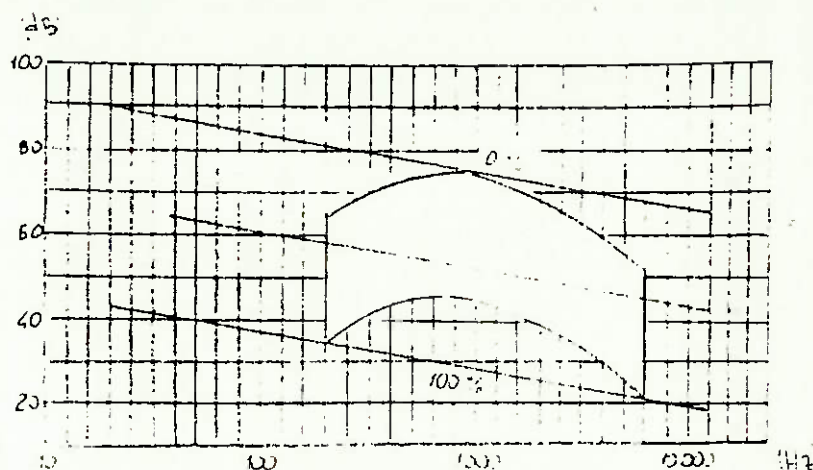


Figura C.7

isto é:

- a) Num aspecto perturbador localizado abaixo da área de "alcance da voz humana" uma conversa não é perturbada. O "Grau de inteligibilidade" corresponde a 100%.
- b) No caso do espectro perturbador se localizar no limite superior da área da voz humana uma conversa natural não é possível. O "Grau de Inteligibilidade" é igual a 0%.

c) Quando um "espectro perturbador" corta a área da voz humana ao meio o "Grau de Inteligibilidade" está entre 0% e 100%.

O cálculo do "Grau de Inteligibilidade" se baseia nos trabalhos realizados por Beranek e foi usado adiante com espectro em terças.

O "Grau de Inteligibilidade" é denominado também de "Inteligibilidade de sílabas" e definido da seguinte maneira:

Indica quantos porcentos de sílabas faladas ao acaso em grupos de avaliadores representativos iriam compreender.

A figura C.8 representa o processo de cálculo.

f	%	f	%
200	1	1250	8.5
250	2	1600	11.5
315	3.25	2000	11
400	4.25	2500	9.5
500	4.5	3150	9
630	5.25	4000	7.75
800	6.5	5000	6.25
1000	7.25	6300	2.5

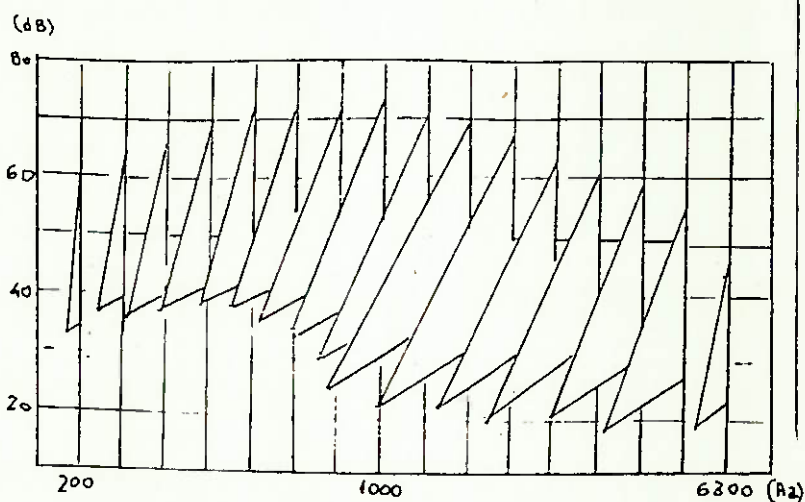


Figura C.8

Para cada frequência média, das 16 bandas de terças de 200 - 6.300 Hz, é determinada em comparação com o valor correspondente do "espectro perturbador", a contribuição no "Grau de Inteligibilidade".

As contribuições por banda de terças estão localizadas na linha limite superior da curva 0% e produzem linermente até a linha limite inferior até os valores indicados na figura C.8 (por exemplo 7,25% a 1.000 Hz). Na soma das 16 contribuições resulta o procurado "Grau de Inteligibilidade".

As parcelas máximas variam de grandeza, conforme a distribuição de frequência da voz (fala).

A parcela máxima de contribuição da banda de terças de 200 até 500 Hz (6 terças = 2 oitavas) é relativamente pequena, apenas 15%. A contribuição principal de 1250 Hz a 4.000 Hz (igualmente 6 terças ou 2 oitavas) representa 57,25% isto é mais do que a metade.

ANEXO D - RESOLUÇÃO CONTRAN Nº 448/71

RESOLUÇÃO N.º 448/71 – CONTRAN

Dispõe sobre os níveis máximos permissíveis de sons e ruídos produziões por veículos em todo o território nacional.

O CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO, usando das atribuições que lhe confere o artigo 5.º, item XL, do Código Nacional de Trânsito,

Considerando o crescente índice de infrações às determinações do Código Nacional de Trânsito, que proíbem o uso indevido de buzina (art. 89, item XXV), de aparelhamentos de alarme ou que produzam sons ou ruídos que perturbem o sossego público (art. 89, item XXVI), de descarga livre, bem como de silenciadores de explosão de motor insuficientes ou defeituosos (art. 89, item XXVII);

Considerando que as autoridades executivas da fiscalização do trânsito carecem da fixação de um padrão objetivo de julgamento para os efeitos de aplicação das penalidades de que trata o artigo 89, itens XXV, XXVI e XXVII, do Código Nacional de Trânsito;

Considerando que a infringência voluntária e reiterada àquelas proibições legais, prejudicando diretamente a disciplina e segurança do trânsito, justifica imediata e enérgica repressão pela autoridade normativa e executiva da administração do trânsito;

Considerando ser inquestionável que os danos orgânicos e psíquicos resultantes do uso ilegal de buzinas, de silenciadores, de motores de explosão defeituosos ou insuficientes e de aparelhos ou processos destinados a aumentar o ruído expelido pelas tubulações dos canos de escapamento dos veículos automotores, são atentatórios à disciplina e à segurança de veículos e de pedestres;

Considerando a existência da recomendação internacional da ISO (International Organization For Standardization) R 362, de cujos trabalhos o Brasil participou;

Considerando o que foi deliberado pelo Plenário do CONTRAN nas suas reuniões de 21.1.71 e 28.9.71, conforme consta do Processo 422/67 e seus apensos.

RESOLVE:

Art. 1.º -- São os seguintes os índices máximos permissíveis para os ruídos produzidos por veículos:

- I – Veículos de passageiros e de uso misto (exceto ônibus), motonetas, motocicletas e bicicletas com motor auxiliar ... 84 decibels -db (A).
- II – Veículos de carga, ônibus, máquinas de tração agrícolas, máquinas industriais de trabalhos e demais veículos:
 - a) até 185cv ... 89 decibéis - db (A)
 - b) acima de 185cv ... 92 decibéis - db (A)

Art. 2.º – Para os sons de buzinas e equipamentos similares produzidos por veículos nas vias urbanas, o índice máximo permissível será de 104 decibés.

Art. 3.º – Não estão sujeitos aos limites a que se referem os artigos anteriores os carros de corrida, e somente nos locais de treinamentos e competições, devidamente estabelecidos e permitidos pelas autoridades de trânsito competentes, e em horário previamente fixado.

Art. 4.º – Para a medição dos ruídos produzidos por veículos, serão adotadas as instruções que acompanha a presente Resolução, como seu anexo único.

Art. 5.º – Os resultados da medição deverão ser fixados pela média aritmética dos valores das medições individuais e deverão ser arredondadas para unidade db (A) inteira.

§ 1.º – Em virtude de imprecisão das leituras e das características dos aparelhos de medição, assim como devido à influência externa na execução das medições, deverá ser considerado permissíveis um afastamento superior até 2 db (A).

§ 2.º – Os veículos para medição deverão ser apresentados sem carga, somente com o motorista.

Art. 6.º – O método de medição para buzinas e equipamentos similares deverá ser concordante com o apresentado na Recomendação ISO R 362 – Acústica (A1, medição com o veículo parado), na posição 4 da figura 2, constante do anexo a que se refere o artigo 4.º.

Art. 7.º – A partir da data de vigência da presente Resolução, nenhum veículo podera trafegar produzindo sons ou ruídos cujos índices máximos ultrapassem os valores na mesma especificados.

Art. 8.º – Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Brasília, 14 de outubro de 1971.

RESOLUÇÃO N.º 448/71 – ANEXO

Medição do ruído produzido por veículos

1. FINALIDADE

A presente Recomendação ISO descreve os métodos de determinação do ruído produzido pelos veículos automotores, métodos esses destinados a atender as condições de simplicidade requeridas, conquanto compatíveis com a reprodutibilidade dos resultados e funcionamento efetivo do veículo.

2. PRESCRIÇÕES GERAIS

2.1 Condições do teste

A presente recomendação ISO baseia-se, principalmente, em prova realizada com veículo em movimento, que é o teste de referência ISO. Admite-se, geralmente, ser primordial que as medições correspondam a condições normais de tráfego na cidade, estando, pois, incluído o ruído proveniente da transmissão, etc. As medições deverão, igualmente, levar em conta as condições do veículo, que produzem o mais alto nível de ruído compatível com uma direção normal que acarretam uma produção de ruído contínuo. Consequentemente, prescreve um teste a pleno gás, a partir de um regime determinado.

No entanto, tendo em vista que já existem outros procedimentos, fornecemos, em anexo, as especificações de dois métodos de uso:

- a) teste com veículo parado (ver anexo A1) e
- b) teste com veículo em movimento, com condições de funcionamento do veículo diferentes (no caso de certos veículos) daquelas do teste de referência ISO (ver anexo A2).

Quando se recorre a um ou outro destes testes, deve se estabelecer, em protótipos do referido modelo, a relação entre os resultados fornecidos pela prova de referência ISO.

2.2 Campo de prova

Os métodos de teste prescrito requerem um ambiente acústico que só poderá ser obtido em um extenso espaço descoberto. Tais requisitos podem, geralmente, ser preenchidos quando se trata de medições efetuadas:

- Seja com vista a aprovação do tipo do veículo,
- Seja no decorrer da fabricação,
- Seja nos postos oficiais de testes.

É desejável que o controle de veículos em estrada, tomados ao acaso, seja efetuado em ambiente acústico análogo. Quando houver necessidade de reavaliar medições na estrada, num ambiente acústico que não atenda às condições indicadas na presente recomendação ISO, será preciso levar em consideração o fato de que os resultados obtidos poderão ser sensivelmente diferentes dos resultados obtidos quando respeitadas as condições prescritas.

2.3 Interpretação dos resultados

Os resultados obtidos pelos métodos especificados fornecem uma média objetiva do ruído emitido nas condições de teste prescritas. Entretanto, desde que a avaliação subjetiva do incômodo ou ruído provocados pelas diferentes categorias de veículos automotores não é simplesmente função das indicações de um sonômetro, admite-se que uma interpretação correta dos resultados das medições que constituem a presente Recomendação ISO, pode requerer a determinação de limites diferentes para a perturbação, correspondente às diferentes categorias de veículos.

3. APARELHAGEM DE MEDIÇÃO

O sonômetro utilizado deve ser de alta qualidade.

Deve-se utilizar a rede de ponderação e a constante de tempo do aparelho que sejam mais conformes à curva A e à "pronta resposta", respectivamente, conforme as especificações da Recomendação n.º 125, da Comissão Eletrotécnica Internacional, relativa aos sonômetros. Uma descrição técnica promenorizada do aparelho utilizado deverá ser fornecida.

NOTAS

1 - O nível sonoro medido com um sonômetro, que tenha o microfone próximo à caixa do aparelho, é suscetível de sofrer a influência, tanto da orientação do aparelho em relação à fonte sonora, quanto da posição do observador que efetue a medição. Deve-se, conseqüentemente, obedecer cuidadosamente às indicações fornecidas pelo fabricante, quanto à orientação do sonômetro em relação à fonte sonora e ao observador.

2 - No caso da utilização, para o microfone, de um dispositivo de proteção contra o vento, é preciso levar em conta o fato de que esse dispositivo é suscetível de influenciar a sensibilidade do sonômetro.

3 - A fim de garantir a precisão das medições, recomenda-se, antes de cada série de medições, verificar a amplificação do sonômetro, com o auxílio de uma fonte sonora padrão, a ajustá-la, se necessário.

4 - Recomenda-se proceder, periodicamente, a aferição do sonômetro e da fonte sonora padrão, num laboratório, que disponha de aparelhagem necessária para a aferição em campo aberto. Qualquer excesso, que seria, evidentemente, incompatível com o nível geral do som medido, deverá ser desprezado.

4. AMBIENTE ACÚSTICO

O local de provas deve ter condições que assegurem a divergência hemisférica de mais ou menos 1dB, aproximadamente.

NOTA: Um local adequado, que poderia ser considerado ideal para as medições, seria aquele constituído por uma área impedida, com um raio de aproximadamente 50m e cujos 20 metros da parte central, por exemplo, fossem de concreto, asfalto ou outro material duro equivalente.

Na prática, o afastamento das condições ditas "ideais", resulta quatro causas principais:

- a) absorção do som pela superfície do terreno;
- b) reflexo devido a objetos, tais como edifícios e árvores ou pessoas;
- c) terreno que não é horizontal ou cujo declive não é regular em sua superfície suficientemente extensa;
- d) vento.

Não é possível determinar com exatidão o efeito produzido por cada uma dessas influências. Considera-se importante, entretanto, que a superfície do terreno esteja isenta de neve fofa, muito alto, terra solta ou cinzas.

A fim de reduzir o efeito dos reflexos, é igualmente recomendado que no local onde se encontra o veículo testado, a soma dos ângulos formados pelos edifícios circunvizinhos situados num raio de 50m, não ultrapasse 90°, e que não haja nenhum obstáculo importante num raio de 25m do veículo.

As concentrações sonoras e os terrenos situados entre muros paralelos devem ser evitados.

NOTA: É preciso estar atento para que os resultados das medições não sejam falseados pelas rajadas de vento.

Também é preciso levar em conta o fato de que a presença de espectadores pode influir sensivelmente nos registros do aparelho, caso esses espectadores se encontrarem nas proximidades do veículo ou do microfone. Portanto, ninguém, a não ser o observador encarregado da leitura do aparelho deverá permanecer nas proximidades do veículo ou do microfone.

5. MEDIÇÕES DOS VEÍCULOS EM MOVIMENTO

5.1. Campo de provas

O campo de provas deve ser sensivelmente horizontal e as condições de sua superfície não devem provocar um ruído excessivo dos pneus.

5.2. Posições de medição

A distância das posições de medição na linha de referência CC (figura 1), sobre a pista, será igual a 7,5m. O eixo do veículo deve seguir a linha CC o mais perto possível.

O microfone deve ser colocado a uma altura de 1,2m acima do solo.

5.3. Número de medições

Pelo menos duas medições serão efetuadas de cada lado do veículo, quando de sua passagem diante das posições de registro.

NOTA: Recomenda-se proceder preliminares, com vista a eventuais ajustamentos. Estas medições preliminares não devem ser incorporadas ao resultado definitivo.

5.4. Modo de Operação

5.4.1. Condições Gerais

O veículo aproxima-se da linha AA nas condições apropriadas a seguir fixadas:

Quando a parte dianteira do veículo chega, em relação ao microfone, à posição indicada por AA na figura 1 (anterior), acelera-se tão rapidamente quanto possível e mantém-se tal aceleração até que a parte traseira do veículo atinja a posição BB da figura 1. Corta-se então a aceleração, tão rapidamente quanto possível.

Os reboques, incluindo a parte rebocada dos semi-reboques, não devem ser tomadas em consideração, no que se refere à travessia da linha BB.

NOTA: Se o veículo incluir equipamentos especiais (como betoneiras, compressores, bombas, etc.) utilizados quando o veículo se acha em serviço normal, na via pública, esse equipamento deverá também funcionar durante o teste.

5.4.2. Condições Especiais

5.4.2.1. Veículos sem caixa de mudança:

O veículo deve aproximar-se da linha AA a uma velocidade uniforme correspondente:

- a uma velocidade de rotação do motor igual a três quartos daquela em que o motor desenvolve sua potência máxima;
- ou a três quartos da velocidade de rotação máxima do motor permitida pelo regulador;
- ou a 50km/h, escolhendo-se a velocidade mais baixa.

5.4.2.2. Veículo com caixa de mudança de comando manual:

Se o veículo for provido de uma caixa de mudança de 2, 3 ou 4 marchas, empregar-se-á a segunda. Se a caixa tiver mais de 4 marchas, utilizar-se-á a terceira. Não se devem engrenar marchas elevadas ("overdrive"). Se o veículo for provido de dupla desmultiplicação de diferencial, a relação escolhida será a correspondente à velocidade mais elevada do veículo.

O veículo deve aproximar-se da linha AA a uma velocidade uniforme correspondente:

- seja à uma velocidade de rotação do motor igual a três quartos daquela em que o motor desenvolve potência máxima;
- seja a três quartos da velocidade de rotação máxima do motor permitido pelo regulador
- seja a 50km/h, escolhendo-se a marcha mais lenta.

5.4.2.3. Veículo com caixa de mudança automática

O veículo deve aproximar-se da linha AA em velocidade uniforme igual a três quartos da velocidade da máxima, escolhendo-se a mais baixa dessas marchas.

Quando se dispõe de outras marchas à frente, deve-se escolher a que produz a aceleração média mais elevada do veículo entre as linhas AA e BB.

Não se deve utilizar a posição do seletor, que só é empregado para a frenagem, alinhagem ou outras manobras similares.

5.4.2.4. Tratores agrícolas, máquinas agrícolas automotoras e motocoltores.

O veículo deve aproximar-se da linha AA em velocidade uniforme igual a três quartos da velocidade máxima obtida na marcha mais elevada utilizada para o deslocamento na estrada.

5.5. Apresentação dos Resultados

Todos os registros obtidos pelo sonômetro devem ser indicados no relatório. Indicar-se-á também, eventualmente, o modo de avaliação da potência do motor. O estado de carregamento do veículo também deve ser indicado no relatório.

ANEXOS

A1. MEDIÇÕES DE VEÍCULOS PARADOS

A1.1. As medições são realizadas ao longo de cada uma das quatro direções principais, a uma distância de 7,0m da superfície mais próxima apresentada pelo veículo. As posições efetivamente utilizadas para as medições acham-se indicadas na figura 2 (motocicleta com ou sem side-car e automóvel com ou sem reboque). Se houver necessidade de realizar medições em posições suplementares, além das quatro posições de medição indicadas na Fig. 2, devem as mesmas ser feitas em posições escolhidas nos círculos indicados, isto é, nos círculos de 7,0m de raio. O microfone deve ser colocado a uma altura de 1,2m acima do solo.

A1.2. Número de medições

Serão efetuadas pelo menos três medições em cada posição indicada.

A1.3. Condições de funcionamento do veículo

O motor de um veículo sem regulador de marcha deve girar a três quartos do número de rotações por minuto ao qual, segundo o fabricante, ele desenvolve sua potência máxima. A velocidade do motor, expressa em rotação por minuto, é medida com o auxílio de um aparelho independente, por exemplo, com cilindros que giram livremente, e com um taquímetro. Um motor, provido de um medidor de velocidade, deve girar em sua velocidade máxima. O motor deve atingir sua temperatura normal antes de se proceder as medições.

A1.4. Apresentação dos resultados

Todos os registros de níveis sonoros obtidos em cada posição de medição devem ser indicados no relatório.

A2. MEDIÇÕES EFETUADAS EM VEÍCULOS EM MOVIMENTO (Método modificado)

A2.1. Campo de provas

O campo de provas deve ser sensivelmente horizontal e o estado de sua superfície não deve provocar um ruído excessivo dos pneus.

A2.2. Posição de medição

A distância das posições de medição à linha de referência CC da Fig. 1, sobre a pista, será igual a 7,5m. O eixo do veículo deve seguir o mais perto possível a linha CC. O microfone deve ser colocado a uma altura de 1,2m acima do solo.

A2.3. Número de medições

Pelo menos três medições serão efetuadas de cada lado do veículo, quando de sua passagem diante das posições de medição

NOTA: Recomenda-se proceder medições preliminares com vistas a eventuais ajustamentos. Essas medições preliminares não devem ser incorporadas ao resultado definitivo.

A2.4. Modo de operar

A2.4.1. Condições gerais

O veículo aproxima-se da linha AA nas condições apropriadas, fixadas a seguir:

Quando a parte dianteira do veículo atinge, em relação ao microfone, a posição indicada por AA na FIG. 1, acelera-se tão depressa quanto possível, mantendo-se essa aceleração até que a parte traseira do veículo atinja a posição BB da fig. 1; corta-se, então, a aceleração, tão rapidamente quanto possível. Os reboques, incluindo a parte rebocada dos semi-reboques, não devem ser tomadas em consideração no que se refere à transposição da linha BB.

NOTA: Se o veículo for especialmente fabricado com um equipamento (como as betoneiras, os compressores, as bombas, etc.), que é utilizado quando o veículo está em serviço normal, na via pública, este equipamento deverá também funcionar durante o teste.

A2.4.2. Condições particulares

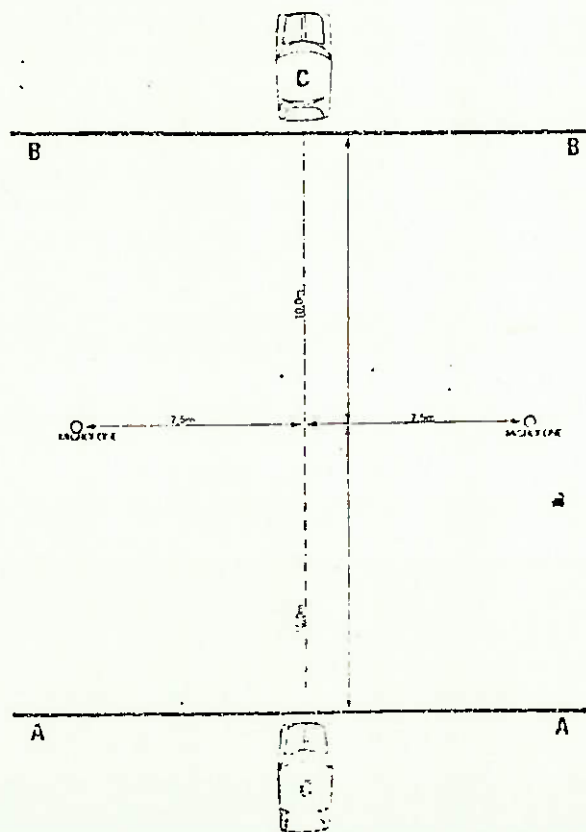
Os veículos devem ser dirigidos de modo a respeitar uma ou outra das condições seguintes:

A2.4.2.1. Veículos com caixa de mudança de comando manual com ou sem embreagem automática. O veículo deve aproximar-se da linha AA da fig. 1 a uma velocidade uniforme correspondente a três quartos da velocidade de rotação à qual o motor (segundo o fabricante) desenvolve sua potência máxima. A marcha deve ser escolhida de tal modo que a velocidade do veículo na estrada seja o mais próximo possível de 50 km/h para essa velocidade de rotação do motor. Entretanto, se o veículo tiver mais de 3 velocidades de marcha à frente não se utilizará a primeira.

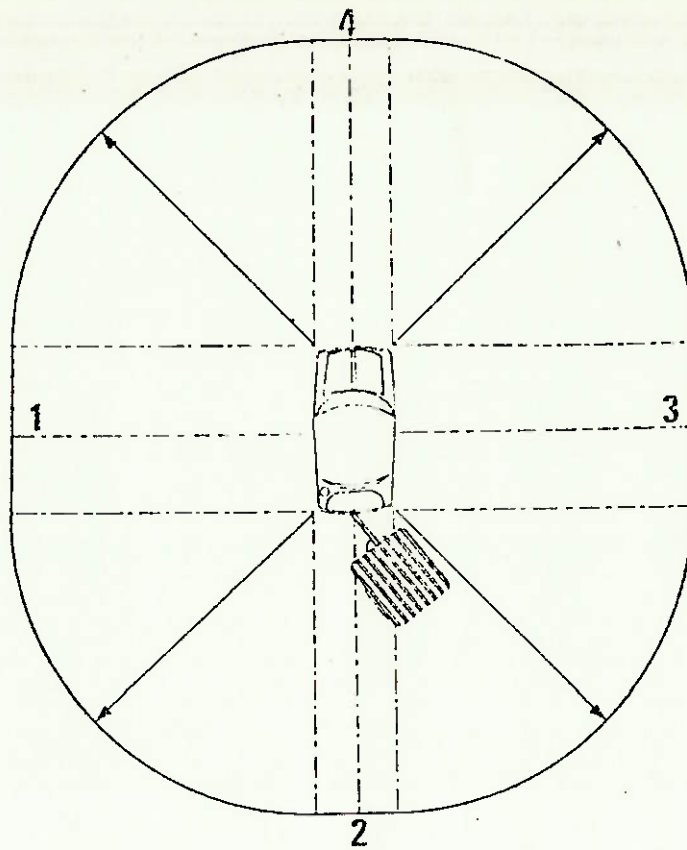
A2.4.2.2. Veículo com caixa de mudança automática. O veículo deve aproximar-se da linha AA a uma velocidade uniforme de 50 km/h ou aos três quartos de sua velocidade máxima, escolhendo-se, entre essas duas velocidades a mais baixa. Quando se dispõe de outras posições de marcha à frente, deve-se escolher a que produz nível sonoro mais elevado do veículo. Não se deve utilizar a posição do seletor, que só é empregado para a frenagem, o alinhamento e outras manobras lentas similares.

A2.5. Apresentação dos resultados

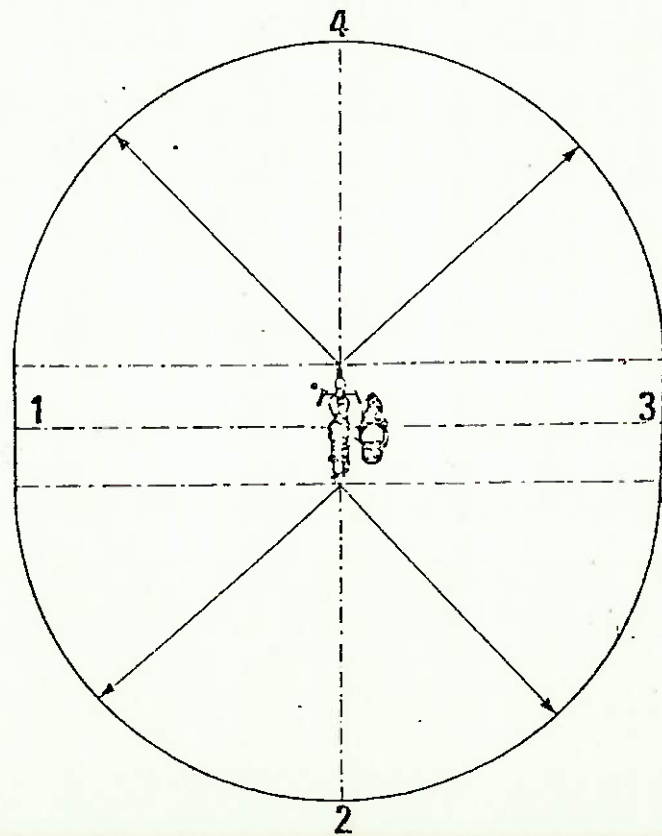
Todos os registros obtidos no sonômetro devem ser indicados no relatório. Indicar-se-á, também, eventualmente, o modo de avaliação da potência do motor. O estado de carregamento do veículo deve ser igualmente indicado no relatório.



PERIFERIA DA ZONA DE PROVA



AUTOMÓVEL COM OU SEM REBOQUE



MOTOCICLETA COM OU SEM SIDE-CAR

ANEXO E - RUIDO E VIBRAÇÕES EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA
(CICLO OTTO, 4 CILINDROS, 4 TEMPOS)

Os M.C.I. efetuam a transformação do movimento alternativo em movimento rotacional. Os elementos essencialmente móveis são: pistão, manivela e biela.

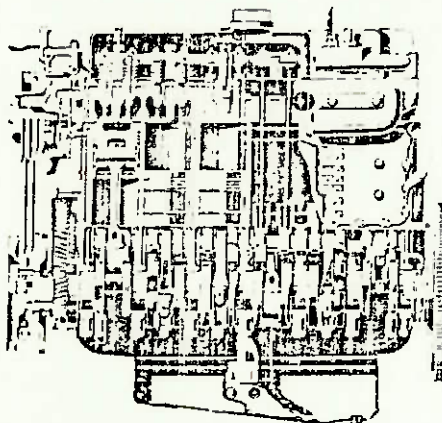


Figura E.1

A vibração nos M.C.I. resulta da pressão dos gases, aplicada periodicamente ao pistão e das forças de inércia associadas às partes móveis.

1- Pressão dos gases

A ação da pressão dos gases é transmitida à estrutura do M.C.I. em forma de momento, criando reações nos suportes.

As forças e os momentos resultantes da pressão dos gases, desenvolvida no cilindro, estão ilustrada na figura E.2.

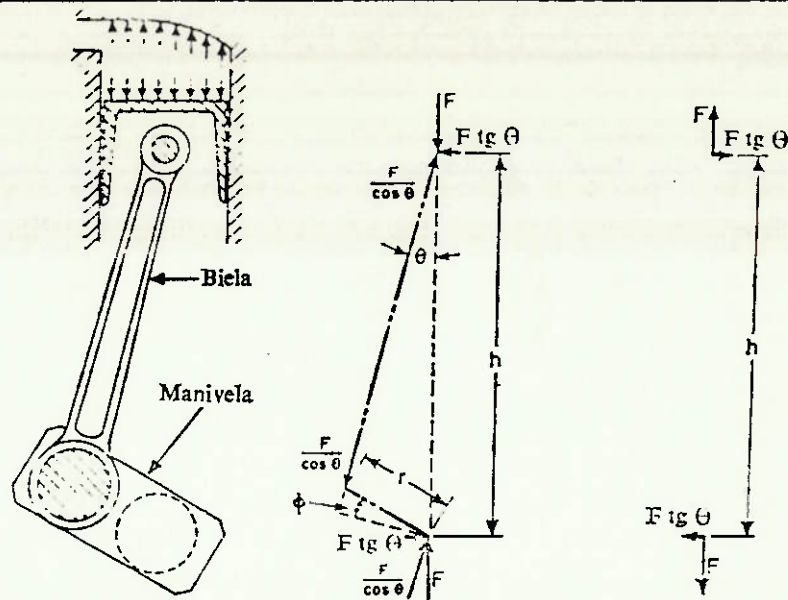


Figura E.2

2 - Forças de inércia

Sua variação é como indicada na figura E.3.

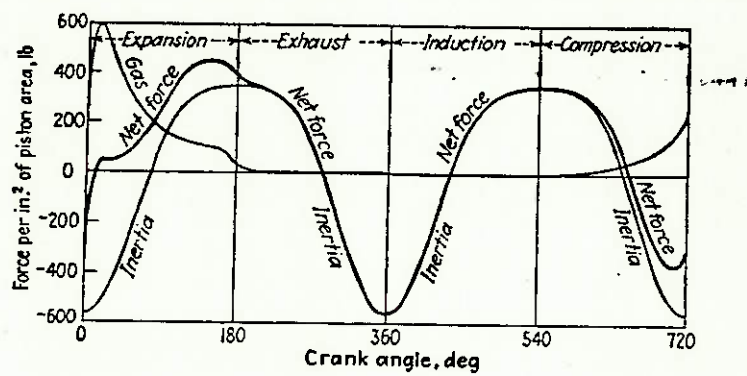


Figura E.3

ANEXO F - PROPRIEDADES DA BORRACHA

As propriedades físicas de um elemento vulcanizado de borracha dependem da rigidez da borracha e do tamanho e forma desse elemento. Dependem também da temperatura em que se encontra o elemento, bem como da taxa de deformação aplicada sobre ele. Dessa forma, é conveniente considerar-se as propriedades estáticas da borracha e então o efeito do meio ambiente e da taxa de deformação sobre tais propriedades.

1. Propriedades físicas estáticas da borracha:

Uma curva tensão-deformação típica para a borracha é mostrada na figura F.1 a seguir, curvas semelhantes para a borracha em compressão e cisalhamento são dadas nas figuras F. 2 e F.3, respectivamente.

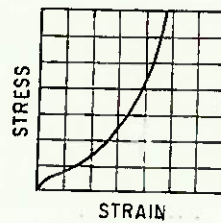


Figura F.1

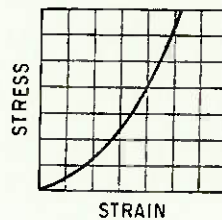


Figura F.2

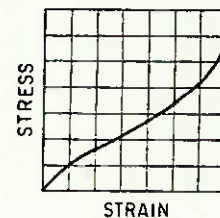


Figura F.3

Curvas tensão-deformação para a borracha

Nota-se nestas curvas que a lei de Hooke da elasticidade não é seguida, o que dificulta a determinação de um módulo de elasticidade do material, provavelmente a propriedade mais importante para o propósito de projeto de isoladores. Adicionalmente, a curva tensão de compressão-deformação é fortemente influenciada pelo FATOR FORMA do elemento, ou seja, quando o elemento é relativamente delgado, com uma pequena seção transversal, ou quando o elemento é curto, com uma grande seção transversal.

Por estas razões, é comum se especificar a dureza dos compostos de borracha (1). A dureza não é uma propriedade importante por si mesma; ela é meramente uma medida aproximada e conveniente, que está relacionada ao módulo de elasticidade e é independente do fator de forma do elemento.

(1) A dureza dos compostos de borracha é normalmente medida através de um instrumento denominado "durômetro" ("durometer", na literatura americana)

Outras propriedades básicas são muitas vezes especificados juntamente com a dureza; são elas: a tensão de resistência ("tensite strength"), a elongação máxima ("ultimate elongation") e a "compression set".(1)

A tensão de resistência e a elongação máxima são determinadas através de ensaios de laboratório em corpos de prova. Durante estes ensaios, a tensão de deformação a determinada elongação pode ser determinada. Este valor é denominado módulo e é especificado como (por exemplo) "módulo a 200 por cento", para que não haja confusão com o conceito de módulo de elasticidade. A borracha raramente é solicitada aos valores da tensão de resistência e elongação máxima quando usada como isolador. A tensão na ligação é usualmente o fator limitante. Dessa forma, estas propriedades são úteis apenas para determinar a resistência a fadiga e outras propriedades similares.

Os compostos de borracha normalmente usados como isoladores estão numa faixa de tensão de resistência de 35 a 250 kgf/cm². A elongação máxima está normalmente entre 150 e 600 por cento.

A "compression set" é determinada através da compressão de um corpo de prova, de 28,4 mm de diâmetro e 12,7 mm de espessura, e em determinadas condições de temperatura elevada. Após, o corpo de prova é deixado em recuperação num intervalo de 30 minutos. A "compression set" é definida como o decréscimo na espessura dividido pela deflexão original. Os valores típicos para os compostos de borracha estão entre 10 e 50 por cento.

Finalmente, dá-se na figura F.4 uma curva típica carga-deflexão "estática", obtida para um isolador após o terceiro ciclo de carregamento. A área entre as curvas do carregamento ("loading") e do descarregamento ("unloading") representa a histerese ou amortecimento.

(1) Não será adotada nenhuma tradução para esta propriedade.

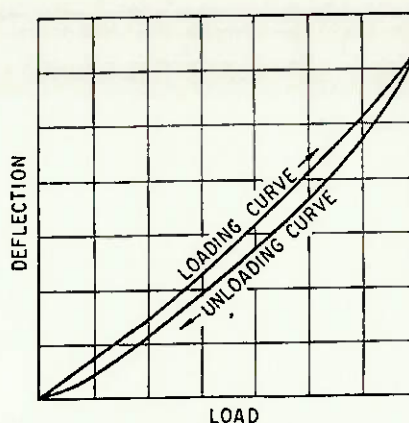


Figura F-4
Curva carga-deflexão estática

2. Fatores Ambientais

A reação química de vulcanização contínua, muitas vezes e de forma muito lenta, depois que o elemento foi confeccionado e colocado em serviço. Dessa forma, a dureza (rigidez) da borracha aumenta com o tempo. Às temperaturas normais de trabalho, o aumento é muito rápido nas primeiras horas, e depois de alguns dias aumenta de forma bastante lenta.

O oxigênio do ar pode atacar a estrutura molecular da borracha, causando uma pequena redução na capacidade de deformação daquela. Há também, com isso, um aumento ligeiro na dureza da borracha. A borracha para isoladores típicos pode ter uma redução de mais de 25% na tensão de resistência, redução de mais de 40% na elongação máxima e aumento de mais de 20 unidades na dureza.

2.1- Imersão em fluidos

As propriedades da borracha são alteradas pela sua exposição aos fluidos; os fluidos presentes nas aplicações dos isoladores são normalmente óleos derivados do petróleo ou solventes.

Quando imersas nesses produtos do petróleo, a borracha natural, GR-S (e outras)(1) sofrem um inchaço, com a consequente redução na tensão de resistência e na elongação máxima.

(1) Designação, segundo ASTM, dos polímeros comuns

A borracha natural pode, em contato com algum óleo "leve" do petróleo, aumentar o seu volume de mais de 200%, ficando com menos de 20% de suas tensão de resistência e alongação máxima originais.

A nível de projeto, deve haver a preocupação de se localizar os isoladores em áreas não expostas a aqueles fluidos.

2.2- Propriedades a baixa temperatura

Quando exposta a baixas temperaturas, a borracha torna-se dura, rígida e menos resiliente. Estas mudanças são causadas por alterações na mobilidade da molécula da borracha. Os efeitos do abaixamento da temperatura são, portanto, um aumento na rigidez e um decréscimo na resiliência.

A figura F.5 mostra o efeito do abaixamento da temperatura sobre o módulo de elasticidade torsional de alguns compostos de borracha. O módulo de cada composto é mostrado em relação ao seu próprio módulo a 25°C.

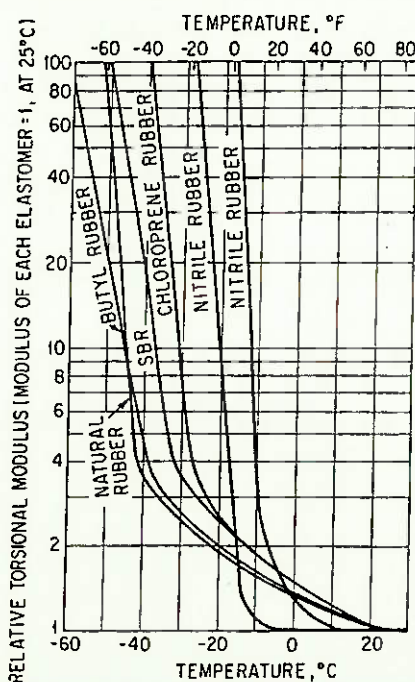


Figura F-5

Efeito do abaixamento de temperatura sobre o módulo de elasticidade

3. Impulso ("drift")

Impulso ("drift") é a característica da borracha de continuar a se deformar, após uma deformação inicial causada pela aplicação de uma carga. Impulso relativo ("relative drift") é definida como:

$$d = \frac{\delta_t - \delta}{\delta} ,$$

onde d é o impulso relativo no tempo t , δ é a deflexão em 1 min, e δ_t é a deflexão num tempo t .

A característica de impulso de alguns compostos de borracha natural são mostrados na figura F.6 (os elementos foram submetidos a cisalhamento, com uma tensão de 4,2 kgf /cm²).

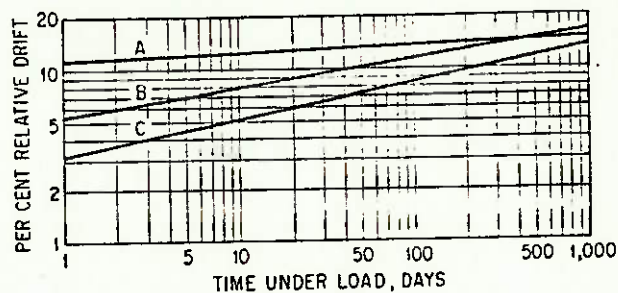


Figura F-6-Impulso de alguns elementos de borracha

4. Propriedades dinâmicas da borracha: [1]

4.1- Módulo e amortecimento

A borracha não é um material perfeitamente elástico - possui amortecimento interno e sua rigidez tende a aumentar com o aumento da frequência do carregamento. A ação da borracha pode ser idealizada por um modelo matemático, através do qual poderá ser avaliada sua performance (figura F.7). Seguindo tal modelo linear viscoelástico, se for aplicada uma força senoidal $F = F_0 \text{ sen } \omega t$, a resposta é dada por:

$$(*) \quad x = \frac{F_0}{k_1 + k_2} \left[\sin wt + \frac{k_2 \sin wt}{k_1(1+w^2\psi^2)} - \frac{k_2 w \psi \cos wt}{k_1(1+w^2\psi^2)} \right]$$

onde k_1 é a rigidez da mola 1, k_2 é a rigidez da mola 2, c é o coeficiente de amortecimento viscoso e

$$\psi = c \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right)$$

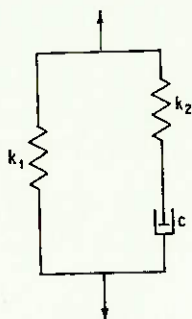


Figura F-7

Modelo matemático para a ação da borracha

Os termos entre colchetes na equação (*) representam as componentes da resposta do modelo. O primeiro termo representa a resposta elástica ordinária, a qual está em fase com a força e é independente da frequência; o segundo termo está também em fase com a força mas é dependente da frequência e representa a componente da resposta viscoelástica; o terceiro termo está defasado de 90° com a força; é responsável pelas perdas de energia.

4.2- Fadiga

A fadiga é o resultado da imposição, sobre o elemento de borracha, de tensões alternadas, centradas em zero.

Define-se a deformação percentual mínima como:

$$\frac{l_{\min} - l_0}{l_0} (*100) \text{ (por cento), onde}$$

l_{\min} = m̃nimo comprimento do elemento de borracha, durante o ciclo de tensões impostas;

l_0 = comprimento natural do elemento de borracha.

A figura F.8 indica o ñmero de ciclos de vida de elementos de borracha, em funçãõ dessa deformação percentual m̃nima e da deformação percentual dinãmica:

$$\frac{l_{\max} - l_{\min}}{l_0} (*100) \text{ (por cento), onde}$$

l_{\max} = m̃ximo comprimento do elemento de borracha.

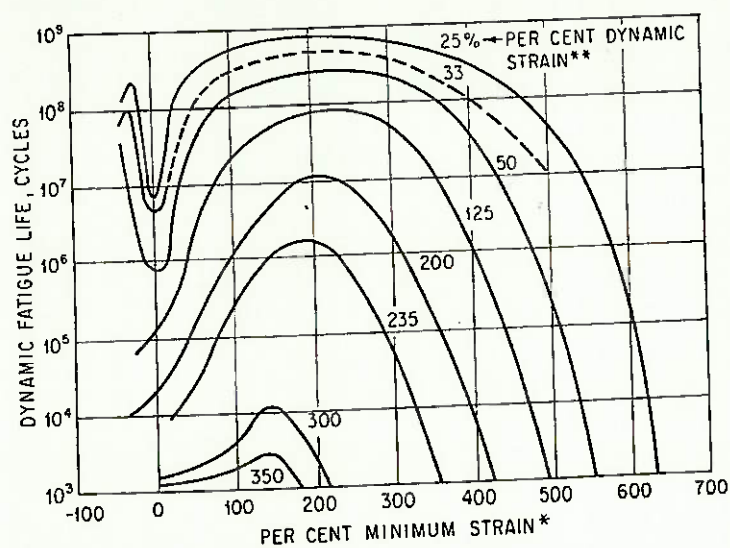


Figura F-8

Ciclos de vida dos elementos de borracha

ANEXO G - DETERMINAÇÃO DO VALOR DO PRODUTO

Cabe aqui, inicialmente, a distinção entre os conceitos de custo e valor. Custo pode ser definido como a medida das dificuldades de manutenção e suprimento, enquanto o valor pode ser considerado como uma medida da utilidade do produto para o consumidor. Custo ou, ao menos, custo direto, pode ser medido com razoável precisão; valor somente é mensurável pelo Marketing, e mesmo assim, apenas grosseiramente.

Um método para a determinação do valor dos produtos consiste em analisá-los, decompondo-os num número de fatores individuais, cada qual representando um aspecto de valor para o consumidor, designando a cada fator um valor numérico. Os fatores de valor podem ser classificados em três grupos básicos: estéticos, ergonômicos e técnicos.

Os fatores de estética são aqueles referentes à relação emocional da pessoa com o produto. Estes atributos, tais como desenho, forma, cor, textura, gosto ou cheiro, podem adicionar alguma atração ao produto, aumentando o preço pelo qual é vendido com sucesso.

Os fatores ergonômicos são aqueles que tratam das relações não emocionais entre o homem e o produto. Estes incluem dimensões, forma e textura de partes do produto em relação às partes anatômicas do homem.

Os fatores técnicos são aqueles aspectos de desempenho que o consumidor valoriza, tais como velocidade, carga útil de veículos, precisão de instrumentos de medida, etc.

Conforme descrito, os fatores de valor são enquadrados em três tipos de categoria: técnica, ergonômica e estética. Dependendo do tipo de produto, bem de consumo ou bem de capital, os fatores de valor, dentro das três categorias, apresentam diferentes importâncias ou coeficientes de peso (tabela G.2).

Os coeficientes de peso são, na realidade, relações de importância que podem ser convertidas em números, da seguinte forma (tabela G.1):

0	sem importância
1	pouco importante
2	<u>±</u> importante
3	importante
4	muito importante

Tabela G.1- Coeficientes de Peso

<i>Categoria de fatores</i>	<i>Produto de consumo direto. Pasta dental</i>	<i>Bem de consumo durável. Vestidos</i>	<i>Bem de capital. Máquina-ferramenta</i>
Estético	5 Embalagem Gosto Textura	3 Estilo Moda Corte Cor Textura	1 Forma Cor Textura
Ergonômico	4 Segurança Higiene	3 Servir Fácil movimento	2 Disposição da peça; controles; indicadores
Técnico	0 Escolha do material, dureza e conteúdo abrasivo.	1 Resistência do material, costura e acessórios.	5 Precisão Velocidade Campo de operação.

Tabela G.2- Importância dos fatores de valor

ANEXO H - DETERMINAÇÃO DO CUSTO DO PRODUTO (METODO DE
DELPHI)

Para a determinação do custo do produto, quando não se dispõe de informações e experiências em produtos similares da empresa, pode-se adotar o método de Delphi, que é adequado para avaliar os custos de produtos de projetos novos. O método consiste, em primeiro lugar, em decompor o sistema técnico em subsistemas de construção de complexidade decrescente, como mostra a figura H.1.

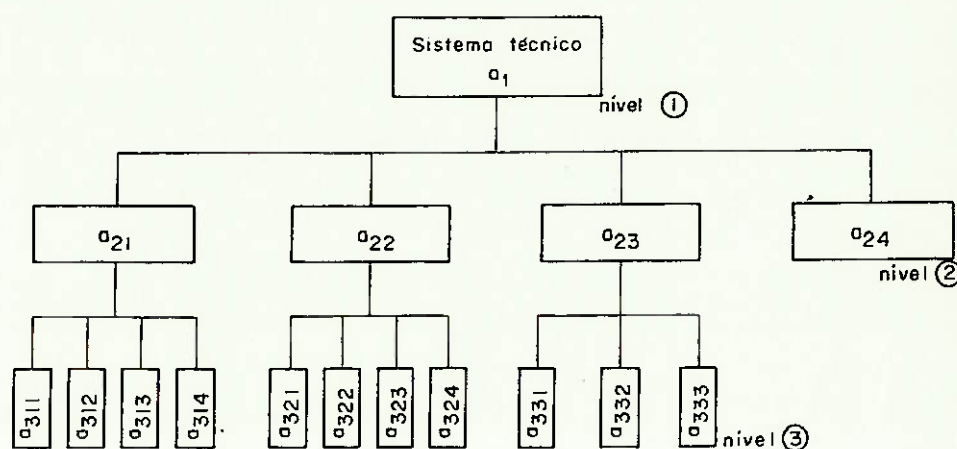


Figura H.1- Decomposição do sistema

Estabelecidos os sub-sistemas de custo, monta-se a tabela H.1, submetendo-a à preciação de 15 ou 20 pessoas para avaliação. Os avaliadores deverão ser escolhidos pelo conhecimento do sistema total, não pela sua especialização técnica. O valor final é adotado igual à média das 15 a 20 avaliações.

Uma vez estabelecidos os custos relativos de todas as unidades de construção, escolhe-se uma unidade, aquela que permite a mais fácil avaliação do custo. Determinado este custo, calculam-se os custos das demais unidades, bem como o custo total.

SUBSISTEMA E NÍVEL				NOME DO SUBSISTEMA	CUSTO PORCENTUAL E NÍVEL				CUSTO POR UNIDADE OU COTADA	UNIDADE ESTIMADA
1	2	3	4		1	2	3	4		
01					100				50.000,00	
	021					30			15.000,00	
		0311					50 15		7.500,00	
		0312					30 9		4.500,00	
		0313					10 3		1.500,00	
		0314					10 3		1.500,00	
	022					15			7.500,00	
		0321					30 4,5		2.250,00	
		0322					20 3		1.500,00	1.500,00
		0323					15 2,25		1.125,00	
		0324					35 5,25		2.625,00	
	023					25			12.500,00	
		0331					40 10		5.000,00	
		0332					20 5		2.500,00	
		0333					40 10		5.000,00	
	024					30			1.500,00	
						$\Sigma =$ 100%	$\Sigma =$ 100%	$\Sigma =$ 100%		

Tabela H. 1

ANEXO I - PROCESSAMENTO E COMPOSIÇÃO DA BORRACHA

1 - COMPOSIÇÃO:

O polímero de borracha puro pode ser recebido de várias formas. No caso de borracha natural, e de algumas sintéticas, o polímero é recebido em fardos, as quais podem ser cortados em pequenas peças para serem introduzidas no misturador. Nesse estado, o polímero irá se deformar permanentemente, embora exiba uma considerável resistência à deformação. Muitos compostos de borracha podem ser misturados num misturador "Banbury". Outros podem ser misturados num misturador tipo "open roll mill". Alguns ingredientes são adicionados nessa operação, que é desenvolvida a temperatura controlada.

Após a mistura, o polímero (já com os ingredientes) é cortado em lâminas e resfriado para ser transportado para a próxima operação. Em alguns casos, o composto poderá passar através de um extrusor com forma de seção transversal especial.

2 - MOLDAGEM:

Existem muitos métodos de moldagem. Os mais comuns são através de:

- . moldes de compressão: coloca-se uma determinada quantidade de composto na cavidade e fecha-se o molde. A borracha é vulcanizada sob pressão e temperatura. É, provavelmente, o método mais comumente utilizado;
- . transferência: são moldes com uma série de cavidades, para alta produção;
- . injeção: é um processo semelhante ao anterior, exceto que neste o molde é mantido fechado pela prensa e o composto é injetado no molde por outro dispositivo.

ANEXO J - METODOS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE INÉRCIA DE UM CORPO RÍGIDO

1. Massa

1.1- Método Analítico:

A massa de um corpo pode ser determinada analiticamente por:

$$m = \int_v \rho(v) dv, \text{ onde: } \rho(v) = \text{densidade de massa} \\ dv = \text{volume elementar}$$

Se o corpo \bar{e} composto por vários elementos, cada qual com densidade de massa constante, a massa \bar{e} :

$$m = \rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n$$

onde ρ_1 \bar{e} a densidade do elemento V_1 , etc.

1.2- Método Experimental:

A maneira mais adequada para a determinação da massa de um corpo \bar{e} através da medida estática do peso do corpo e da conversão do resultado para massa. Tal conversão \bar{e} possível, através do valor da aceleração da gravidade local, pela fórmula:

$$m = \frac{W}{g}, \text{ onde: } W = \text{peso do corpo, medido estaticamente;} \\ g = \text{aceleração da gravidade local.}$$

2. Centro de Massa

2.1- Método Analítico:

O centro de massa (ou centro de gravidade) \bar{e} o ponto localizado pelo vetor:

$$R_c = \frac{1}{m} \int_m \vec{r}(m) dm$$

onde $\bar{r}(m)$ é o raio do elemento de massa dm . O centro de massa de um corpo, num sistema x, y, z de coordenadas cartesianas, é localizado por:

$$x_c = \frac{1}{m} \int_V x(v) \rho(v) dv$$

$$y_c = \frac{1}{m} \int_V y(v) \rho(v) dv$$

$$z_c = \frac{1}{m} \int_V z(v) \rho(v) dv$$

onde $x(v), y(v), z(v)$ são as coordenadas x, y, z do elemento de volume dv e m é a massa do corpo.

Se o corpo puder ser dividido em elementos cujos centros de massa são conhecidos, o centro de massa do corpo inteiro, de massa m , é localizado por equações do seguinte tipo:

$$x_c = \frac{1}{m} (x_{c_1} m_1 + x_{c_2} m_2 + \dots + x_{c_n} m_n), \text{ etc.}$$

onde x_{c_1} é coordenada x do centro de massa do elemento m_1 .

2.2- Método Experimental:

A localização do centro de massa é normalmente determinada indiretamente, através da determinação do centro de gravidade do corpo, podendo ser determinada de várias formas. Um dos métodos consiste na disposição do corpo numa posição estável sobre três pratos de balança (figura J.1).

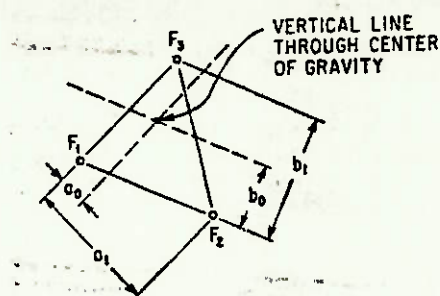


Figura J.1

O peso total do corpo é dado por: $W = F_1 + F_2 + F_3$, onde F_1 é a indicação da força no prato 1, etc.

O centro de gravidade é localizado pelas distâncias a_0 e b_0 , dadas por:

$$a_0 = \frac{F_2 a_1}{W}$$

$$b_0 = \frac{F_3 b_1}{W}$$

3. Momentos e Produtos de Inércia

3.1- Método Analítico:

Os momentos de inércia de um corpo rígido, em relação aos eixos ortogonais x , y , z fixos ao corpo são:

$$I_{xx} = \int_m (Y^2 + Z^2) dm \quad I_{yy} = \int_m (X^2 + Z^2) dm \quad I_{zz} = \int_m (X^2 + Y^2) dm$$

onde dm é o elemento infinitesimal de massa, localizado por x , y , z ; e a integração é estendida a toda massa do corpo. Similarmente, os produtos de inércia são:

$$I_{xy} = \int_m xy dm \quad I_{xz} = \int_m xz dm \quad I_{yz} = \int_m yz dm$$

É convencional, dentro da mecânica do corpo rígido, tomar o centro do sistema de coordenadas como sendo o centro de massa do corpo. A menos que indicado em contrário, tal localização é assumida, e os momentos e produtos de inércia são referidos aos eixos que passam pelo centro de massa do corpo. Para um único trio de eixos, os produtos de inércia se anulam. Tais eixos, originados no centro de massa do corpo, são denominados eixos principais de inércia do corpo.

Os momentos de inércia do corpo rígido podem ser determinados em termos do raio de giração por:

$$I_{xx} = m r_x^2 \quad I_{yy} = m r_y^2 \quad I_{zz} = m r_z^2$$

onde r_x, \dots são os raios de giração.

A menos que o corpo tenha forma muito simples, é muito laborioso avaliar as integrais para determinação dos momentos e produtos de inércia. Tal problema pode ser mais facilmente resolvido, subdividindo o corpo em partes para as quais podem ser utilizados cálculos mais simples de momentos e produtos de inércia e utilizando-se de transformação para eixos paralelos e eixos inclinados.

3.2- Método experimental para determinação do momento de inércia:

O momento de inércia de um corpo em torno de um dado eixo pode ser determinado experimentalmente, suspendendo o corpo como um pêndulo de modo que possa haver oscilação de rotação em torno daquele eixo. O período de oscilação livre pode ser medido, e usado, com a geometria do pêndulo, para a determinação do momento de inércia.

Simplificadamente, pode ser construído um pêndulo de torsão conforme a figura J.2.

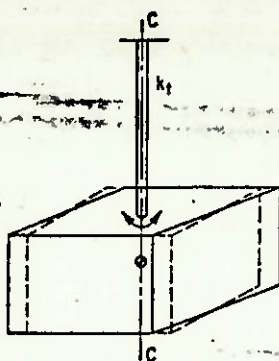


Figura J.2

Assim, conhecendo-se a rigidez k_t e medindo-se o período de oscilação τ , o momento de inércia do corpo, em torno do eixo c-c será:

$$I_{cc} = \frac{k_t \tau^2}{4 \pi^2}$$

3.3- Método experimental para determinação do produto de inércia

A determinação experimental dos produtos de inércia usualmente requer a medida dos momentos de inércia. Muitos procedimentos podem ser utilizados, dependendo do número de eixos principais de inércia que são conhecidos [1]

4. Raio de Giração

Os momentos de inércia de um corpo rígido podem ser definidas em termos do raio de giração como sendo:

$$I_{xx} = m r_x^2 \quad I_{yy} = m r_y^2 \quad I_{zz} = m r_z^2$$

onde I_{xx} , são os momentos de inércia do corpo, como definidos no item 3, m é a massa do corpo e r_x ... são os raios de giração.

O raio de giração tem a dimensão de comprimento e, muitas vezes, fornece expressões convenientes para a dinâmica do corpo rígido.

Corpos sólidos de várias formas tem raios de giração característicos, os quais são úteis para a avaliação intuitiva das condições dinâmicas.

ANEXO K - LISTAGEM DOS PROGRAMAS UTILIZADOS

PROGRAMA	VERSÃO	DATA DE INSTALAÇÃO	DESCRIÇÃO
----------	--------	--------------------	-----------

Programa 1

```

DIMENSION IF1(200,200),IF2(200,200)
EPE=3.5
H=0.064
ABDA=1./3.5
DCIL=C.097
B2=0.5+1./(32.*ABDA**6)
A2=2.
CMEMO=500.
H/GI=0.30
RDI=500.
5  FFG=3.1415*RDI/30.
FRUM=3.*FRUM
CA1=200.
CA2=400.
EPI=(CA1+CA2)/CMEMO
WRITE(6,10)DOT

10  FORMAT(1X,17HRELAÇÃO DE MÓDULO=>FL-1,3HFFM,/)
I=1
A=0.05
15  J=1
B=0.05
20  UAKA=(CA2*B-CA1*A)/EPEMO
ETA=(CA1**2+CA2*B**2)/(EMEMO*DCIL**2)
T=CA1*(A+B)
FT1=CA1*(A+B)*I
H=EMEMO*(AGI**2)
S=(T-FRUM**2)*(DCIL-FRUM**2)
I=UAKA**2/AGI**2
G=T*(S-T)
IF1(I,J)=FT1/G
G=B*(DCIL-FRUM**2)-CA1
FT2=CA2*(A+B)*I
IF2(I,J)=FT2/G
B=B+0.05
J=J+1
IF(.NOT.(J.GI.5))GO TO 20
A=A+0.05
I=I+1
IF(.NOT.(I.GI.7))GO TO 15
WRITE(6,40)

40  FORMAT(1X,50HFACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1)
I=1
30  J=1
*WRITE(6,50)IF1(I,J),IF1(I,J+1),IF1(I,J+2)
50  FORMAT(E10.2,E10.2,E10.2)
I=I+1
IF(.NOT.(I.GI.7))GO TO 30
WRITE(6,60)

60  FORMAT(1X,50HFACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2)
I=1
70  J=1
*WRITE(6,60)IF2(I,J),IF2(I,J+1),IF2(I,J+2)
80  FORMAT(E10.2,E10.2,E10.2)
I=I+1
IF(.NOT.(I.GI.7))GO TO 70
RCI=RCI+200.
IF(.NOT.(IFIX(601).GT.2500))GO TO 5
END

```

Programa 2

```

DIMENSION IF1(200,200),IF2(200,200)
EMEM=5.0
R=0.004
ABDA=1./3.5
BCIL=0.097
B2=0.5+1./32.*ABDA**6)
A2=2.
EMEMO=500.
RAOI=0.30
RCI=0.00.
10 FREQ=3.1415*RO1/50.
FRQGF=3.*FRQ
A=0.35
B=0.10
EET=(C1+CA2)/EMEMO
*WRITE(6,10)RO1

10 FORMAT(IX,17HCONTADOR DE NÚMEROS,FL.1,3H1PA,7)
I=1
CA1=200.
15 J=1
C12=200.
20 GAM=(C12*B-C11*A)/EMEMO
ETA=(CA1*A**2+LAL*B**2)/(EMEMO*RAOI**2)
F=GAM+7*(BCIL-FRQGF**2)
F11=CA1*(A+B)*F
F22=EMO*RAOI**2
S=(C11-FRQGF**2)*(C11-F22**2)
T=GAM**2/7.5I**2
G=B*(S-T)
IF1(I,J)=F11/5
G=B*(B11-F22**2)-GAM
F12=CA2*(A+B)*C
IF2(I,J)=F12/5
C12=C12+200.
J=J+1
IF(.NOT.(J.GE.3))GO TO 20
CA1=CA1+200.
I=I+1
IF(.NOT.(I.GE.7))GO TO 15
*WRITE(6,40)
40 FORMAT(IX,50HCONTADOR DE TRANSMISIBILIDADE DE ELEMENTO ELASTICO 1)
I=1
30 J=1
*WRITE(6,50)IF1(I,J),IF1(I,J+1),IF1(I,J+2)
50 FORMAT(E10.2,E10.2,E10.2)
I=I+1
IF(.NOT.(I.GE.7))GO TO 30
*WRITE(6,60)
60 FORMAT(IX,50HCONTADOR DE TRANSMISIBILIDADE DE ELEMENTO ELASTICO 2)
I=1
70 J=1
*WRITE(6,80)IF2(I,J),IF2(I,J+1),IF2(I,J+2)
80 FORMAT(E10.2,E10.2,E10.2)
I=I+1
IF(.NOT.(I.GE.7))GO TO 70
RCI=RCI+200.
IF(.NOT.(I*IX(1).GE.260))GO TO 5
END

```

Programa 3

```

DIMENSION TF1(200,200),TF2(200,200)
EME=3.5
R=0.064
ABDA=1./3.5
DCIL=0.097
B2=0.5+1./132.*ABDA**6)
A2=2.
EMEMO=500.
RAGT=0.30
RCI=600.
5  FREQ=3.1415*R01/30.
  FREQM=3.*FREQ
  A=0.35
  B=0.10
  BETI=(CA1+CA2)/EMEMO
  WRITE(6,10)POT

10  FORMAT(1X,17HROTAÇÃO DO MOTOR=>FL.1>3H5FM,/)
  I=1
  CA1=2000.
15  J=1
  CA2=2000.
20  GAMA=(CA2*B-CA1*A)/EMEMO
  ETA=(CA1*A**2+CA2*B**2)/(EMEMO*B*CI**2)
  F=GAMA*A*(BETI-FREQM**2)
  FT1=CA1*(A+B)*F
  R=EMEMO*RAGI**2
  S=(CI*(-FREQM**2)+(BETI-FREQM**2)
  T=GAMA**2/RAGI**2
  G=R*(S-T)
  IF1(I,J)=FT1/G
  G=B*(BETI-FREQM**2)-GAMA
  FT2=CA2*(A+B)*G
  IF2(I,J)=FT2/G
  CA2=CA2+2000.
  J=J+1
  IF(.NOT.(J.GT.5))GO TO 20
  CA1=CA1+2000.
  I=I+1
  IF(.NOT.(I.GT.7))GO TO 15
  WRITE(6,40)

40  FORMAT(1X,50HFACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1)
  I=1
30  J=1
  WRITE(6,50)TF1(I,J),TF1(I,J+1),TF1(I,J+2)
50  FORMAT(E10.2,E10.2,E10.2)
  I=I+1
  IF(.NOT.(I.GT.7))GO TO 30
  WRITE(6,60)

60  FORMAT(1X,50HFACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2)
  I=1
70  J=1
  WRITE(6,60)TF2(I,J),TF2(I,J+1),TF2(I,J+2)
80  FORMAT(E10.2,E10.2,E10.2)
  I=I+1
  IF(.NOT.(I.GT.7))GO TO 70
  R01=RCI+200.
  IF(.NOT.(IFIX(R01).GT.2500))GO TO 5
END

```

Programa 4

```

DIMENSION IF1(200,200),IF2(200,200)
EME=3.5
F=0.064
ABDA=1./3.5
DC1L=0.097
B2=0.5+1./((32.*ABDA**5))
A2=2.
EMEMD=500.
RAGT=0.30
ROI=600.
5  FREQ=3.1415*REI/50.
  FREQM=5.*FREQ
  A=0.35
  B=0.10
  EETA=(CA1+CA2)/EMEMD
  WRITE(6,10)RDT

10  FORMAT(1X,17HROTACION DE MOTOR=>T0.1,3HFPM=>)
    I=1
    CA1=20000.
15  J=1
    CA2=20000.
20  GAMA=(CA2*B-CA1*A)/PI*E0
    ETA=(CA1*A**2+CA2*B**2)/(CONTA*B**2*E0)
    F=64M**4*(BETA-FREQM**2)
    FT1=0.1*(1+D)*F
    N=EMEMD*GAMA**2
    S=(FT1-FREQM**2)*(BETA-FREQM**2)
    T=6/Fs**2/RAGI**2
    C=S*(3-T)
    IF(1>J)F11=0
    G=B*(B*TA+RE0**2)-C*A.
    FT2=C/2*(1+D)*L
    IF2(1>J)=F12/0
    CA2=C/2+23000.
    J=J+1
    IF(C.NI.(1.GI.3))GO TO 20
    CA1=C A1+23000.
    I=I+1
    IF(C.NI.(1.GI.7))GO TO 15
    WRITE(6,40)

40  FORMAT(1X,50HROTACION DE TRANSMISIBILIDAD DE ELEMENTO ELASTICO 1)
    I=1
30  J=1
    WRITE(6,50)IF1(I,J),IF1(I,J+1),IF1(I,J+2)
50  FORMAT(E10.2,E10.2,E10.2)
    I=I+1
    IF(C.NI.(1.GI.7))GO TO 30
    WRITE(6,60)

60  FORMAT(1X,50HROTACION DE TRANSMISIBILIDAD DE ELEMENTO ELASTICO 2)
    I=1
70  J=1
    WRITE(6,80)IF2(I,J),IF2(I,J+1),IF2(I,J+2)
80  FORMAT(E10.2,E10.2,E10.2)

    I=I+1
    IF(C.NI.(1.GI.7))GO TO 70
    ROI=ROI+200.
    IF(C.NI.(IFIX(ROI).01.2600))GO TO 5
    END

```

Programa 5

```

DIMENSION IF1(200,200),TF2(200,200)
EML=3.0
K=0.034
ABDA=1./3.0
DCIL=0.097
B2=0.5+1./((32.*ABDA**6)
A2=2.
EMEMC=500.
RAGI=0.30
RDI=600.
5 FFLC=3.1415*RDI/30.
FFLCM=3.*FFLC
A=0.30
B=0.10
EPIA=(L*AI+0*A2)/EMEMC
WRITE(6,10)RGT

10 FORMAT(1X,47HROTACION DE POLOS=>FC=1,SHRPM=>)
I=1
C/1=200000.
15 J=1
CA2=200000.
20 G/PA=(CA2*B-C*AI**2)/EMEMC
ETJ=(C/1**2+CA2**2)/(EMEMC*AI**2)
F=0*F**2*(SEI-FRECM**2)
FTJ=C/1*(C+B)*F
R=EMEMC*RAGI**2
S=(EPIA-FRECM**2)*(CF74-FRECM**2)
I=0*AI**2/RAGI**2
G=R*(S-T)
IF(I+J)=FI 1/0
G=E*(BLTA-FRECM**2)-G*E
FI2=C/2*(C+B)*G
IF2(I+J)=FI 2/0
CA2=C/2+200000.
J=J+1
IF(C.NI.(J,61.5))GO TO 20
CA1=C*AI+200000.
I=I+1
IF(C.NI.(I,61.7))GO TO 15
WRITE(6,40)

40 FORMAT(1X,50HFACTOR DE TRANSMISIBILIDADE DE ELEMENTO ELASTICO 1)
I=1
30 J=1
WRITE(6,50)TF1(I,J),TF1(I,J+1),TF1(I,J+2)
50 FORMAT(10.2,E10.2,E10.2)
I=I+1
IF(C.NI.(I,61.7))GO TO 30
WRITE(6,60)

60 FORMAT(1X,50HFACTOR DE TRANSMISIBILIDADE DE ELEMENTO ELASTICO 2)
I=1
70 J=1
WRITE(6,80)TF2(I,J),TF2(I,J+1),TF2(I,J+2)
80 FORMAT(E10.2,C10.2,E10.2)
I=I+1
IF(C.NI.(I,61.7))GO TO 70
FCI=RDI+200.
IF(C.NI.(IFIX(61),61,200))GO TO 5
END

```

Programa 6

```

DIMENSION TF1(200,200),TF2(200,200)
EMU=3.0
H=0.064
ABDA=1./3.0
DCIL=0.097
B2=0.5+1./((32.*ABDA)**5)
A2=2.
EMEMO=500.
RNGI=0.30
RCI=600.
5 FREQ=3.1415*RCI/50.
FREQM=3.*FREQ
A=0.35
B=0.10
BEI=(CA1+CA2)/EMEMO
WRITE(6,10)RGT

10 FORMAT(1X,17H03400 00 00700,FE.1,3H8PH,/)
I=1
CA1=200000.

15 J=1
CA2=200000.

20 CPM=(CA2*3-CA1*.)/.5*ABD
LTA=(CA1*A**2+CA2*1**2)/(EMEMO*A/CI**2)
F=LAM*A*(BETA-FREQM**2)
FT1=CA1*(A+B)*F
G=EMEMO*RNGI**2
S=(CI*-FREQM**2)*(BETA-FREQM**2)
I=LAM**2/RNGI**2
C=S*(S-T)
IF1(I,J)=F1/I
G=B*(LTA+RNGI**2)-C**2
FT2=CA2*(A+B)*C
IF2(I,J)=F12/I
CA2=CA2+200000.
J=J+1
IF(C.NCI.(J,CI-3))GO TO 25
CA1=CA1+200000.
I=I+1
IF(C.NCI.(I,CI-7))GO TO 15
WRITE(6,40)

40 FORMATT(1X,5CHEFATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1
I=1
30 J=1
WRITE(6,50)TF1(I,J),TF1(I,J+1),TF1(I,J+2)
50 FORMATT(E10.2,E10.2,E10.2)
I=I+1
IF(C.NCI.(I,CI-7))GO TO 30
WRITE(6,60)

60 FORMATT(1X,5CHEFATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2
I=1
70 J=1
WRITE(6,80)TF2(I,J),TF2(I,J+1),TF2(I,J+2)
80 FORMATT(E10.2,E10.2,E10.2)
I=I+1
IF(C.NCI.(I,CI-7))GO TO 70
RCI=RCI+200.
IF(C.NCI.(I,IK(RCI),CI,2600))GO TO 5
END

```

ANEXO L - RESULTADOS DOS PROGRAMAS DESENVOLVIDOS

--

Resultados do Programa 1

ROTAÇÃO DO MOTOR= 600.0RPM

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-63E-06	-94E-06	-15E-05
-19E-05	-25E-05	-31E-05
-38E-05	-47E-05	-55E-05
-63E-05	-75E-05	-88E-05
-94E-05	-11E-04	-13E-04
-13E-04	-15E-04	-17E-04
-18E-04	-20E-04	-22E-04

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-13E-05	-38E-05	-75E-05
-19E-05	-50E-05	-94E-05
-25E-05	-63E-05	-11E-04
-31E-05	-75E-05	-13E-04
-38E-05	-88E-05	-15E-04
-44E-05	-10E-04	-17E-04
-50E-05	-11E-04	-19E-04

ROTAÇÃO DO MOTOR= 600.0RPM

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-35E-06	-53E-06	-70E-06
-11E-05	-14E-05	-15E-05
-21E-05	-26E-05	-32E-05
-35E-05	-42E-05	-49E-05
-53E-05	-62E-05	-70E-05
-74E-05	-84E-05	-95E-05
-99E-05	-11E-04	-12E-04

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-70E-06	-21E-05	-42E-05
-11E-05	-23E-05	-53E-05
-14E-05	-35E-05	-55E-05
-16E-05	-42E-05	-74E-05
-21E-05	-49E-05	-84E-05
-25E-05	-56E-05	-95E-05
-28E-05	-63E-05	-11E-04

ROTAÇÃO DO MOTOR= 1000.0RPM

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-23E-06	-34E-06	-45E-06
-58E-06	-90E-06	-11E-05
-14E-05	-17E-05	-20E-05
-23E-05	-27E-05	-32E-05
-34E-05	-39E-05	-45E-05
-47E-05	-54E-05	-61E-05
-63E-05	-71E-05	-79E-05

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-45E-06	-14E-05	-27E-05
-68E-06	-13E-05	-34E-05
-90E-06	-23E-05	-41E-05
-11E-05	-27E-05	-47E-05
-14E-05	-32E-05	-54E-05
-16E-05	-36E-05	-61E-05
-18E-05	-41E-05	-68E-05

ROTACAO DO MOTOR=1200.0RPM

FACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DE ELEMENTO ELASTICO 1

-.16E-06	-.23E-06	-.31E-06
-.47E-06	-.63E-06	-.70E-06
-.94E-06	-.12E-05	-.14E-05
-.16E-05	-.19E-05	-.22E-05
-.23E-05	-.27E-05	-.31E-05
-.33E-05	-.38E-05	-.42E-05
-.44E-05	-.49E-05	-.55E-05

FACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DE ELEMENTO ELASTICO 2

-.31E-06	-.94E-06	-.19E-05
-.47E-06	-.13E-05	-.23E-05
-.63E-06	-.16E-05	-.26E-05
-.78E-06	-.19E-05	-.33E-05
-.94E-06	-.22E-05	-.38E-05
-.11E-05	-.25E-05	-.42E-05
-.13E-05	-.28E-05	-.47E-05

ROTACAO DO MOTOR=1400.0RPM

FACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DE ELEMENTO ELASTICO 1

-.11E-06	-.17E-06	-.25E-06
-.34E-06	-.46E-06	-.57E-06
-.69E-06	-.86E-06	-.10E-05
-.11E-05	-.14E-05	-.16E-05
-.17E-05	-.20E-05	-.23E-05
-.24E-05	-.28E-05	-.31E-05
-.32E-05	-.38E-05	-.46E-05

FACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DE ELEMENTO ELASTICO 2

-.23E-06	-.69E-06	-.14E-05
-.34E-06	-.92E-06	-.17E-05
-.46E-06	-.11E-05	-.21E-05
-.57E-06	-.14E-05	-.24E-05
-.69E-06	-.16E-05	-.28E-05
-.80E-06	-.18E-05	-.31E-05
-.92E-06	-.21E-05	-.34E-05

ROTACAO DO MOTOR=1600.0RPM

FACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DE ELEMENTO ELASTICO 1

-.38E-07	-.13E-05	-.14E-05
-.26E-06	-.35E-06	-.44E-06
-.53E-06	-.66E-06	-.79E-06
-.82E-06	-.11E-05	-.12E-05
-.13E-05	-.15E-05	-.16E-05
-.16E-05	-.21E-05	-.24E-05
-.25E-05	-.28E-05	-.31E-05

FACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DE ELEMENTO ELASTICO 2

-.18E-06	-.53E-06	-.11E-05
-.26E-06	-.76E-06	-.13E-05
-.35E-06	-.99E-06	-.16E-05
-.44E-06	-.11E-05	-.19E-05
-.53E-06	-.12E-05	-.21E-05
-.62E-06	-.14E-05	-.24E-05
-.70E-06	-.16E-05	-.26E-05

ROTAÇÃO DO MOTOR=1800.0RPM

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.69E-07	-.10E-06	-.14E-06
-.21E-06	-.29E-06	-.35E-06
-.42E-06	-.52E-06	-.63E-06
-.69E-06	-.83E-06	-.97E-06
-.10E-05	-.12E-05	-.14E-05
-.15E-05	-.17E-05	-.19E-05
-.19E-05	-.22E-05	-.24E-05

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.14E-06	-.42E-06	-.83E-06
-.21E-06	-.56E-06	-.10E-05
-.28E-06	-.69E-06	-.13E-05
-.35E-06	-.83E-06	-.15E-05
-.42E-06	-.97E-06	-.17E-05
-.49E-06	-.11E-05	-.19E-05
-.56E-06	-.13E-05	-.21E-05

ROTAÇÃO DO MOTOR=2000.0RPM

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.56E-07	-.84E-07	-.11E-06
-.17E-06	-.23E-06	-.29E-06
-.34E-06	-.42E-06	-.51E-06
-.56E-06	-.68E-06	-.79E-06
-.84E-06	-.99E-06	-.11E-05
-.12E-05	-.14E-05	-.15E-05
-.18E-05	-.18E-05	-.20E-05

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.11E-06	-.34E-06	-.68E-06
-.17E-06	-.45E-06	-.84E-06
-.23E-06	-.56E-06	-.10E-05
-.28E-06	-.68E-06	-.12E-05
-.34E-06	-.79E-06	-.14E-05
-.39E-06	-.90E-06	-.15E-05
-.45E-06	-.10E-05	-.17E-05

ROTAÇÃO DO MOTOR=2200.0RPM

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.47E-07	-.70E-07	-.93E-07
-.14E-06	-.19E-06	-.23E-06
-.28E-06	-.35E-06	-.42E-06
-.41E-06	-.56E-06	-.65E-06
-.70E-06	-.81E-06	-.93E-06
-.98E-06	-.11E-05	-.13E-05
-.13E-05	-.15E-05	-.16E-05

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.93E-07	-.23E-06	-.56E-06
-.14E-06	-.37E-06	-.70E-06
-.19E-06	-.47E-06	-.84E-06
-.23E-06	-.56E-06	-.93E-06
-.28E-06	-.65E-06	-.11E-05
-.33E-06	-.74E-06	-.13E-05
-.37E-06	-.84E-06	-.14E-05

ROTACAO DO MOTOR=2400.0RPM

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.39E-07	-.59E-07	-.78E-07
-.12E-06	-.16E-06	-.20E-06
-.23E-06	-.29E-06	-.35E-06
-.35E-06	-.47E-06	-.55E-06
-.59E-06	-.68E-06	-.73E-06
-.82E-06	-.94E-06	-.11E-05
-.11E-05	-.12E-05	-.14E-05

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.78E-07	-.23E-06	-.47E-06
-.12E-06	-.31E-06	-.59E-06
-.16E-06	-.39E-06	-.73E-06
-.20E-06	-.47E-06	-.82E-06
-.23E-06	-.55E-06	-.94E-06
-.27E-06	-.63E-06	-.11E-05
-.31E-06	-.70E-06	-.12E-05

ROTACAO DO MOTOR=2600.0RPM

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.33E-07	-.50E-07	-.67E-07
-.10E-06	-.13E-06	-.17E-06
-.20E-06	-.25E-06	-.30E-06
-.33E-06	-.40E-06	-.47E-06
-.50E-06	-.58E-06	-.67E-06
-.70E-06	-.80E-06	-.90E-06
-.93E-06	-.10E-05	-.12E-05

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.67E-07	-.20E-06	-.40E-06
-.10E-06	-.27E-06	-.50E-06
-.13E-06	-.33E-06	-.60E-06
-.17E-06	-.40E-06	-.70E-06
-.20E-06	-.47E-06	-.80E-06
-.23E-06	-.53E-06	-.90E-06
-.27E-06	-.60E-06	-.10E-05

Resultados do Programa 4

ROTAÇÃO DO MOTOR= 600.0RPM

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

- .20E-02	- .20E-02	- .20E-02
- .40E-02	- .40E-02	- .40E-02
- .60E-02	- .60E-02	- .60E-02
- .80E-02	- .80E-02	- .80E-02
- .10E-01	- .10E-01	- .10E-01
- .12E-01	- .12E-01	- .12E-01
- .14E-01	- .14E-01	- .14E-01

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

- .50E-03	- .11E-02	- .17E-02
- .56E-03	- .11E-02	- .17E-02
- .56E-03	- .11E-02	- .17E-02
- .56E-03	- .11E-02	- .17E-02
- .56E-03	- .11E-02	- .17E-02
- .56E-03	- .11E-02	- .17E-02
- .56E-03	- .11E-02	- .17E-02

ROTAÇÃO DO MOTOR= 600.0RPM

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

- .11E-02	- .11E-02	- .11E-02
- .22E-02	- .22E-02	- .22E-02
- .33E-02	- .33E-02	- .33E-02
- .45E-02	- .45E-02	- .45E-02
- .56E-02	- .56E-02	- .56E-02
- .67E-02	- .67E-02	- .67E-02
- .78E-02	- .78E-02	- .78E-02

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

- .32E-03	- .63E-03	- .95E-03
- .32E-03	- .63E-03	- .95E-03
- .32E-03	- .63E-03	- .95E-03
- .32E-03	- .63E-03	- .95E-03
- .31E-03	- .63E-03	- .95E-03
- .31E-03	- .63E-03	- .95E-03
- .31E-03	- .63E-03	- .95E-03

ROTAÇÃO DO MOTOR= 1000.0RPM

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

- .71E-03	- .71E-03	- .71E-03
- .14E-02	- .14E-02	- .14E-02
- .21E-02	- .21E-02	- .21E-02
- .28E-02	- .28E-02	- .28E-02
- .36E-02	- .36E-02	- .36E-02
- .43E-02	- .43E-02	- .43E-02
- .50E-02	- .50E-02	- .50E-02

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

- .20E-03	- .41E-03	- .61E-03
- .20E-03	- .40E-03	- .61E-03
- .20E-03	- .40E-03	- .61E-03
- .21E-03	- .40E-03	- .61E-03
- .20E-03	- .40E-03	- .61E-03
- .20E-03	- .40E-03	- .61E-03
- .20E-03	- .40E-03	- .61E-03

Resultados do Programa 5

ROTACAO DO MOTOR= 600.0RPM

FACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.20E-01	-.20E-01	-.20E-01
-.42E-01	-.41E-01	-.41E-01
-.64E-01	-.64E-01	-.64E-01
-.88E-01	-.88E-01	-.87E-01
-.11E+00	-.11E+00	-.11E+00
-.14E+00	-.14E+00	-.14E+00
-.17E+00	-.17E+00	-.17E+00

FACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.56E-02	-.11E-01	-.17E-01
-.54E-02	-.11E-01	-.17E-01
-.53E-02	-.11E-01	-.16E-01
-.51E-02	-.10E-01	-.16E-01
-.50E-02	-.10E-01	-.15E-01
-.48E-02	-.98E-02	-.15E-01
-.47E-02	-.95E-02	-.15E-01

ROTACAO DO MOTOR= 800.0RPM

FACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.11E-01	-.11E-01	-.11E-01
-.23E-01	-.23E-01	-.23E-01
-.35E-01	-.35E-01	-.35E-01
-.47E-01	-.47E-01	-.47E-01
-.60E-01	-.60E-01	-.60E-01
-.73E-01	-.73E-01	-.73E-01
-.87E-01	-.87E-01	-.86E-01

FACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.31E-02	-.63E-02	-.95E-02
-.31E-02	-.62E-02	-.94E-02
-.30E-02	-.61E-02	-.93E-02
-.30E-02	-.60E-02	-.91E-02
-.29E-02	-.59E-02	-.90E-02
-.29E-02	-.58E-02	-.88E-02
-.28E-02	-.57E-02	-.87E-02

ROTACAO DO MOTOR= 1000.0RPM

FACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.72E-02	-.72E-02	-.71E-02
-.14E-01	-.14E-01	-.14E-01
-.22E-01	-.22E-01	-.22E-01
-.29E-01	-.29E-01	-.29E-01
-.37E-01	-.37E-01	-.37E-01
-.45E-01	-.45E-01	-.45E-01
-.53E-01	-.53E-01	-.53E-01

FACTOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.20E-02	-.41E-02	-.61E-02
-.20E-02	-.40E-02	-.61E-02
-.20E-02	-.40E-02	-.60E-02
-.20E-02	-.39E-02	-.59E-02
-.19E-02	-.39E-02	-.57E-02
-.19E-02	-.39E-02	-.58E-02
-.19E-02	-.38E-02	-.58E-02

ROTACAO DO MOTOR=1200.0RPM

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.50E-02	-.50E-02	-.50E-02
-.10E-01	-.10E-01	-.10E-01
-.15E-01	-.15E-01	-.15E-01
-.20E-01	-.20E-01	-.20E-01
-.25E-01	-.25E-01	-.25E-01
-.31E-01	-.31E-01	-.31E-01
-.36E-01	-.36E-01	-.36E-01

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.14E-02	-.26E-02	-.42E-02
-.14E-02	-.26E-02	-.42E-02
-.14E-02	-.26E-02	-.42E-02
-.14E-02	-.26E-02	-.42E-02
-.14E-02	-.27E-02	-.41E-02
-.14E-02	-.27E-02	-.41E-02
-.13E-02	-.27E-02	-.41E-02

ROTACAO DO MOTOR=1400.0RPM

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.30E-02	-.30E-02	-.30E-02
-.73E-02	-.73E-02	-.73E-02
-.11E-01	-.11E-01	-.11E-01
-.15E-01	-.15E-01	-.15E-01
-.19E-01	-.19E-01	-.19E-01
-.22E-01	-.22E-01	-.22E-01
-.26E-01	-.26E-01	-.26E-01

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.14E-02	-.21E-02	-.31E-02
-.10E-02	-.21E-02	-.31E-02
-.10E-02	-.20E-02	-.31E-02
-.10E-02	-.20E-02	-.31E-02
-.10E-02	-.20E-02	-.31E-02
-.10E-02	-.20E-02	-.30E-02
-.10E-02	-.20E-02	-.30E-02

ROTACAO DO MOTOR=1600.0RPM

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.26E-02	-.26E-02	-.26E-02
-.56E-02	-.56E-02	-.56E-02
-.84E-02	-.84E-02	-.84E-02
-.11E-01	-.11E-01	-.11E-01
-.14E-01	-.14E-01	-.14E-01
-.17E-01	-.17E-01	-.17E-01
-.20E-01	-.20E-01	-.20E-01

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.79E-03	-.16E-02	-.24E-02
-.79E-03	-.16E-02	-.24E-02
-.78E-03	-.16E-02	-.24E-02
-.76E-03	-.16E-02	-.23E-02
-.76E-03	-.16E-02	-.23E-02
-.77E-03	-.15E-02	-.23E-02

Resultados do Programa 6

ROTAÇÃO DO MOTOR= 500.000

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-26E+00	-25E+00	-25E+00
-75E+00	-72E+00	-73E+00
-19E+01	-18E+01	-17E+01
-82E+01	-69E+01	-60E+01
93E+01	11E+02	14E+02
39E+01	42E+01	40E+01
28E+01	29E+01	31E+01

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-49E-01	-11E+00	-78E+00
-29E-01	-78E-01	-19E+00
9E-02	-12E-01	-92E-01
19E+00	25E+00	22E+00
-30E+00	-85E+00	-11E+01
-14E+00	-24E+00	-42E+00
-11E+00	-21E+00	-22E+00

ROTAÇÃO DO MOTOR= 500.000

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 3

-15E+00	-14E+00	-13E+00
-43E+00	-40E+00	-37E+00
-10E+01	-92E+00	-85E+00
-28E+01	-23E+01	-20E+01
-22E+02	-11E+02	-74E+01
62E+01	80E+01	117E+02
34E+01	30E+01	44E+01

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 4

-12E-01	-43E-01	-9E-01
24E-01	26E-01	58E-02
84E-01	13E+00	13E+00
23E+00	37E+00	44E+00
19E+01	16E+01	17E+01
51E+00	13E+01	25E+01
26E+00	58E+00	78E+00

ROTAÇÃO DO MOTOR= 1000.000

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-80E-01	-78E-01	-77E-01
-18E+00	-18E+00	-18E+00
-32E+00	-32E+00	-31E+00
-51E+00	-50E+00	-49E+00
-76E+00	-76E+00	-74E+00
-12E+01	-11E+01	-11E+01
-18E+01	-18E+01	-17E+01

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-17E-01	-30E-01	-33E-01
-12E-01	-29E-01	-40E-01
-54E-02	-17E-01	-31E-01
73E-03	-30E-02	-11E-01
9E-02	14E-01	14E-01
22E-01	38E-01	47E-01
42E-01	74E-01	97E-01

ROTAÇÃO DO MOTOR=1200.0RPM

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.53E-01	-.53E-01	-.22E-01
-.12E+00	-.11E+00	-.11E+00
-.19E+00	-.19E+00	-.17E+00
-.28E+00	-.27E+00	-.27E+00
-.38E+00	-.38E+00	-.38E+00
-.51E+00	-.51E+00	-.51E+00
-.68E+00	-.67E+00	-.55E+00

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.13E-01	-.20E-01	-.43E-01
-.11E-01	-.24E-01	-.30E-01
-.96E-02	-.21E-01	-.35E-01
-.77E-02	-.17E-01	-.27E-01
-.55E-02	-.12E-01	-.21E-01
-.30E-02	-.70E-02	-.14E-01
-.28E-04	-.19E-02	-.55E-02

ROTAÇÃO DO MOTOR=1400.0RPM

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.30E-01	-.38E-01	-.35E-01
-.61E-01	-.60E-01	-.63E-01
-.13E+00	-.13E+00	-.13E+00
-.18E+00	-.18E+00	-.18E+00
-.24E+00	-.24E+00	-.24E+00
-.31E+00	-.31E+00	-.31E+00
-.39E+00	-.39E+00	-.39E+00

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.99E-02	-.20E-01	-.32E-01
-.92E-02	-.19E-01	-.29E-01
-.84E-02	-.17E-01	-.27E-01
-.76E-02	-.16E-01	-.25E-01
-.67E-02	-.14E-01	-.22E-01
-.58E-02	-.12E-01	-.19E-01
-.48E-02	-.10E-01	-.17E-01

ROTAÇÃO DO MOTOR=1600.0RPM

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.29E-01	-.29E-01	-.29E-01
-.60E-01	-.60E-01	-.60E-01
-.94E-01	-.94E-01	-.94E-01
-.13E+00	-.13E+00	-.13E+00
-.17E+00	-.17E+00	-.17E+00
-.22E+00	-.22E+00	-.22E+00
-.26E+00	-.26E+00	-.26E+00

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.77E-02	-.10E-01	-.24E-01
-.73E-02	-.10E-01	-.23E-01
-.69E-02	-.14E-01	-.22E-01
-.65E-02	-.13E-01	-.21E-01
-.61E-02	-.13E-01	-.19E-01
-.56E-02	-.12E-01	-.18E-01
-.52E-02	-.11E-01	-.17E-01

ROTACAO DO MOTOR=1500.0RPM

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.23E-01	-.22E-01	-.22E-01
-.47E-01	-.40E-01	-.45E-01
-.72E-01	-.72E-01	-.72E-01
-.10E+00	-.93E-01	-.13E-01
-.13E+00	-.13E+00	-.13E+00
-.16E+00	-.16E+00	-.16E+00
-.19E+00	-.19E+00	-.19E+00

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.61E-02	-.12E-01	-.12E-01
-.59E-02	-.12E-01	-.13E-01
-.57E-02	-.12E-01	-.13E-01
-.55E-02	-.11E-01	-.17E-01
-.52E-02	-.11E-01	-.16E-01
-.50E-02	-.10E-01	-.16E-01
-.47E-02	-.98E-02	-.15E-01

ROTACAO DO MOTOR=2000.0RPM

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.10E-01	-.10E-01	-.10E-01
-.37E-01	-.37E-01	-.37E-01
-.57E-01	-.57E-01	-.57E-01
-.79E-01	-.79E-01	-.79E-01
-.10E+00	-.10E+00	-.10E+00
-.12E+00	-.12E+00	-.12E+00
-.15E+00	-.15E+00	-.15E+00

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.50E-02	-.10E-01	-.15E-01
-.49E-02	-.98E-02	-.15E-01
-.47E-02	-.96E-02	-.15E-01
-.46E-02	-.95E-02	-.14E-01
-.44E-02	-.90E-02	-.14E-01
-.43E-02	-.87E-02	-.13E-01
-.41E-02	-.84E-02	-.13E-01

ROTACAO DO MOTOR=2500.0RPM

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.15E-01	-.15E-01	-.15E-01
-.31E-01	-.30E-01	-.30E-01
-.47E-01	-.47E-01	-.47E-01
-.64E-01	-.64E-01	-.64E-01
-.81E-01	-.81E-01	-.81E-01
-.10E+00	-.10E+00	-.10E+00
-.12E+00	-.12E+00	-.12E+00

FAIXA DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.41E-02	-.84E-02	-.13E-01
-.41E-02	-.82E-02	-.12E-01
-.40E-02	-.80E-02	-.12E-01
-.39E-02	-.78E-02	-.12E-01
-.38E-02	-.76E-02	-.12E-01
-.37E-02	-.74E-02	-.11E-01
-.36E-02	-.72E-02	-.11E-01

ROTIACAO DO ROTOR=2400.0000

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

-.13E-01	-.12E-01	-.12E-01
-.25E-01	-.25E-01	-.25E-01
-.39E-01	-.39E-01	-.39E-01
-.53E-01	-.53E-01	-.53E-01
-.67E-01	-.67E-01	-.67E-01
-.82E-01	-.82E-01	-.82E-01
-.97E-01	-.97E-01	-.97E-01

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

-.35E-02	-.73E-02	-.11E-01
-.34E-02	-.69E-02	-.10E-01
-.34E-02	-.68E-02	-.10E-01
-.33E-02	-.67E-02	-.10E-01
-.32E-02	-.65E-02	-.99E-02
-.32E-02	-.64E-02	-.97E-02
-.31E-02	-.63E-02	-.95E-02

ROTIACAO DO ROTOR=2400.0000

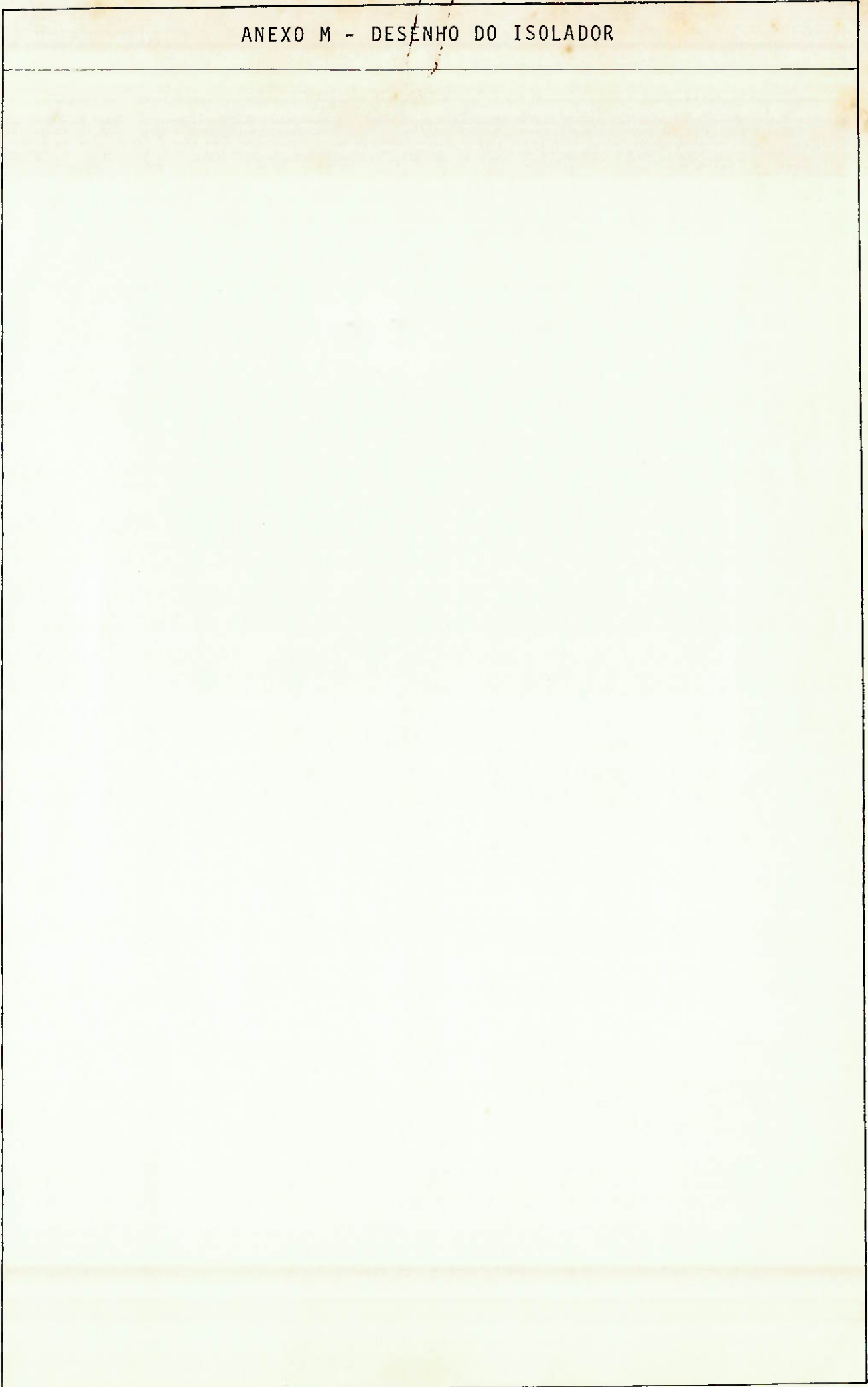
FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 1

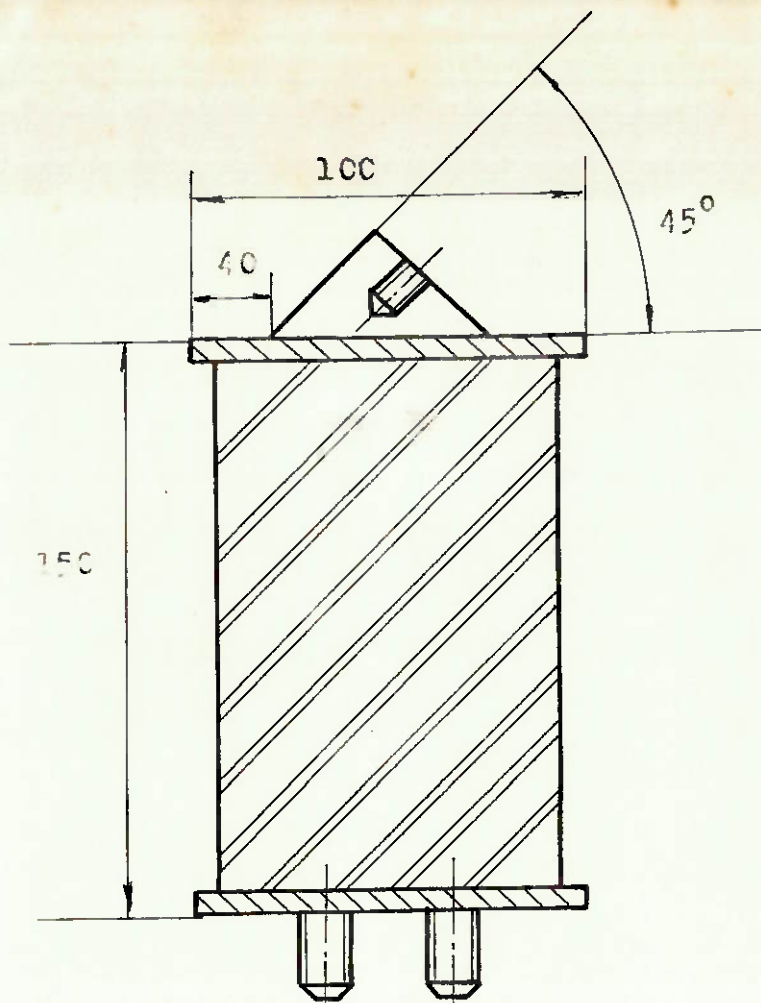
-.11E-01	-.11E-01	-.11E-01
-.22E-01	-.22E-01	-.22E-01
-.33E-01	-.33E-01	-.33E-01
-.44E-01	-.44E-01	-.44E-01
-.55E-01	-.55E-01	-.55E-01
-.66E-01	-.66E-01	-.66E-01
-.82E-01	-.81E-01	-.81E-01

FATOR DE TRANSMISSIBILIDADE DO ELEMENTO ELASTICO 2

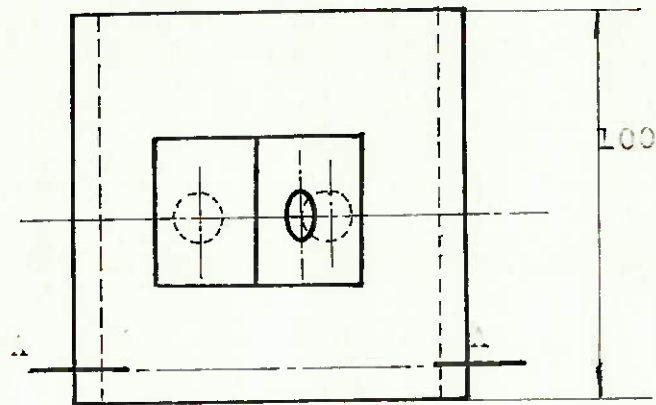
-.30E-02	-.50E-02	-.91E-02
-.29E-02	-.50E-02	-.89E-02
-.29E-02	-.50E-02	-.87E-02
-.28E-02	-.50E-02	-.85E-02
-.26E-02	-.50E-02	-.83E-02
-.24E-02	-.50E-02	-.81E-02
-.21E-02	-.50E-02	-.78E-02

ANEXO M - DESENHO DO ISOLADOR





CORTE AA



1:2

E F U S P

SUPORTE ELÁSTICO