

ACÓSTICA DOS ESCRITÓRIOS PANORÂMICOS

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
AV. PROF. FREDERICO HERRMANN JR., 345 CEP 05489 - PINHEIROS
SÃO PAULO - BRASIL

ARQUIVO TECNICO



AGRADECEMOS/A

Ens. Eduardo Antonio Licco

FOLHA DE PUBLICAÇÃO

1. INFORMAÇÕES GERAIS

- 1.1 - Introdução
- 1.2 - Definições
- 1.3 - Dados do Problema
- 1.4 - Exigências
- 1.5 - Fenômenos Físicos
- 1.6 - Fenômenos Psico-físicos
- 1.7 - Bibliografia

1.1 - introdução

São reais as vantagens dos *escritórios panorâmicos* sobre os escritórios particionados tradicionalmente tanto sob o ponto de vista arquitetônico (pois aqueles permitem uma grande liberdade de utilização) quanto pelo efetivo aumento de rentabilidade. De fato a possibilidade de modificar os arranjos conforme as necessidades, assim como a fácil circulação dão um caráter mais dinâmico ao aproveitamento do espaço, o que não acontece nos escritórios tradicionais; ao mesmo tempo propiciam mais fácil inter-relacionamento entre o pessoal, de diversos níveis de decisão, aumentando assim o rendimento dos trabalhos, através de um controle mais efetivo sobre os meios de contato, o fluxo dos serviços, e os acúmulos de tarefas.

Os problemas de conforto climático de verão ou de inverno, e os problemas de iluminação diferem pouco dos que existem nos escritórios tradicionais. Solucionados esses problemas resta outro, muito importante, a resolver: o problema da acústica. O confinamento dos espaços nos escritórios tradicionais limita a propagação do som e dá o isolamento necessário à realização de certos trabalhos. Nos escritórios-salões, com grandes áreas, o inter-relacionamento fácil deve preservar a nítida inteligibilidade da palavra entre dois interlocutores próximos, e deve ao mesmo tempo garantir baixa inteligibilidade para o resto das pessoas no escritório; além disso, não deve produzir níveis, nem variações de ruídos que sejam indesejáveis.

Depois de discutir o tratamento desses requisitos, apresentarei uma proposta de análise acústica dos grandes escritórios com os recursos do equipamento utilizado e em função do tempo de reverberação encontrado, introduzindo a variação local deste como parâmetro capaz de substituir o "T.P.I." (Transient Peak Index) para a verificação da existência, ou não, do desejável conforto acústico.

1.2 - Definições

Recapitularemos, a seguir, algumas definições básicas.

INTENSIDADE ACÚSTICA medida num ponto, numa direção dada, é o fluxo médio de energia que atravessa (por unidade de tempo) a unidade de superfície centrada nesse ponto e perpendicular à direção considerada, segundo Josse (25).

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a intensidade acústica exprime-se em W/m^2 .

POTÊNCIA ACÚSTICA de uma fonte sonora é a quantidade de energia acústica emitida por esta fonte por unidade de tempo.

Nas potências acústicas que interessam a percepção do ouvido humano, encontramos valores desde 10^{-9} watt, até ruídos de reatores de avião com potência 10^5 watt. Os técnicos de acústica acham conveniente exprimir tais valores sob forma logarítmica: obtem-se assim níveis em relação a certos valores de referência, arbitrariamente escolhidos, e esses níveis são expressos em decibels ou dB.

O nível (L_p) de uma pressão acústica p , (valor eficaz) é definida por:

$$L_p = 20 \log (p/p_0), \text{ sendo } p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ pascal}$$

O nível de uma intensidade acústica I é:

$$L_I = 10 \log (I/I_0), \text{ sendo } I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2.$$

O nível de uma potência acústica W é:

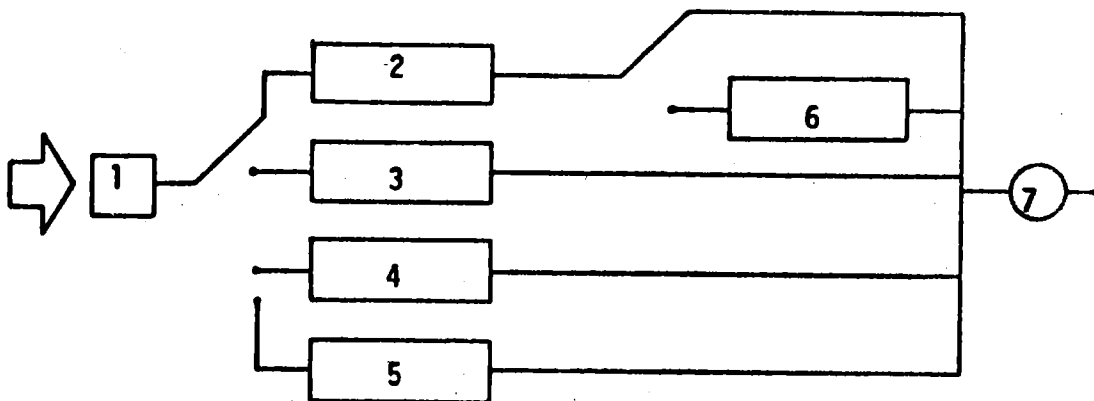
$$L_W = 10 \log (W/W_0), \text{ sendo } W_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W.}$$

MEDIDORES DE NÍVEL SONORO (DE PRESSÃO ACÚSTICA)

Na prática a determinação do nível de pressão a cústica faz-se com a ajuda de um medidor de nível sonoro ou "sonometro", Este pode nos fornecer o nível sonoro global (a) ponderado em frequência, segundo a sensação auditiva, assim como (b) por banda de frequência, conforme recomendação ISO(3)

Para melhor compreensão indicaremos um dos possíveis diagramas de bloco referentes a um medidor de nível sonoro (fig.1).

FIG.1



- 1 - transdutor eletro-acústico
- 2 - sistema linear de amplificação
- 3 - 4 - 5 - sistemas ponderados segundo a sensação média do ouvido humano em níveis diferentes convencionalmente chamados de dB(A), dB(B), dB(C)
- 6 - filtros por banda de frequência
- 7 - galvanômetro

Dada a dificuldade de estabelecer uma medida quantitativa de uma sensação, e dada a complexidade de funcionamento do ouvido humano, não é possível, no estado atual da técnica, realizar um aparelho objetivo de medidas de ruído, capaz de fornecer, para todos os tipos de ruído, resultados que sejam absolutamente comparáveis àqueles que forneceriam os métodos subjetivos diretos. É portanto indispensável "nor-

malizar-se" um aparelho a fim de que o mesmo permita executar as medidas dentro de condições tais que os resultados obtidos no mundo inteiro sejam diretamente comparáveis. O que se faz com tal tipo de aparelho é medir o nível de pressão acústica ponderada segundo as curvas de referência normalizadas A, B e C, conforme **QUADRO I**

Frequência (Hz)	Curva A (dB)	Curva B (dB)	Curva C (dB)	Tolerância (dB)	
10	-70,8	-38,8	-14,8	8	--
12,8	-63,4	-33,4	-11,4	8	--
16	-56,7	-28,7	- 8,6	8	--
20	-50,4	-24,4	- 6,3	8	--
25	-44,6	-20,8	- 4,5	8	--
31,8	-39,2	-17,2	- 3,0	8	-8
40	-34,8	-14,2	- 2,0	4,8	-4,8
50	-30,2	-11,7	- 1,3	4	-4
63	-26,1	- 9,4	- 0,8	4	-4
80	-22,3	- 7,4	- 0,5	3,8	-3,8
100	-19,1	- 5,7	- 0,3	3,8	-3
128	-16,1	- 4,3	- 0,2	3	-3
160	-13,2	- 3,0	- 0,1	3	-3
200	-10,8	- 2,1	0	3	-3
250	- 8,6	- 1,4	0	3	-3
318	- 6,6	- 0,9	0	3	-3
400	- 4,8	- 0,6	0	3	-3
500	- 3,2	- 0,3	0	3	-3
630	- 1,9	- 0,1	0	3	-3
800	- 0,8	0	0	2,8	-2,8
1000	0	0	0	2	-2
1280	0,6	0	0	2,8	-2,8
1600	1,0	- 0,1	- 0,1	3	-3
2000	1,2	- 0,2	- 0,2	3	-3
2500	1,2	- 0,3	- 0,3	4	-3
3180	1,2	- 0,5	- 0,5	5	-3,8
4000	1,0	- 0,6	- 0,6	5,8	-4
5000	0,8	- 1,2	- 1,3	6	-4,8
6300	- 0,1	- 2,0	- 2,0	6	-6
8000	- 1,1	- 3,0	- 3,0	6	-6
10000	- 2,4	- 4,2	- 4,3	6	--
12800	- 4,2	- 6,0	- 6,0	6	--
16000	- 6,8	- 8,3	- 8,4	6	--
20000	- 9,2	-11,0	-11,1	6	--

Este quadro apresenta as respostas do sonômetro em campo acústico livre, em decibels, em relação à resposta referente a 1000 Hz; esta última, correspondendo ao nível zero de pressão acústica.

Normalmente uma só destas curvas é correntemente utilizada; é a curva de referência normalizada (A). Nestas condições o nível de pressão acústica global ponderado é agora expresso em decibels (A).

A determinação do nível global de ruído, é quase sempre insuficiente para apreciar os fenômenos. Torna-se necessário medir a pressão acústica por bandas de frequência; desta maneira pode-se conhecer a distribuição de pressões em função da frequência.

Em seguida, a partir dos resultados desta análise, pode-se calcular o nível global em decibels (A), de ruído conforme exemplo encontrado no QUADRO 2.

QUADRO 2: Exemplo de nível de pressão em dB(A) calculado a partir dos dB encontrados por oitava, centrados nas frequências indicadas no quadro 2.

f (Hz)	L_p (dB)	A (dB)	$(L_p + A)$ (dB)
125	56	-15,5	40,5
250	60	- 8,5	51,5
300	63	- 3	60
1000	63	0	63
2000	58	1	59
4000	48	1	49

No nosso exemplo, obteremos um nível global de pressão acústica de 66 decibels (A).

DIRETIVIDADE

No caso em que a fonte sonora não é omnidirecional, define-se o fator de diretividade e da fonte, para uma

direção dada, como sendo a relação entre a intensidade existente em um ponto e a intensidade que seria produzida, na mesma posição, por uma fonte pontual omnidirecional tendo a mesma potência.

Índice de diretividade é dez vezes o logaritmo de Q .

ABSORÇÃO

O coeficiente de absorção α de um material é a relação entre a quantidade de energia sonora absorvida pela superfície do material e a quantidade de energia incidente sobre a mesma.

Para um local, a soma dos produtos $\alpha_i S_i$ referentes a superfície S_i das paredes, do mobiliário, etc... multiplicadas pelos seus coeficientes de absorção α_i correspondentes é denominada área de absorção equivalente do local.

$$A = \sum S_i \alpha_i$$

Chama-se *tempo de reverberação* T_r de um local, o tempo necessário para que a energia sonora contida nesse local, passe de certo valor (inicial) a um valor um milhão de vezes menor, depois que a fonte sonora tenha cessado de emitir, ou seja, a pressão venha a se tornar mil vezes menor.

O tempo de reverberação está ligado à área de absorção equivalente e ao volume do local V pela fórmula de Sabine:

$$T_r = 0,161 \frac{V}{A} \quad T_r(s), \quad V (m^3), \quad A (m^2)$$

para $\bar{\alpha} \leq 0,1$

- ou pela fórmula de Eyring-Horris, para qualquer valor de α :

$$T_r = 0,07 \frac{V}{-S \log (1 - \bar{\alpha})}$$

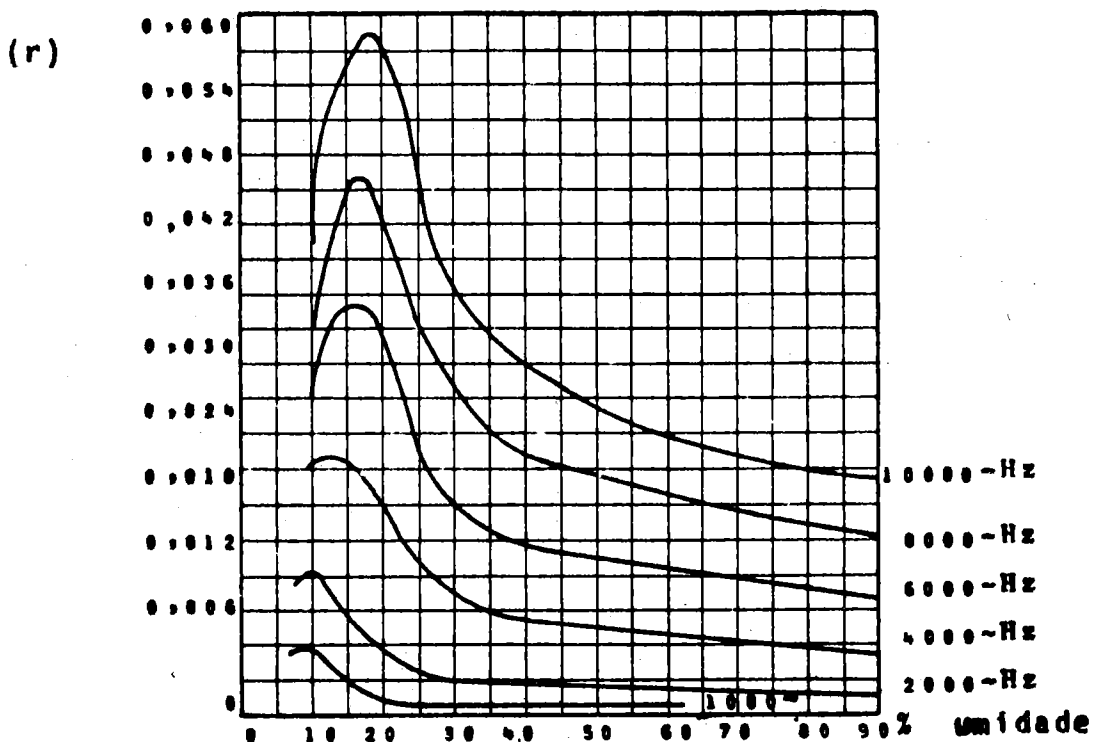
ABSORÇÃO DO AR

Podemos ainda levar em conta a absorção do ar, segundo Knudsen e Harris (6), considerando:

$$T_r = \frac{0,049 V}{- S \cdot \ln (1 - \bar{\alpha}) + 4r V} , \text{ onde } r \text{ é dado pelo}$$

gráfico da figura 2.

FIG. 2



r = COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO POR METRO

Coeficiente de atenuação r para o ar em função da umidade relativa para diversas frequências.

NÍVEL RESULTANTE

A determinação do nível resultante devido a du as fontes superpostas, L_1 e L_2 , segundo Josse (7), pode ser determinada como se segue:

$$L_1 = 20 \log \frac{P_1}{P_0} \quad \text{e} \quad L_2 = 20 \log \frac{P_2}{P_0}$$

Supondo-se $L_1 > L_2$ podemos escrever:

$$L_1 - L_2 = \Delta L_1 = 20 \log \frac{P_1}{P_2}$$

$$L_1 + \Delta L_1 = 20 \log \frac{P_1 + P_2}{P_0}$$

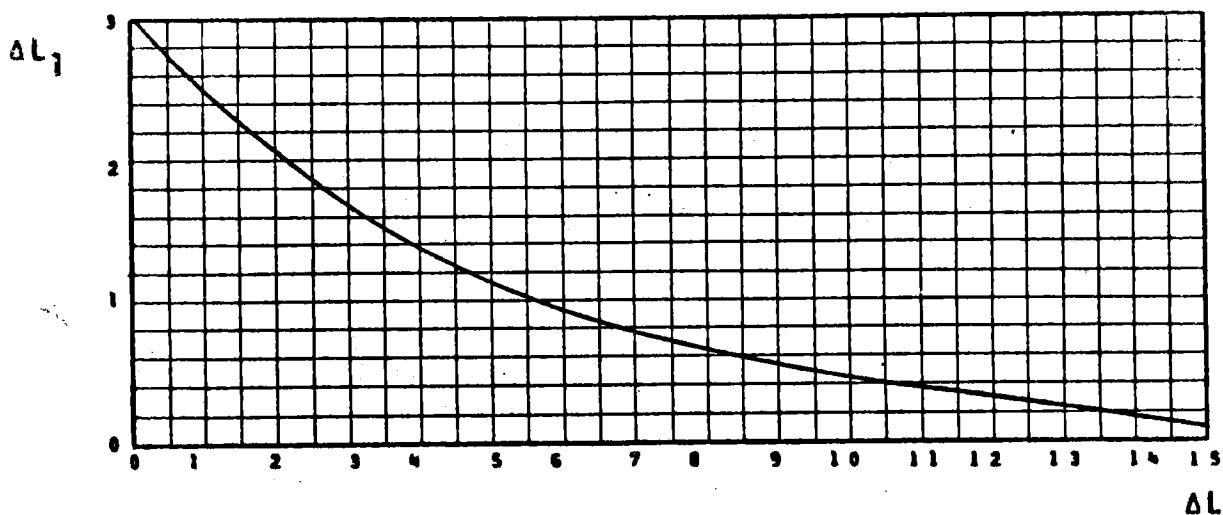
onde ΔL_1 é o acréscimo que devemos dar a L_1 para obtermos o nível resultante.

Determinando ΔL_1 em função de L , obtemos:

$$\Delta L_1 = 20 \log \left(1 - \text{ant log} \frac{\Delta L}{20} \right)$$

Se fizermos um abaco ΔL_1 em função de ΔL obtemos a Fig.3.

FIG.3



Diferença em decibels entre os dois níveis a adicionar.

1.3 - Dados do Problema

1 - OS LOCAIS

São conhecidos, há longo tempo, locais de grandes dimensões nos quais um certo tipo de pessoal efetua um trabalho específico; citaremos por exemplo: as estações, os bancos, etc. Mas estes locais, contrariamente aos escritórios panorâmicos, possuem uma grande altura, enquanto que os escritórios panorâmicos se caracterizam por uma grande superfície, algumas centenas de metros quadrados, e um pé direito normal de 2,70 a 3 metros. Ademais, a densidade de ocupação é da ordem de 8 a 10 metros quadrados por pessoa, e seu mobiliário é menor e mais regular do que nos exemplos citados acima.

2 - AS FONTES DE RUÍDO USUAIS DENTRO DOS ESCRITÓRIOS

As principais fontes de ruído nos escritórios podem ser agrupadas em três categorias principais:

- Os ocupantes
- As fontes de ruído interiores (telefones, máquinas, sistemas de climatização, etc.);
- As fontes de ruído exteriores

1º) OS OCUPANTES

O nível médio de potência acústica emitido por um homem, falando em voz normal, é dado pela figura 4.

O nível global de potência acústica para um homem falando com voz normal é:

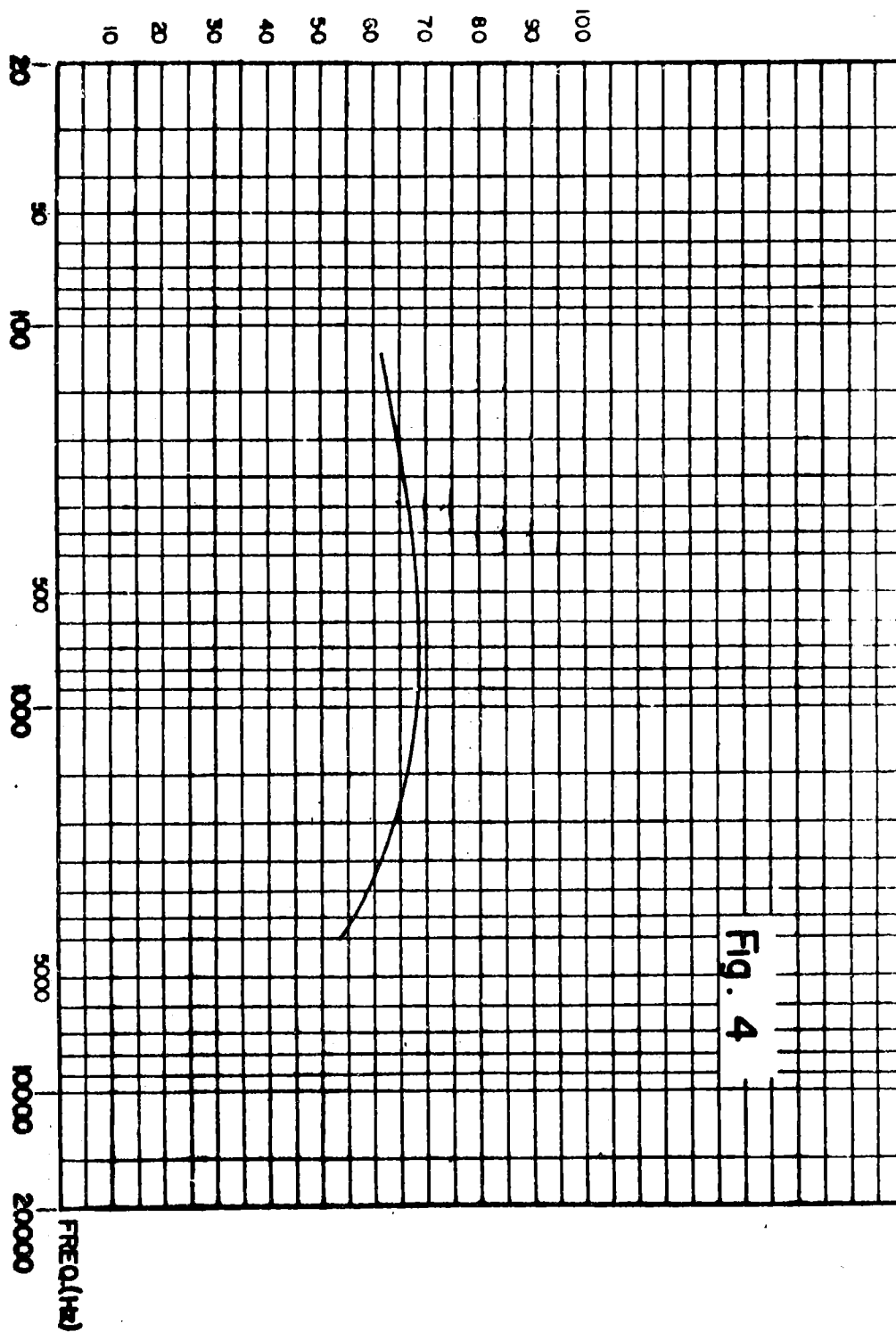
$$L_W = 71 \text{ dB(A)}$$

Quando um homem fala com voz intensa, o nível global aumenta da ordem de 6 decibels, e podemos admitir que neste caso é:

$$L_W = 77 \text{ dB(A)}$$

Ao contrário, o fato de falar em voz baixa leva o nível de potência global a 65 dB(A), mais ou menos.

NÍVEL DE PRESSÃO ACUSTICA EM dB POR BANDA DE OITAVA
pressão de referência: $2 \cdot 10^{-5}$ Pascal

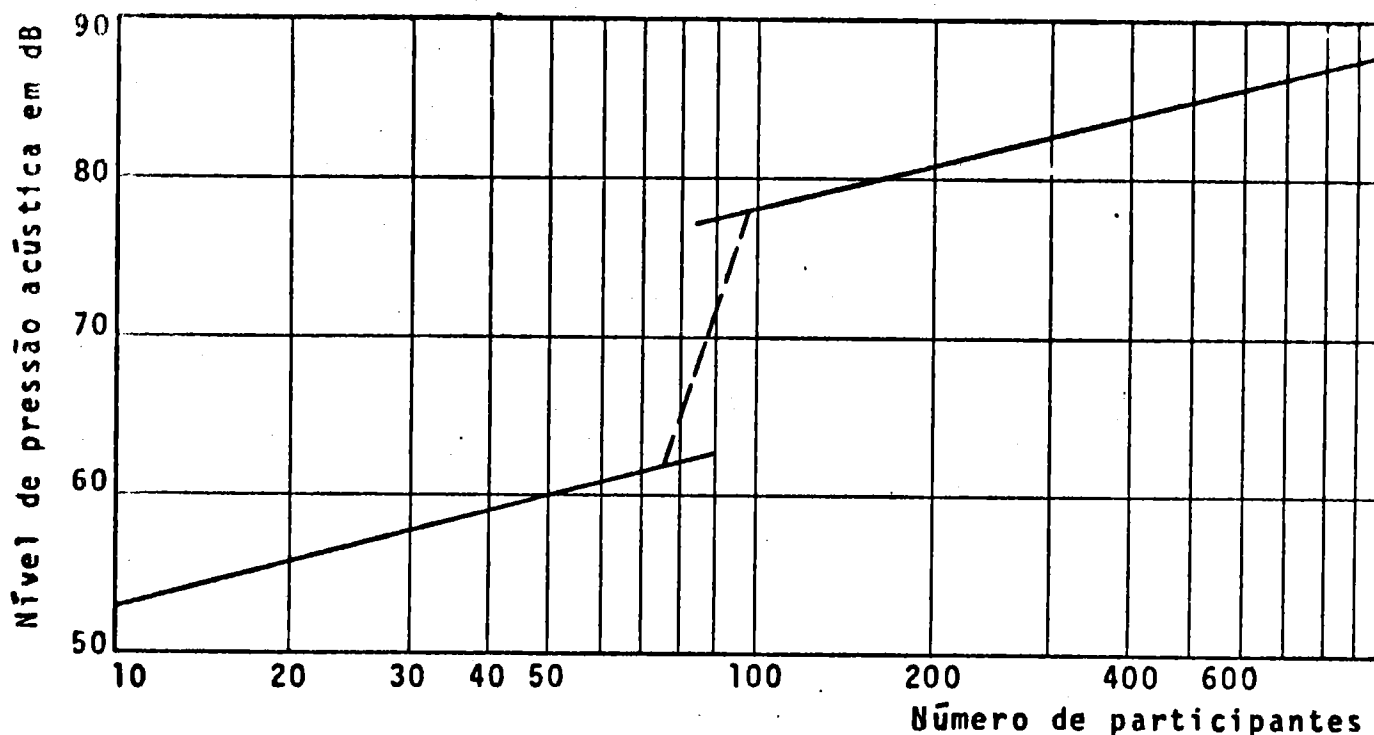


Nível de potência média emitida por um homem falando em voz normal

Fig. 4

Quando um grande número de pessoas estão reunidas em um mesmo local, tal como um escritório de grandes dimensões, o risco é de cada um elevar a voz para se fazer compreender, o que paralelamente aumenta o ruído de fundo. Este fenômeno foi evidenciado em certas reuniões, segundo Legett, R.F. e Northwood, T.D. (8). Vide figura 5.

FIG. 5 Nível global de ruído durante uma festa



Suporemos, em seguida, que a densidade de ocupação nos escritórios panorâmicos é suficientemente pequena, para que as pessoas se façam entender sem elevar a voz. Nestas condições, tomaremos portanto, 71 dB(A) como nível de potência acústica global por pessoa falando.

2º) FONTES DE RUÍDO INTERIORES

Nas figuras 6 a 11 são dadas, para diferentes fontes de ruído interiores, em escritórios, as respectivas análises espectrais, em nível de pressão por banda de oitava

(tendo como referência 2×10^{-3} pascals), e em função da frequência mediana das bandas de uma oitava, bem como o nível de potência global calculável, L_W , em dB(A).

CLIMATIZAÇÃO (9) (10)

Os construtores de aparelhos climatizadores e de ventilação são, em geral, capazes de controlar suficientemente bem suas instalações a fim de que elas não produzam e não transmitam níveis de ruído indesejáveis, não permitindo também a comunicação de conversação e outros ruídos entre os locais ligados pelos ductos. Apesar disto, devemos sempre que possível orientar os construtores, a fim de que o nível de ruído das instalações de climatização não seja elevado.

As principais fontes de ruído são as seguintes:

- Os motores e ventiladores
- As turbulências devido ao fluxo de ar
- Os ruídos de origem exterior que penetram no sistema.

3º) FONTES DE RUÍDOS EXTERIORES (segundo Josse)

Não é o fato de serem grandes, que os escritórios panorâmicos serão submetidos a fontes de ruídos exteriores mais importantes, mas eles também não serão construídos em zonas residenciais calmas, porém, sobretudo em terrenos situados junto a vias de circulação rápida. Vide Josse (11).

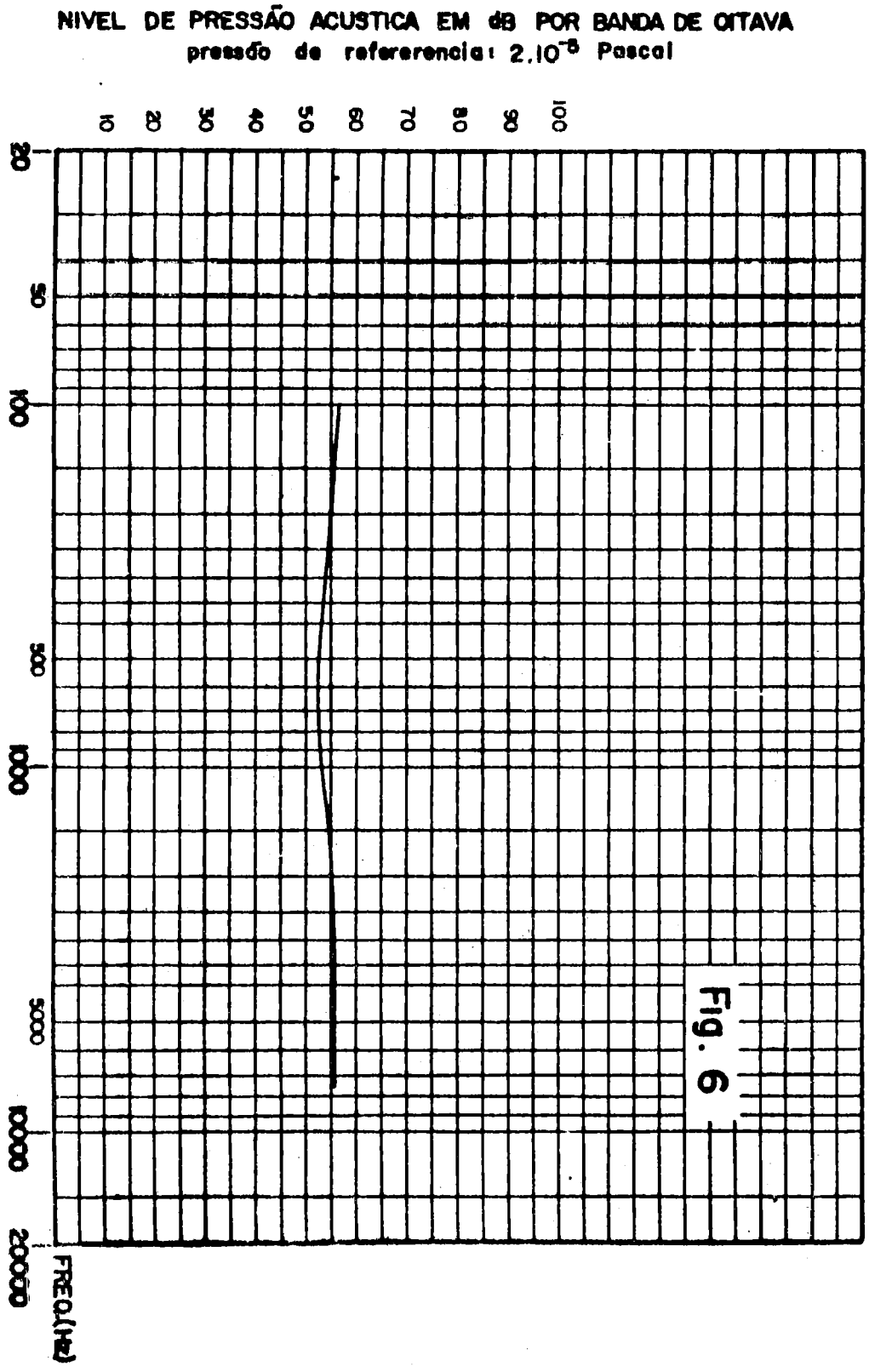
A principal fonte de ruído exterior constante será, nestas condições, o ruído de circulação.

Medidas foram feitas nos bordos de vias rápidas (mais ou menos a 50 m), ao longo das fachadas de construções, nas horas de tráfego mais intenso, ou seja uma circulação da ordem de 5.000 veículos por hora, com porcentagem importante de caminhões. Foi encontrado um nível de 80 dB(A), alcançado durante 50% do tempo, com um desvio quadrático igual a 2 dB(A)

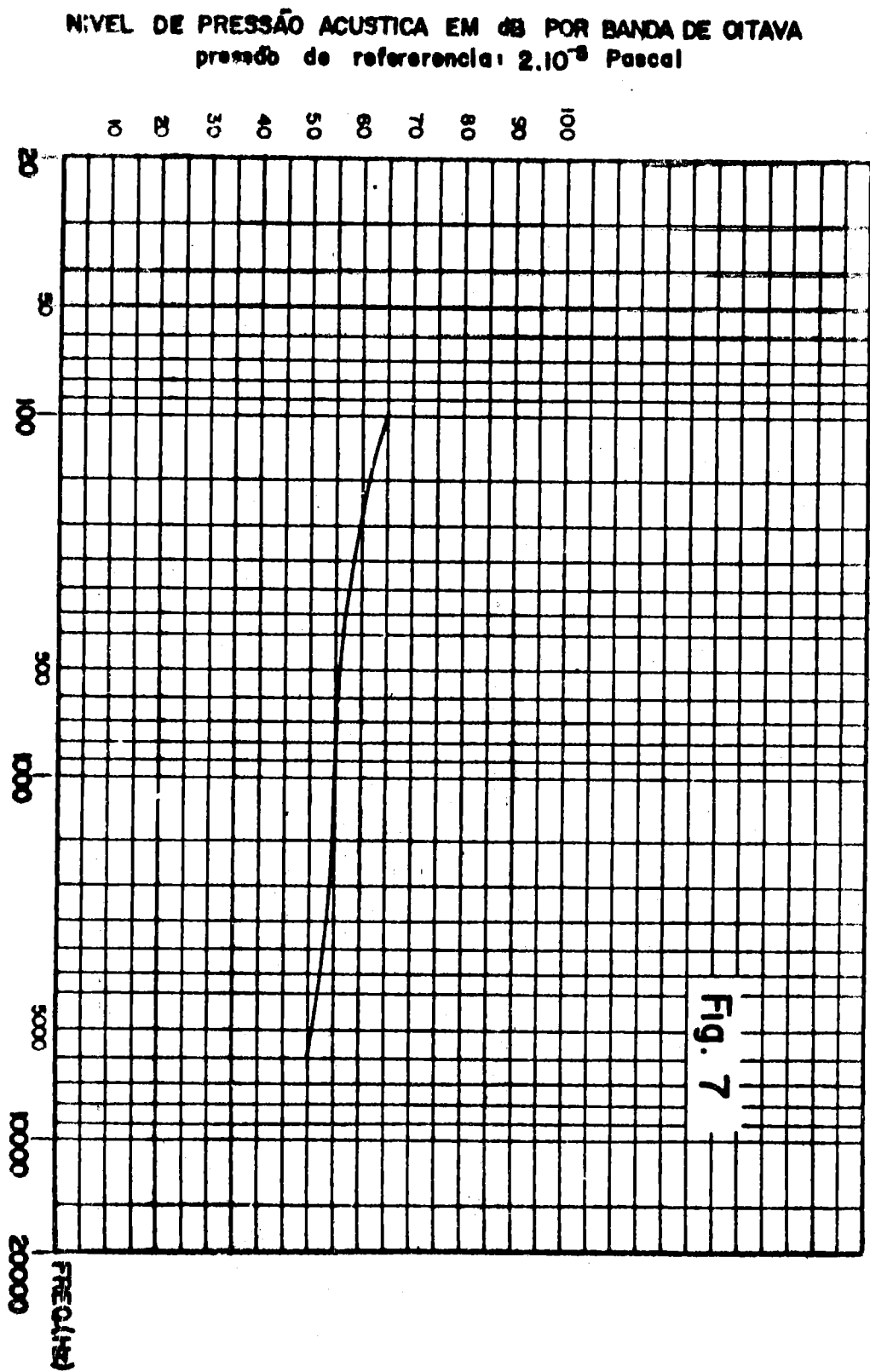
É sobre este resultado que poderemos nos basear para determinar os índices de isolação acústica necessários para que o ruído não seja desagradável no interior dos escritórios panorâmicos.

Darei na bibliografia, algumas referências dos estudos que o leitor poderá consultar para mais amplas informações, (13) (14) (15) (16) (17).

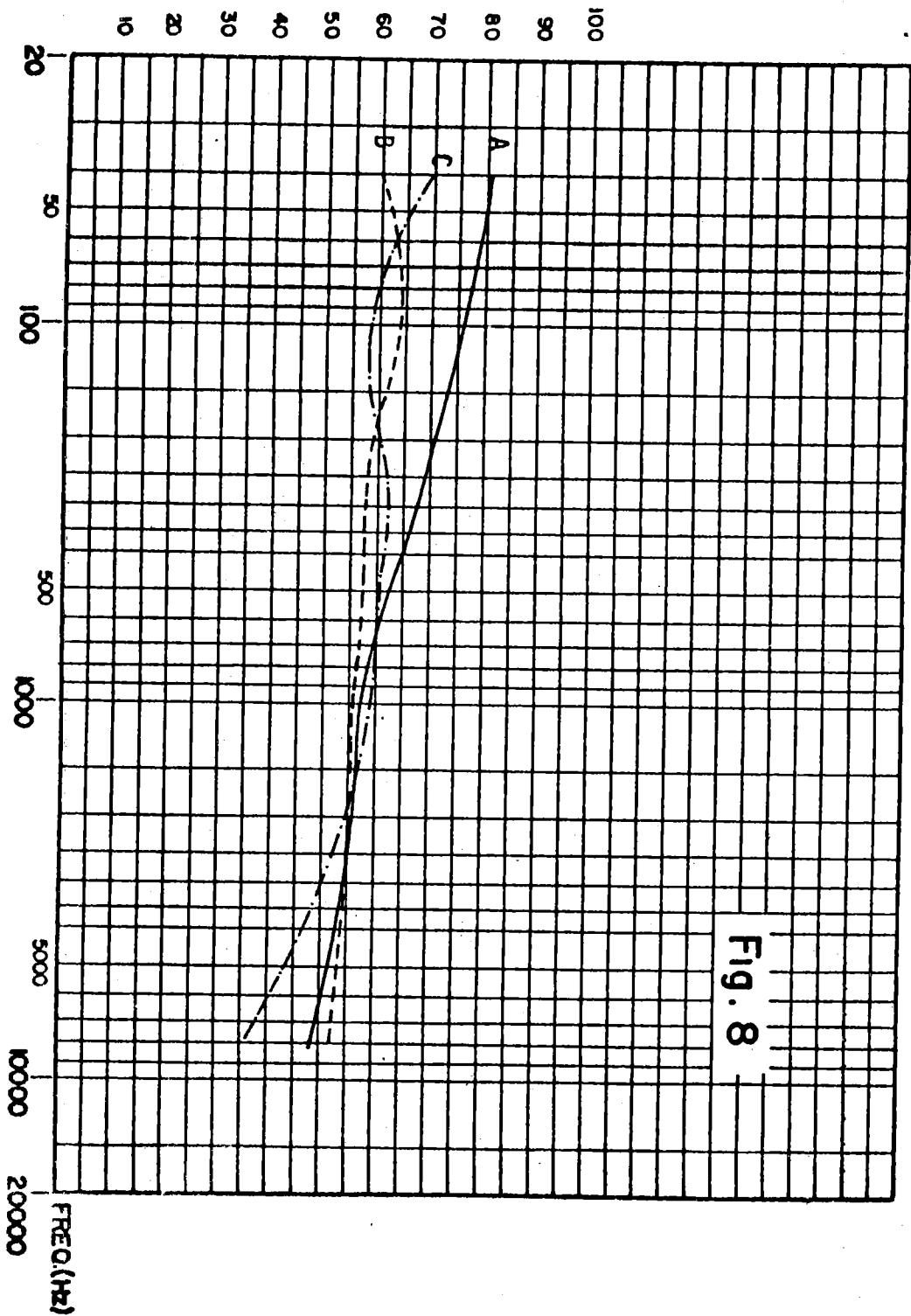
Máquina de escrever elétrica (Medidas feitas a dois metros da fonte)
 $L_p = 79 \text{ dB(A)}$



10 máquinas de escrever + um teletipo (valores médios dos níveis de pressão)



NIVEL DE PRESSÃO ACUSTICA EM dB POR BANDA DE OITAVA
 pressão de referencia: $2 \cdot 10^{-5}$ Pascal



Duplicadoras (Medidas feitas a 3 metros da fonte)

L_{WA} = 86 dB(A)
 L_{WB} = 82 dB(A)
 L_{WC} = 83 dB(A)

Fig. 8

NIVEL DE PRESSÃO ACUSTICA EM dB POR BANDA DE OITAVA
 pressão de referência: $2 \cdot 10^{-5}$ Pascal

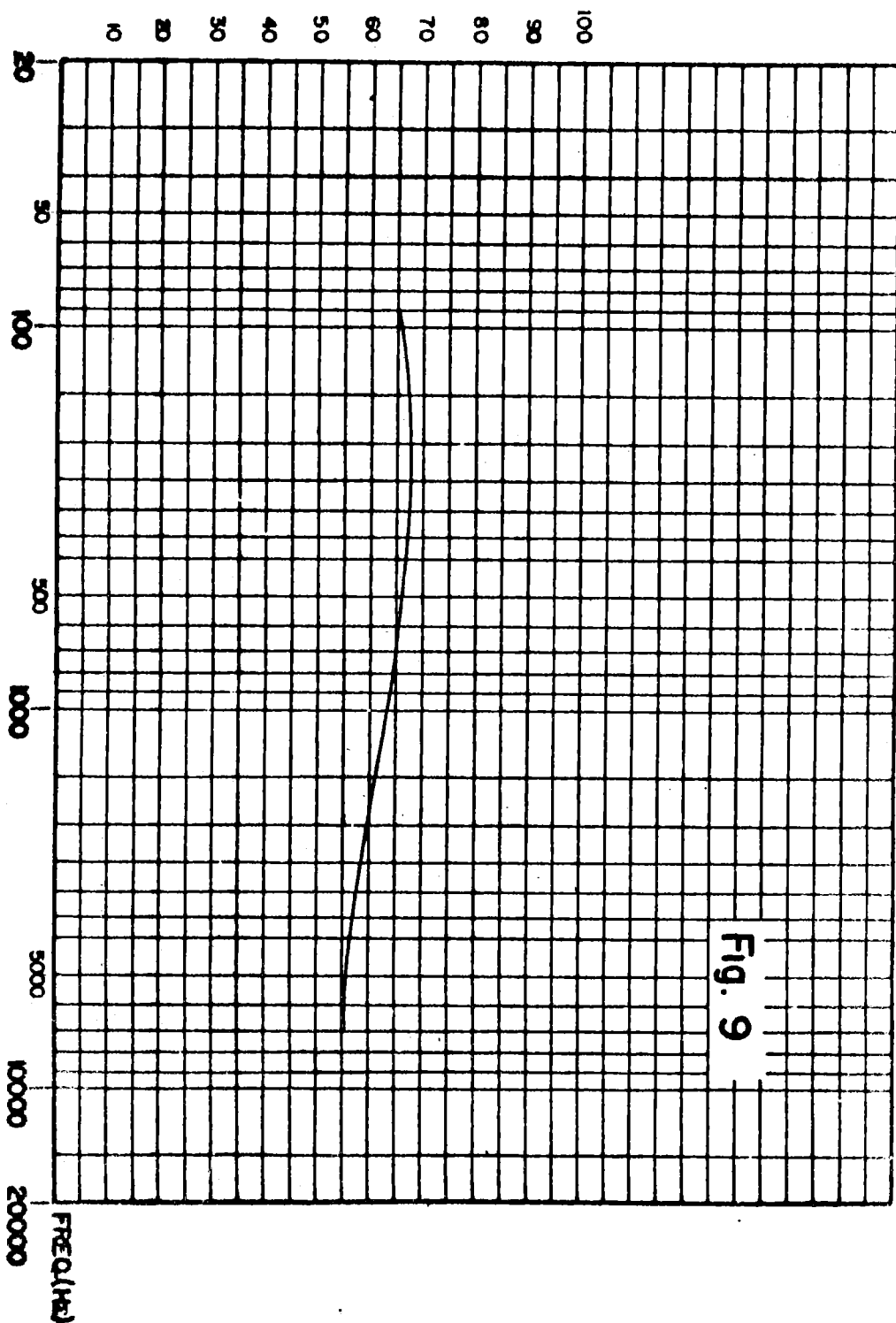
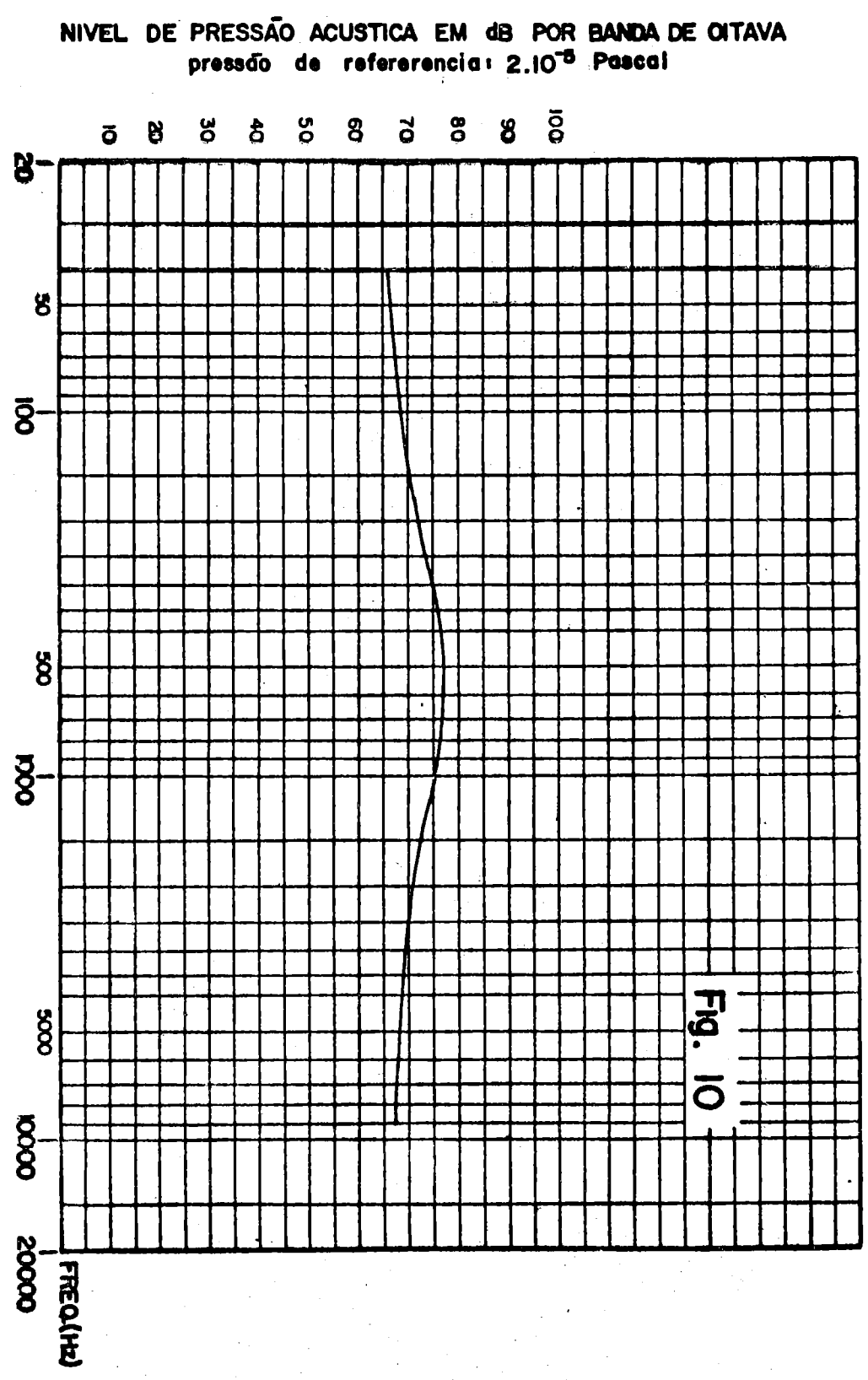


Fig. 9

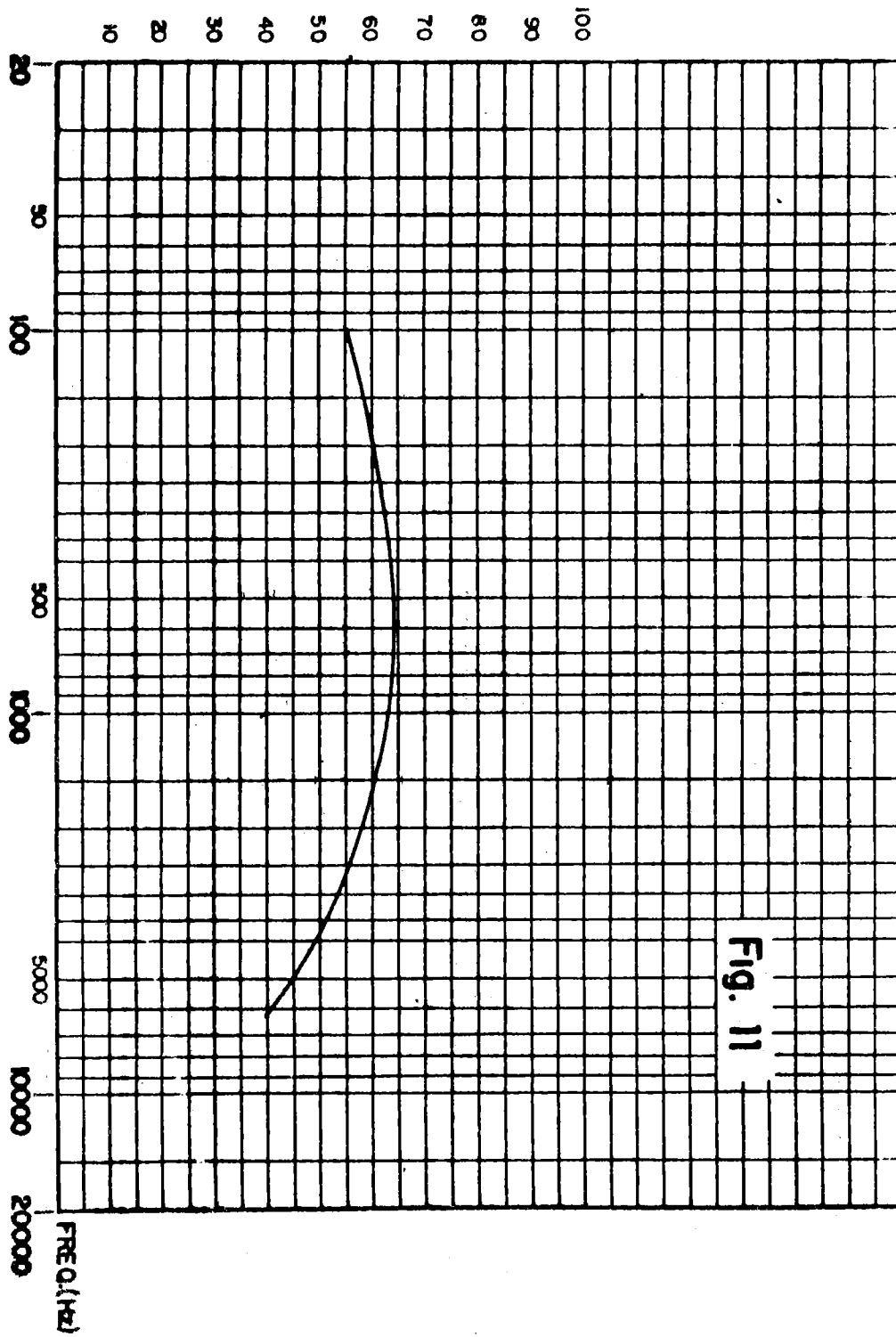
Perfuradora de cartão (6 perfuradoras)
 Sala das máquinas com forro acústico
 (Medidas feitas a 2 metros da fonte)

$L_M = 90$ dB(A) 6 máquinas
 $L_M = 82$ dB(A) 1 máquina

Impressora do computador (Medidas feitas a 2 e 3 metros da fonte)
 $L_y = 95 \text{ a } 100 \text{ dB(A)}$



NIVEL DE PRESSÃO ACUSTICA EM dB POR BANDA DE OITAVA
pressão de referencia: $2 \cdot 10^{-5}$ Pascal



Nível médio de conversação (Medidas feitas a 1 metro da fonte)

Fig. 11

1.4 - Exigências

As exigências acústicas de um escritório podem se reduzir principalmente a três. Sendo necessário:

- 1º) Poder realizar diferentes trabalhos sem ser incomodado;
- 2º) Que dois ocupantes possam conversar entre si a uma distância dada, sem serem incomodados pelo ruído ambiente;
- 3º) Não chegar a compreender a conversação trocada por outras pessoas, a uma distância determinada.

Sabe-se que a exposição de uma pessoa a níveis sonoros elevados produz perda de acuidade auditiva, e pode mesmo chegar a surdez completa, depois de certo tempo.

Nos escritórios que não são nem canteiros de obras, nem fábricas, esses níveis sonoros superiores a 85 dB(A) por oitavas, durante oito horas, não existem no seu interior. Entretanto, sem causar distúrbios de audição, os ruídos podem ser a causa de incômodos e podem diminuir a capacidade de trabalho; podem ainda causar uma fadiga nervosa que produz os mesmos resultados.

Este sentimento de incômodo é próprio a cada pessoa, e não é facilmente mensurável. Podemos entretanto definir alguns critérios.

Pode-se dizer que o incômodo está ligado às características físicas do ruído:

- *Nível* que quanto mais elevado, menos será suportado;
- *Espectro* - as frequências baixas serão melhores admitidas que as agudas;
- *Descontinuidade* - a um nível médio constante, o ruído estável é melhor suportado do que um ruído que apresenta variações de intensidade muito marcadas;

- a pessoa considerada, a saber: idade, estado físico e psicológico, profissão, hábitos, comportamento relativamente aos outros;

- a atividade da pessoa no momento em que ela é incomodada.

Nota - A tendência atual é caracterizar o incômodo utilizando o dB(A). Para registros obtemos o nível sonoro em dB(A) durante um tempo limitado.

A tabela seguinte (Josse, referência 18) dá alguns valores limites do nível de ruído, que servem para caracterizar os ambientes acústicos (Quadro III).

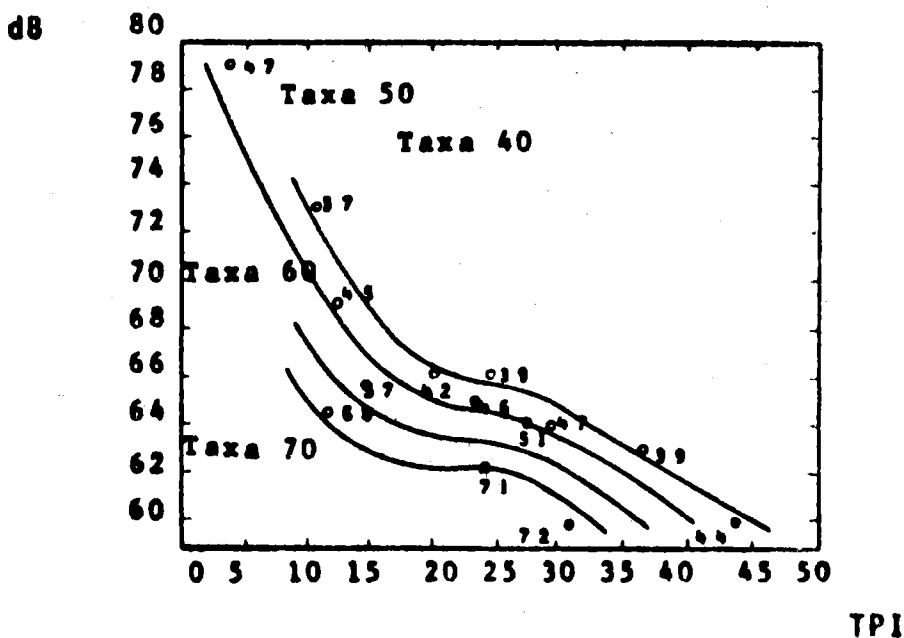
QUADRO III

NATUREZA DO LOCAL	Limite do nível de ruído médio (em decibels A) para julgar que o ambiente é:		
	calmo	medianamente barulhento	barulhento
Local de habitação, escritórios, salas de conferências, salas de leituras	30	30 - 50	50
Grandes escritórios, restaurantes e ginásios	40	40 - 60	60
Atelier	50	50 - 70	70

Deste quadro, parece que poderíamos fixar em 60 dB(A) o limite do nível sonoro médio que não deve ser ultrapassado no interior dos espaços panorâmicos. Esta condição não basta para que o ambiente sonoro seja realmente satisfatório. Com efeito, se o ruído ambiente em vez de ser estável apresenta variações rápidas, ele gera a distração, agravada pela mensagem que tal variação pode conter.

Ainda não se sabe bem como caracterizar o incômodo devido a essas flutuações de ruído. Critérios foram propostos, mas ainda nenhum foi adotado de uma maneira geral. No Reino Unido, E.C. Keighley (19)(20) propõe um critério baseado sobre um índice chamado T.P.I. (transient peak index). Ele consiste em contar durante um minuto, todos os 20 minutos, e durante toda uma jornada de trabalho, o número de pontos que passam o nível médio de 5, 10, 15 e 20 dB(A). O total destes quatro números leva em conta, automaticamente, a amplitude dos pontos, pois os maiores são contados tantas vezes quantas vezes ela ultrapassa os intervalos de 5 dB. O total final, dito índice de picos instantâneos, T.P.I. é a média do total correspondentes a cada varredura de um minuto. A partir deste valor associado ao nível sonoro médio em dB(A). KEIGHLEY deduziu uma taxa de aceitabilidade (Vide fig.12). Referência 12.

FIG. 12



Taxa 40 = um descontente sobre 2
 Taxa 50 = um descontente sobre 3
 Taxa 60 = um descontente sobre 7
 Taxa 70 = um descontente sobre 10

Se, como KEIGHLEY, admitirmos como limite admissível a taxa 60 *menos de um descontente sobre sete*, a figura 12, permite obter o limite superior do nível T.P.I. em função do nível sonoro médio. No quadro IV estão tabelados os valores limites na hipótese de *um descontente sobre sete* (taxa 60)

QUADRO IV

Nível médio em (dB)	T.P.I. (limite superior)
60	34
62	27
64	15
66	8
68	5
70	menos de 4

Valor limite do índice T.P.I. na hipótese de *um descontente sobre sete*.

1.5 - Fenômenos Físicos

Em espaço livre, a propagação das ondas acústicas a partir de uma fonte sonora, faz-se por ondas esféricas progressivas. A energia acústica que passa por unidade de tempo, por toda a esfera de centro O (posição da fonte) é por definição a potência acústica da fonte.

Quando a fonte é omnidirecional, o valor eficaz da pressão acústica, a distância r, está ligada à potência da fonte por:

$$p^2 = \frac{W_{pc}}{4\pi r^2} \quad \text{que podemos escrever sob a fórmula}$$

la aproximada:

$$L_p = L_W + 10 \log \frac{1}{4\pi r^2}$$

Quando a fonte é diretiva, e conforme a definição de fator de diretividade, temos:

$$L_p = L_W + 10 \log \frac{Q}{4\pi r^2}$$

Uma fonte sonora, em espaço livre, cria então um campo direto onde a pressão acústica eficaz L_p em um ponto é facilmente calculada. Quando diversas fontes estão em presença, o campo acústico resultante em um ponto O será obtido fazendo-se a soma dos quadrados das pressões, se as frequências de ondas sonoras são diferentes e se as relações de fase são aleatórias.

$$p^2 \text{ resultante} = \sum p^2$$

Os casos práticos, fáceis de resolver, e mais frequentes são os que se seguem:

- a) Na superposição de duas pressões acústicas, tendo frequências diferentes e níveis iguais ou diferentes, serve-se da curva da figura 3.

b) A superposição de n pressões acústicas de mesmo nível, mas de frequências diferentes, nos dá:

$$L = L_1 + 10 \log n, \text{ onde } L_1 = \text{nível de cada pressão}$$

Quando a linha reta, que liga a fonte ao ponto de observação, encontra um obstáculo (fig.13), o campo que existe naquele ponto é devido à difração das ondas no contorno do obstáculo e pode ser inferior ao campo direto.

A atenuação suplementar do nível de ruído pode ser avaliada no caso de um obstáculo de arestas lineares de dimensões infinitas (Vide fig. 13). Por superposição, podemos calcular a atenuação para o obstáculo de dimensões finitas, ou seja, aproximadamente podemos supor que o efeito de difração de quatro painéis superpostos infinitos tendo como arestas as retas apoiadas sobre os limites de um painel finito nos dá a atenuação do mesmo (Vide fig.13-A).

Se o espaço no qual as ondas se propagam não é livre, mas limitado por paredes refletoras, as ondas progressivas se refletem e dão lugar, por composição entre elas, a ondas estacionárias. Vide L.C.P.(21).

Consideremos uma fonte sonora e um ponto de observação dado A à distância r . Neste ponto nós teremos, supondo o espaço livre, um campo acústico criado pelo campo direto:

$$p^2(\text{direto}) = \frac{W_p c}{4\pi r^2}$$

No caso de paredes muito refletoras, as ondas refletidas pelas paredes criam um campo acústico constante em todo o local. É o que chamamos de campo reverberante.

Este campo difuso pode ser considerado como resultante da superposição de uma infinidade de ondas planas de igual intensidade propagando-se em todas as direções, sem relação de fase entre elas. Ele está ligado à potência acústica

FIG. 13

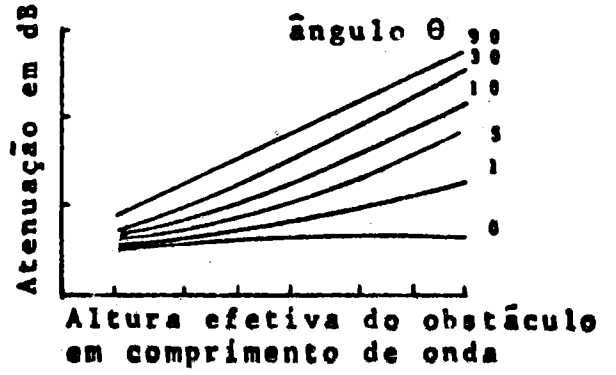
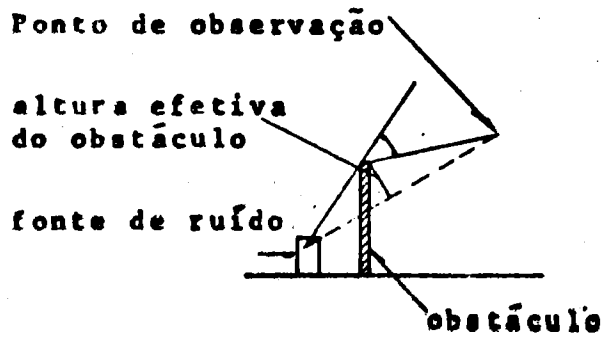
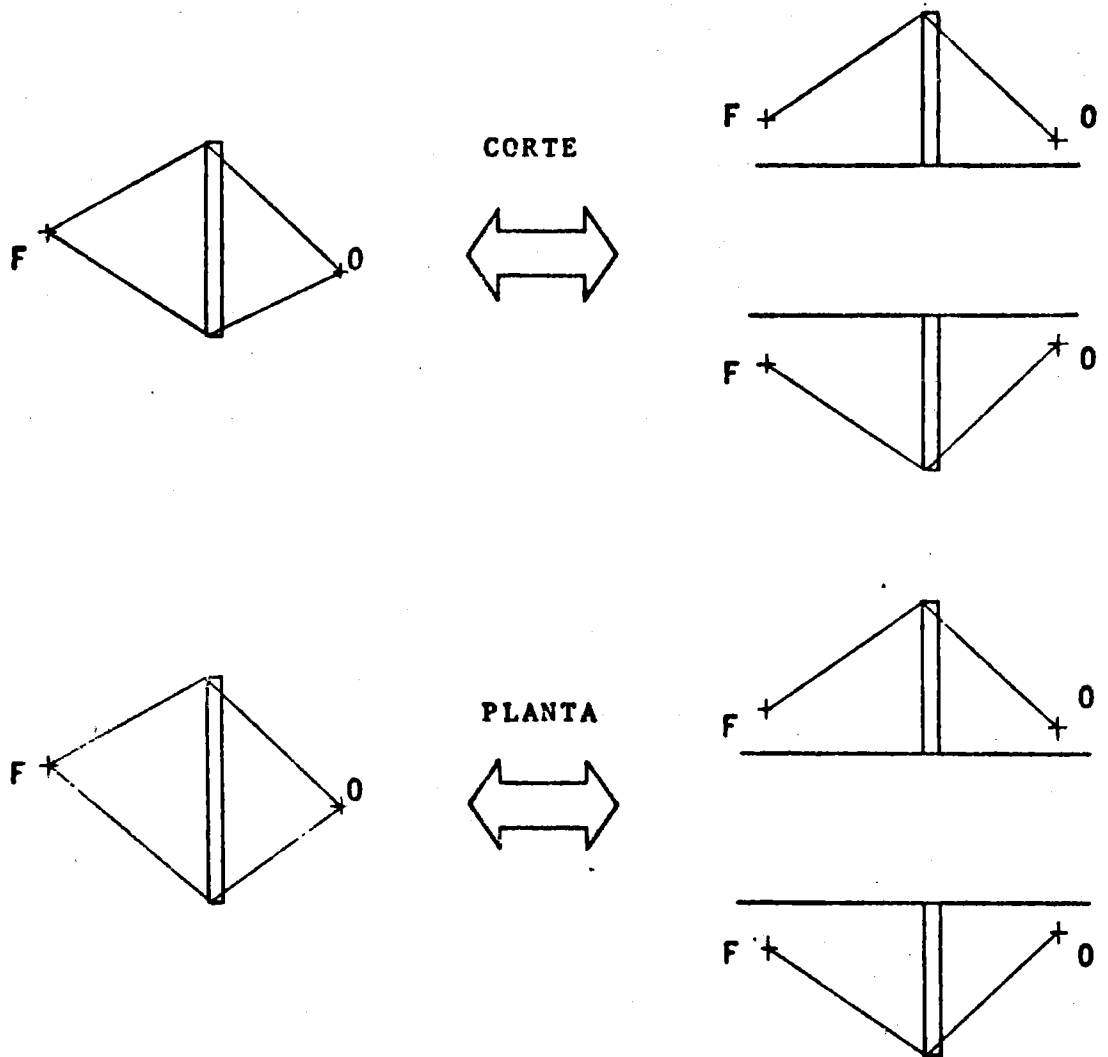


FIG. 13-A



da fonte e ao poder de absorção local, como se segue:

$$p^2 \text{ reverberante} = \frac{4W\rho c}{A}$$

A é a área de absorção equivalente, definida anteriormente. A pressão acústica no ponto A resulta então da superposição de pressões acústicas resultantes do campo direto e do campo reverberante.

$$p^2 = p^2 \text{ direto} + p^2 \text{ reverberante}$$

No caso de paredes fortemente absorventes, as ondas refletidas são rapidamente absorvidas pelas paredes e o campo que existe no local é constituído de um campo direto e de um campo resultante por pequeno número de reflexões contra as paredes.

Este é o caso que nós encontraremos nos escritórios panorâmicos, devido à necessidade de reduzir a propagação do som, o mais possível.

Suponhamos duas paredes parcialmente absorventes (por exemplo, teto e piso), paralelas e infinitas, situadas à distância h uma da outra. Consideremos uma fonte de potência W situada no ponto A, a meia distância entre as duas paredes (Vide Fig.14). Um ponto P situado a distância d de A, também a meia distância das paredes receberá a radiação direta de A segundo o trajeto AP, uma radiação refletida recebida da fonte A₁ (imagem de A em relação ao teto), fonte imagem que tem uma potência W(1-α), se α é o coeficiente de absorção deste, e receberá também uma radiação emitida pela fonte A' (imagem de A em relação ao chão) fonte esta de potência W(1-α).

Para simplificar a exposição, suporemos aqui que o piso e o forro têm o mesmo coeficiente de absorção α. Estas duas fontes irão igualmente, por seu turno, formar outras fontes de imagens A₂ e A'₂ de potências W(1-α)², e assim por diante. As distâncias entre essas fontes sucessivas são iguais a h.

Consideremos em seguida não mais uma só fonte A, mas uma série de fontes A, B, C, situadas a uma distância a, uma da outra, no plano vertical que contém A e também no meio do intervalo (fig. 15). Definiremos agora as linhas das fontes imagens simétricas B, B', C, C', etc... B_n, B'_n, C_n, C'_n, etc... de potências W(1-α).....W(1-α)ⁿ.

Raciocínio análogo poderá ser feito com uma fonte M situada num plano horizontal P, A, B, C, a uma distância d+a de P, ou mais genericamente d+ja ou d-ja de P (Fig.16).

Teremos de compor no ponto P uma série de radiações, provenientes de 2(n + 1) fontes com potência W(1 - α)ⁿ, n tomando os valores 0, 1, 2,n. Essas radiações terão percorrido as distâncias:

$$\sqrt{(d \pm ja)^2 + i^2 a^2 + (n h)^2}$$

com i e j variando segundo os coeficientes 0, 1, 2, 3,

O campo acústico resultante será obtido fazendo-se a soma quadrática dos quadrados das pressões, para o que podemos supor que as relações de fase serão aleatórias. Este gênero de cálculo pode ser feito a máquina em cada caso preciso.

Em seguida calcularemos os níveis de ruídos úteis (conversação) como se eles fossem produzidos em espaços livres. Sendo pequena a distância, podemos admitir que o campo direto é muito mais importante. O ruído de fundo será calculado pelo método de campo reverberado, quando a todo rigor, ele deveria ser calculado pelo método de reflexões sucessivas; o resultado assim encontrado para este ruído de fundo terá então um valor aproximado, por excesso.

FIG. 15

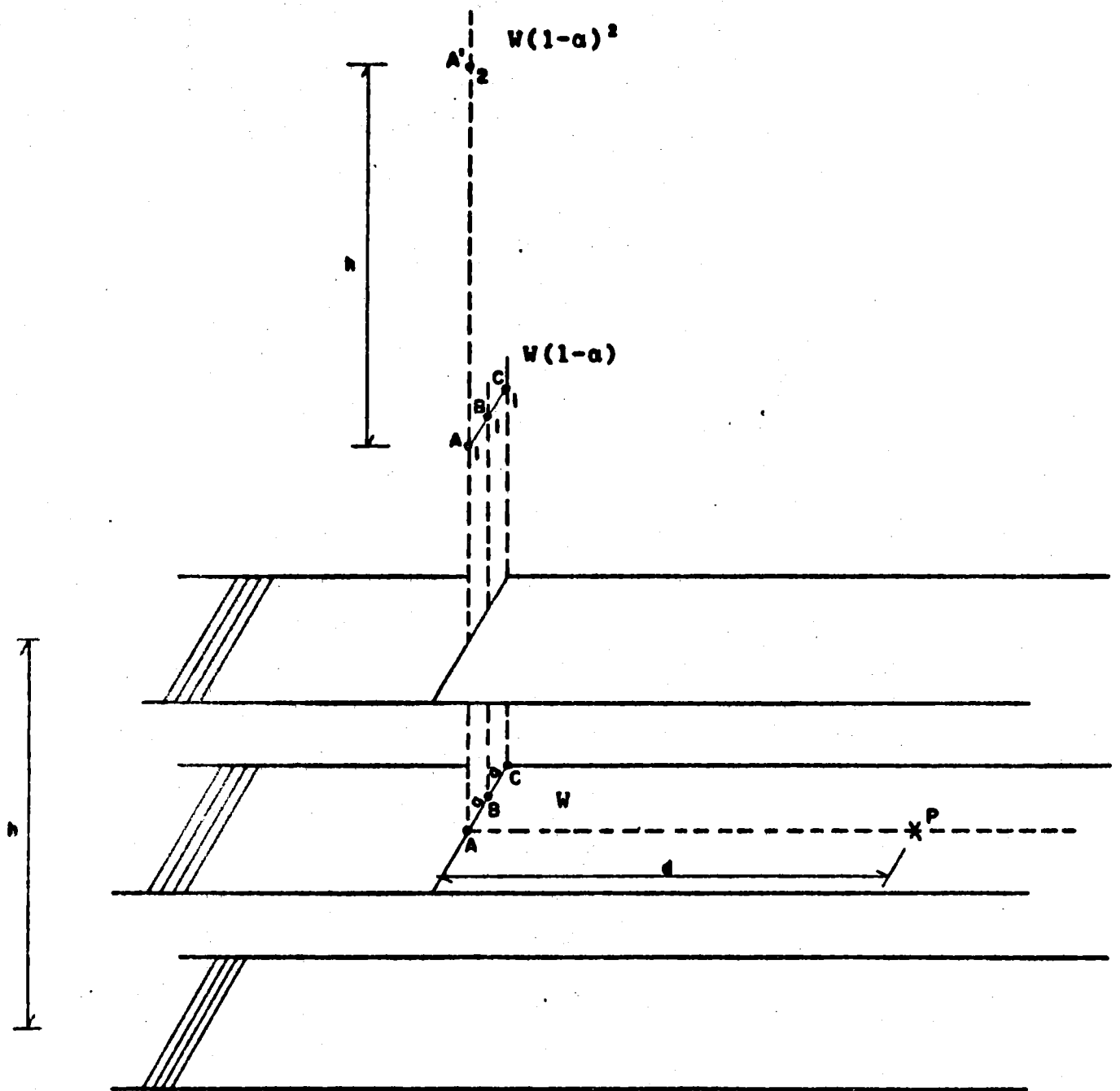
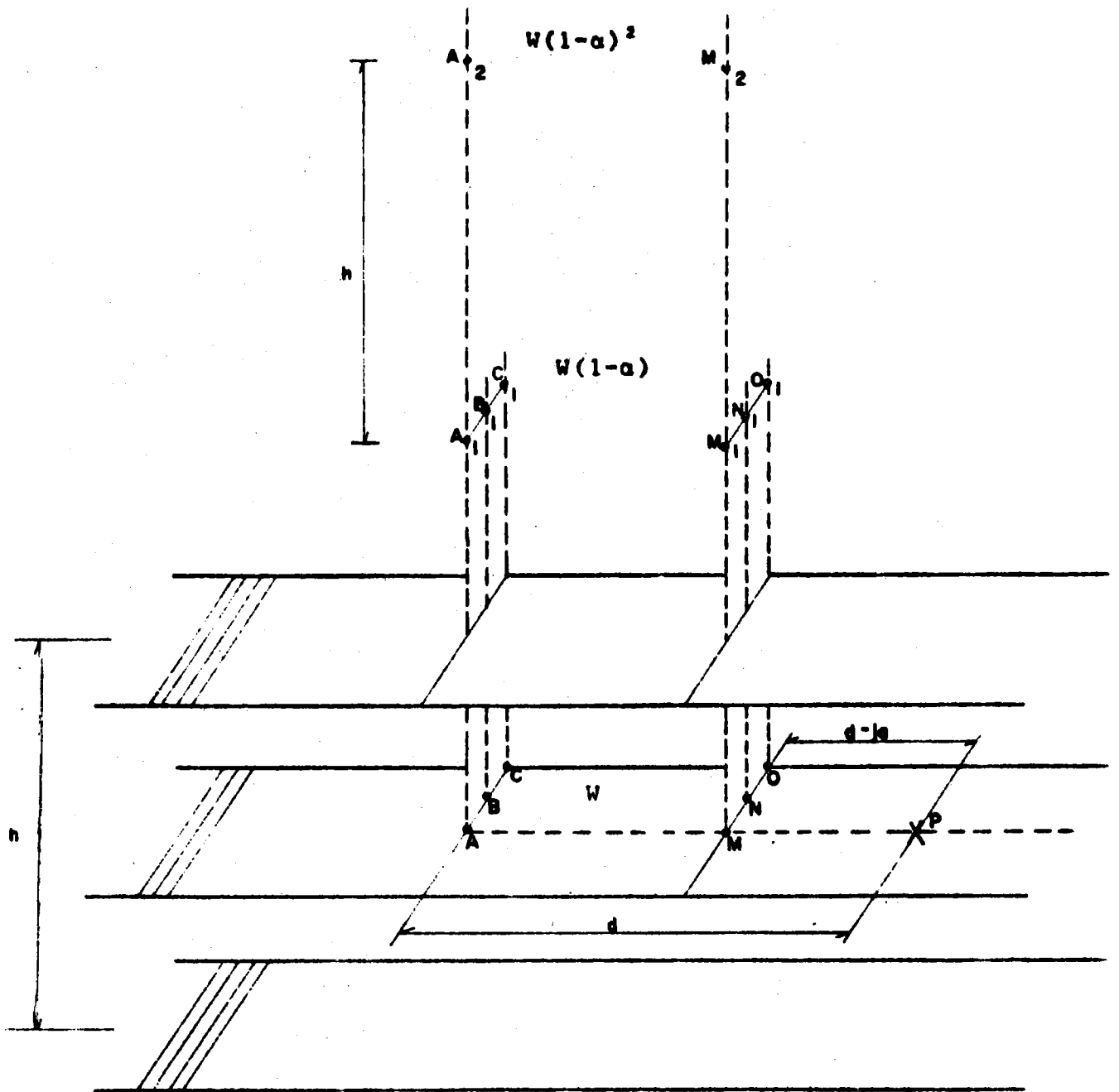


FIG. 16



1,6 - Fenômenos Psico-físicos

No capítulo D referente às exigências, falamos de sons úteis, que são principalmente as conversações.

Em que medida poderão eles ser úteis, se nos encontrarmos em um ambiente perfeitamente calmo, os sons são percebidos desde que o seu nível passe o limiar de audibilidade, limiar que varia com a frequência dos sons, e igualmente com o indivíduo e sua audibilidade. Este ambiente não existe praticamente nunca e não é requerido normalmente. Se nos encontrarmos em um ambiente acústico onde reina algum ruído parasita, o som que está no limiar de audibilidade, não é percebido e é necessário aumentar o nível de uma certa quantidade (n decibels) para que ele seja perceptível. Dizemos então que o ruído parasita provoca no som útil um efeito de mascaramento de n decibels. É suficiente então aumentar o som útil de uma certa quantidade, para que ele seja percebido em presença de certo ruído parasita. Isto não é possível, mas não imaginaremos, com efeito, um escritório barulhento no qual todas as pessoas presentes fossem obrigadas a aumentar o som de suas vozes para se fazerem entender. Chegaríamos rapidamente ao estado em que todos gritariam e ninguém se entenderia.

Damos na figura 4 (Capítulo C, "Dados do Problema"), o nível de potência acústica emitido por um homem falando em voz normal.

Com efeito, o nível da palavra varia sem cessar em torno desse valor médio, e as variações são da ordem de -16 dB no sentido negativo, e +12 dB no sentido positivo.

Conforme explica Josse (ref.13, pag.45), as bandas de frequência úteis à compreensão da palavra são, de uma maneira simplificada, aquelas que cobrem três bandas de oitavas centradas respectivamente sobre as frequências de 500, 1000 e 2000 Hz. Se, para cada uma destas bandas, o nível de ruído ambiente é inferior de no mínimo 16 dB ao nível médio

da conversação, nessa banda, este ruído não incomodará quanto a inteligibilidade, e a compreensão será total, dizemos então que o índice de inteligibilidade é 1 (um). Ao contrário, se em todas as bandas o ruído passar de 12 dB acima do nível médio da conversa, a compreensão será nula, o índice é zero. Entre - 16 dB e + 12 dB (Vide Fig. 17-A), o ruído perturba parcialmente a dinâmica da palavra, tornando imperfeita a inteligibilidade, cujo índice assume então um valor compreendido entre 0 e 1. O valor do índice de inteligibilidade se obtém assim: se o nível médio do ruído de fundo se apresenta no valor indicado por F (na Fig. 17-A), considera-se o valor da área não hachurada (acima de F) e o valor da área total (entre -16 dB + 12 dB); o índice, na banda considerada, faz-se igual à relação entre essas duas áreas.

Para poder calcular este índice para o conjunto das bandas, usa-se o método simplificado que se segue (Josse, referência 18). Mede-se o nível médio da palavra, assim como o ruído, nas três bandas consideradas no parágrafo anterior. Calcula-se em seguida a média aritmética L do nível da palavra e a média aritmética L' do nível de ruído. O índice de inteligibilidade é então:

$$I = \frac{L - L' + 12}{30}$$

A figura 17-B indica a porcentagem de frases e de nomes que são compreendidos, em função do índice de inteligibilidade. Por exemplo, para I = 0,4 verifica-se que 98% das frases são compreendidas.

Da figura 4 (Capítulo C), obtemos o nível de potência L_W da palavra para as três bandas 500, 1000 e 2000 Hz. a saber:

$$\begin{aligned} L_W &= 68 \text{ dB para } 500 \text{ Hz} \\ &= 68 \text{ dB para } 1000 \text{ Hz} \\ &= 63 \text{ dB para } 2000 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Mascaramento da palavra por um ruído dentro de uma banda crítica

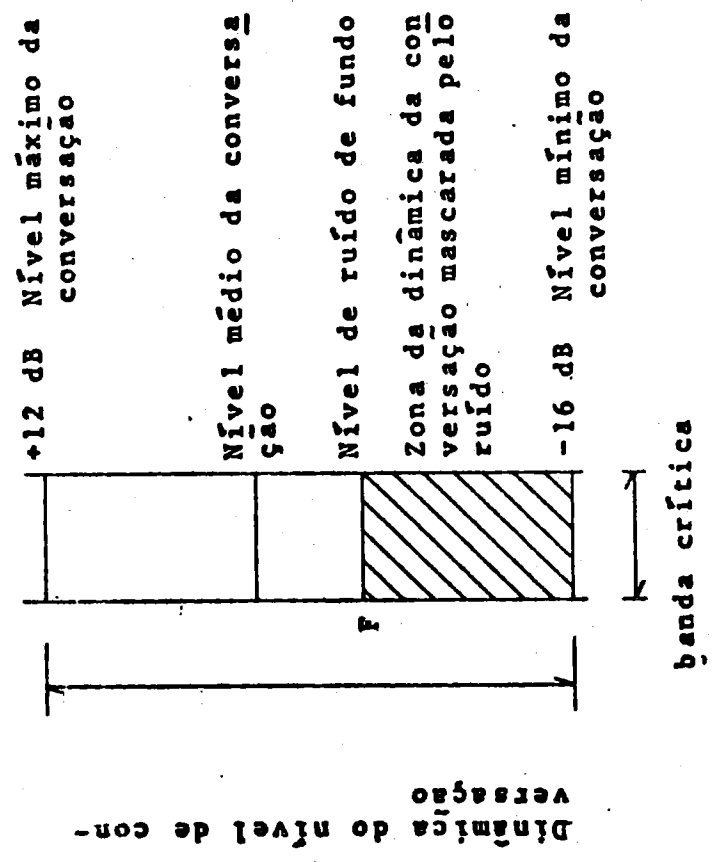


FIG. 17-A

Inteligibilidade de frases e sílabas em função do índice de inteligibilidade

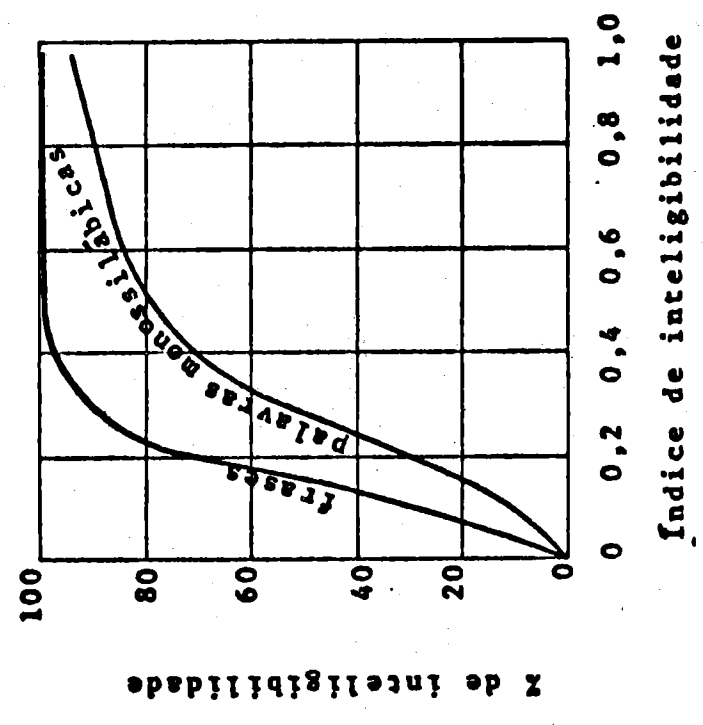


FIG. 17-B

- e por isso vamos adotar, como valor médio (L), o seguinte:

$$L_M = (68 + 68 + 63) : 3 = 66 \text{ dB}$$

Partindo deste valor, poderemos calcular os níveis de pressão do ruído (L_p) que não devem ser ultrapassados, a fim de que, num espaço praticamente livre, seja possível a conversa entre duas pessoas situadas a distância r entre si (Quadro V), fazendo-se $I = 0,4$ na equação acima e aplicando, para a conversa, a lei que rege a queda de nível em função da distância:

QUADRO V

r m	L_p dB
1,5	52
2,5	47
4	43
5	41
6	40

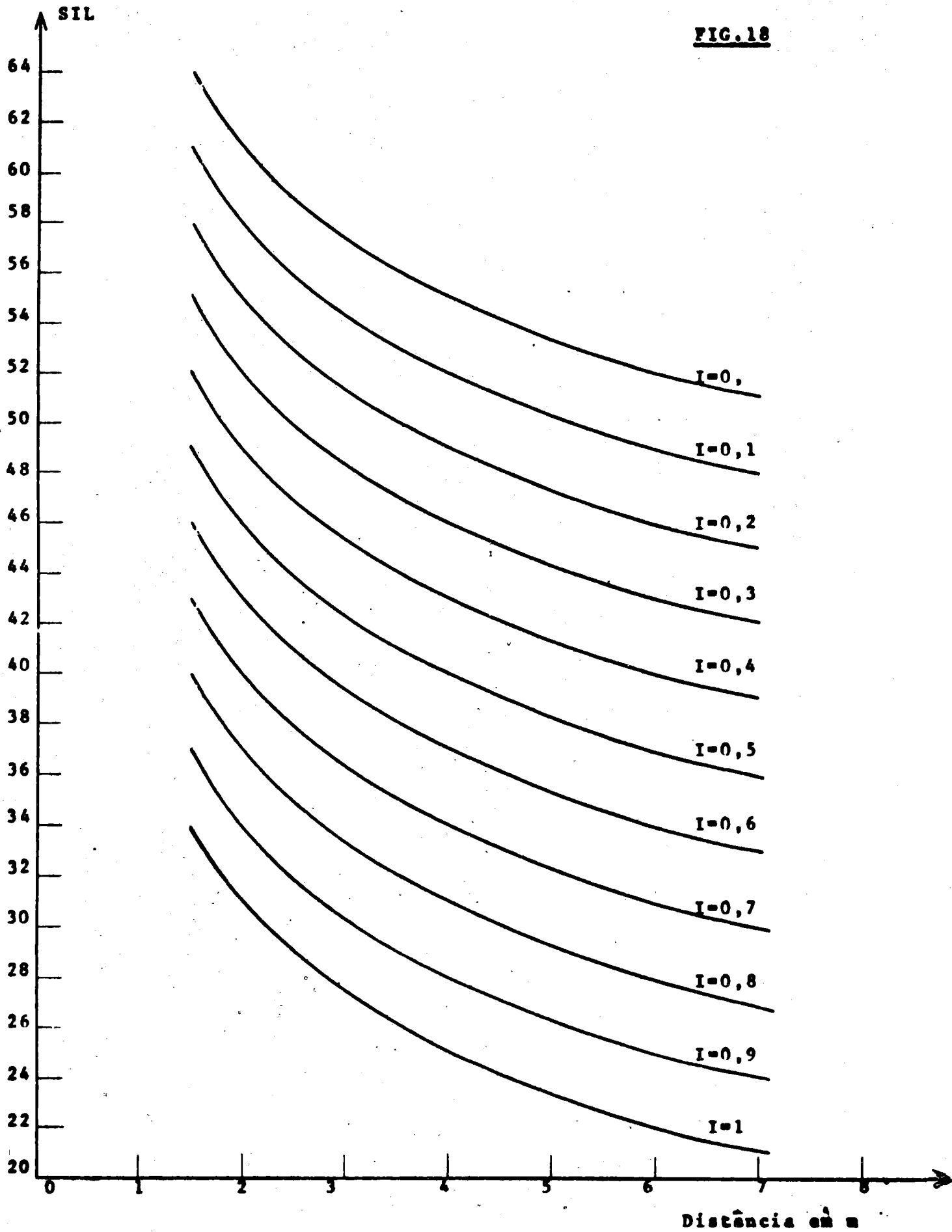
Nós representamos na figura 18, uma família de curvas de igual inteligibilidade para valores de índice variando desde $I = 0$ até $I = 1$.

Em abscissas nós temos a distância entre interlocutores em metros, em ordenadas, o nível de ruído parasita expresso em S I L (Speech Intelligence Level), isto quer dizer, a média dos níveis de ruídos centrados sobre as oitavas 500, 1000 e 2000 Hz.

Esta família de curvas permite responder a duas questões:

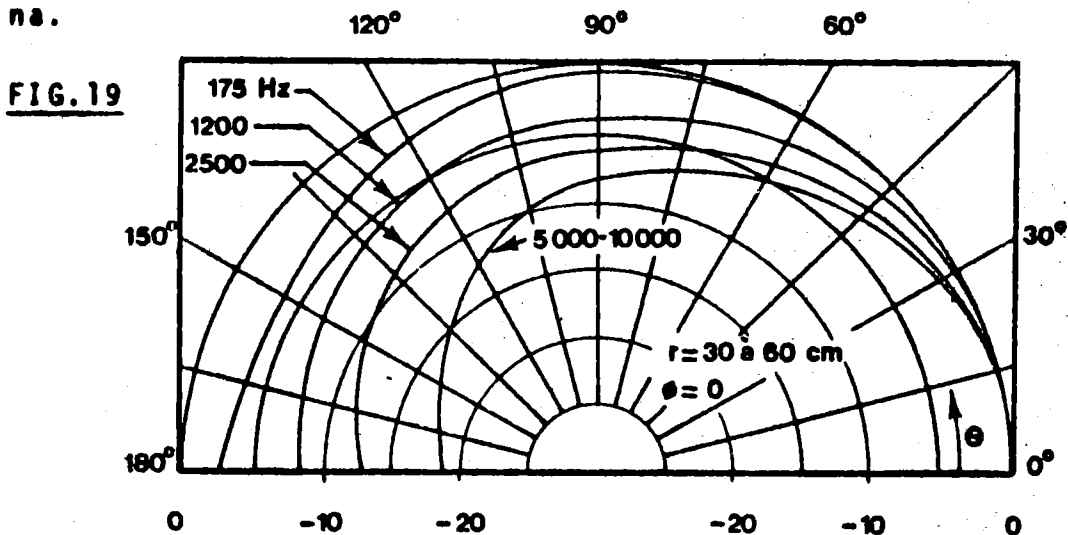
19) Qual o nível de ruído que não deve ser ultrapassado, para que duas pessoas possam conversar a uma certa distância? Por exemplo, a 6 metros duas pessoas se compreenderão bem ($I = 0,4$) se o nível de ruído não passar de 40 dB.

FIG. 18



29) Se o ruído ambiente se apresenta a um nível dado, a partir de que distância entre duas pessoas este ruído ambiente será suficientemente elevado para a conversação não ser percebida? Por exemplo, em um campo livre onde existe um ruído de nível com 52 dB SIL (ou 57 dB(A)), o índice de inteligibilidade terá os valores 0,1 e 0 respectivamente para as distâncias 4 e 6 metros entre as pessoas.

A curva da Fig.18 foi traçada, supondo-se que a voz se comporte como uma fonte omnidirecional, o que não é exato. Damos na Fig.19 as curvas de directividade da voz humana.



Os índices de directividade são:

175 Hz	=	1	dB
1.200 Hz	=	3	dB
2.500 Hz	=	4,5	dB
5.000 a 10.000 Hz	=	6	dB

Assim, no eixo do interlocutor, o ganho para o ouvinte será de 3 dB a 1.200 Hz. Ficando nas costas da pessoa que fala, o ouvinte terá uma perda de 5 dB.

Nós calculamos destas curvas um fator médio de directividade para as três frequências de 500, 1000 e 2000 Hz

e encontramos: $Q = 2$, o que corresponde a um índice de diretividade de $10 \log Q = 3$ dB.

Na acústica dos escritórios panorâmicos, o problema das partições baixas é indiscutivelmente de importância vital, para se determinar o nível de som percebido quando um orador fala e um ouvinte está separado por um anteparo. Os fenômenos de difração que se verificam nos bordos dos objetos, os quais se comportam como fontes de som secundária, são importantes para resolver grande número de problemas acústicos. Assim é necessário avaliar a quantidade de som que atinge o ouvinte por difração. Para tal, utilizaremos as curvas de Retfer, cujos abacos estão na figura 14, pag. . Para tal, é necessário definir-se a altura efetiva de um anteparo, conforme a figura 15, pag. .

Rein Pirn, no seu artigo "Acoustical Variables in Open Planning", dá bastante ênfase ao problema de atenuação pelos anteparos. Neste artigo ele apresenta gráficos em que classifica a qualidade do escritório, em função do índice de inteligibilidade, em relação a frequência, assim como em função do índice de inteligibilidade com barreira e em função do índice de inteligibilidade sem barreira (25).

Na realidade o índice de inteligibilidade pode ser considerado como função de 5 variáveis, a saber: nível de voz do orador, orientação do orador, ruído de fundo, distância entre o orador e o ouvinte, posição das partições baixas. As três principais variáveis, seriam: nível do ruído de fundo, distância entre os interlocutores, e nível de voz do orador.

1.7 - Bibliografia

JOSSE, R. Acoustique - REFF - C.S.T.B. - Deuxième édition, 1970-2

KNUDSEN, V.O. e HARRIS, C. M, Acoustical Designing in Architecture, New York, John Wiley, 1950.

CINTRA DO PRADO, L. Acústica Arquitetônica - Fascículos 19 e 29 - São Paulo, FAUUSP, 1972.

(1)(7)(11)(18)(25) - JOSSE, R.- Acoustique - REFF-C.S.T.B. Deuxième édition, 1970-2, pags. 13, 25 - 40, 41 - 46.

(2) JENS TRAMPE BROCH - Acoustic Noise Measurements-Bruel & Kjaer, Second Edition, 1971-1, pags. 102 - 117.

(3) I S O Recommendations: R 266 - R 357 - R 140 - R 354.

(4) (6) (9) KNUDSEN, V.O. e HARRIS, C.M. Acoustical Designing in Architecture - pgs. 153 - 161 e 273 - 291.

(5) (21) CINTRA DO PRADO, L. Acústica Arquitetônica - Fascículo 19 e 29, São Paulo - FAUUSP. 1972.

(8) LEGGET, R.F. e NORTHWOOD, T.D. Noise Surveys of Cocktail Parties - Jasa 32 - January, 1960.

(10) BERANEK, L.L. "Acoustics" New York, Mc Graw Hill, 1954

(12) (20) KEIGHLEY, E.C. Determination des Critères d'Acceptabilité du Bruit dans des Bureaux - Cahiers du C.S.T.B. - 790, Nº 90 - 1968.

(13) CLAMURE, C. e AUZOU, S. Les Niveaux de Bruit au Voisinage des Autoroutes Dégagées-Cahiers du CSTB Nº 599 - 1964.12.

(14) AUZOU, S. e CLAMURE, C. Le Bruit aux Bords des Autoroutes - Cahiers du CSTB, Nº 699 - 1966-2.

- (15) DIVISION d'EXIGENCES HUMAINES DU CSTB - La Gêne due au Bruit de la Circulation Automobile - Une enquête auprès de riverains d'autoroutes. Cahiers Du C.S.T.B., N° 762 - 1967-10.
- (16) GILBERT, Ph. Une Étude sur la Protection des Habitations contre les Bruits Extérieurs pénétrant par les Façades - Cahiers du C.S.T.B., N° 901 1969-10.
- (17) RAPIN, F.M. Protection Phonique aux bords des Voies Rapides Urbaines - Cahiers du C.S.T.B. N°952 1970-5
- (19) KEIGHLEY, E. C. The Determination of Acceptability Criteria for Office Noise- Journal of Sound and Vibration - Vol. 4 (1) pag. 73-87 - 1966
- (23) REIN PIRN Acoustical Variables in Open Planning-Jasa Vol.49 N° 5, pages 1339 a 1343 - 1971.
- (24) DAY, B. e WHITE, R.J. A Study of the Acoustics in Landscaped Offices with the Aide of a Tenth-Scale Model - Applied Acoustics - vol.2, pages. 161 a 183 - 1969.

2 - AVALIAÇÃO

2.1 - Introdução

2.2 - Considerações Gerais

2.3 - Comentários

2.4 - Conclusões

2.5 - Diretrizes para Projeto

2.6 - Futuros Enfoques

2.1 - Introdução

Os ensaios que me foi dado realizar em dez escritórios panorâmicos diversos, número este suficientemente grande para servir de base a conclusões significativas, permitiram, em primeiro lugar, verificar aquilo que era de se prever pelos trabalhos já publicados, isto é, que a boa qualidade funcional dos escritórios panorâmicos acompanha efetivamente as condições de inteligibilidade, o tempo de reverberação, e a existência de partições baixas.

Além disso, os resultados dos ensaios, demonstram a importância de uma característica à qual se começa a dar o devido valor, a saber, o TPI (transient peak index, índice de picos transientes, ou momentâneos). Este índice relaciona-se com o "sistema" de funcionamento próprio de cada escritório, ou seja, com um conjunto de variáveis que inclui na natureza e quantidade das máquinas existentes no recinto, tipo de mobiliário, educação do pessoal, número dos chamados telefônicos, etc.

Como ficou dito na primeira parte deste trabalho, os aspectos psico-físicos dos fenômenos sonoros representam o melhor enfoque, em comparação com os demais, para caracterizar a qualidade acústica dos recintos, principalmente dos recintos destinados ao trabalho coletivo. Tal preeminência dos aspectos psico-físicos explica a larga difusão que, no mundo técnico, vão tendo os estudos de Keighley sobre o TPI, desde o seu aparecimento pioneiro em 1969.

Nesta terceira e última parte do presente trabalho, acompanhando essa nova corrente de estudos e pesquisas, darei atenção particular ao TPI, como grandeza capaz de exprimir, de modo sintético e satisfatório, as qualidades acústicas mais desejáveis para os escritórios panorâmicos.

Considerando a distribuição estatística dos níveis de ruído, apresentada em papel quadriculado de probabili

dade, para cada um dos escritórios que foram objeto de ensaios tratei de analisar as formas particulares que tais distribuições efetivamente assumem nesses casos.

Cheguei assim a descobrir relações numéricas simples entre os valores do TPI e da "variância" que se pode associar às referidas distribuições, como se verá mais adiante, em virtude de suas características aproximadamente normais (ou gaussianas). Deste modo, pude estabelecer um processo original, ainda não descrito na literatura, para o cálculo do TPI e, portanto, para a verificação da qualidade acústica global (psico-física) dos escritórios panorâmicos.

A aplicação prática do TPI é discutida na parte final deste capítulo, onde apresento também uma série de sugestões destinadas a servir como diretrizes na elaboração de projetos de escritórios panorâmicos, e no controle permanente do funcionamento de recintos reais.

2.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O TPI

Os resultados numéricos colhidos nos escritórios panorâmicos, que foram objeto das observações descritas na segunda parte deste trabalho, levam às seguintes considerações gerais:

B.1 - Igualdade entre os valores da moda (valor mais frequente) e da mediana.

Nos gráficos referentes à análise estatística, em dB(A), do nível-de-ruído observados nos escritórios panorâmicos em funcionamento, verificam-se dois tipos de distribuição sobre o papel de probabilidade: o tipo correspondente à forma de uma reta única, e o tipo que corresponde a dois segmentos de reta concorrentes. A primeira forma, exemplificada na Fig. 1, representa, como se sabe, uma distribuição normal (ou de Gauss). A segunda forma, que aliás admite duas variantes, exemplificadas nas Figs. 2 e 3, representa a superposição de duas distribuições normais. Em todos os casos, independentemente da forma particular das respectivas distribuições (normal única, ou superposição de duas normais), o valor modal iguala o valor da mediana, como pode ser visto nos exemplos das Figs. 1, 2 e 3.

Para todos os escritórios do presente estudo, os valores da moda encontrados foram transcritos na Tabela I.

B.2 - Variância para o nível de ruído.

Os valores da "variância" (σ) podem ser determinados diretamente, a partir dos gráficos de análise estatística, pois, sabendo-se que as distribuições são normais (ou superposições de duas normais), a variância obtém-se pela diferença entre dois valores particulares do nível em apreço: o valor modal e o valor que é ultrapassado durante 0,34 (=34%) do tempo. Na tabela I acham-se transcritos, além das modas,

também os valores 0,34 do tempo, e os da variancia, para os es
critórios estudados.

B.3 - Relação entre a variancia e o TPI

A partir das observações feitas para os mesmos escritórios panorâmicos, foram determinados os valores do TPI (Tabela I). Procurando verificar um possível inter-relacionamento entre as duas variáveis - TPI e variancia - construímos o diagrama da Fig. 4. Verifica-se que, em conjunto, os pontos (σ , TPI) determinam duas retas médias, respectivamente para os escritórios com máquinas silenciosas, e com máquinas barulhentas. As equações destas retas são as seguintes:

Máquinas silenciosas

$$70 = b \cdot 7 + a$$

$$\underline{3 = b \cdot 3 + a}$$

$$67 = b(7 - 3) \rightarrow b = 16,8$$

$$a = 3 - 3b = - 47,4$$

$$\text{TPI (picos/dB)} = 16,8 \sigma - 47,4$$

Máquinas barulhentas

$$140 = b \cdot 7,5 + a$$

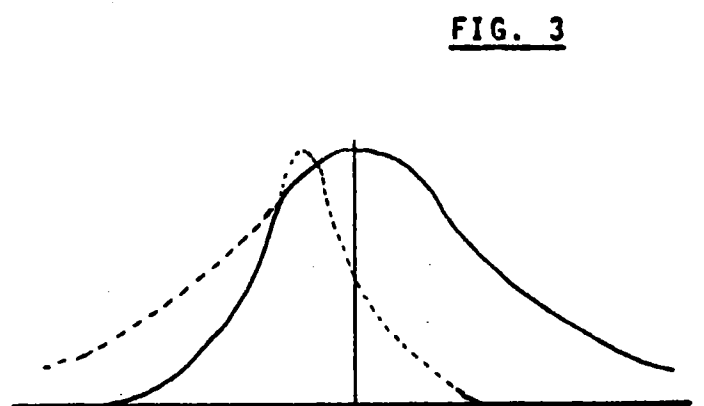
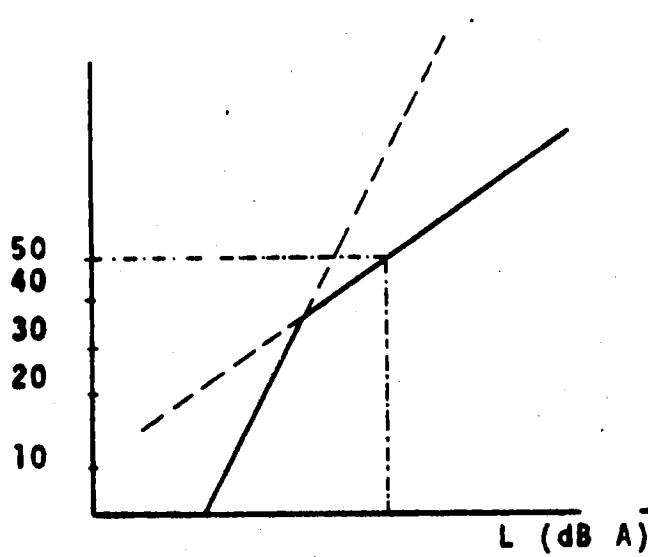
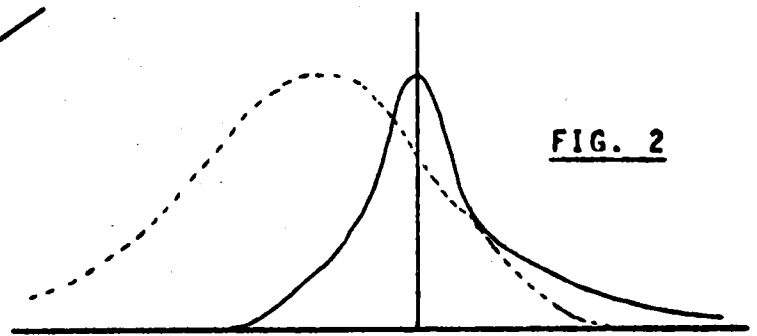
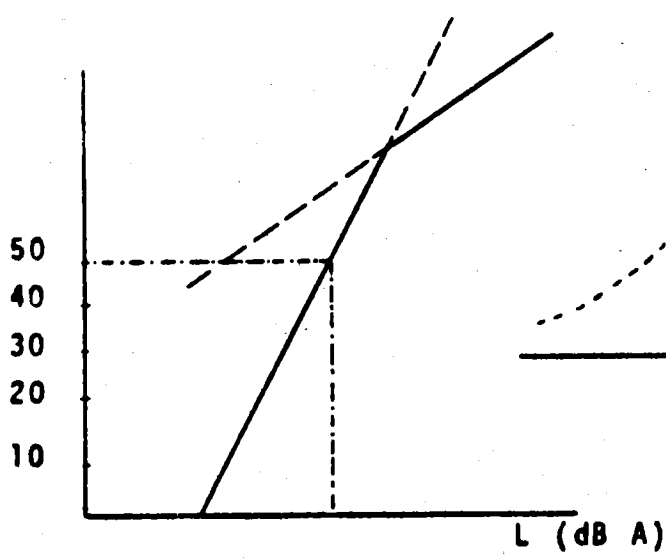
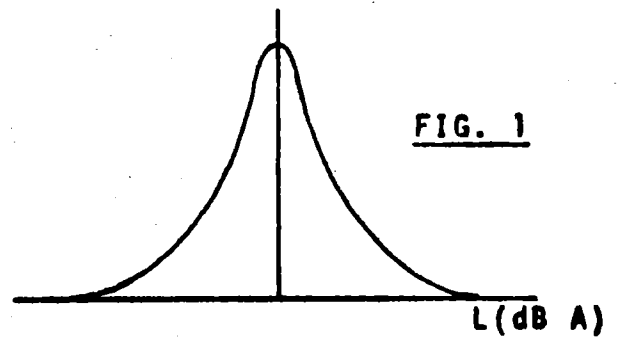
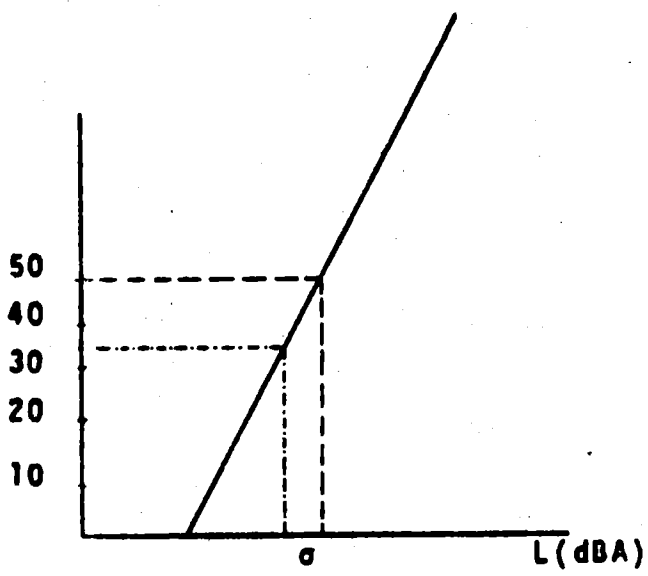
$$\underline{62 = b \cdot 3 + a}$$

$$78 = b(7,5 - 3) \rightarrow b = 17,4$$

$$a = 62 - 3b = 9,8$$

$$\text{TPI (picos/dB)} = 17,4 \sigma + 9,8$$

Foram desprezados três pontos do diagrama muito afastados dessas retas, e que correspondem a um escritório dotado de excessivo tempo de reverberação (Escritório 2, na Tabela I).



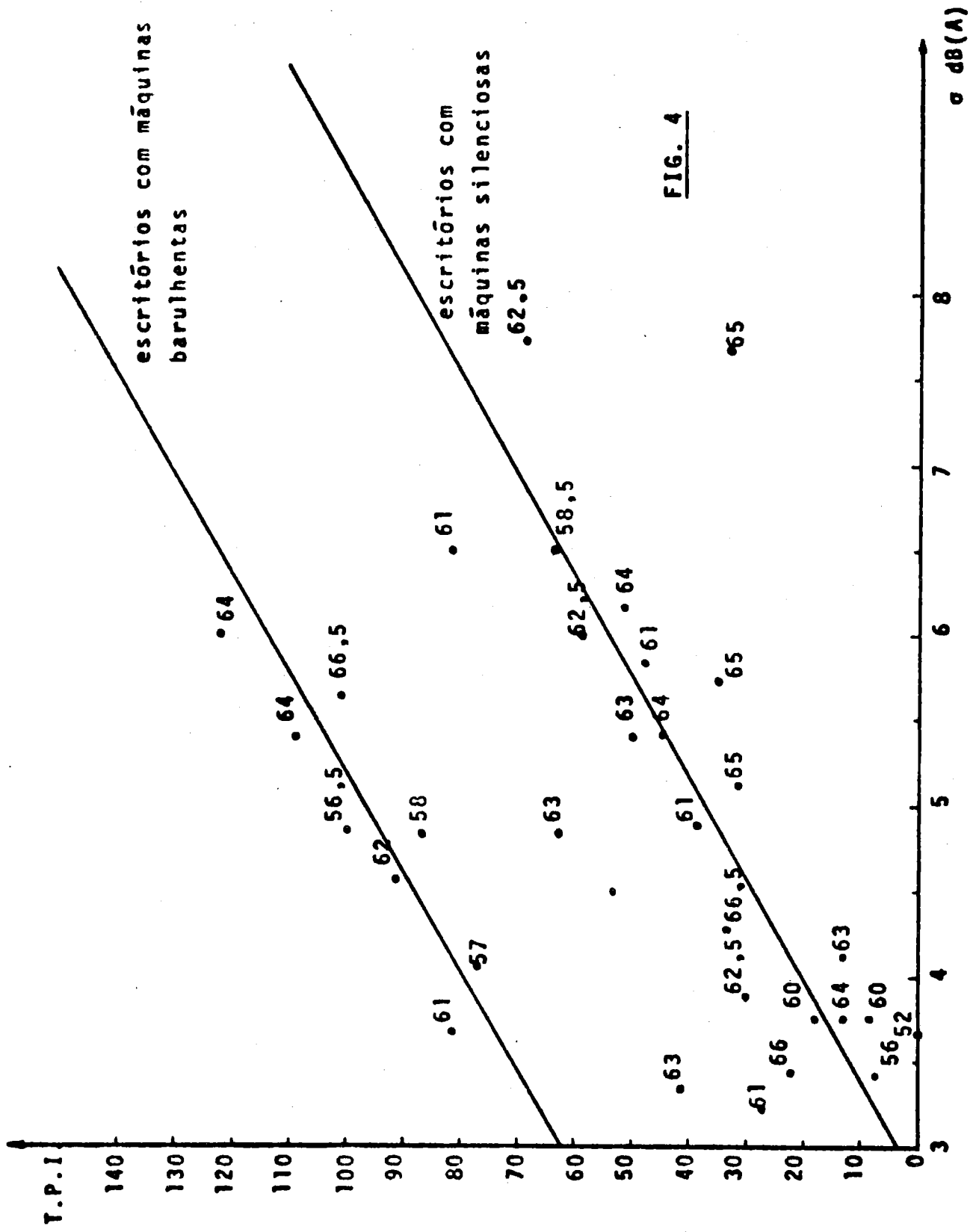


FIG. 4

Os números marcados junto aos pontos representam os valores da moda, expressos em dB(A)

2.3 COMENTÁRIOS SOBRE OS DADOS DA TABELA I

Os escritórios 1, 2 e 3, com baixa densidade de pessoas e com máquinas convencionais, levam a variações muito grandes do TPI, ao mesmo tempo que apresentam níveis médios muito altos.

O escritório 4, por encerrar máquinas de contabilidade, apresenta TPI elevado, variando durante o tempo de maneira desordenada.

O escritório 5, sem dúvida um dos melhores, apresenta densidade média de pessoas, grande número de divisórias baixas, e máquinas de contabilidade localizadas nas extremidades do recinto, tendo partições leves em volta. Estas características produziram um nível médio baixo, e um TPI bastante baixo. Verificou-se mesmo, em um inquérito preliminar, que o pessoal estava satisfeito com o local de trabalho.

Os escritórios 6 e 7, ambos com densidade bastante grande e devido ao mobiliário de metal, máquinas de perfuração de fitas para computação, e poucas partições baixas, foram comprovadamente dos piores recintos como projeto de acústica, dando altos níveis, altos TPI, e altos tempos de reverberação.

Nos escritórios 8, 9 e 10, a forma anular da planta obriga a um "lay-out" em que as máquinas de computação e contabilidade ficam dentro de um espaço fechado com painéis de vidro. As máquinas utilizadas nesses escritórios eram eletrônicas, e o forro muito bem tratado acusticamente. Assim, apesar dos níveis um pouco elevados, obteve-se uma solução bem aceita pelos usuários.

tabela 1

	ESCRITORIO	M ² / PESSOA	PONTO	MODA dB(A)	NÍVEL 34% e VARIANCIA	T.P.I.	OBSERVAÇÕES
1	ALFA LAVAL TERREO	25	1	58,5	65,0 6,5	64	Escritório com máquinas de contabilidade convencionais e baixa densidade
			2	64	69,4 5,4	109	
			3	66,5	72,1 5,6	107	
2	ALFA LAVAL 10 andar	22	1	62	66,8 4,8	63	Escritório com baixa densidade de ocupação
			2	64	69,4 5,4	45	
			3	65	72,7 7,7	33	
3	ALFA LAVAL 29 andar	25	1	64	70,0 6,0	122	Escritório com baixa densidade de ocupação
			2	61	66,8 5,8	48	
4	SERETE	13	1	62,5	68,4 5,9	59	Escritório com densidade normal e máquinas de contabilidade
			2	56,5	61,3 4,8	100	
			3	58	62,8 4,0	86	
5	TRANSPORTS ECLAIR	13	1 - 2	60	63,7 3,7	9 17	Escritórios agradáveis com as máquinas de contabilidade e telex envolvidas por partições baixas
			3	56	59,4 3,4	8	
			4	52	55,7 3,7	0	
6	ROUSSEL UCLAF 39 andar	12	A	62	66,6 4,6	92	Escritório desagradável com máquinas leitoras de banda perfurada
			B	61	67,5 6,5	82	
			C	57	60,9 3,0	76	
7	ROUSSEL UCLAF 49 andar	10	C	63	66,3 3,3	41	Escritório desagradável com máquinas leitoras de banda perfurada.
			B	61	64,6 3,6	81	
			A	61	64,2 3,2	26	
8	C. A. B. 10 andar	10	1	62,5	66,4 3,9	30	Escritório agradável com as máquinas de telex, computação, etc. fechadas em cabine de vidro.
			2	62,5	70,2 7,7	69	
			3	66,5	70,8 4,3	34	
			4	64	70,1 6,1	51	
9	C. A. B. 29 andar	10	1	64	67,7 3,7	13	Escritório agradável com as máquinas de telex, computação, etc. fechadas em cabine de vidro.
			2	66	69,4 3,4	22	
			3	65	70,7 5,7	35	
			4	63	68,4 5,4	50	
10	C. A. B. 39 andar	10	1	65	70,1 5,1	31	Escritório agradável com as máquinas de telex, computação, etc. fechadas em cabine de vidro.
			2	65,5	68,9 3,4	16	
			3	63	67,1 4,1	13	
			4	61	65,9 4,9	38	

* - Nível que é ultrapassado durante 34% do tempo

2.4 CONCLUSÕES GERAIS

Numa análise dos valores encontrados nas observações, verificamos que os pontos responsáveis pelos maiores TPI tinham, em sua vizinhança, máquinas eletro-mecânicas e peças de mobiliário produzindo níveis instantâneos de ruído muito elevados, e provocando, também, variância crescente com a frequência dos picos instantâneos. Ao contrário, nos escritórios onde equipamentos e mobiliários provocam menores níveis instantâneos, a variância continua a crescer com o aumento na frequência do uso, porém com TPI bem menores.

Podemos concluir que o espaço simplesmente bem concebido não é o suficiente para que se obtenha uma boa acústica dentro dos escritórios panorâmicos: é necessário também que se projete o mobiliário, devendo este ser silencioso ao abrir e fechar das gavetas e das portas; partições devem minimizar a influência de uma secção do recinto sobre a outra; as máquinas e os equipamentos devem ser escolhidos em função do ruído que produzem, sendo preferíveis os equipamentos eletrônicos. Quando não for possível, por questões econômicas ou técnicas, a utilização de equipamento silencioso, dever-se-a procurar que o restante do escritório fique protegido contra o ruído dos equipamentos, pelo aumento de barreiras e pela distância.

É importante que sempre mais se procure desenvolver o desenho de máquinas e de equipamentos que sejam dotados de baixos níveis de ruído.

2.5 - Diretrizes para Projetos

Os estudos relatados no presente trabalho permitiram-me estabelecer um conjunto de indicações que poderão servir, tentativamente, como diretrizes em projetos de escritórios panorâmicos. Vão enunciadas a seguir, ora como exigências que precisam ser atendidas, ora como recomendações referentes à utilização do recinto.

- 1 - O tempo de reverberação deve ser da ordem de 0,2 segundo para todo o espectro de frequências.
- 2 - Ruído de fundo entre 50 e 60 dB(A)
- 3 - Que o índice de inteligibilidade (I) seja maior do que 0,7 na vizinhança de mesas individuais e mesas de reuniões; ao mesmo tempo, para as pessoas mais próximas, porém ocupadas com outros serviços, o índice (I) não deve passar de 0,2. Estas características obrigam o escritório a possuir anteparos protetores (partições baixas), convenientemente localizadas.
- 4 - Os equipamentos dos escritórios devem ser silenciosos, ou seja, L_w inferior a 80 dB(A).
- 5 - Caso seja necessário utilizar máquinas barulhentas, estas devem ser tratadas (confinamento ou isolamento sonoro no local).
- 6 - O mobiliário deve ser escolhido ou projetado de maneira a não produzir ruídos nos movimentos de portas e gavetas.
- 7 - A distância entre mesas deve ser tal que se realize efetivamente a condição enunciada no item 3.
- 8 - A orientação e a distância entre interlocutores devem ser projetadas levando em conta o índice de diretividade da fala humana.

- 9 - Controle sobre modificações havidas nos escritórios: todo aumento ou diminuição na densidade do pessoal, assim como mudanças no funcionamento devem ser objeto de rigoroso controle, a fim de que se mantenham as boas características do projeto.
- 10 - É aconselhável fornecer e renovar ao pessoal (mediante impressos ou palestras), para explicar as características de comportamento que as pessoas precisam manter para o bom funcionamento acústico do escritório.
- 11 - Controle periódico sobre a mudança de comportamento do pessoal dentro dos escritórios.

2.6 - Futuros Enfoques

A seguir são sugeridos alguns temas para futuras pesquisas sobre escritórios panorâmicos, susceptíveis de esclarecer e completar o presente trabalho.

1 - Estudo de forros e de tapetes, mediante modelos reduzidos.

O desempenho dos materiais que já estão sendo utilizados, ou poderão vir a sê-lo, em tetos e em pisos, poderá ser estudado com auxílio de maquetes em escala 1:10. Numa primeira série de ensaios, seria estudada a influência do forro (materiais, textura, pê-direito) sobre o tempo de reverberação, o decréscimo do som produzido num ponto com a distância, e os problemas da inteligibilidade. Será necessário colocar no modelo fontes convenientemente projetadas e tratadas para simular as condições efetivas nos escritórios panorâmicos. Intervêm nos ensaios o problema das escalas, que teria de ser examinado em seus múltiplos aspectos.

2 - Levantamento das características do ruído produzido pelos equipamentos de escritório (máquinas diversas, mobiliário) existentes no mercado.

As indústrias oferecem grande variedade de equipamentos; sua disponibilidade, para determinada cidade ou região, pode variar de um local para outro.

Seria interessante determinar experimentalmente a) a composição do ruído emitido pela sua utilização, admitindo-se certa intermitência na utilização individual das peças do equipamento; b) a distribuição estatística desse ruído, num local efetivo de trabalho, observando-se os mínimos e máximos de intensidade, e sua respectiva intermitência no decurso do tempo.

Com base num conjunto de informações desse gênero, poder-se-á desenvolver um projeto de escritório panorâmico.

co levando em conta as características próprias de determinados equipamentos, e prevendo a provável taxa de satisfação do pessoal, a ser alcançada com esses equipamentos distribuídos no recinto.

3 - Estudo, mediante modelos, sobre o comportamento combinado das partições baixas com os forros e tapetes.

Trata-se de determinar como influem (no tempo de reverberação, etc.) as partições baixas quando imersas em ambientes quase abertos, como os escritórios panorâmicos, em conjunto com forros e tapetes altamente absorventes (estudados conforme o item 1).

A pesquisa mostraria a viabilidade de ser estabelecido, para avaliar a influência das partições baixas, algum gráfico no gênero do que foi indicado pelas Figs. 13 e 13 A, na primeira parte deste trabalho.