

# QUALIDADE SONORA DOS AMBIENTES E PRODUTOS

**Prof. Samir N. Y. Gerges , Márcio A. Gomes, e Fabiano Lima**  
Departamento de Engenharia Mecânica (EMC) / Laboratório de Ruído Industrial (LARI)  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
e-mail: samir@emc.ufsc.br

**RESUMO:** Neste trabalho serão apresentados uma revisão das grandezas psicoacústicas usadas para quantificar a percepção humana do som e exemplos de qualidade sonora de diferentes produtos, tais como carros usados, secadores de cabelo e acústica de um auditório. Alguns parâmetros acústicos foram determinados a partir da resposta impulsiva, com o auxílio da técnica de MLS e comparados àqueles obtidos, através de um programa comercial de Acústica de Raios. Os resultados são discutidos e conclusões são apresentadas.

## 1. INTRODUÇÃO

A sensação humana reflete a avaliação de percepção não somente do som pela audição mais também pela visão, olfato, gustação e tato. É possível usar dois tipos de avaliadores; um grupo de avaliadores treinados (por exemplo, testadores de vinho) e outro não treinado (ingênuo) como por exemplo o consumidor.

A tecnologia de QS é conhecida em outras áreas, tais como qualidade de creme de pele. Neste caso é feito levantamento de opinião do consumidor no mercado sobre a qualidade do creme, tais como; espalhamento, firmeza, aderência, absorvência, refrescância entre outras. Os produtos devem ter DESCRITORES ou ESPCIFICAÇÕES, que reflitam o máximo possível de sua qualidade.

Tradicionalmente a grandeza usada em acústica quantifica parâmetros como nível de pressão sonora, nível de potência sonora e nível de intensidade sonora. Estas grandezas caracterizam o ruído, porém falham em refletir a percepção humana. A percepção humana é quantificada através de parâmetros psicoacústicas tais como *Loudness (L)*, *Sharpness (S)*, *Roughness (R)*, *Fluctuation Strength (FS)*, *Pleasantness (P)*, *Annoyance (A)*, *Tonality (T)*, *Kurtosis (K)*, entre outros. O objetivo principal é quantificar a percepção do consumidor em relação ao som gerado por um produto, que chamamos Qualidade Sonora dos Produtos (QSP). O processo de medição e análise consiste de gravação do som através de dois microfones (gravação binaural), a reprodução deste som para um grupo de pessoas avaliadoras, edição do sinal gravado e o cálculo das métricas (L, S, R, FS, etc.). Este refinamento tem por objetivo atender às expectativas do consumidor e só foi possível com os avanços tecnológicos na área da instrumentação.

A seguir, uma breve definição dos dois parâmetros psicoacústicos utilizados neste estudo.

- **LOUDNESS (L):** É uma quantificação mais precisa da sensação acústica percebida, se comparada ao nível de pressão sonora. Leva em consideração a frequência e a pressão sonora, largura de banda do sinal, assim como o mascaramento espectral e temporal. A unidade para o *loudness* é o sone, de caráter linear em relação à sensação acústica.
- **SHARPNESS (S):** Indica o equilíbrio espectral entre baixas e altas frequências, ou seja, quanto maior o conteúdo de altas frequências, maior é o *sharpness*. A unidade é o acum.
- **FLUCTUATION STRENGTH (FS):** Mede o processo de modulação de som por outro som, usando uma frequência de modulação de 4 HZ.
- **ROUGHNESS (R):** Similar ao FS, mede modulação do som, porém a portadora fica em 70Hz, que reflete a aspereza do som.

## 2. PERCEPÇÃO SONORA

A qualidade sonora não só reflete a percepção auditiva, mas também o efeito do ambiente como a visão. O ouvinte tem percepção dupla de audição e visão, que são acoplados para fornecer a sua opinião e reação. A grandeza de *Annoyance (A)* ou incômodo é a combinação dos efeitos das várias grandezas L, S, R, .etc. especialmente para cada produto. Um número único para refletir a qualidade sonora deve ser uma combinação das grandezas L, S, R, .etc cada uma, com certo peso

dependendo de cada produto. A avaliação dos ouvintes para cada produto é influenciada pela cultura, expectativas, condições emocionais, condições de conforto térmico e condições locais.

### 3. EXEMPLOS DE QUALIDADE SONORA DOS PRODUTOS

Nesta sessão serão apresentados os resultados de Qualidade Sonora de diferentes produtos.

#### 3.1- Qualidade Sonora de Carro ao Longo de Quilometragem Rodada

AMOSTRAS – O levantamento foi realizado em nove veículos de mesma marca e modelo, com quilometragens entre 20 mil km e 238 mil km, todos pertencentes à frota de táxis de Florianópolis. Tais veículos foram produzidos entre os anos de 1997 e 2001, com motor de 1000 cm<sup>3</sup> de deslocamento volumétrico. Este não passou por nenhuma reformulação substancial em suas características técnicas ao longo desses anos.

Grupos de quilometragem – Os carros testados foram selecionados em três grupos de quilometragem, de acordo com a Tabela 1; portanto, foram avaliados três carros em cada grupo. O Grupo I representou qualitativamente carros novos, o Grupo II carros com quilometragem intermediária e o Grupo III, por sua vez, carros com quilometragem elevada.

	Grupo I	Grupo II	Grupo III
Veículo A (km)	20130	118250	165560
Veículo B (km)	25570	121520	176550
Veículo C (km)	41640	125900	237580
<b>Média do grupo (mil km)</b>	<b>29,1</b>	<b>121,9</b>	<b>193,2</b>

Tabela 1. Grupos de quilometragem

EQUIPAMENTO UTILIZADO – Todas as medições foram realizadas com o sistema móvel de análise de ruído *NoiseBook 4820*, fabricado pela *HEAD acoustics*, incluindo software e a unidade de gravação e reprodução *MHS II*. O sistema operou em um microcomputador portátil *Pentium III* de 800 MHz com 256 MB de memória RAM (Ver Figura 1.).

GRANDEZAS MEDIDAS – O sistema possibilitou a gravação do sinal no tempo, assim como a apresentação no domínio da frequência. Os parâmetros de interesse, calculados pelo software, foram: nível de pressão sonora global em dB e dB(A), Zwicker *loudness* e Zwicker *sharpness*, os dois últimos calculados segundo a ISO532. Como estes parâmetros são mostrados para o ouvido esquerdo e direito, arbitrou-se utilizar os resultados do ouvido esquerdo na análise.

CONDIÇÕES DE ENSAIO – Uma vez que o foco do trabalho está centrado na percepção sonora no interior do veículo, todas as medições foram realizadas na posição da cabeça do passageiro da frente e com os vidros das portas fechados. Manter os vidros fechados foi essencial para se evitar ruídos do vento incidindo diretamente sobre os microfones. Pelo mesmo motivo, a ventilação forçada permaneceu desligada e os direcionadores do fluxo de ar, na mesma posição (fechada). Para padronizar a posição de medição, o banco do passageiro foi posicionado sempre da mesma forma (todo recuado para trás e com encosto reclinado ao máximo na vertical). Os dois microfones foram instalados no próprio fone de ouvido (*Headset MHS II*) o qual foi portado pela mesma pessoa (1,76 m de altura, 68 kg) durante as medições.

Com o objetivo de diminuir o ruído de fundo, os ensaios foram realizados em uma rodovia estadual afastada do centro da cidade, em terreno plano e estrada reta, com poucas irregularidades no asfalto. A pressão dos pneus foi checada e calibrada em 26 lb, conforme recomendações do manual do veículo.

As medições descritas nas situações a seguir têm o objetivo de simular condições normais de utilização dos veículos e foram realizadas sempre no mesmo trecho da rodovia.



Figura 1. Esquema da cadeia de medição

- Situação 1 – Veículo testado em velocidade constante de 30 km/h, em segunda marcha. A baixa velocidade foi utilizada para diminuir o ruído aerodinâmico e o produzido pelos pneus.
- Situação 2 – Similar à Situação 1, porém em terceira marcha e a 50 km/h.
- Situação 3 – Também em velocidade constante, igual a 80 km/h e em quinta marcha. Esta situação era mais propensa a uma maior dispersão de resultados em função das diferenças entre os pneus dos carros e ao ruído aerodinâmico, porém necessária para representar a rotação em velocidades maiores.
- Situação 4 – Transmissão em neutro, veículo parado e mantido em marcha lenta (acelerador não pressionado). Esta medição foi intercalada entre as outras situações, com intuito de que o motor estivesse em sua temperatura normal de funcionamento e com rotação estabilizada. O ruído de fundo foi medido para assegurar que não influenciaria nos resultados. O objetivo desta foi medir o ruído induzido pelo motor e parte da transmissão, uma vez que, com o carro parado, não há influência da pista ou do ruído aerodinâmico.

Através de medições preliminares, determinou-se que um período de medição de 6 seg. produziria resultados satisfatórios. Desta forma, foram realizadas quatro repetições de 6 s por situação e por veículo, computando-se um desvio padrão em torno de 0,6 dB(A). É importante ressaltar que a estabilização da velocidade do veículo foi de responsabilidade do motorista do táxi através do velocímetro. Nenhum método foi utilizado para aferição desta velocidade.

Para cada veículo, foi registrado o desgaste e o modelo dos pneus, assim como estado de conservação do escapamento. Esses dados qualitativos serviram para analisar amostras fora do padrão. Além disso, os motoristas foram submetidos a uma entrevista técnica na qual foram levantadas informações a respeito do histórico de manutenção do veículo.

**AVALIAÇÃO SUBJETIVA ATRAVÉS DE JURADOS** – Os programas de Qualidade Sonora visam, aproximar o ruído de um produto às expectativas do consumidor. Sendo assim, não há como implantar corretamente tal programa sem ter consultado, em alguma fase, a opinião do consumidor.

Ao término da etapa das medições foram escolhidos três carros, um de cada grupo, para serem avaliados subjetivamente por um grupo de 36 pessoas. Foi selecionada apenas uma medição da Situação 2 para representar cada veículo. Esta situação foi escolhida por corresponder as condições intermediárias de velocidade e marcha.

Individualmente, os jurados ouviram aleatoriamente a gravação dos três carros através do fone de ouvido *MHS II*. A gravação do ruído dos automóveis foi reproduzida tantas vezes quanto necessária até que esses jurados pudessem hierarquizar os três carros segundo dois critérios independentes: “Qual o carro considerado por você o mais desconfortável?” e “Qual a gravação que representa, no seu entendimento, o carro com maior quilometragem?”. A avaliação ocorreu no interior de uma câmara de baixo ruído de fundo e às pessoas foi dito apenas se tratar de três carros de mesma marca e modelo, porém com diferente quilometragens.

## RESULTADOS

**RESULTADOS GERAIS** – Nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 são apresentadas as medições realizadas, sendo NPS o nível de pressão sonora, N o *loudness* e S o *sharpness*.

Segunda marcha, 30 km/h

Carro	Quilometragem (km)	NPS (dB)	NPS (dB(A))	N (soneGD)	S (acum)
1	20130	88,5	66,9	21,1	1,18
2	25570	88,7	65,8	20,0	1,18
3	41640	90,4	65,5	19,5	1,16
4	118250	92,6	67,2	22,4	1,15
5	121520	88,9	66,0	20,7	1,22
6	125900	91,4	66,4	21,5	1,29
7	165560	92,3	64,4	18,5	1,12
8	176550	91,1	66,2	20,5	1,13
9	237580	93,1	67,3	21,8	1,16

Tabela 2. Parâmetros medidos nas condições da Situação 1

Terceira marcha, 50 km/h

Carro	Quilometragem (km)	NPS (dB)	NPS (dB(A))	N (soneGD)	S (acum)
1	20130	92,1	69,9	26,2	1,27
2	25570	92,2	68,3	23,6	1,22
3	41640	94,3	69,2	25,1	1,24
4	118250	96,1	70,3	28,0	1,27
5	121520	93,3	70,9	28,1	1,32
6	125900	95,1	69,2	26,3	1,39
7	165560	96,1	68,6	24,6	1,16
8	176550	93,4	68,5	24,0	1,25
9	237580	95,8	69,9	26,4	1,29

Tabela 3: Parâmetros medidos nas condições da Situação 2

Quinta marcha, 80 km/h

Carro	Quilometragem (km)	NPS (dB)	NPS (dB(A))	N (soneGD)	S (acum)
1	20130	94,0	73,0	32,6	1,40
2	25570	93,3	72,0	29,8	1,37
3	41640	97,2	72,9	33,4	1,45
4	118250	98,1	74,6	37,6	1,65
5	121520	93,9	73,3	32,6	1,52
6	125900	96,0	72,2	32,4	1,53
7	165560	97,3	71,5	30,1	1,37
8	176550	95,2	72,1	31,1	1,42
9	237580	99,1	73,5	35,6	1,50

Tabela 4: Parâmetros medidos nas condições da Situação 3

Marcha lenta

Carro	Quilometragem (km)	NPS (dB)	NPS (dB(A))	N (soneGD)	S (acum)
1	20130	78,7	52,2	8,0	1,26
2	25570	77,8	52,1	7,8	1,22
3	41640	81,6	53,5	8,6	1,21
4	118250	83,8	54,2	9,2	1,17
5	121520	83,0	56,4	10,0	1,12
6	125900	78,6	51,6	7,6	1,42
7	165560	88,0	51,6	8,0	1,20
8	176550	83,4	52,7	8,3	1,21
9	237580	90,8	54,8	9,6	1,13

Tabela 5: Parâmetros medidos nas condições da Situação 4

NÍVEL DE PRESSÃO SONORA (dB) – Na Figura 2 é mostrado o NPS medido para cada carro, em função da quilometragem e em três diferentes situações. Além disso, para representar com maior clareza as situações, foram incluídos a respectiva reta de ajuste e o coeficiente de correlação. Nota-se um comportamento levemente crescente

O Grupo I representa a média dos carros testados com baixa quilometragem e assim respectivamente, de acordo com a Tabela 1. Um desvio padrão é mostrado para mais e para menos em relação à média de cada grupo e situação. O ensaio em segunda marcha (Situação 1) foi o que apresentou crescimento mais acentuado entre as situações com o veículo em movimento. A Situação 2 e 3 estão mais próximas entre si e distanciadas da Situação 1.

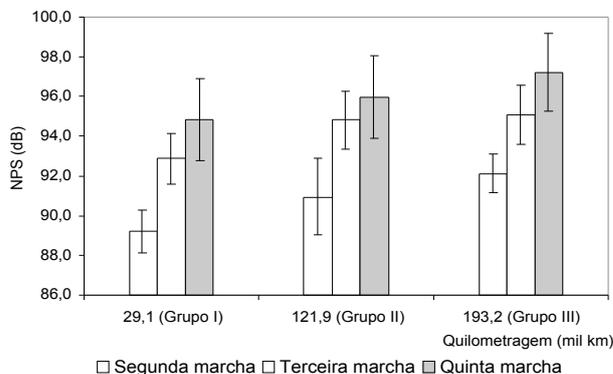


Figura 2: Nível de pressão sonora (dB) nas três situações de marcha, em função dos grupos de quilometragem

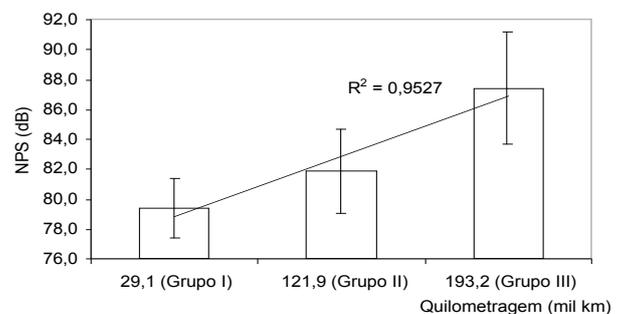


Figura 3: Nível de pressão sonora (dB) na situação de marcha lenta, em função dos grupos de quilometragem.

A tendência crescente do NPS ficou em maior destaque na Situação 4 (marcha lenta). Na Figura 3 são distribuídos os resultados do NPS apenas para a situação de marcha lenta, para os nove carros. A correlação entre os pontos e a melhor reta é de cerca de 70%. Na Figura 5 é mostrado o gráfico correspondente, tendo como eixo das abscissas os grupos de quilometragem.

**NÍVEL DE PRESSÃO SONORA (dB(A))** – A utilização da escala A de ponderação, para expressar o nível de pressão sonora, foi o primeiro passo no sentido de aproximar a quantificação do som à sensação acústica humana.

No gráfico da Figura 4, observa-se que o nível de pressão sonora em dB(A) aumentou levemente nos veículos do Grupo II em relação aos do Grupo I; no entanto, permaneceu praticamente igual aos valores originais no Grupo III.

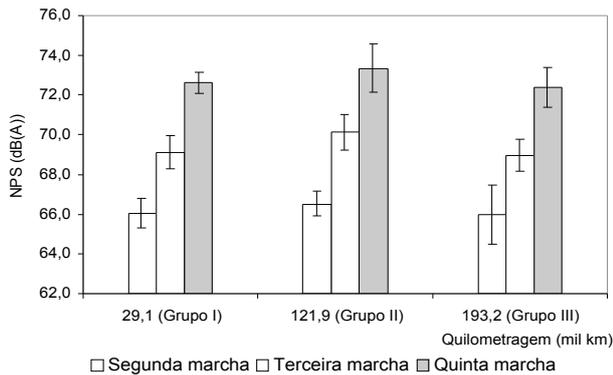


Figura 4: Nível de pressão sonora (dB(A)) nas três situações de marcha, em função dos grupos de quilometragem

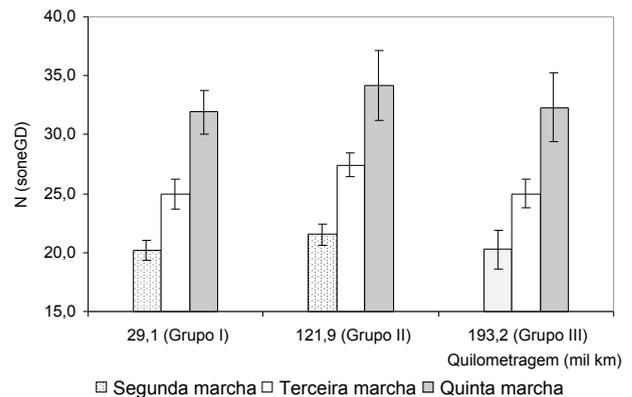


Figura 5: Loudness nas três situações de marcha, em função dos grupos de quilometragem

**LOUDNESS** – Os resultados do loudness demonstraram comportamento muito semelhante aos do nível de pressão sonora em dB(A), como mostrado na Figura 5.

**SHARPNESS** – Com o crescimento dos níveis de pressão sonora, medidos em dB, ao longo da quilometragem, seria de se esperar tendência contrária para o comportamento do sharpness. Isto porque os níveis em dB cresceram pelo aumento na emissão de fontes de ruído de baixa frequência (especialmente do motor). Na prática, isto só foi verificado na segunda marcha (Situação 1), quando analisadas as linhas de tendência mostradas na Figura 6. No entanto, deve-se observar que com o aumento da velocidade o ruído aerodinâmico passa a ter papel cada vez mais importante..

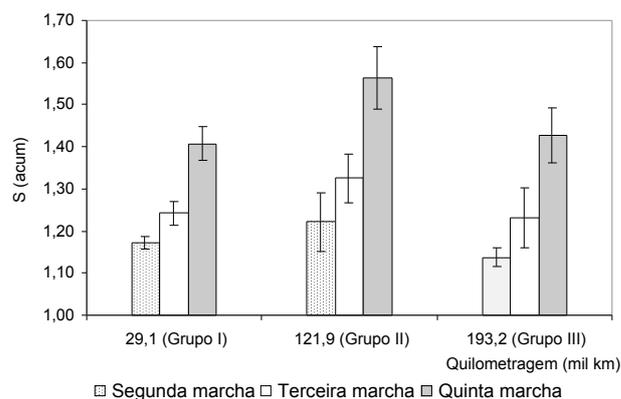


Figura 6. Sharpness nas três situações de marcha, em função dos grupos de quilometragem

**AVALIAÇÃO SUBJETIVA** – Dos três carros nomeados para a avaliação subjetiva, um possuía a menor e outro a maior quilometragem, de acordo com a Tabela 6. O terceiro carro foi escolhido dentre os outros do Grupo II, por apresentar muitos rangidos no painel e fixações, embora a parte de motor e transmissão apresentassem desgaste normal. Como foram selecionadas medições particulares de cada carro, os dados da Tabela 6 não correspondem aos da Tabela 3. Além disso, na Tabela 6 é computado o valor médio das duas orelhas, sendo utilizada média logarítmica para os valores em decibéis.

Segunda marcha, 30 km/h (média computando as duas orelhas)					
Carro	Quilometragem (km)	NPS (dB)	NPS (dB(A))	N (soneGD)	S (acum)
1	20130	92,8	72,3	29,6	1,30
6	125900	95,8	70,5	28,2	1,42
9	237580	97,3	71,3	28,5	1,27

Tabela 6: Medições particulares avaliadas pelo júri

Sob a diretriz do primeiro critério, “Qual o carro considerado por você o mais desconfortável?”, é mostrado o resultado da pesquisa na Figura 7.

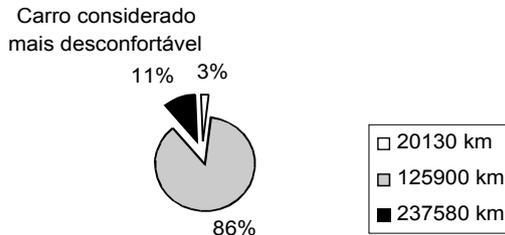


Figura 7: Pesquisa – Avaliação de desconforto

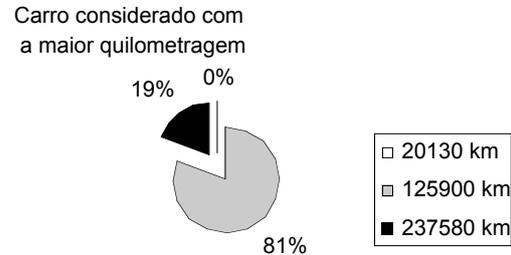


Figura 8: Pesquisa – Avaliação de quilometragem

Da mesma forma, na Figura 8 é explicitado o resultado sob o critério “Qual a gravação que representa, no seu entendimento, o carro com maior quilometragem?”.

Os dois critérios ordenaram os veículos exatamente sob a mesma classificação. O carro estimado como o de maior quilometragem (considerado o mais usado) foi o veículo que na verdade tinha quilometragem intermediária. Observando-se a Tabela 6 novamente, entende-se que o maior *sharpness* apresentado pelo veículo de número 6 explique esse resultado.

Para finalizar, analisando-se também o carro considerado como o de quilometragem intermediária, seria possível criar uma métrica que ponderasse as medições de *sharpness* e do nível de pressão sonora em dB para representar a opinião do consumidor sobre o que é um carro com alta quilometragem.

## CONCLUSÕES

Os ruídos gerados no interior do veículo, como rangidos e estalos, têm merecido atenção crescente por parte dos fabricantes de automóveis nos últimos anos. Isto ocorre, pois com o desenvolvimento de motores e transmissões mais silenciosos e suaves, outras fontes de ruído começaram a ganhar importância, dentre as quais o ruído do painel, de fixações e revestimentos. Estas fontes passam a ser ainda mais importantes a medida que a quilometragem do veículo avança, pois passam a ter uma influência maior sobre o conjunto.

Essa grande influência pôde ser comprovada com o resultado da pesquisa entre os jurados. Estes elegeram como o carro mais rodado e mais desconfortável o que tinha quilometragem intermediária, justamente por este apresentar vários ruídos do painel, de fixações e revestimentos. Os rangidos apresentados tiveram mais impacto que o ruído em baixa frequência, nitidamente superior no carro mais rodado. Desta forma, o *sharpness* se mostrou um bom parâmetro para estimar a percepção do consumidor em relação ao que representa um carro com alta quilometragem.

Mesmo tendo analisado um pequeno número de amostras, foi possível concluir com este estudo que o ruído tende a aumentar por volta dos 100 mil km, seja qual for o parâmetro que estiver sendo medido. Para carros com quilometragem acima dos 100 mil km, o quadro pode flutuar em função de outros fatores, como a integridade da manutenção ao longo da vida do automóvel. Além disso, no estudo aqui apresentado existem algumas prováveis fontes de erro, como o estado de conservação e marca dos pneus, assim como do escapamento. Outro ponto que provavelmente gerou algumas incertezas foi a estabilização da velocidade na qual foram feitas as medições, uma vez que nenhum tipo de cuidado foi tomado nesse sentido diante à dificuldade de tal e ao caráter investigativo do trabalho.

Mesmo considerando todos esses aspectos, definiu-se um comportamento de crescimento contínuo. Isto pode ser explicado pelo desgaste crescente do conjunto motor/transmissão, gerador de ruído em baixa frequência.

A divisão em grupos de quilometragem permitiu a redução do número de pontos a ser analisado e leva a uma caracterização qualitativa da quilometragem do automóvel: veículos com pouco uso, veículos em condições normais de uso e veículos entrando em fase de desgaste acentuado. Se o número de amostras fosse aumentado, esses grupos poderiam ser mais

representativos e servir como base para classificar o estado de conservação de um automóvel de mesma marca e modelo.

Os carros ensaiados não foram todos fabricados no mesmo ano, sendo que os carros de maior quilometragem geralmente coincidem com os carros de maior tempo de uso. Na Figura 9 é mostrada a distribuição do nível de pressão sonora dos nove carros, em dB, em função do ano de fabricação. Notar comportamento decrescente, significando que os carros mais novos apresentam menor ruído.

Por fim, outro ponto importante foi a deficiência do nível de pressão sonora, ponderado em escala A, em caracterizar o comportamento dos veículos ao longo de sua quilometragem.

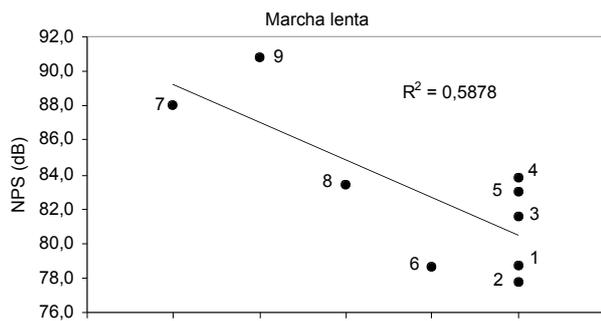


Figura 9: Nível de pressão sonora para a Situação 4 em função do ano de fabricação do veículo

## 3.2- Qualidade Sonora de Secadores de Cabelo

Secadores de cabelo são utensílios bastante difundidos, sendo usualmente classificados como ruidosos. Para auxiliar nesta quantificação foi introduzido o Selo Ruído. Este trabalho proporcionará uma comparação do ruído produzido por aparelhos de fabricantes diferentes, tanto do ponto de vista qualitativo como do quantitativo. A comparação será realizada entre três modelos de marcas diferentes, utilizando-se três amostras de cada produto.

São apresentados os resultados do ensaio de potência sonora, a medição do nível de pressão sonora em dB(A), e as métricas psicoacústicas loudness e sharpness. Estes dois últimos, relacionados à qualidade sonora, são utilizados para aproximar as medições à percepção humana. Na parte qualitativa é mostrada a avaliação subjetiva de um grupo de consumidores, com foco no desconforto causado pelo ruído dos secadores. Essa avaliação foi desenvolvida em duas etapas: na primeira não houve contato direto das pessoas com os aparelhos (estas ouviram gravação realizada através de sistema binaural); na segunda, os consumidores simularam o uso do produto propriamente dito. O objetivo primordial desta pesquisa é, além de realizar uma comparação global entre os diferentes modelos, confrontar a avaliação qualitativa com os parâmetros medidos, determinando se é possível caracterizar o ruído dos secadores testados com as métricas escolhidas. O resultado deste será apresentado em outro trabalho durante este mesmo congresso.

O secador de cabelo é um utensílio bastante difundido, sendo usualmente classificado como ruidoso. Por este motivo foi introduzido o *Selo Ruído*, uma forma de quantificar o ruído gerado por esse e outros dispositivos de uso no dia-a-dia. Neste trabalho comparou-se o ruído produzido por aparelhos de fabricantes diferentes, tanto do ponto de vista qualitativo como quantitativo. Foram utilizados três modelos de marcas diferentes e três amostras de cada produto. As medições incluíram o nível de pressão sonora (em dB e dB(A)), além dos parâmetros psicoacústicos *loudness* e *sharpness*. Estes dois últimos, relacionados à qualidade sonora, são utilizados para aproximar as medições à percepção humana. Na parte qualitativa é mostrada a avaliação subjetiva de um grupo de consumidores, com foco no desconforto causado pelo ruído dos secadores. Essa avaliação foi desenvolvida em duas etapas: na primeira não houve contato direto das pessoas com os aparelhos (estas ouviram uma gravação realizada através de sistema digital); na segunda, os consumidores simularam o uso do produto propriamente dito. O objetivo primordial desta pesquisa foi, além de realizar uma comparação global entre os diferentes modelos, confrontar a avaliação qualitativa com os parâmetros medidos.

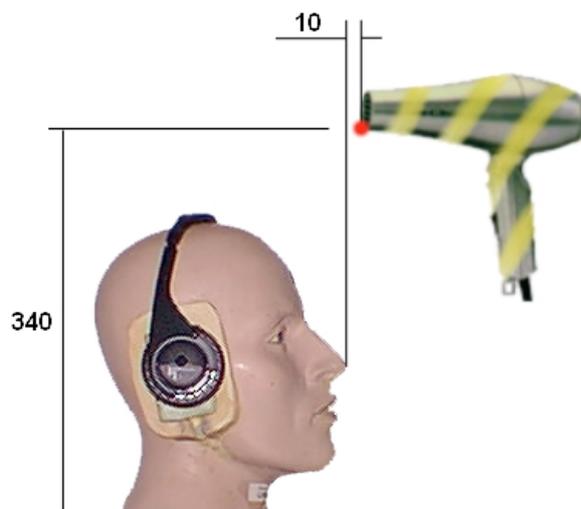


Figura 10: Posicionamento dos Secadores durante medições (mm).

### CONDIÇÕES DE ENSAIO

Os ensaios foram realizados no centro da câmara semi-aneecóica do LVA. A cabeça artificial permaneceu 800 mm acima do chão da câmara. O secador foi fixado em tripé e mantido na horizontal, afastado 10 mm na horizontal em relação à extremidade da cabeça artificial e 340 mm em relação a sua base, como mostrado na Figura 10. O ponto destacado é a referência (parte inferior da extremidade do bocal do secador). O correto posicionamento foi feito com o auxílio de um gabarito com as dimensões indicadas.

Foram realizadas quatro gravações de 15 s por amostra, alternando entre os modelos de secador. O objetivo foi diluir os erros decorrentes do posicionamento dos secadores. Dessa forma, cada modelo totalizou doze medições (três amostras vezes quatro repetições).

### GRANDEZAS MEDIDAS

Os parâmetros de interesse, calculados pelo software, foram: nível de pressão sonora global em dB e dB(A), Zwicker *loudness* e Zwicker *sharpness*, os dois últimos segundo a ISO 532 B. Como estes parâmetros são mostrados para os canais esquerdo e direito, calculou-se a média entre os dois microfones.

### AVALIAÇÃO SUBJETIVA ATRAVÉS DE JURADOS

Os programas de Qualidade Sonora visam aproximar o ruído de um produto às expectativas do consumidor. Sendo assim, não há como implantar corretamente tal programa sem ter consultado, em alguma fase, a opinião do consumidor.

Ao término da etapa das medições foi selecionada uma amostra de cada modelo de secador (a que mais se aproximou da média das medições). As três amostras resultantes foram avaliadas subjetivamente por um grupo de dez pessoas – esta população constituiu-se integralmente por mulheres. O desenvolvimento se deu em duas etapas.

ETAPA I – Individualmente, os jurados ouviram aleatoriamente a gravação dos três secadores selecionados através do fone de ouvido *MHS II*. O ruído gravado foi reproduzido tantas vezes quanto necessário, até que esses jurados pudessem responder às seguintes perguntas:

1. Qual dos três secadores é o mais incômodo, em termos de ruído? Por quê?
2. Qual dos três secadores é o mais agradável, em termos de ruído? Por quê?
3. Qual dos três secadores tem o maior ruído?
4. Qual você compraria? Por quê?
5. Qual você *não* compraria? Por quê?

É importante ressaltar que até então as ouvintes não haviam tido nenhum contato com os secadores, com exceção da gravação, tampouco foram divulgados os fabricantes. As respostas foram arquivadas em um banco de dados em formato eletrônico.

ETAPA II – Nesta etapa da pesquisa praticamente repetiu-se as perguntas anteriores, diferindo apenas no enfoque das duas primeiras questões. Isto se deu depois de as pessoas terem manuseado os secadores, ligando os mesmos e simulando o uso.

6. Qual dos três secadores é o mais incômodo? Por quê?
7. Qual dos três secadores é o mais agradável? Por quê?
8. Qual dos três secadores tem o maior ruído?
9. Qual você compraria? Por quê?
10. Qual você *não* compraria? Por quê?

O bocal concentrador destacável, presente em todos os modelos, não foi utilizado pelas ouvintes durante os testes.

### RESULTADOS

Dos três modelos, dois corretamente apresentavam o Selo Ruído. O modelo A indicava 83 dB(A) de nível de potência sonora (com referência em 1 pW), exatamente o mesmo valor declarado no modelo B.

As medições realizadas nos secadores estão sumarizadas na Tabela 7. Nestes resultados os secadores foram testados sem o bocal concentrador.

	Secador	NPS (dB)		NPS (dB(A))		N (soneGD)		S (acum)	
		Média	$\sigma$	Média	$\sigma$	Média	$\sigma$	Média	$\sigma$
	A	78,4	0,7	78,5	0,8	42,5	2,0	5,45	0,14
	B	82,0	1,1	82,3	1,2	49,3	2,3	5,57	0,16
	C	80,7	0,6	81,1	0,7	48,6	1,8	5,36	0,23

Tabela 7: Parâmetros medidos para os secadores *sem* o bocal concentrador

Na Figura 11 é mostrado o espectro do ruído medido para o secador A sem o bocal concentrador, na Figura 12 para o secador B e na Figura 13 para o secador C.

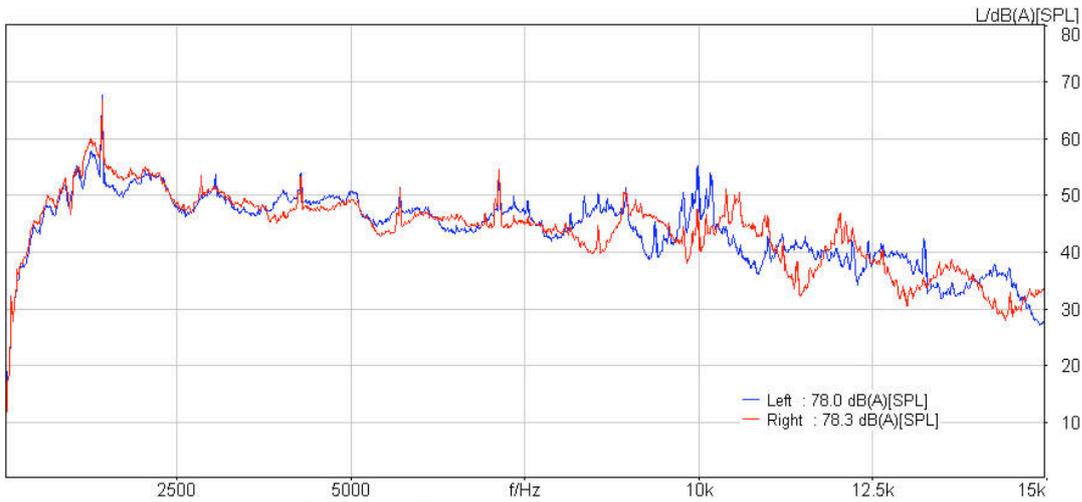


Figura 11: Espectro medido para o secador A

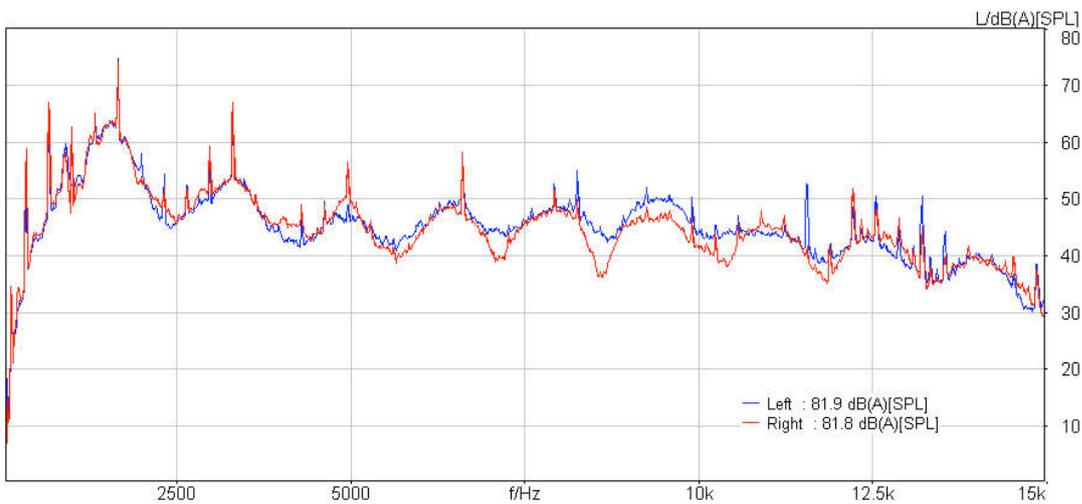


Figura 12: Espectro medido para o secador B

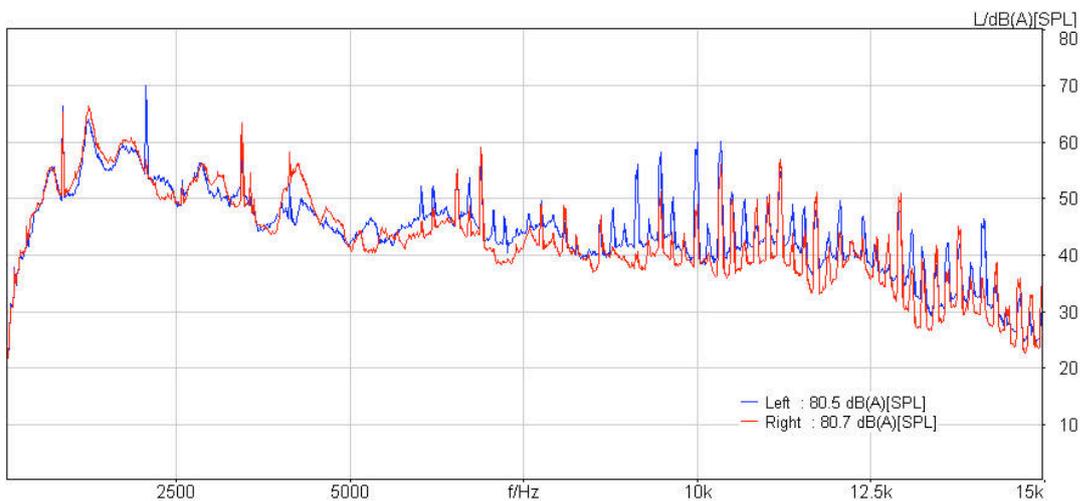


Figura 13: Espectro medido para o secador C

Repetiu-se os ensaios na câmara semi-aneecóica, porém desta vez utilizando o bocal concentrador na saída do fluxo de ar dos secadores (Tabela 8).

Secador	NPS (dB)		NPS (dB(A))		N (soneGD)		S (acum)	
	Média	$\sigma$	Média	$\sigma$	Média	$\sigma$	Média	$\sigma$
	A	78,3	0,8	78,4	0,9	43,2	2,0	5,03
B	81,2	1,4	81,5	1,5	47,8	3,6	5,22	0,19
C	79,2	0,6	79,3	0,7	46,1	1,6	5,14	0,20

Tabela 8 - Parâmetros medidos para os secadores com o bocal concentrador

O resultado da avaliação subjetiva (ETAPA I) pode ser visualizado na Figura 14. Cada gráfico corresponde a uma das cinco perguntas do questionário.

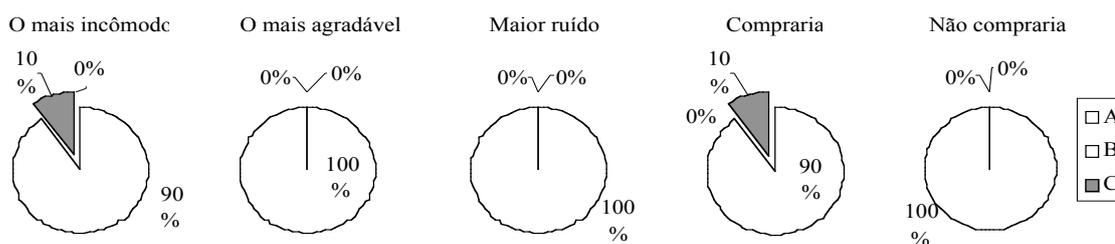


Figura 14 – Resposta dos jurados apenas ouvindo a gravação (ETAPA I)

Da mesma forma, apresenta-se o resultado da ETAPA II na Figura 15.

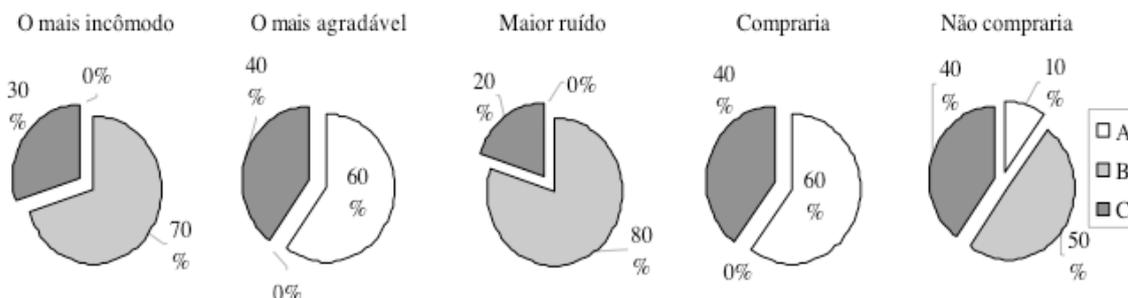


Figura 15 - Resultado dos jurados depois de manusear os secadores (ETAPA II)

## CONCLUSÕES

Através de levantamento realizado entre as ouvintes, concordou-se que o tempo médio para secar os cabelos é de aproximadamente 25 minutos, podendo aumentar consideravelmente em função do volume de cabelo. Sendo assim, o alto nível de ruído constatado (em torno de 80 dB(A)) pode ter efeitos negativos nos usuários, como estresse e dores de cabeça, entre outros. Dessa forma, é válida a introdução do Selo Ruído como incentivo aos aparelhos menos ruidosos.

Observando as Figuras 12,13 e 14 percebe-se que o modelo A apresentou o espectro mais plano e com nível global menor entre os três; o maior pico é de 63,0 dB(A) em 1427 Hz. O modelo B ressaltou tons de frequência mais definidos e com resposta harmônica pronunciada (maior pico de 71,4 dB(A) em 1651 Hz). Já no modelo C notou-se picos de até 60 dB(A) por volta de 10 kHz, característica ressaltada voluntariamente por duas pessoas durante a avaliação e considerada incômoda.

O bocal concentrador do fluxo de ar diminuiu generalizadamente os níveis de ruído em todos os secadores, como mostrado na Tabela . Por este motivo não fez parte da avaliação subjetiva, evitando comparações entre um modelo com o bocal em uso e outro sem o acessório.

No resultado da primeira etapa da avaliação subjetiva foi unânime a rejeição do secador C, já que 100% dos entrevistados responderam que não comprariam este secador (Figura 13). Este também foi considerado o mais incômodo e o mais ruidoso (em concordância com o maior valor de loudness medido, Tabela 7). Ruídos que causam incômodo são geralmente caracterizados por alto pitch strength e sharpness [3], o que, respectivamente, vem de acordo com o espectro mostrado na Figura 1 e com o maior valor medido para o sharpness na Tabela 7. Já o secador A foi identificado

como o mais agradável, sendo que as ouvintes justificaram a escolha pelo menor ruído produzido por este aparelho (novamente concordando com o menor valor medido para o loudness, Tabela 7).

Na segunda etapa da avaliação subjetiva o secador A ainda foi indicado como o mais agradável. O secador C foi lembrado no mesmo item por 40% das pessoas em função do design, segundo depoimentos. No entanto, o mesmo secador obteve desempenho pior nas perguntas 6, 8 e 10 em função do ruído elevado; mesmo assim, a aceitação frente à pergunta “Qual você compraria?” cresceu devido ao maior fluxo de ar gerado, possibilidades de regulagem e aparência.

### 3.3- QUALIDADE SONORA DE AMBIENTE

#### INTRODUÇÃO

A acústica de salas tem se mostrado, cada vez mais, como tema científico de grande potencial de desenvolvimento.

Atualmente, mesmo não existindo um consenso formal sobre quais parâmetros acústicos são mais importantes para a avaliação da qualidade acústica de uma sala, sabe-se que a maioria destes parâmetros pode ser obtida através de um processamento das respostas impulsivas do ambiente. Respostas impulsivas podem ser medidas diretamente com um microfone em uma determinada posição, produzindo um sinal sonoro que se aproxime de um pulso no domínio do tempo. Disparos de revólver são exemplos de sons que se aproximam do referido pulso. Entretanto, a maioria destes sinais nem sempre apresentam boa resposta em frequência, têm baixo grau de reprodutibilidade e ainda podem levar o sensor utilizado a trabalhar em uma faixa não linear, prejudicando a faixa dinâmica do resultado final, ou melhor, resultando em uma baixa relação sinal-ruído.

Várias alternativas a aquele tipo de sinal têm sido estudadas há vários anos. Um destes sinais, de uso reconhecido e razoavelmente popular entre os pesquisadores da área é aquele conhecido por Sequências de Comprimento Máximo (“Maximum-length Sequences”, MLS). A principal característica deste sinal é que sua função de auto-correlação é um pulso periódico. Assim sendo, pode-se demonstrar que, sob certas condições, a correlação cruzada entre o sinal de entrada (MLS) e a resposta da sala a este sinal é a resposta impulsiva. O MLS é um sinal pseudo-aleatório e, pelo fato de ser um sinal conhecido, produzido pelo próprio sistema de medição, não precisa ser medido, requerendo um canal de medição a menos do que o usual. Além disso, pelo mesmo motivo, o ruído não correlacionado ao sinal tende a ser rejeitado na operação de correlação cruzada, contribuindo para a alta relação sinal-ruído, característica ao sistema. Quando se começou a trabalhar com este tipo de sinal, uma das promissoras vantagens do uso do MLS era a possibilidade de realizar medições em ambientes, como salas de concerto ou de conferências, durante as atividades, sem causar incômodo aos interlocutores nem aos espectadores. No entanto, tem-se percebido que, nestas condições, as salas não se apresentam como sistemas invariantes com o tempo, o que infringe uma das condições necessárias para o uso do MLS. Certa controvérsia ainda existe em torno deste fato e o que tem sido prática mais comum para medir ambientes ocupados é usar o MLS durante períodos não muito longos, imediatamente antes dos eventos.

Das três frentes teóricas usadas em acústica de salas, duas podem ser úteis para o cálculo das respostas impulsivas, a saber, a teoria de ondas acústicas e a teoria da acústica de raios. A primeira, mais formal e mais rigorosa na descrição do fenômeno físico, ainda apresenta certas dificuldades para ser aplicada na prática, mas se constitui em uma área promissora para novas pesquisas. Mais recentemente, com o desenvolvimento dos recursos computacionais e de técnicas numéricas, esta teoria tem sido usada em baixas e médias frequências (Terai e Kawai, 1991). A acústica de raios ou acústica geométrica, de uma forma mais geral, sempre foi mais utilizada no auxílio de projetos acústicos de salas, seja através de modelos físicos em escala reduzida, ou através de modelos computacionais. A acústica geométrica assume que o som se comporta como raios de luz, refletindo nas superfícies de contorno do ambiente, sendo atenuado, dependendo do coeficiente de absorção da superfície.

Várias famílias de algoritmos podem ser usadas para se determinar, por exemplo, o ecograma em um ponto da sala, a partir do qual é possível ter uma aproximação da resposta impulsiva correspondente.

Neste trabalho é feita uma comparação entre resultados medidos em uma sala, usando o MLS como sinal de excitação, e aqueles obtidos de uma simulação feita através do programa comercial de acústica de raios “RAYNOISE”.

## Seqüências de Comprimento Máximo - MLS

O método mais difundido para obtenção de curvas de decaimento de uma sala, consiste na excitação desta com um sinal de espectro uniforme (como ruído branco ou rosa), na espera para que se atinja uma condição de estacionaridade no interior desta sala e no desligamento da fonte sonora e posterior registro da curva de decaimento da pressão sonora no tempo (Sampaio, 1998).

Este método possui muitas desvantagens, como por exemplo, curvas de decaimento com um certo caráter aleatório, o que dificulta a observação de detalhes, além da desconsideração de porções iniciais destas curvas, as quais são importantes para avaliação de impressões subjetivas. Uma forma de se diminuir este caráter aleatório, é fazer uma média entre curvas obtidas em diversas medições, o que torna este método muito dispendioso.

Assim, em 1965, Schroeder demonstrou que tal curva de decaimento pode ser obtida a partir da resposta impulsiva de uma sala, com uma única medição equivalente à média entre infinitas curvas, obtidas através do método anterior (Vorländer, 1996). Mas ressalta-se que para isto, é necessário que o sistema sob estudo seja linear e invariante no tempo, ou do inglês, *Linear and Time-Invariant* (LTI).

Hoje sabemos que a maioria dos parâmetros acústicos utilizados para avaliação da qualidade acústica de salas, podem ser obtidos a partir das respostas impulsivas destas últimas. Portanto, torna-se evidente o interesse no desenvolvimento de métodos que possam, facilmente, fornecer tais respostas impulsivas.

A seguir algumas definições serão apresentadas.

## Resposta Impulsiva de uma Sala

Quando uma fonte sonora é ligada no interior de uma sala, o som emitido começa a sofrer reflexões nos obstáculos que encontra pela frente. São nessas reflexões e na maneira como elas interagem com as superfícies e se distribuem pelo espaço, que consiste a principal preocupação da Acústica de Salas.

Uma forma de se avaliar o padrão de reflexões de uma sala é através de sua resposta impulsiva, na qual se lê um histórico da pressão sonora entre os pontos de excitação e de medição. O som emitido por uma fonte percorrerá vários caminhos até chegar ao ponto de medição. A resposta impulsiva fornece informação sobre a distância percorrida pelo som e a intensidade com que este chega a seu destino. Fazendo-se a leitura da resposta impulsiva para pares de pontos diferentes, espalhados pelo espaço, pode-se obter conclusões a respeito do campo sonoro e de sua adequação ao propósito de utilização da sala.

O sinal proveniente de uma fonte impulsiva, que chega a um microfone, ambos no mesmo recinto, pode ser dividido e classificado em três partes:

- Som Direto: corresponde ao primeiro sinal que chega ao microfone, antes de sofrer qualquer reflexão. Este sinal mantém as características com que foi emitido pela fonte;
- Primeiras Reflexões: corresponde à parte do sinal que é recebida em seguida pelo microfone. Estão relacionadas aos sinais que sofreram poucas reflexões;
- Som Reverberante: corresponde ao sinal captado pelo microfone, após algum tempo. Este sinal é uma composição dos sinais refletidos pelas diversas superfícies e que será amortecido, com o passar do tempo, devido às perdas de energia sofridas durante as sucessivas reflexões.

A Figura 16 ilustra a resposta impulsiva de uma câmara reverberante.

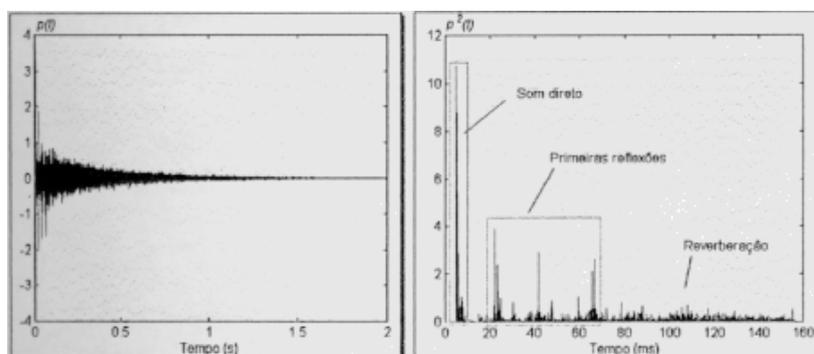


Figura 16: Exemplo de resposta impulsiva de uma sala e identificação de suas diversas partes.

## Sistemas Lineares e Invariantes no Tempo

A linearidade de um sistema é um importante pressuposto para que se tenha aplicabilidade do Teorema de Fourier, ou seja, correspondência entre resposta impulsiva (transiente) e resposta em frequência (estacionária).

A invariância no tempo significa que as propriedades acústicas do sistema em estudo, permanecem inalteradas durante o processo de medição.

## MLS

MLS é um tipo especial de sinal de correlação, qualificado para o uso da técnica de obtenção de respostas impulsivas. As seqüências são formadas por sinais pseudo-aleatórios, binários e periódicos, com uma função de autocorrelação muito similar a um pulso de Dirac. Tais seqüências são geradas através de um *shift register*, com *loops* de realimentação.

Com  $m$  denotando a ordem do *shift register*, no máximo  $L = 2^m - 1$  combinações diferentes de “zeros” e “uns” são possíveis, pois o estado com zeros em todos os elementos é omitido. Introduzindo-se um *clock* no *shift register*, uma seqüência periódica de estados de registro é então gerada. A seqüência a ser usada como sinal, pode ser tomada a partir de qualquer ponto no registrador. O ponto crucial está no fato de que, com certos *loops* de realimentação, o período da seqüência repetida tem seu **máximo comprimento**,  $L = 2^m - 1$  e assim, o sinal resultante é uma **seqüência de comprimento máximo**.

A função de autocorrelação de uma MLS repetida periodicamente, é uma série de picos com amplitude  $L$  e *offset* negativo de valor  $-1$ , o qual é negligenciável. Ressalta-se que cada um desses picos contém a mesma energia que todo o período da MLS. A Figura 17 mostra um período de uma MLS de ordem 8 e sua autocorrelação.

Em resumo, um sistema LTI é excitado com uma seqüência periódica e estacionária. Tal período deve exceder a resposta impulsiva, por uma fração do tempo de reverberação. Assim que o sistema atingir um estado estacionário (o que é observado após um período), a seqüência de saída pode ser amostrada, com o mesmo *clock* do gerador de MLS. A frequência de amostragem deve obedecer ao critério de Nyquist, sendo duas vezes maior que a máxima frequência que se deseja estudar.

Portanto, tem-se:

$$\begin{aligned} [x_{mls}(t) * h(t)] * x_{mls}(-t) &= [x_{mls}(t) * x_{mls}(-t)] * h(t) = \\ &= \Phi_{xx}(t) * h(t) \approx \delta(t - i L \Delta t) * h(t) \end{aligned}$$

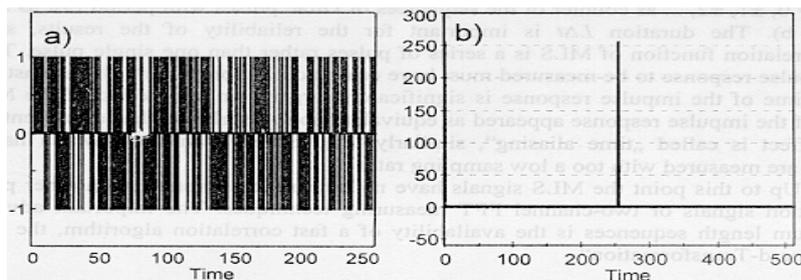


Figura 17: a) um período de MLS de ordem 8 e b) sua autocorrelação.

onde  $i = 0, \pm 1, \dots$  é um contador das seqüências de pulsos de Dirac, com período  $L \Delta t$  e “\*” indica convolução. Este período é importante para a garantia dos resultados, uma vez que a resposta impulsiva deve cessar antes que um período se complete, pois caso contrário, a “cauda” da resposta impulsiva pode se sobrepor ao período subsequente. Este efeito é conhecido como *time aliasing*.

## RAIOS ACÚSTICOS

Apesar dos avanços que vêm permitindo, cada vez mais, a aplicação da teoria de ondas acústicas no projeto de ambientes fechados, a teoria de raios acústicos ainda é a mais aplicada nestes casos. Atualmente, vários programas baseados nesta teoria estão comercialmente disponíveis.

A teoria de raios acústicos considera que o som se propaga em forma de um raio, com propriedades semelhantes às encontradas na ótica geométrica. A reflexão é o fenômeno mais

importante para esta teoria. Para se chegar a esta simplificação, considera-se que o comprimento de onda é infinitamente pequeno, comparado às dimensões da sala. Em geral, esta condição é verificada na prática, mas deve-se ficar atento ao fato de que, em baixas frequências, esta consideração pode não ser satisfeita. Uma frequência limite aceita por vários especialistas, acima da qual a teoria de raios acústicos é válida, é a frequência de Schroeder (Vorländer, 1998), dada por:

$$f_c = 2000\sqrt{T/V},$$

onde  $T$  é o tempo de reverberação em segundos e  $V$ , o volume da sala em metros cúbicos.

Como a resposta impulsiva de uma sala é, atualmente, essencial para a investigação da qualidade acústica, dois tipos básicos de algoritmos computacionais, baseados nos princípios da acústica geométrica, foram desenvolvidos para se chegar a uma resposta impulsiva aproximada. Um destes algoritmos é baseado na idéia de que cada reflexão pode ser imaginada como uma fonte virtual, existente fora da sala e constituída pela imagem especular da fonte (com relação à parede), cuja energia sonora, ao cruzar a fronteira, sofre uma perda correspondente ao coeficiente de absorção da sala (ver Figura 18). Este algoritmo é conhecido como Fonte Imagem Especular ("Image-Source"). O segundo algoritmo simplesmente "segue" o raio sonoro, levando em conta a lei da reflexão e é conhecido como Algoritmo de Raios Acústicos ("Ray-Tracing").

Cada um destes algoritmos apresenta vantagens e desvantagens e, dessa forma, outros algoritmos foram desenvolvidos, combinando estes dois primeiros (Vorländer, 1989). O algoritmo fonte imagem especular apresenta, como vantagem principal, a boa resolução temporal obtida, fato importante, principalmente quando se pretende realizar a convolução da resposta impulsiva com um sinal gravado (com uma certa frequência de amostragem), em processos de "auralização" (Kuttruff, 1993). Em compensação, o tempo de computação necessário para calcular respostas impulsivas cresce exponencialmente com o comprimento desta. Outra desvantagem é que este algoritmo não leva em conta os efeitos de difusão das reflexões, ou melhor, o espalhamento devido às formas irregulares das superfícies refletoras.

3124SRS<sup>1</sup>

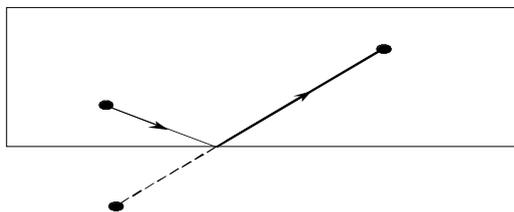


Figura 18: Sala com a fonte virtual especular substituindo uma reflexão de primeira ordem.

O algoritmo de raios acústicos, apesar de não oferecer um resultado com uma boa resolução temporal, pode levar em conta as reflexões difusas e ainda requer um tempo de computação que é (apenas) proporcional ao comprimento da resposta impulsiva.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O sistema de medição utilizado é representado na Figura 4.1. A sala utilizada para as medições e simulações é representada na Figura 19. Para a simulação, alguns detalhes da sala foram simplificados. Além das poltronas, as superfícies internas da sala são compostas principalmente por concreto, lajota e cortina fina.

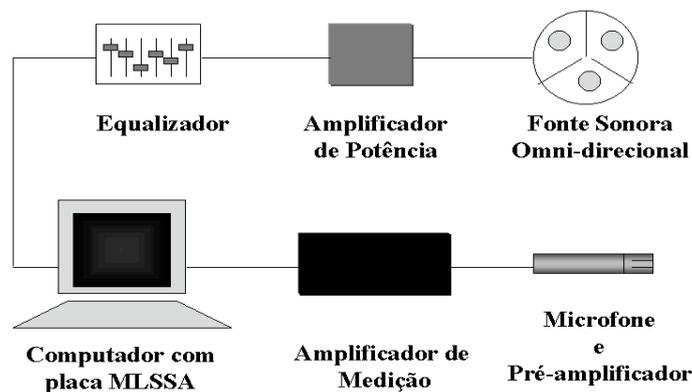


Figura 19: Representação do sistema de medição utilizado.

Para o melhor aproveitamento do sistema de medição e da técnica MLS, alguns cuidados devem ser tomados. Em primeiro lugar, como a resposta do alto-falante, em geral, não é plana, o sinal de excitação da sala deixa de ser uma MLS e, para minimizar este erro, uma certa compensação pode ser feita, equalizando-se o sinal que chega ao alto-falante. Esta equalização pode causar outros problemas, que podem prejudicar a faixa dinâmica da medição. Assim sendo, uma relação de compromisso deve ser alcançada. Para um melhor aproveitamento da faixa dinâmica, devem-se traçar certas curvas características do sistema de medição. Essas curvas permitem, basicamente, que se determine o nível do sinal enviado para o alto-falante, de acordo com o ruído de fundo existente no local onde é realizada a medição, ou seja, se um nível de sinal excessivamente alto for aplicado ao alto-falante, este pode vir a trabalhar em condições não lineares, introduzindo distorções às medições. Conseqüentemente, em ambientes muito silenciosos, pode ser mais conveniente diminuir, ao invés de aumentar, o nível do sinal. Se o ruído de fundo for maior, existem condições ótimas de operação, de forma que a faixa dinâmica da medição seja a maior possível. Em resumo, o sistema de medição é limitado, por um lado, pelo nível do ruído de fundo e, por outro, pela distorção do alto-falante (ou de outro elo mais frágil da cadeia de medição).

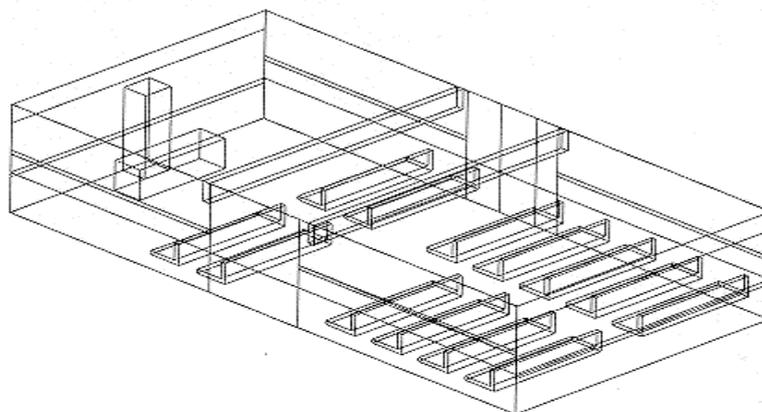


Figura 20. Representação da sala usada para realização das medições e das simulações.

O uso do programa de acústica de raios requer certos cuidados. Para cada ambiente simulado é necessário que se tenha absoluta certeza de que os parâmetros, tais como número de raios e ordem de reflexão, sejam bem escolhidos, isto é, não sejam subestimados de forma a afetar o resultado final. O método de cálculo escolhido foi o método híbrido conhecido como Método dos Feixes Cônicos ("Conical Beam Method"), e o número de raios utilizado foi de 50000, enquanto o número de reflexões foi de 60. Simulações foram feitas tanto considerando as reflexões especulares como reflexões difusas nas janelas da frente e do fundo da sala.

## RESULTADOS

Os resultados obtidos através do RAYNOISE, comparados às medições em uma dada posição do auditório (Figura 20) são mostrados nas Figuras 21 e 22, em função da frequência. Nestas figuras pode-se encontrar os resultados medidos e simulados, com e sem difusão, para uma dada posição

do microfone. As barras verticais na curva em azul indicam o desvio aceitável, em relação aos resultados experimentais, a fim de que a simulação possa ser considerada satisfatória, de acordo com Vorländer (Vorländer, 1995). Evidentemente, faz-se necessário levar em consideração as incertezas envolvidas no processo de medição, as quais tendem a aumentar com a diminuição da frequência. No entanto, a maior parte dos resultados dos parâmetros investigados pode ser considerada razoável, quando se consideram reflexões difusas.

Se os efeitos de difusão não são considerados, os resultados numéricos tendem a se afastar dos valores medidos experimentalmente. O resultado do EDT, em 1000 Hz, é quase o dobro do valor medido, nesta mesma frequência, quando a difusão não é incluída no modelo. Para o caso da reflexão especular, parece ser impossível obter uma boa concordância entre os valores medidos e calculados de EDT, apenas ajustando os coeficientes de absorção.

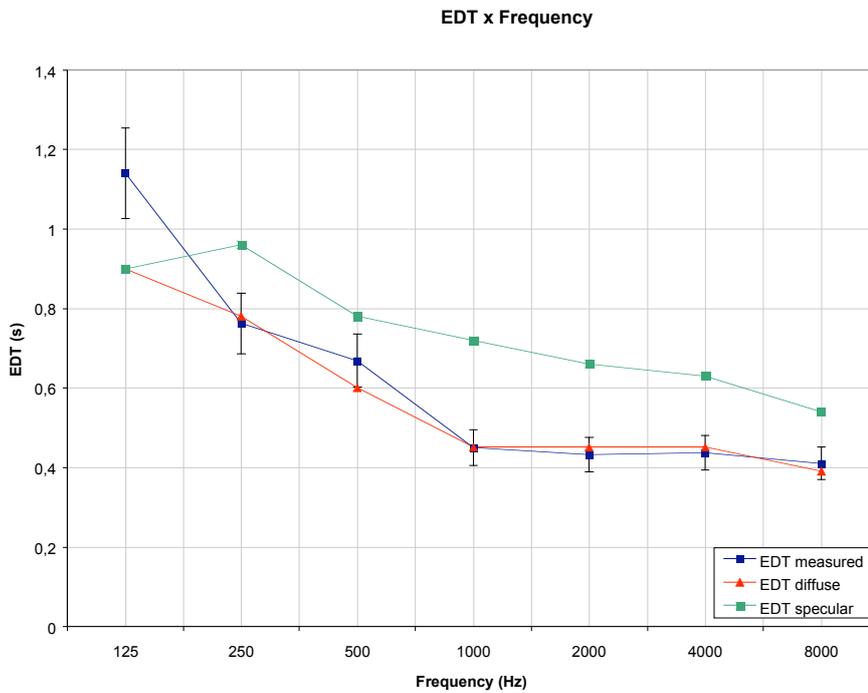


Figura 21: EDT calculada pelo RAYNOISE, com e sem difusão, obtidas em uma dada posição da sala, em função da frequência.

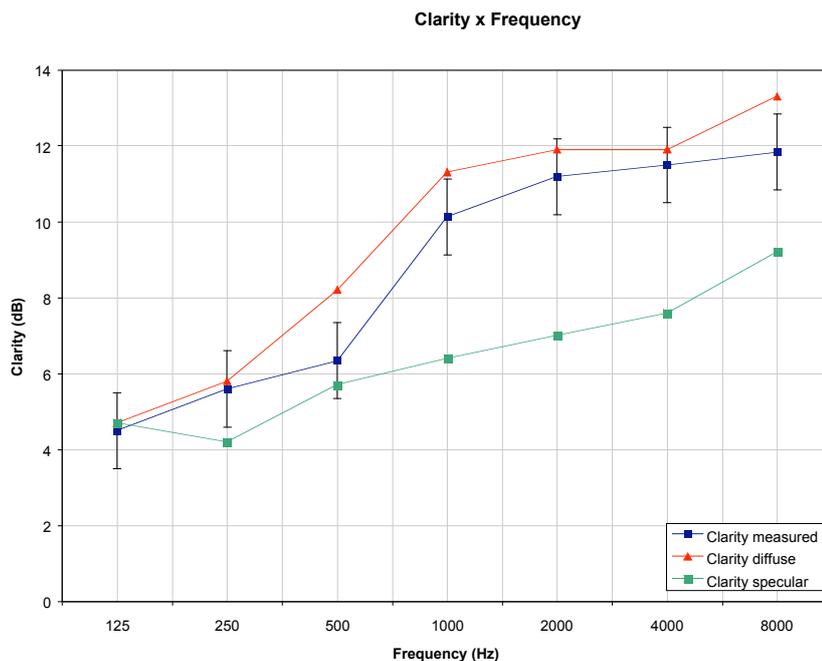


Figura 22: Fator de Clareza ("Clarity" calculada pelo RAYNOISE, com e sem difusão, obtidas em uma dada posição da sala, em função da frequência.

Os valores para o coeficiente de difusão utilizados nas simulações foram: 0 em 125 Hz, 0.02 em 250 Hz, 0.05 em 500 Hz e 0.1 acima de 1000 Hz (frequências centrais das bandas de 1/1 oitava), para todas as superfícies, com exceção dos assentos, onde valores de 0.2 foram considerados para as bandas de frequência central acima de 1000 Hz. Os resultados em outros locais da sala também foram investigados e são similares aos apresentados aqui.

### CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na simulação, para EDT e Fator de Clareza, são bem próximos àqueles medidos quando reflexões difusas são consideradas e as diferenças estão dentro dos limites máximos aceitáveis (10% para EDT e 1 dB para o Fator de Clareza, segundo Vorländer, 1995). Não houve dificuldades para se atribuir valores de coeficientes de absorção para as superfícies, mas o processo de atribuição de valores para os coeficientes de difusão veio a ser um procedimento de tentativa e erro. Algumas regras propostas por Vorländer (Vorländer, 1998) foram parcialmente obedecidas, mas dúvidas com relação à magnitude dos valores atribuídos a este coeficiente ainda permaneceram.

É importante mencionar que coeficientes de difusão foram atribuídos a todas as superfícies do modelo. Em simulações anteriores, quando difusão foi atribuída a apenas algumas superfícies, os resultados de EDT não se aproximaram, de forma alguma, aos resultados das medições.

As diferenças verificadas entre os resultados das simulações (feitas considerando reflexões difusas e reflexões não difusas) e das medições indicam a necessidade do desenvolvimento de técnicas de medição de coeficientes de difusão, assim como da fundação de uma base de dados para este coeficiente, característico de vários tipos de superfície.

Os resultados apresentados aqui são para apenas uma posição da fonte sonora e do sensor, mas os resultados obtidos em outras posições também foram analisados. As diferenças entre os resultados das simulações e das medições, para estas outras posições, são da mesma ordem daquelas apresentadas.

### OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES

Outros trabalhos, relacionados à qualidade acústica de ambientes, vêm sendo desenvolvidos no Laboratório de Vibrações e Acústica da Universidade Federal de Santa Catarina, alguns em cooperação com instituições que podem se beneficiar diretamente dos resultados das pesquisas. Como ilustração cita-se o exemplo de um estudo feito com a sala principal do Centro Integrado de Cultura, em Florianópolis. As Figuras 23 e 24 mostram a fotografia e o modelo desta sala, construído no programa de raios acústicos RAYNOISE.



Figura 23: Fotografia do interior do Teatro do CIC.

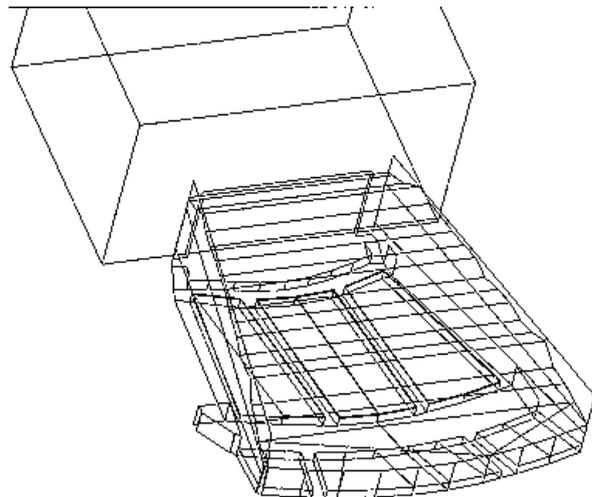


Figura 24: Modelo construído através do RAYNOISE, representando o Teatro do CIC.

### AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Brasil).

## REFERÊNCIAS

- [1] GERGES, S.N.Y. Ruído: Fundamentos e Controle. Editora NR, 2a. Edição, 2000.
- [2] MARROQUIN, M. Using Sound Quality in the Automotive Industry. B&K Instruments, Chicago, IL USA..
- [3] NEUTRIK-CORTEX INSTRUMENTS. Psicoacústica - Uma Ferramenta para Projetos Industriais de Áudio. Santo Ângelo Indústria e Comércio Ltda, Informativo técnico 001.
- [4] ONUSIC, H. A Evolução da Acústica Veicular no Brasil. Palestra apresentada no VI SIBRAV - Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular, São Bernardo do Campo, 2001.
- [5] ONUSIC, H. e HAGE, M.M. Available Parameter for Acoustic Qualification/Quantification. Palestra apresentada no V SIBRAV - Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular, São Bernardo do Campo, 1999.
- [6] MIRANDA, G., PERES, M.A.S., FOGAÇA, M.A., BERNARDINELLI, M.e L., A.Jr. Reavaliando as Métricas Psicoacústicas. Trabalho apresentado no VI SIBRAV - Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular, São Bernardo do Campo, 2001.
- [7] BAPTISTA, E.L., ONUSIC, H. e HAGE, M.M. Some Considerations Regarding Loudness Evolution. Trabalho apresentado no VI SIBRAV - Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular, São Bernardo do Campo, 2001.
- [8] NUNES, R.F. e MIRANDA, G. Medidas de Intesidade Sonora para Identificação das Fontes de Ruído de um Motor Ciclo Otto e Ruído Interno de Painei. Trabalho apresentado no V SIBRAV - Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular, São Bernardo do Campo, 1999.
- [9] MIRANDA, G., HAGE, M.M. e YAMASHITA, E.T. Sound Quality no Desenvolvimento de Novos Produtos. Trabalho apresentado no V SIBRAV - Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular, São Bernardo do Campo, 1999.
- [10] GERGES, S.N.Y., *Ruído: Fundamentos e Controle*, Editora NR, 2a. Edição, Florianópolis, 2000.
- [11] MARROQUIN, M., *Using Sound Quality in the Automotive Industry*, B&K Instruments, Chicago, IL USA.
- [12] NEUTRIK-CORTEX INSTRUMENTS, *Psicoacústica - Uma Ferramenta para Projetos Industriais de Áudio*, Santo Ângelo Indústria e Comércio Ltda, Informativo técnico 001.
- [13] ONUSIC, H. e HAGE, M.M., *Available Parameter for Acoustic Qualification/Quantification*, Palestra apresentada no V SIBRAV - Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular, São Bernardo do Campo, 1999.
- [14] *Programa Silêncio* - Resolução CONAMA 02/90
- [15] *Selo Ruído* - Resolução CONAMA nº 20/95
- [16] Gomes, M., Gerges, S., "Obtenção de parâmetros acústicos de uma sala, usando a técnica de medição MLS (Maximum Length Sequences) e simulação numérica". Anais do I Congresso Iberoamericano de Acústica, p. 355, 1998.
- [17] Kuttruff, H., "Auralization of Impulse Responses Modeled on the basis of Ray-Tracing Results". Journal of the Audio Engineering Society, V. 41 (11), 1993.
- [18] Sampaio, R., "Aplicações da Teoria dos Números em Acústica: Técnica de MLS e Difusores". Dissertação de Mestrado do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998.
- [19] Terai, T., Kawai, Y., "Boundary Element Methods in Acoustics". Edited by Ciskowski, R. e Brebbia, C., Computational Mechanics Publications, Chap. 10, p. 193-221, 1991.
- [20] Vorländer, M., "Simulation of the transient and steady-state sound propagation in rooms using a new combined ray-tracing/image source algorithm". Journal of the Acoustical Society of America, V. 86(1), 1989.
- [21] Vorländer, M., "International Round Robin on Room Acoustical Computer Simulations". Proceedings of the 15th ICA, 689, 1995.
- [22] Vorländer, M., "Applications of Maximum Length Sequences in Acoustics". Anais do I Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações, p. 35-44, 1996.
- [23] Vorländer, M., "Recent Progress In Room Acoustical Computer Simulation", Anais do I Congresso Iberoamericano de Acústica, p. 43-52, 1998.