

Autor: Erick Van Casseb Guimarães

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE SONORIZAÇÃO PARA CARNAVAIS DE AVENIDA E OUTROS EVENTOS DE MESMO PORTE – ESTUDO DE CASO: ALDEIA CABANA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará.

Área de concentração: Vibrações e Acústica.

Orientador: Prof. Gustavo da Silva Vieira de Melo, Dr. Eng.

Belém – 2006

Autor: Erick Van Casseb Guimarães

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE SONORIZAÇÃO PARA CARNAVAIS DE AVENIDA E OUTROS EVENTOS DE MESMO PORTE – ESTUDO DE CASO: ALDEIA CABANA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará.
Área de concentração: Vibrações e Acústica.
Orientador: Prof. Gustavo da Silva Vieira de Melo, Dr. Eng.

Nota: EXCELENTE

Data de aprovação: 14 de Fevereiro de 2006

Banca Examinadora:

Prof. Gustavo da Silva Vieira de Melo
Membro – Orientador
Titulação: Doutor em Engenharia Mecânica.
Instituição: Universidade Federal do Pará.

Prof. Newton Sure Soeiro
Membro
Titulação: Doutor em Engenharia Mecânica.
Instituição: Universidade Federal do Pará.

Prof. Alexandre Luiz Amarante Mesquita
Membro
Titulação: Doutor em Engenharia Mecânica.
Instituição: Universidade Federal do Pará.

Para Anne Berger, Audrey Casseb, Dana Van Berger
Erica Van Berger e Mirna Van Berger.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado a vida e por sempre me proteger.

A minha família que sempre me apoiou em meus projetos.

Ao Professor Gustavo Melo pelos conhecimentos a mim passados.

Aos Professores de Engenharia Mecânica da UFPA.

Ao Técnico de Áudio, Arquiteto e Advogado, Felipe Mansur pelas dicas.

Ao Técnico de Áudio Eliezer Santos (Pinduca Carioca) pelas dicas.

À Prefeitura Municipal de Belém (Heitor Pinheiro) pelo apoio Financeiro.

SUMÁRIO

RESUMO	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS, GRÁFICOS E DIAGRAMAS	11
SIMBOLOGIA	12
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 MOTIVAÇÃO	13
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO	14
1.2.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 ACÚSTICA	16
2.1.1 Som	16
2.1.2 Audição Humana	18
2.1.3 Qualidades Fisiológicas do Som	21
2.1.3.1 Altura	21
2.1.3.2 Intensidade	22
2.1.3.3 Timbre	23
2.1.4 Velocidade do Som	23
2.1.5 Comprimento de Onda	24
2.1.6 Fenômenos Sonoros	26
2.1.6.1 Reflexão	26
i Eco	27

ii Reverberação	27
2.1.6.2 Refração	28
2.1.6.3 Difração	28
2.1.6.4 Interferência	28
2.1.6.5 Ressonância	29
2.1.7 Decibel e NPS	29
2.1.8 Amplitude e Fase	30
2.1.9 Inteligibilidade	31
2.1.10 Tom	32
2.2 ELETROACÚSTICA	32
2.2.1 Resistência Elétrica	32
2.2.2 Associação em Paralelo	33
2.2.3 Potência Elétrica	35
2.2.4 Alto Falante	35
2.2.6 Microfones	36
2.2.7 Mesa de Som	37
2.2.8 Equalizador	38
2.2.9 Compressor e Limitador	39
2.2.10 Crossover	40
2.2.11 Analisador de Espectro Sonoro	40
2.2.12 Multicabo	40
2.2.13 Direct Box	41
3. O CARRO-SOM-PALCO-ESTÚDIO (CSPE)	42
3.1 ENTRADAS DO SISTEMA	42

3.2 O PALCO	43
3.3 O SISTEMA DE MONITORAÇÃO DO CSPE (SOM INTERNO)	44
3.4 O SISTEMA DE PA DO CSPE (SOM EXTERNO)	46
3.5 ESQUEMA DE LIGAÇÃO DAS CAIXAS NOS AMPLIFICADORES	47
3.6 RECEPÇÃO NO CSPE, MONITORAÇÃO E SISTEMA DE PA	48
3.7 O ESTÚDIO	49
3.7.1 Dimensionamento, Tratamento e Isolamento Acústico do Estúdio	49
3.7.2 O Sistema de Som do Estúdio	51
4 A CENTRAL GERAL DE RECEPÇÃO E TRANSMISSÃO DE ÁUDIO (CGRTA)	54
4.1 O FUNCIONAMENTO DA CGRTA	54
4.2 RECEPÇÃO E TRANSMISSÃO DOS SINAIS DE ÁUDIO PELA CGRTA	56
5 AS 48 TORRES DE SOM (48TP) E OS DOIS REFÚGIOS DE BATERIA	58
5.1 AS CAIXAS ACÚSTICAS	59
5.2 AMPLIFICADORES, PROCESSADORES E SUB-ESTÚDIOS	60
5.3 AMPLIFICADORES	60
5.4 PROCESSADOR DIGITAL DE SINAL DE ÁUDIO	61
5.5 OS SUB-ESTÚDIOS DE AMPLIFICAÇÃO	62
5.6 DISPOSIÇÃO DAS 48 TORRES DE SOM E REFÚGIOS DE BATERIA	62
6. DIMENSIONAMENTO DA CENTRAL DE ENERGIA ELÉTRICA INDEPENDENTE (CEEI)	64
6.1 POTÊNCIA MÁXIMA DO GRUPO GERADOR	64
6.2 DIMENSIONAMENTO DE CABOS PARA O SISTEMA DE FORÇA (AC)	65
6.3 LOCALIZAÇÃO DA FONTE DE ENERGIA ELÉTRICA	69
6.4 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE ABRANGÊNCIA DOS CIRCUITOS	69
6.5 AUTONOMIA DA CEEI	69

7. CONCLUSÕES FINAIS	70
7.1 CONCLUSÕES	70
7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	72
7.3 BIBLIOGRAFIA	72
7.4 APENDICE I	74
Desenho Esquemático da Aldeia Cabana I Parte (A2)	75
Desenho Esquemático da Aldeia Cabana II Parte (A2)	76
Desenho Esquemático da Aldeia Cabana III Parte (A2)	77
Vista Isométrica do CSPE (A2)	78
Planta Baixa, Vistas Laterais e Fundo do CSPE (A2)	79
7.5 APÊNDICE II	80
Desenho Esquemático das Torres do Percorso e Refúgio de Bateria (A2)	81
Desenho Esquemático das Interligações CSPE-CGRTA (A3)	82

RESUMO

Este trabalho tentará mostrar de forma simplificada o dimensionamento de um sistema de sonorização destinado a desfiles de agremiações carnavalescas em avenidas. O espaço aqui estudado é a “Aldeia Cabana de Cultura Amazônica”, local construído com a finalidade de comportar eventos culturais de grande porte na cidade de Belém-PA.

No decorrer do trabalho serão apresentados alguns conceitos físicos e princípios de funcionamento de equipamentos eletroacústicos envolvidos no assunto aqui tratado, passando pelo projeto completo de um carro-som-palco-estúdio, uma central geral de recepção e transmissão de áudio, a distribuição de torres de som nos 420 m de avenida em concordância com o estudo de ruído de fundo realizado no local, até o dimensionamento de uma central de energia elétrica independente, cuja função é tornar o evento totalmente independente no que diz respeito à utilização de energia elétrica.

Os equipamentos citados e ilustrados nesse trabalho são de última geração e de excelente aceitação no mercado mundial, além de contarem com a conveniência de serem de fácil aquisição e manutenção, já que muitos são de fabricação nacional, o que torna a relação custo/benefício do projeto bastante satisfatória.

Os desenhos esquemáticos e plantas nos Apêndices I e II servem de ilustração para uma melhor visualização do trabalho, além de facilitar uma possível execução do projeto no futuro.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Desfile de Agremiações Carnavalescas na Aldeia Cabana, Belém-PA.

Figura 2.1 – Intensidades sonoras de ondas esféricas.

Figura 2.2 – As três partes do ouvido humano.

Figura 2.3 – Instantâneo de uma onda senoidal.

Figura 2.4 – Onda sonora sendo refletida ao incidir sobre um obstáculo.

Figura 2.5 – Desenho esquemático de um alto-falante.

Figura 3.1 – Mesa de som Mackie SR 32 x 4 VLZ PRO.

Figura 3.2 – Mesa digital YAMAHA DM 2000 com 24 canais/96 canais.

Figura 3.3 – Equalizador analógico KLARK TEKNIK DN 360.

Figura 3.4 – Monitor Studio R 250 para aplicações em estúdios e palcos.

Figura 4.1 – Mesa de som Mackie SR 40.8

Figura 5.1 – Medidor de nível de pressão sonora tipo B&K 2238.

Figura 5.2 – Caixa EAW SB 850 ZR.

Figura 5.3 – Caixa EAW KF 750.

Figura 5.4 – Amplificador Studio R Z10 com 10000 W RMS em 2 ohms.

Figura 5.5 – Amplificador Studio R X5 com 5600 W RMS em 2 ohms.

Figura 5.6 – Amplificador Studio R X1 com 800 W RMS em 4 ohms.

Figura 5.7 – Processador digital BSS modelo FDS-334T/MINIDRIVE.

Figura 6.1 – Grupo Gerador GEHV-642 VOLVO PENTA/HEIMER.

LISTA DE TABELAS, GRÁFICOS E DIAGRAMAS

Tabela 1.1 – Nível de intensidade sonora de vários sons.

Tabela 2.2 – Comprimentos de onda, λ , para $c = 344$ m/s.

Gráfico 3.1 – Valores alcançados em medição de absorções sonoras em câmara reverberante realizadas pelo método descrito na norma internacional ISO 354 em laboratório normatizado.

Diagrama 6.1 – Representação esquemática das interligações.

Tabela 6.1 – Classificação para vários tipos de programas de áudio.

Tabela 6.2 – Bitolas de condutores elétricos em mm^2 .

SIMBOLOGIA

A	Área (m ²)
c	Velocidade do som (m/s)
f	Frequência (Hz)
i	Corrente elétrica (A)
I	Intensidade sonora
I ₀	Limiar de audibilidade
NI	Nível de Intensidade Sonora (dB)
NPS	Nível de Pressão Sonora (dB)
NWS	Nível de Potência Sonora (dB)
P ₀	Pressão de referência (Pa)
r	Distância percorrida pelas ondas sonoras (m)
R	Resistência (Ω)
T	Período (s)
t	Temperatura (°C)
v	Velocidade (m/s)
U	Tensão elétrica (V)
V	Volume (m ³)
W	Potência (W)
ΔS	Espaço percorrido (m)
ΔT	Variação temporal (s)
λ	Comprimento de onda (m)
ρ	Massa Específica (kg/m ³)
B	Módulo de compressão volumétrica do meio ()
Y _m	Amplitude de uma onda (m)
C	Consumo de potência elétrica (watt)
Q	Consumo de potência em repouso (watt)
P _n	Potência nominal de saída (watt)
U	Ciclo útil (%)
E	Eficiência do amplificador
F	Fator de potência

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Nos projetos arquitetônicos destinados a concentrações populares, sejam eles de qualquer porte, é muito comum a falta de atenção com relação a importantes parâmetros acústicos, de modo que, quase sempre, não se consegue produzir um campo sonoro adequado, com boa inteligibilidade, distribuição homogênea de nível de pressão sonora e livre de interferências, quando esses locais apresentam-se em funcionamento. Dessa forma, é importante que os sistemas eletroacústicos atuais sejam projetados para trabalhar nas condições acústicas existentes nesses ambientes, importando-se apenas com a solução desses problemas acústicos.

A cidade de Belém-PA, ocupando a importante posição de Metrópole da Amazônia, ganhou nos últimos 10 anos vários espaços culturais e de grandes concentrações populares. Um desses lugares é o complexo “Aldeia Cabana de Cultura Amazônica” onde atualmente são realizados os grandes eventos culturais da cidade dentre os quais se pode destacar o desfile anual das agremiações carnavalescas (ver Fig. 1.1).



Figura 1.1 – Desfile de agremiações carnavalescas na Aldeia Cabana, Belém-PA.

O que se percebe naquele local, e que é corroborado pela opinião da maioria dos usuários e operadores dos sistemas de sonorização que lá são instalados, é que, na maioria das situações, ora não se entende claramente o enunciado das atrações, ora o nível de pressão sonora não é condizente com a quantidade de ouvintes, ou seja, baixa inteligibilidade e potência sonora deficiente. Problemas eletroacústicos dessa ordem são verificados com muita frequência naquele local.

Dessa forma, este trabalho procura contribuir significativamente para a solução dos problemas eletroacústicos do espaço Aldeia Cabana, através da proposição do dimensionamento otimizado de um novo sistema de sonorização destinado à cobertura sonora dos desfiles de escolas de samba, blocos e outras agremiações que se apresentam no referido local.

Espera-se que ao final deste trabalho, as novas soluções eletroacústicas encontradas para o espaço Aldeia Cabana possam servir de referência para os futuros trabalhos ali desenvolvidos, de modo que o mesmo possa servir como guia, tanto para as empresas de sonorização e seus Engenheiros, quanto para os órgãos contratantes dessas empresas, em especial a Prefeitura Municipal de Belém e o Governo do Estado do Pará.

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral, o dimensionamento completo e otimizado de um sistema de sonorização para o complexo “Aldeia Cabana de Cultura Amazônica” destinado à cobertura de eventos de grande porte, em especial, os desfiles de escolas de samba, blocos e outras agremiações que acontecem todos os anos no período do carnaval.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Projetar um carro-som-palco-estúdio (CSPE) com potência sonora ótima, para monitorar os cantores, músicos e ritmistas das agremiações, além de fazer a distribuição do sinal geral de áudio para uma Central Geral de Recepção e Transmissão de Áudio (CGRTA) de duas maneiras diferentes e independentes, a saber, multicabo 24 vias e cabo LR (*left and right*) via sala de controle (*control room*);

2. Dimensionar a CGRTA;

3. Dimensionar e distribuir torres de som ao longo de 420 m em linha reta, no percurso das apresentações das agremiações carnavalescas, de forma a evitar o atraso do som e ainda manter um ótimo nível de pressão sonora (NPS) em todos os pontos do percurso, inclusive nos dois “refúgios de bateria”, tudo baseado em medições de ruído de fundo realizadas no local e na nova distribuição eletroacústica proposta.

4. Dimensionar uma Central de Energia Elétrica Independente (CEEI) atuando como principal fonte de energia, para maior segurança e independência do sistema e do próprio evento;

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir serão revistos alguns conceitos físicos e princípios de funcionamentos de fundamental importância para o desenvolvimento deste trabalho. Ao longo do texto serão realizados comentários relacionando tais conceitos e princípios ao tema aqui desenvolvido.

2.1 ACÚSTICA

Em uma forma resumida, pode-se dizer que a acústica é a parte da física que estuda os sons, sua geração, transmissão, reflexão, refração, absorção, difusão, etc. (Halliday et al, 2002).

Existe, contudo, uma interface entre a acústica e a psicologia, denominada psicoacústica, que estuda a percepção sonora, buscando entender a relação entre os fenômenos acústicos e as sensações subjetivas por eles causados aos ouvidos humanos.

Assim, neste trabalho serão abordados aspectos destas duas áreas do conhecimento, buscando-se oferecer as melhores soluções auditivas para o complexo “Aldeia Cabana”, o qual será tratado como um ambiente aberto e com baixo tempo de reverberação, já que será considerado que o espaço das arquibancadas e camarotes estarão sempre com suas lotações completas.

2.1.1 Som

O som é um dos fenômenos da natureza mais intimamente ligado às pessoas, assim como a visão, o tato, etc.

O ser humano é capaz de perceber o som desde os primeiros meses de vida e a percepção se expande e se aperfeiçoa cada vez mais com o tempo de experiência.

O som, enquanto fenômeno vibratório (perturbação física transmitida em um meio elástico) trata do deslocamento de moléculas que uma onda sonora produz em um meio qualquer de propagação, sendo o ar o meio mais comum. Já o som enquanto sensação psico-fisiológica trata do som propriamente dito, ou seja, a sensação que é captada pelo ouvido humano (Cysne, 1997).

O som é uma onda mecânica, tridimensional, cujas frentes de onda são superfícies esféricas (ver Fig. 2.1). Ele se propaga no ar, a 20 °C, com velocidade de 344 m/s. Na água, o som se propaga com velocidade de quase 1.500 m/s e nos sólidos um valor típico da velocidade do som é da ordem de 3.000 m/s.

Cada fonte sonora possui uma potência acústica W associada, a qual expressa a quantidade de energia sonora irradiada pela fonte por unidade de tempo. Assim, considerando uma área arbitrária A que envolve a fonte, pode-se definir a intensidade I de uma onda sonora (ver Fig. 2.1), num determinado ponto, como sendo a grandeza definida pela relação (Halliday et al, 2002):

$$I = \frac{W}{A} \quad (2.1)$$

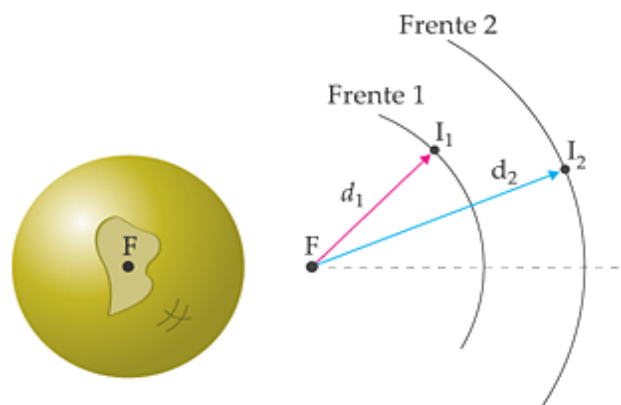


Figura 2.1 – Intensidades sonoras de ondas esféricas.

Tomando uma superfície esférica para determinação da área que engloba a fonte sonora, pode-se escrever que:

$$I = \frac{W}{4 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (2.2)$$

Para a primeira frente de onda mostrada na Fig. 2.1, tem-se:

$$I_1 = \frac{W}{4 \cdot \pi \cdot d_1^2} \quad (2.3)$$

De forma análoga, tem-se para a segunda frente de onda da Fig. 2.1:

$$I_2 = \frac{W}{4 \cdot \pi \cdot d_2^2} \quad (2.4)$$

Comparando as equações (2.3) e (2.4), obtém-se:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (2.5)$$

Dessa forma, pode-se observar que as intensidades sonoras são inversamente proporcionais aos quadrados das distâncias à fonte.

2.1.2 Audição Humana

O ouvido humano consiste em 3 partes básicas – o **ouvido externo**, o **ouvido médio** e o **ouvido interno**. Cada parte tem uma função específica para captar o som.

Assim, o ouvido externo coleta o som e o leva por um canal ao ouvido médio. Por sua vez, o ouvido médio transforma a energia de uma onda sonora em vibrações as quais são transmitidas por uma estrutura óssea, até, finalmente serem transformadas em ondas de compressão no ouvido interno.

Este último tem como principal função transformar a energia das ondas de compressão, dentro de um fluido, em impulsos nervosos a serem transmitidos ao cérebro (Bertulani, 2005). As três partes do ouvido podem ser visualizadas na Fig. 2.2 e estão descritas em maiores detalhes a seguir.

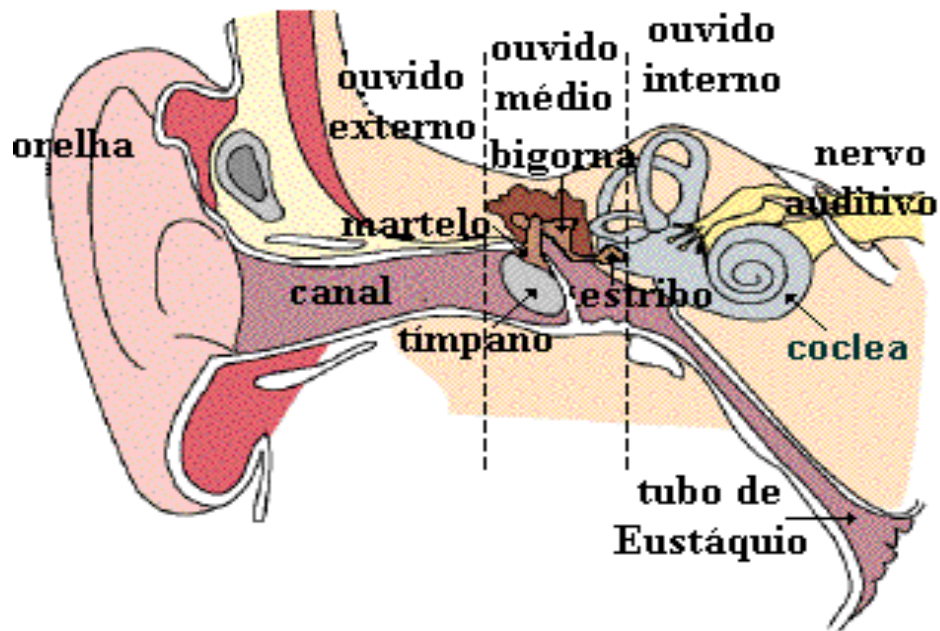


Figura 2.2 – As três partes do ouvido humano.

O ouvido externo consiste da orelha e de um canal com aproximadamente 30 mm de comprimento e 7 mm de diâmetro. A orelha tem como principal função captar as ondas sonoras que chegam até ela e canalizá-las ao ouvido médio através do canal auditivo (Bertulani, 2005).

Devido ao comprimento do canal, o mesmo é capaz de amplificar os sons com frequências de aproximadamente 3.000 Hz. À medida que o som se propaga através do ouvido externo, ele ainda está na forma de uma onda de pressão, que é uma seqüência alternada de regiões de compressão e rarefação do meio de propagação (o ar). Somente quando o som alcança o tímpano, na separação dos ouvidos externo e médio, a energia da onda é convertida em vibrações na estrutura óssea do ouvido médio.

O ouvido médio é uma cavidade cheia de ar, consistindo no tímpano e 3 pequenos ossos interconectados - o martelo, a bigorna e o estribo. O tímpano é uma membrana muito resistente e bem esticada que vibra quando ondas sonoras o alcançam. Compressões forçam o tímpano para dentro e rarefações o forçam para fora, fazendo com que o mesmo vibre na mesma frequência da onda sonora. Como o tímpano está conectado ao martelo, seu movimento coloca este último, além da bigorna e do estribo, em movimento com a mesma frequência da onda. O estribo é conectado ao ouvido interno através de uma membrana, denominada janela oval, de modo que as vibrações do estribo são transmitidas ao fluido do ouvido interno, criando ondas de pressão dentro do fluido (Bertulani, 2005).

Os três pequenos ossos do ouvido médio agem como amplificadores das vibrações da onda sonora. Devido à vantagem mecânica, os deslocamentos do estribo são maiores do que os do martelo. Além disso, como a onda de pressão que atinge uma grande área do tímpano é concentrada em uma área menor na janela oval (membrana de separação entre os ouvidos médio e interno), conectada ao estribo, a força transmitida à janela oval é aproximadamente 15 vezes maior do que aquela do tímpano. Esta característica aumenta a possibilidade de ouvir sons de baixíssima intensidade.

O ouvido médio está conectado à boca através do tubo de Eustáquio, conexão esta que permite a equalização das pressões nos dois lados do tímpano. Quando esta passagem fica congestionada, a cavidade do ouvido é impossibilitada de equalizar sua pressão à pressão atmosférica.

O ouvido interno consiste da cóclea, canais semicirculares, e do nervo auditivo. A cóclea e os canais semicirculares são cheios de um líquido denominado perilinfa. O líquido e as células nervosas dos canais semicirculares não têm função na audição, servindo simplesmente como acelerômetros para detectar movimentos acelerados e atuar na manutenção do equilíbrio do corpo.

A cóclea é um órgão em forma de caracol que, caso fosse esticada, apresentaria um comprimento em torno de 30 mm. Além disso, sua estrutura interna

possui cerca de 20.000 células nervosas que exercem as funções mais críticas na capacidade de ouvir.

Numa forma simplificada, pode-se dizer que cada célula capilar no interior da cóclea possui uma sensibilidade natural a uma frequência de vibração particular. Quando a frequência da onda de compressão coincide com a frequência natural da célula nervosa, a mesma irá ressoar com uma grande amplitude de vibração, induzindo-a a liberar um impulso elétrico que é conduzido ao longo do nervo auditivo até o cérebro. Em um processo que ainda não é compreendido inteiramente, o cérebro é capaz de interpretar as qualidades do som pela reação aos impulsos nervosos (Bertulani, 2005).

2.1.3 Qualidades Fisiológicas do Som (Altura, Intensidade e Timbre)

A seguir serão destacadas três qualidades fisiológicas do som que muito interessam no desenvolvimento desse trabalho, já que possuem relação direta, principalmente, com a inteligibilidade da voz e qualidade do som de instrumentos musicais.

2.1.3.1 Altura

É a qualidade que permite distinguir sons graves (baixas frequências) dos sons agudos (altas frequências). O ouvido humano pode perceber sons com frequências que variam de 20 Hz a 20.000 Hz. Sons com frequências abaixo de 20 Hz são chamados de infra-sons, enquanto que àqueles com frequências acima de 20.000 Hz são chamadas de ultra-sons (Okuno, 1982).

2.1.3.2 Intensidade

É a qualidade que permite distinguir um som forte de um som fraco. Ela depende da amplitude de vibração, ou seja, quanto maior a amplitude, mais forte é o som e vice-versa.

Na prática, não se expressa a intensidade sonora em unidades de W/m^2 , mas em termos de nível de intensidade sonora, NI , uma grandeza relacionada à intensidade sonora e à forma como o ouvido humano reage a essa intensidade. As unidades utilizadas para o NI são o bel (B) e o seu submúltiplo o decibel (dB), que vale um décimo do bel.

O ouvido humano é capaz de suportar sons de até 120 dB, como é o da buzina estridente de um carro. O ruído produzido por um motor de avião a jato a poucos metros do observador produz um som de cerca de 140 dB, capaz de causar estímulos dolorosos ao ouvido humano (ver Tab. 1.1).

Tabela 1.1 – Nível de intensidade sonora de vários sons.

Som	Intensidade (W/m^2)	NI (dB)
Limiar auditivo	10^{-12}	0
Respiração normal	10^{-11}	10
Ambiente de biblioteca	10^{-10}	20
Murmúrio (a 5 m)	10^{-9}	30
Som ambiental médio	10^{-8}	40
Conversação normal	10^{-6}	60
Tráfego pesado	10^{-5}	70
Trem em movimento	10^{-3}	90
Britadeira	10^{-2}	100
Limiar de desconforto	100	120
Decolagem de um jato	102	140
Lesão do tímpano	104	160

2.1.3.3 Timbre

Pode-se afirmar que timbre é a qualidade que permite perceber a diferença entre dois sons de mesma altura e intensidade, produzidos por fontes sonoras diferentes. Dessa forma, o ouvido humano consegue diferenciar com facilidade sons produzidos por um piano, ou um violão, por exemplo, mesmo quando estes instrumentos reproduzem exatamente a mesma nota musical.

2.1.4 Velocidade do Som

Uma corda esticada é um meio unidimensional pelo qual uma onda pode se propagar. Ondas na superfície de um lago propagam-se num meio bidimensional. Uma característica comum a essas ondas é o fato de serem produzidas por deslocamentos do meio, perpendiculares à direção de propagação. Por isso, são denominadas ondas transversais (Halliday et al, 2002).

Quando uma membrana, como a de um alto-falante, por exemplo, vibra, a porção de ar próxima é forçada a se deslocar na mesma direção, comprimindo-se e expandindo-se com a mesma frequência de vibração da membrana. Essa perturbação propaga-se no meio, tridimensional, fazendo suas partículas oscilarem ao longo da direção de propagação, formando uma onda longitudinal. Flutuações no meio com frequências na faixa de 20 Hz a 20.000 Hz são percebidas como som pelo ouvido humano e, de um modo geral, em qualquer meio são denominadas ondas sonoras.

A descrição matemática dessas ondas é análoga à de uma onda numa corda. Tomando-se a variação de pressão, Δp , numa direção x , a expressão que descreve uma onda propagando-se na direção positiva de x é dada pela função periódica:

$$\Delta p(x, t) \equiv \Delta p(kx - \omega t) \quad (2.6)$$

onde $k = 2\pi/\lambda$ é o número de onda angular, $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$ é a freqüência angular, sendo λ o comprimento de onda, T o período e f a freqüência de vibração da fonte sonora.

A velocidade de propagação da onda sonora, c , depende do módulo de compressão volumétrica do meio, B , e de sua massa específica, ρ , sendo dada pela expressão:

$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2.7)$$

2.1.5 Comprimento de Onda

As ondas sonoras que se propagam pelo meio têm uma certa extensão ou comprimento de onda λ , que pode ser definido como a distância mínima em que um padrão temporal da onda (ou seja, um ciclo) se repete (fisica.hpg.ig.com.br). Neste sentido, compara-se com o período T que pode ser definido como o intervalo mínimo de tempo em que um padrão de vibração se repete em um certo ponto no espaço, ou seja, o comprimento de onda está relacionado ao tamanho de um ciclo da onda sonora que se forma no espaço, enquanto que o período diz respeito ao tempo que esse mesmo ciclo leva para se formar.

O gráfico mostrado na Fig. 2.3 representa um "instantâneo" de uma onda senoidal, onde o eixo vertical indica a variação de pressão, ou amplitude da onda, e o eixo horizontal indica o espaço.

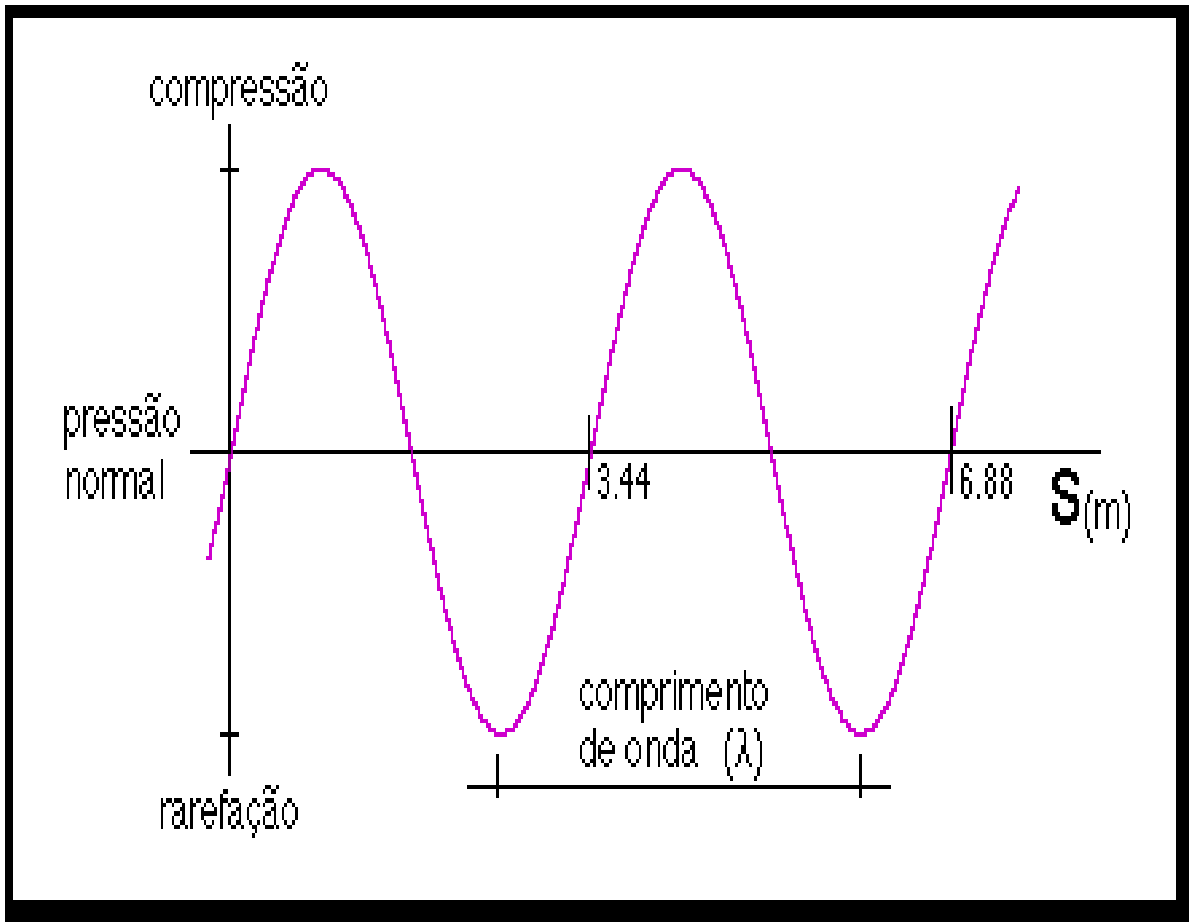


Figura 2.3 – Instantâneo de uma onda senoidal.

Nota-se então que a Fig. 2.3 demonstra o padrão espacial de oscilação da pressão que ocorre no meio, medido em metros. O padrão temporal da onda se move no espaço (com a velocidade de propagação). No tempo correspondente a um período T , a onda terá se deslocado exatamente de uma distância igual ao seu comprimento de onda. Se a velocidade de propagação é dada pela distância percorrida dividida pelo tempo gasto, tem-se:

$$c = \frac{\text{Distância}}{\text{Tempo}} \therefore c = \frac{\lambda}{T} \therefore c = \lambda \cdot f \quad (2.8)$$

A Tab. 2.2 mostra algumas relações entre f e λ para $c = 344$ m/s.

Tabela 2.2 – Comprimentos de onda, λ , para $c = 344$ m/s.

Frequência (Hz)	Comprimento de Onda (m)
20	17,2
100	3,44
500	0,688
1.000	0,344
2.000	0,168
5.000	0,069
10.000	0,034
20.000	0,017

2.1.6 Fenômenos Sonoros

2.1.6.1 Reflexão

Mesmo considerando o complexo “Aldeia Cabana” como um ambiente aberto, será importante observar o comportamento desses fenômenos quando do funcionamento do sistema eletroacústico proposto, e em algumas situações, minimizá-los ou maximizá-los.

Segundo Curcio (2001) Quando ondas sonoras AB, A'B', A"B" provenientes de um ponto P encontram um obstáculo plano, rígido, MN, produz-se reflexão das ondas sobre o obstáculo (ver Fig. 2.4). Na volta, produz-se uma série de ondas refletidas CD, C'D', que se propagam em sentido inverso ao das ondas incidentes e se comportam como se emanassem de uma fonte P', imagem especular da fonte P em relação ao plano refletor.

A reflexão do som pode ocasionar dois fenômenos: Eco e Reverberação.

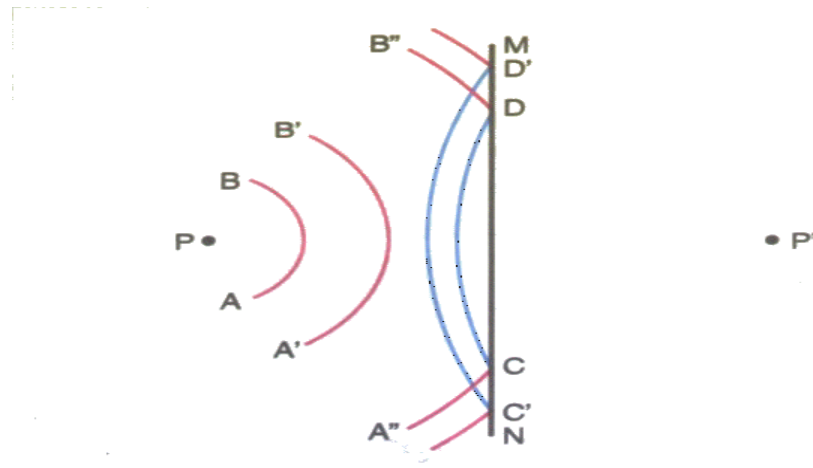


Figura 2.4 – Onda sonora sendo refletida ao incidir sobre um obstáculo.

i) Eco

Os obstáculos que refletem o som podem apresentar superfícies rígidas, de modo que o som pode ser refletido por um muro, uma montanha etc. O som refletido chama-se eco, quando se distingue do som direto. Para uma pessoa ouvir o eco de um som por ela produzido, deve ficar situada a, no mínimo, 17 m do obstáculo refletor, pois o ouvido humano só pode distinguir dois sons com intervalo de 50 ms (Mehta et al, 1998).

ii) Reverberação

Em grandes salas fechadas ocorre o encontro do som com as paredes. Esse encontro produz reflexões múltiplas que, além de reforçar o som, prolongam-no durante algum tempo depois de cessada a emissão. É esse prolongamento que constitui a reverberação.

A reverberação ocorre quando o som refletido atinge o observador no instante em que o som direto está se extinguindo, ocasionando o prolongamento da sensação auditiva (Mehta et al, 1998).

2.1.6.2 Refração

Consiste em a onda sonora passar de um meio para o outro, mudando sua velocidade de propagação e comprimento de onda, mas mantendo constante a frequência (Curcio, 2001).

2.1.6.3 Difração

Fenômeno em que uma onda sonora pode transpor obstáculos. Quando se coloca um obstáculo entre uma fonte sonora e o ouvido, por exemplo, o som é enfraquecido, porém, não extinto. Logo, as ondas sonoras não se propagam somente em linha reta, mas sofrem desvios nas extremidades dos obstáculos que encontram, quando tais obstáculos possuem dimensões da ordem do comprimento da onda.

2.1.6.4 Interferência

É outro conceito que será bastante utilizado ao longo desse trabalho, já que a mixagem de instrumentos acústicos e eletrônicos requer ajustes que não interfiram de maneira destrutiva no produto final. Dessa forma, segundo Cysne (1997), a interferência consiste em uma interação entre dois ou mais sons de fontes diferentes ou não, em um dado ponto de observação.

Neste caso, há uma região do espaço na qual, em certos pontos, se ouve um som forte (interferência construtiva) e em outros, um som fraco ou ausência de som (interferência destrutiva).

2.1.6.5 Ressonância

É outro fenômeno que requer atenção especial, pois também dependerá da mixagem de instrumentos eletrônicos bem como do ajuste ideal de seus timbres e seus *NI*. Assim, quando um corpo possui frequência natural de vibração coincidente com a frequência de uma excitação externa, então ocorre um fenômeno chamado ressonância. Como exemplo, o vidro de uma janela que se quebra ao entrar em ressonância com as ondas sonoras produzidas por um avião a jato, ou no caso aqui em estudo, a realimentação de sinais (*feedback*) que provoca ruídos indesejáveis, geralmente ocasionada por microfones e alto-falantes, sem descartar o mesmo fenômeno para instrumentos com captadores eletrônicos.

2.1.7 Decibel e NPS

São dois conceitos muito importantes para o desenvolvimento desse trabalho e aqui serão usados com bastante frequência. Dessa forma, segundo Jankovitz (2005) toda medição consiste em calcular quantas vezes uma determinada unidade está contida na grandeza a ser medida.

A pressão sonora no ar representa a variação da pressão atmosférica em relação a um valor de referência percebido pelo ouvido. O ouvido humano responde a uma larga faixa de intensidade acústica, desde o limiar da audição até o limite da dor, como por exemplo: em 1.000 Hz a intensidade acústica capaz de causar a sensação de dor é 10^{14} vezes maior que a intensidade capaz de causar sensação de audição (Jankovitz, 2005).

Pela dificuldade de se expressar números com ordens de grandeza tão diferentes em uma escala linear, utiliza-se, então, a escala logarítmica.

Um valor de divisão adequado a esta escala seria $\log 10$, sendo que a razão das intensidades do exemplo acima seria representada por $\log 10^{14}$ divisões da escala. Ao valor de divisão de escala $\log 10$, dá-se o nome de bel que é um valor de divisão de

escala muito grande, usando-se, então, o decibel (dB) que é um décimo do bel. Um decibel, portanto, corresponde a $10^{0,1} = 1,26$, ou seja, é igual à variação na intensidade de 1,26 vezes (Gerges, 2000).

Uma mudança de 3 dB corresponde a $10^{0,3} = 2$. Portanto, ao se dobrar a intensidade sonora, observa-se um acréscimo de 3 dB no *NI*. Outra observação importante diz respeito à duplicação da distância da fonte emissora, que produz um decréscimo de 6 dB no nível de intensidade sonora.

A grandeza fisicamente medida em Acústica através da utilização de microfones é a pressão sonora, e como a intensidade está relacionada com o quadrado da pressão, então o nível de pressão sonora, *NPS*, deve decair 6 dB para cada dobro da distância. Exemplificando: se uma fonte emite som avaliado em 82 dB a 4 m, então a 8 m de distância o *NPS* será de 76 dB.

O *NPS* pode ser, então, definido como uma relação logarítmica expressa como:

$$NPS = 20 \log P/P_0 \quad (2.9)$$

onde *P* é o valor eficaz de pressão sonora medida em pascal ou N/m^2 e *P*₀ é o valor de referência (menor pressão percebida pelo ouvido humano a 1.000 Hz) equivalente a $2 \times 10^{-5} N/m^2$ ou 20 μPa .

2.1.8 Amplitude e Fase

A amplitude y_m de uma onda, é o módulo do deslocamento máximo dos elementos a partir das suas posições de equilíbrio quando a onda passa por eles. Como y_m é um módulo, é sempre uma grandeza positiva, mesmo quando medida no vale da senóide.

A fase da onda é o argumento ($kx - \omega t$) da função seno da equação $y(x,t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t)$ que rege os deslocamentos de todos os elementos de uma corda em função do tempo. Quando a onda passa por um elemento de corda em uma posição

particular x , a fase varia linearmente com o tempo t . Isto significa que o seno também varia, oscilando entre +1 e -1. Seu valor positivo extremo (+1) corresponde a um pico da onda se movendo através do elemento; então o valor de y na posição x é y_m . Seu valor negativo extremo (-1) corresponde a um vale da onda se movendo através do elemento; então, o valor de y na posição x é $-y_m$. Desse modo, a função seno e a fase de uma onda dependente do tempo correspondem à oscilação de um elemento de corda, e a amplitude da onda determina os extremos do deslocamento do elemento (Halliday et al, 2002).

2.1.9 Inteligibilidade

Como já estabelecido anteriormente, o ouvido humano é capaz de perceber flutuações de pressão no meio com freqüências na faixa de 20 Hz a 20.000 Hz.

Esse intervalo de freqüência varia de pessoa para pessoa e diminui com o processo natural de envelhecimento. É importante dizer que o ouvido não percebe as diferentes faixas de freqüência (graves, médios e agudos) da mesma forma. Ele é um tanto seletivo e, por isso, quando o sinal sonoro é percebido, o ouvido humano naturalmente reforça os médios em detrimento dos graves e agudos. A maior seletividade do ouvido se dá próximo aos 3.000 Hz (Revista PC & Cia, 2005).

Outro aspecto interessante é o fato de que essas características de audição vão se modificando na medida em que a intensidade sonora (volume) cresce, ou seja, com o aumento do volume, a resposta do ouvido se torna mais plana em relação ao espectro de freqüências. Entretanto, isso se dá apenas com um *NPS* altíssimo, o que é prejudicial à saúde auditiva.

Sendo assim, a inteligibilidade do som está mais ligada à forma como o ouvido percebe os sinais sonoros do que com o volume. Em caso de problemas de inteligibilidade, deve-se melhorar o ganho dos médios, que estão compreendidos na faixa de 500 Hz a 5.000 Hz, e especialmente das freqüências próximas a 3.000 Hz.

Mas deve-se estar atento ao fato de que se o volume sofrer alteração, a equalização também sofrerá.

2.1.10 Tom

Quando se fala em tom geralmente se pensa em música. O contrabaixo possui tons graves, enquanto um violino possui tons agudos. Na verdade, cada nota musical possui uma frequência fundamental que irá definir o tom. Esta frequência será a frequência da onda sonora. Quando a frequência é baixa, tem-se um tom grave; quando a frequência é alta, tem-se um tom agudo. Por exemplo: Um contrabaixo emite uma onda sonora fundamental de 41 Hz. Esta é uma frequência baixa, ou seja, um tom grave.

2.2 ELETROACÚSTICA

2.2.1 Resistência Elétrica e Impedância do Alto-Falante

Esses dois conceitos deverão ser bastante usados nas seções que tratarão do dimensionamento de caixas acústicas e de cabos elétricos, respectivamente.

Segundo a U.S. Navy (2002), todos os materiais oferecem uma certa resistência ou oposição à passagem da corrente elétrica. Entretanto, bons condutores, tais como o cobre, prata e alumínio, oferecem pouquíssima resistência.

O tamanho e o tipo do material a ser usado como fio em um circuito elétrico é escolhido de maneira a manter tão baixa quanto possível a resistência elétrica.

Num circuito elétrico, quanto maior o diâmetro do fio, menor a resistência elétrica ao fluxo de corrente. Assim, a resistência elétrica de um condutor, a qual é

medida em ohms, depende do seu comprimento, de seu diâmetro, do material com que ele é feito e de sua temperatura de operação.

Já a impedância do alto-falante é a resistência que a bobina móvel oferece ao sinal de áudio, ou seja, o enrolamento da bobina do alto falante exerce uma resistência à passagem da corrente elétrica. Esta resistência depende do material, secção transversal, temperatura e comprimento do fio e é medida em ohms, da mesma forma que no caso de um resistor.

A resistência à corrente contínua não é igual à resistência à corrente alternada, que embora sendo medida na mesma unidade, é denominada "impedância" e tem como uma de suas características aumentar com a frequência da corrente.

A impedância é importante para a adaptação do alto-falante à saída do amplificador, sendo que a impedância de ambos deve ser igual para evitar perda de eficiência do aparelho, ou mesmo danificá-lo (U.S. Navy, 2002).

2.2.2 Associação em Paralelo

Em alguns casos, utiliza-se mais de um alto-falante em um mesmo canal de um amplificador, podendo muitas vezes afetar o bom funcionamento do equipamento.

Um equipamento pode ser afetado se, em sua saída, tiver conectado uma impedância menor do que a suportada por ele. Pode-se explicar este fenômeno através de uma simples análise da 2ª Lei de Ohm, onde R significa a resistência, Z significa a impedância, V significa a tensão e I significa a corrente elétrica (Halliday et al, 2002). Assim, para a resistência elétrica:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.10)$$

No caso de impedância tem-se:

$$Z = \frac{V}{I} \quad (2.11)$$

Portanto:

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2.12)$$

De acordo com a eq. (2.11) pode-se notar que ao diminuir a impedância, tem-se um valor maior de corrente, e muitas vezes este valor não é suportado pelo equipamento.

Deve-se ter muito cuidado com associações de alto-falantes, respeitando sempre a impedância mínima do equipamento.

A associação em paralelo é muito utilizada em casos onde se pode aplicar um baixo valor de impedância, pois com isso é possível tirar um melhor aproveitamento do aparelho. Quanto menor for a impedância, maior será a potência fornecida pelo aparelho.

Vale observar que todos os equipamentos possuem um limite e isto deve ser respeitado. O resultado da associação em paralelo pode ser obtido através da seguinte expressão (Halliday et al, 2002):

$$\frac{1}{Z_{total}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n} \quad (2.13)$$

Caso todos os alto-falantes tenham o mesmo valor de impedância, basta dividir o valor da impedância pelo número de alto-falantes conforme a expressão:

$$Z_{Total} = \frac{\text{Impedância}}{\text{Quantidade de Alto Falantes}} \quad (2.14)$$

2.2.3 Potência Elétrica

É um dos conceitos que deverá ser bastante explorado nesse trabalho e informa a quantidade de energia elétrica que o resistor transforma em energia térmica na unidade de tempo. Normalmente a potência é característica do aparelho quando submetido a uma diferença de potencial (ddp) apropriada chamada de potência nominal e sua unidade é o watt (Marques, 2000).

2.2.4 Alto-Falante

O alto-falante é o componente usado para transformar sinais elétricos em som (ver Fig. 2.5). Encontra-se este componente em rádios, televisores e equipamentos de som em geral.

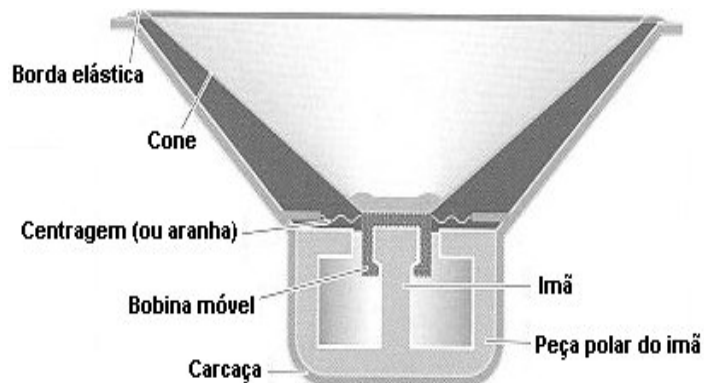


Figura 2.5 – Desenho esquemático de um alto falante.

O sinal de áudio é uma corrente alternada com intervalo de freqüências entre 20 Hz e 20 kHz. Esta corrente circula na bobina móvel e cria um campo magnético. O campo da bobina interage com o ímã fixo e assim a bobina movimenta o cone para cima e para baixo produzindo o som (Selenium, 2005).

2.2.5 Drive Titânio

Estes produtos foram desenvolvidos para utilização em sistemas de reforço sonoro, em médias e altas frequências, sendo indicados para situações que exijam grande eficiência com grande qualidade auditiva. Esses *drivers* são produzidos com diafragmas de titânio e acopláveis a cornetas de vários tipos (Bravox, 2005).

2.2.6 Microfones

Em suas inúmeras versões, os microfones constituem um dos principais elementos de sistemas eletroacústicos e, por esse motivo, a compreensão de seu princípio de funcionamento é muito importante para que se possa fazer a escolha correta para cada tipo de situação, a fim de poder ser utilizado da forma mais adequada.

Como a cápsula de um toca-fitas ou um alto-falante, o microfone é um transdutor – em outras palavras, um conversor de energia. Ele capta energia acústica (som) e a converte em energia elétrica equivalente (Shure, 2005).

Amplificado e enviado a um alto-falante, o som captado pelo microfone, já convertido em um sinal elétrico, pode ser novamente convertido em energia acústica e depois emitido por um alto-falante.

Os microfones dinâmicos e capacitivos são os tipos mais freqüentemente encontrados em estúdios, produções de radiodifusão, filmes e em palcos.

2.2.7 Mesa de Som

Em todos os sistemas de som, independentemente do seu porte, tamanho e recursos, a mesa de som sempre está presente e é o coração de todo o sistema. A partir dela é que os sinais captados dos microfones e instrumentos são processados e enviados para tratamento nos periféricos, além de transmitidos para o sistema de amplificação.

Todas as mesas de mixagem possuem recursos básicos parecidos, diferenciando-se somente a partir de recursos disponíveis mais avançados e da qualidade sonora de cada uma. O que se pode citar como maior diferença entre as mesas, mas não como diferencial de qualidade é a quantidade de canais de entrada, que pode variar desde 2 até mais de 60.

Via de regra, cada canal de entrada é responsável pelo tratamento de um sinal diferente, seja ele um microfone de vocal, um instrumento, um retorno de efeito, um aparelho de CD ou qualquer outro. Um dos recursos encontrados nas mesas de som é a possibilidade de se ajustar a sensibilidade do canal à sensibilidade do equipamento ligado a ele, o que é denominado controle de ganho (*gain*).

Um outro recurso encontrado nas mesas de som é a equalização, que dependendo da marca, modelo e recursos, varia entre duas e mais de cinco faixas de frequência, sendo algumas fixas, outras variáveis. Geralmente, são encontradas três faixas, respondendo como Graves (*LOW*), Médios (*MIDDLE*) e Agudos (*HIGH*), onde muitos possuem os médios de forma paramétrica (variável).

Finalmente, em termos de recursos básicos pode-se citar ainda o recurso do volume (*fader*), que é a quantidade do sinal do canal que será misturada ao sinal principal (matriz) e, no caso, a matriz possui também o volume, que é a quantidade do sinal já misturado que é enviado à saída principal da mesa, seja para PA (*Public Address*), monitor, ou outros.

Um recurso ainda mais avançado, porém encontrado na vasta maioria das mesas de médio porte, é o controle de Balanço (*PAN*) que indica o quanto de sinal será enviado para o lado direito (*Right*) e quanto será enviado para o lado esquerdo (*Left*).

Outro recurso encontrado é o de pré-escuta (*PFL*) que é a possibilidade de se escutar em um fone de ouvido ou caixa de som o que está ocorrendo em um determinado canal da mesa sem enviá-lo para a matriz.

Existem ainda os controles Auxiliares, que podem variar de um até algumas dezenas, e servem para direcionar o sinal para uma outra saída diferente das saídas da matriz, no caso aqui estudado, para a distribuição de torres de som na avenida. São exatamente iguais aos recursos de *fader*, e geralmente possuem, também, um controle geral como a matriz da mesa (Gomes, 2004).

2.2.8 Equalizador

Equipamento que permite ajustar individualmente o ganho ou atenuação em faixas de frequências separadas do espectro do sinal de som (normalmente 15 ou 31 bandas).

O ajuste de cada banda é feito por meio de um controle deslizante, de forma que as posições desses controles permitam uma visualização imediata de como o equipamento está atuando sobre o sinal.

2.2.9 Compressor e Limitador

É possível melhorar a qualidade da transmissão de um sinal de áudio se ele for monitorado constantemente com a ajuda de um controle de volume e, manualmente, nivelar o sinal. Assim, aumenta-se o ganho durante as passagens em que o sinal está com nível baixo, e baixa-se o ganho nas passagens em que o nível é alto.

Obviamente, esse tipo de controle manual é altamente restritivo, uma vez que será muito difícil detectar picos de sinal e, mesmo que sejam detectados, será praticamente impossível nivelá-los, por causa da rapidez com que ocorrem. Surge então a necessidade de um dispositivo automático e rápido de controle de ganho, que monitore continuamente o sinal e ajuste o ganho imediatamente de forma a maximizar a relação sinal/ruído sem que ocorra distorção. Tal dispositivo é chamado de compressor ou limitador (Ratton, 2002).

Em aplicações de sistemas de som ao vivo, os picos de sinal podem facilmente levar a distorções, devido à alta faixa dinâmica dos microfones e instrumentos musicais. O compressor e o limitador reduzem tal faixa dinâmica por meio de um controle automático de ganho. Isso reduz a amplitude das passagens mais altas e, dessa forma, restringe a faixa dinâmica para um intervalo desejado. Essa aplicação é particularmente útil com microfones, para compensar as variações de nível.

Embora os compressores e limitadores executem funções similares, há um ponto essencial que os diferencia: o limitador restringe abruptamente o sinal acima de determinado nível, enquanto que o compressor controla o sinal sutilmente dentro de uma faixa mais ampla. Ambos monitoram continuamente o sinal e intervêm assim que o nível excede o limiar configurado pelo usuário. Assim, qualquer sinal que exceda esse limiar terá seu nível reduzido imediatamente.

Como as variações rápidas de nível são mais perceptíveis do que as lentas, usam-se tempos longos de *release* onde é necessário um processamento sutil no sinal.

Em alguns casos, no entanto, o objetivo principal é proteger equipamentos, como alto-falantes e amplificadores de potência e, nesses casos, é mais apropriado usar tempos de *release* pequenos para assegurar que o limitador só atue quando for necessário e o nível retorne ao normal o mais rápido possível (Ratton, 2002).

2.2.10 Crossover

O *crossover* é o aparelho responsável pela divisão de faixas de frequências em vias diferentes para amplificação. Um sistema de som é composto por diversos tipos de alto-falantes: grave, médio grave, médio agudo e agudo. Quando um sinal passa por um *crossover* ele é dividido em várias vias, onde cada via possui uma faixa de frequências, de modo a ser encaminhado ao tipo adequado de alto-falante. A maioria desses aparelhos utiliza recurso paramétrico, ou seja, permitem que diversos sistemas diferentes sejam calibrados e divididos, porém, quando se fala de um único sistema, este pode possuir um *crossover* de corte fixo (Hot Sound, 2005).

2.2.11 Analisador de Espectro Sonoro

Em sua essência, o analisador de espectro é o responsável pela análise das características de um sinal elétrico representado em função da frequência. Analisando os sinais elétricos que passam ou que são transmitidos por seu sistema ou dispositivos, pode-se determinar a performance destes, encontrar e resolver problemas, etc. Este instrumento pode fornecer um quadro claro e preciso do espectro de frequências do som.

Dominar a utilização de um analisador de espectro irá ajudar a fazer medições mais precisas e dar a confiança de estar interpretando os resultados corretamente.

2.2.12 Multicabo

Multicabo é um cabo com múltiplos canais, que podem ser balanceados ou não. Sua principal função nos sistemas de sonorização é a fidelidade na transmissão dos sinais de áudio em curta ou longa distância.

2.2.13 Direct Box

O *Direct Box* é um equipamento que pode resolver o problema de áudio na hora de conectar um instrumento que possui alta impedância, dentre outras aplicações. A conexão direta do instrumento no sistema sem esse aparelho implica em incompatibilidade de impedâncias, que é um fator a ser verificado cuidadosamente em qualquer entrada e saída de áudio.

CAPÍTULO 3

O CARRO-SOM-PALCO-ESTÚDIO (CSPE)

É no CSPE que todo o processo de recepção e transmissão dos sinais de áudio terá seu início através do *Split* geral (ver esquema de ligação no Apêndice II), servindo ainda de base para o trabalho monitorado dos músicos, através de um palco com excelentes dimensões (ver planta no Apêndice I). O CSPE servirá também como estúdio de mixagem geral, além de comportar as caixas de som do sistema de PA (som externo) que farão a monitoração de forma otimizada para os músicos e ritmistas das agremiações que se encontram em suas proximidades (no solo).

3.1 ENTRADAS DO SISTEMA

A seguir, serão detalhados em ordem numérica dos canais do *Split* e das mesas de som (**ENTRADAS DO SISTEMA**), todos os sinais de instrumentos e microfones, tanto os que utilizam o palco do CSPE, quanto os que utilizam a avenida (solo):

Canal 01 - Surdo 1ª (Microfone com fio) no piso;

Canal 02 - Surdo 2ª (Microfone com fio) no piso;

Canal 03 - Surdo 3ª (Microfone com fio) no piso;

Canal 04 - Over de Caixas e taróis (Microfone sem fio VHF) no piso;

Canal 05 - Over de Repiques (Microfone sem fio VHF) no piso;

Canal 06 - Over de Tamborins (Microfone sem fio VHF) no piso;

Canal 07 - Over de Efeitos de Mão (Microfone sem fio VHF) no piso;

Canal 08 - Over de Cuícas (Microfone sem fio VHF) no piso;

Canal 09 - Violão I (Linha – *Direct Box*) no palco;
Canal 10 - Violão II (Linha – *Direct Box*) no palco;
Canal 11 - Cavaquinho I (Linha – *Direct Box*) no Palco;
Canal 12 - Cavaquinho II (Linha – *Direct Box*) no palco;
Canal 13 - Cavaquinho III (Linha – *Direct Box*) no palco;
Canal 14 - Cavaquinho IV (Linha – *Direct Box*) no palco;
Canal 15 - Voz Principal I (Microfone sem fio UHF) no piso;
Canal 16 - Voz Principal II (Microfone sem fio UHF) no piso;
Canal 17 - Vocal I (Microfone com fio) no palco;
Canal 18 - Vocal II (Microfone com fio) no palco;
Canal 19 - Vocal III (Microfone com fio) no palco;
Canal 20 - Vocal IV (Microfone com fio) no palco;
Canal 21 – Sinal L de áudio mixado, do estúdio do CSPE para a CGRTA;
Canal 22 - Sinal R de áudio mixado, do estúdio do CSPE para a CGRTA;
Canal 23 - Comunicação do CSPE para a CGRTA;
Canal 24 - Comunicação da CGRTA para o CSPE.

3.2 O PALCO

O palco do CSPE deverá ser montado sobre um “caminhão toco 3/4” com carroceria de 5,5 m e com, aproximadamente, 15 m² de área útil (ver planta completa no Apêndice I), onde músicos da harmonia das agremiações e seus cantores poderão instalar-se confortavelmente e ainda serem notados com maior clareza pelo público. Tudo isso de forma compacta de modo a não interferir na estética das agremiações.

3.3 O SISTEMA DE MONITORAÇÃO DO CSPE (SOM INTERNO)

O equipamento eletroacústico e eletrônico de monitoração deverá ser montado no próprio palco (ver Área Técnica nas plantas do apêndice I), onde estará fixado o *split* geral de recepção e transmissão de áudio. Nele, serão separados todos os sinais individuais de áudio, num total de 24 vias, os quais deverão seguir pelos seus multicabos tanto para o palco e estúdio do CSPE quanto para a CGRTA, de forma totalmente independente.

Nesse mesmo palco deverão ser disponibilizados os equipamentos de controle e distribuição de áudio de toda a monitoração do sistema, exceto do estúdio do CSPE. A seguir, serão descritas as relações e funções dos equipamentos do sistema de som do CSPE:

1- Multicabo – Deverão ser usados os multicabos (MC1A e MC1B os quais possibilitarão o uso de dois CSPE) de 24 vias, ambos com 250 m de comprimento e que farão a conexão do CSPE até a CGRTA. Os MC1A e MC1B serão responsáveis pela continuidade da conexão de cada instrumento e microfones, de forma individual em todo o sistema. Um outro Multicabo (MC2) com a mesma quantidade de vias, porém, com o comprimento de 5 m em cada uma de suas duas extremidades, será conectado aos dois maiores via *split* geral, onde suas uniões produzirão quatro tipos de conexões: uma de entrada de sinal e três de saída: CSPE, Estúdio I e CGRTA (ver esquema de ligação no Apêndice II).

2- Mesa de Som I – Deverá ser usada uma mesa de som paramétrica de 3 bandas com 28 canais estéreos mais 4 canais mono, 4 *Submasters* e 6 vias Auxiliares. Suas principais funções são: distribuir o sinal de áudio mixado via Matriz para o sistema de PA do CSPE e monitorar, via fones e monitores de piso, utilizando as seis vias Auxiliares, o retorno dos músicos no CSPE.

Durante o desenvolvimento do presente trabalho, a mesa da Fig. 3.1 apresentou-se como a mais indicada para essa finalidade devido a sua eficiência e baixo custo.



Figura. 3.1 Mesa de som Mackie SR 32 x 4 VLZ PRO.

3- Equalizador – Deverão ser usados dois equalizadores estéreo de 31 bandas para equalização das três vias de monitoração (Auxiliares 1, 2 e 3) de piso. As três vias de fone restantes (Auxiliares 4, 5 e 6) só necessitam da equalização da própria mesa já que não podem realimentar microfones e captadores e já possuem equalização plana.

4- Monitor quatro vias/Fone – Um dos sistemas de monitoração a ser usado no palco é o sistema de fones de ouvido. O sistema é composto de quatro fones e um amplificador de fones, com quatro entradas e saídas independentes e deverão ser ligados, como dito anteriormente, nas vias Auxiliares 4, 5 e 6 da Mesa de som I.

5 - Monitor Spot de piso – O outro sistema de monitoração é do tipo *spot* amplificado de piso, ideal para cantores e vocais secundários. Serão usados seis *spots* com

amplificação própria processada. Eles ocuparão, como dito anteriormente, as vias Auxiliares 1, 2 e 3 da Mesa de som I.

6 - Microfones - Representam uma das partes que merecem atenção especial, pois uma microfonação bem elaborada significa ótimo rendimento de todo o sistema. Para isso escolheram-se vários modelos com suas devidas aplicações, a saber: dez Microfones SM 58 Beta, utilizados para cantores de apoio (*Backing Vocal*); cinco Microfones SM 57 Beta com transmissor FM VHF para microfonação de instrumentos de percussão da bateria; quatro Microfones SM 58 Beta com transmissor FM UHF para uso dos cantores (puxadores de samba).

7 - Direct Box Ativo – Deverão ser usados oito aparelhos com as funções de conectar os violões e cavaquinhos ao sistema.

8 - Pedestal Girafa – Deverão ser utilizados 20 pedestais do tipo girafa para suporte dos microfones, alguns fixos no caso dos vocais e outros móveis como é o caso da “Microfonagem *Over*”, ambos descritos anteriormente na lista de entradas do sistema (item 3.1).

9 - Cabos e Conexões – Deverão ser usados cabos balanceados e não balanceados e conectores XLR e P10 em quantidades suficientes para o sistema.

3.4 O SISTEMA DE PA DO CSPE (SOM EXTERNO)

Dimensionado para uso exclusivo de vozes e outros solos, o sistema de PA do CSPE Deverá ser composto por vinte caixas do tipo KF 750 de três vias atuando na faixa de frequência que vai de 80 Hz até 20 kHz, processadores de sinal e

amplificadores de potência, com a transmissão do sinal de áudio, proveniente da Mesa I e divididos da seguinte maneira:

Caixas de Som – Deverão ser usadas 12 Caixas na parte traseira do CSPE (fundo); 4 Caixas na lateral esquerda; 4 Caixas na lateral direita.

Amplificadores – Deverão ser usados 3 Amplificadores com 5600 W RMS em 2 ohms (80 – 275 Hz); 3 amplificadores com 5600 W RMS em 2 ohms (275 Hz – 1,25 kHz); 3 Amplificadores com 1200 W RMS em 2 ohms (1,25 kHz – 20 kHz).

Processador Digital de Sinal de Áudio – Deverão ser utilizados três processadores digitais mono em todo o sistema de PA, de forma a torná-lo totalmente independente, tanto no processamento do sinal quanto no NPS. Suas principais funções são: equalização do sistema de PA e divisão por *crossover* em 3 faixas de frequências: 80 – 275 Hz (Graves) 275 Hz – 1,25 kHz (Médio Graves) 1,25 – 20 kHz (Médios e Agudos). Esses processadores poderão ser os mesmos do sistema geral de som e deverão ser exemplificados mais adiante.

3.5 ESQUEMA DE LIGAÇÃO DAS CAIXAS NOS AMPLIFICADORES

A impedância de cada caixa é de 8 ohms levando-se em consideração que o sistema é ativo, ou seja, cada alto-falante de cada caixa funciona com sua respectiva faixa de frequência. Logo, isoladamente possuem 8 ohms de impedância nominal cada e, dessa forma, pode-se ligar cada 4 alto-falantes em um lado do amplificador somando 2 ohms de impedância nominal. Assim, o sistema de PA pode ser todo alimentado com um total de nove amplificadores de potência já dimensionados anteriormente (item 3.4).

3.6 RECEPÇÃO NO CSPE, MONITORAÇÃO E SISTEMA DE PA

Para um melhor entendimento, será mostrado de forma simplificada o esquema de recepção e transmissão dos sinais de áudio pelos equipamentos do palco do CSPE. Para isso, basta que seja mostrado, utilizando como exemplo um canal qualquer, o processo de recepção de um sinal – por exemplo, um microfone – até a transmissão deste sinal para o sistema de som do CSPE. Assim, considere-se, por exemplo, um sinal de voz, o qual está conectado em um canal qualquer do *split* geral. Em seguida, este sinal é processado para adequação de timbre de voz na Mesa de som I, seguindo depois diretamente para o sistema de PA e monitoração interna do CSPE.

Para os demais canais este procedimento se repete, com a única diferença de que quando se usar instrumento musical, o sinal deve passar necessariamente por um *Direct Box* de forma a tornar compatíveis as impedâncias.

Ressalta-se que todo o sistema de som do CSPE já deverá estar totalmente analisado eletronicamente com o uso de um analisador de espectro.

Dessa forma, um Operador de Áudio experiente terá todas as condições necessárias e favoráveis para mixar os sinais recebidos e enviá-los, via Matriz, para o sistema de PA do CSPE, bem como controlar a monitoração do palco.

É válido lembrar também que este sinal mixado servirá unicamente para a monitoração interna dos músicos de Harmonia no palco e para a sustentabilidade do NPS requerido pelos músicos, componentes das Baterias das agremiações, via sistema de PA.

Deverá haver um cuidado especial com o NPS externo do CSPE, o qual deve estar nivelado de maneira a não interferir no sistema de torres de som da avenida, o que certamente provocaria o fenômeno de atraso (*delay*) quando somado com torres mais distantes e até mesmo com as torres próximas. O simples aumento de NI nas torres que sofrerem esse fenômeno evitará esse atraso.

3.7 O ESTÚDIO

Outra etapa de fundamental importância no projeto do CSPE é a montagem, tratamento e isolamento acústico do estúdio bem como sua adaptação no caminhão. É de lá que deverá sair, sem sombra de dúvida, a melhor mixagem de som. Isso é de fundamental importância para a qualidade de som da avenida e para possíveis transmissões de Rádio e TV.

3.7.1 Dimensionamento, Tratamento e Isolamento Acústico do Estúdio

O estúdio, que deverá ser montado em local apropriado com compensados e posteriormente adaptado ao caminhão, contará com as dimensões máximas internas de 2,0 m x 2,7 m x 2,2 m, ou seja, 11,9 m³.

Seus cantos internos serão trabalhados de forma a diferenciar os ângulos coincidentes, dificultando assim o surgimento de ondas estacionárias prejudiciais ao som em seu interior. Sua estrutura será preparada com três camadas de compensado de 20 mm, um para cada parede, com distâncias de 50 mm entre elas. Esses espaços serão preenchidos com lã de vidro e separados por pinos pequenos e emborrachados. Dessa maneira haverá uma diminuição considerável na condução do som, através das paredes do estúdio. O suporte inferior do piso do caminhão deverá ser também emborrachado evitando assim o contato direto do estúdio com o piso de madeira fixado no chassi do veículo.

O revestimento interno será todo em poliuretano expandido flexível com densidade de 36 kg/m³ e 75 mm de espessura (curva de absorção sonora do material em função da frequência no gráfico 3.1).

Coeficientes de Absorção Sonora

Placa SONEX Nova Fórmula

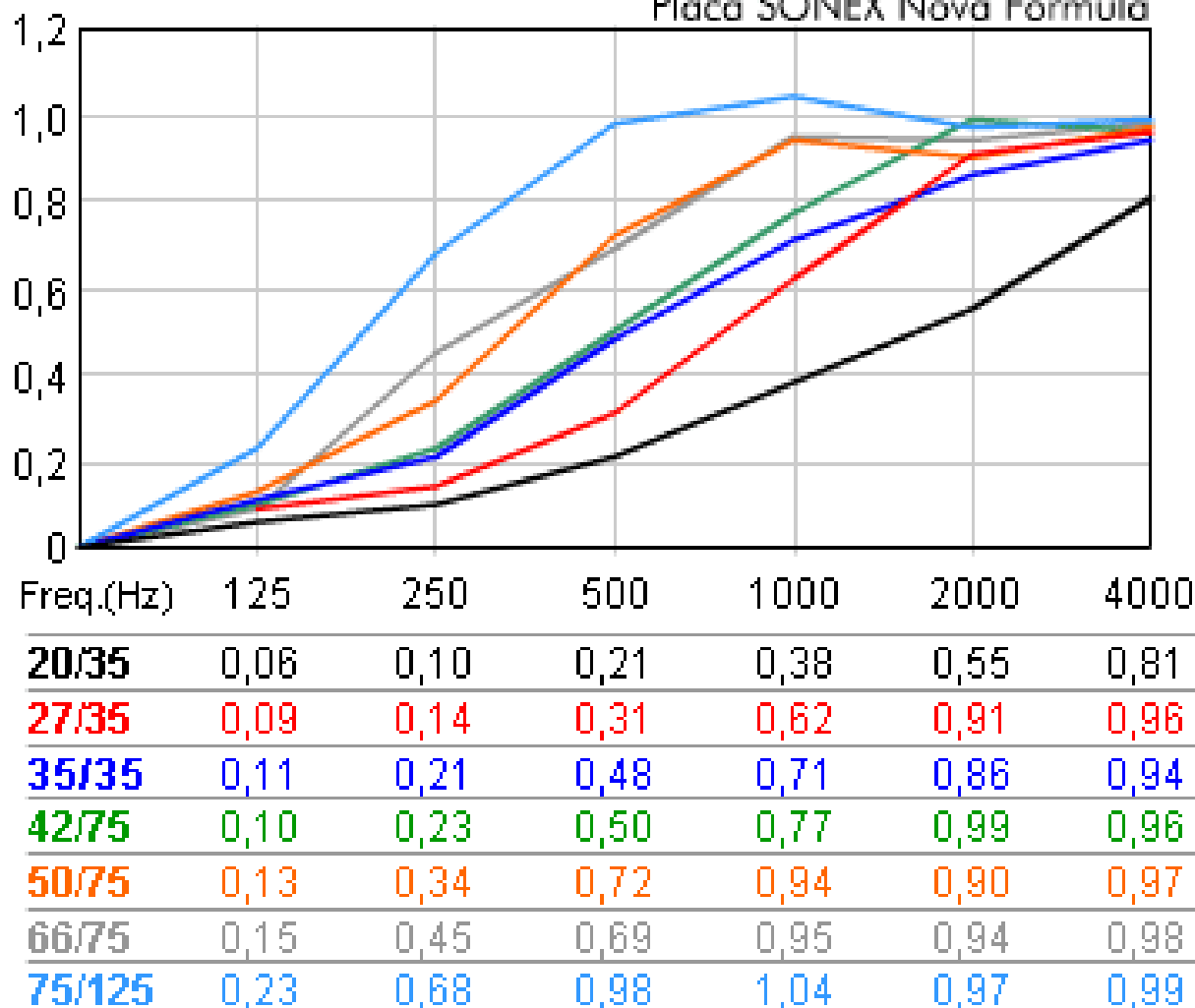


Gráfico 3.1 – Valores alcançados em medição de absorções sonoras em câmara reverberante realizadas pelo método descrito na norma internacional ISO 354 em laboratório normatizado.

Finalmente, a porta de entrada receberá tratamento idêntico ao das paredes do estúdio, com o cuidado extra de vedar todo o seu contorno, a fim de evitar vazamentos de som através de frestas. Além disso, o sistema de refrigeração com 10.000 BTUs atuará através de condicionador de ar tipo *split* com tubulação isolada por silicone, diminuindo de forma considerável a possibilidade de vazamento sonoro.

3.7.2 O Sistema de Som do Estúdio

A relação de equipamentos, suas funções e a forma como deverão atuar estão listados a seguir:

1 - Multicabo 24 Vias MC2 – A extremidade do MC2 de 5 m deverá estar conectada ao *split* geral (ver Esquema de Ligação no apêndice II). O MC2 descerá do palco, pelo teto do estúdio, trazendo o mesmo sinal individual de áudio que vai para o sistema de PA do CSPE e CGRTA. Dessa forma, haverá independência completa no tratamento de cada sinal pela mesa de som II do estúdio.

2- Mesa de Som II – Deverá ser usada uma mesa digital com 24 canais expansíveis para 96 canais, e 12 vias auxiliares. Essa mesa deverá possuir equalização paramétrica por canal, banco de compressores/*gates* por canal – com a função de comprimir o sinal de instrumentos elétricos e comprimir e diminuir o ângulo de captação dos microfones de instrumentos e voz - em cada canal, além de processadores de efeito - com a função de melhorar a qualidade da voz e instrumentos de harmonia usando recursos de reverberação, *flanger chorus*, etc. - também em cada canal.

Esta mesa terá a finalidade de mixar os sinais individuais de áudio, monitorados pela sala de controle (*control room* da mesa II) e transmiti-los via matriz LR para a CGRTA. Dessa forma, essa central receberá dois sinais mono, já mixados, provenientes da mesa de som II, pelos canais 21 e 22 do MC1A e MC1B.

Como o sistema de torres de som funcionará em modo mono, um dos sinais mixados será usado como reserva (o modelo da Fig. 3.2 é o mais indicado para essa finalidade).



Figura 3.2 Mesa digital YAMAHA DM 2000 com 24 canais expansíveis para 96 canais.

3 - Equalizador – Deverá ser usado um equalizador estéreo de 31 bandas para a correção de frequências atenuadas ou reforçadas dos monitores amplificados da sala de controle (*Control Room*). Esse ajuste será controlado pelo mesmo analisador de espectro usado em todo o sistema, de modo a manter os timbres gerais muito próximos entre o estúdio e as torres de som do percurso. (Atualmente, o modelo da Fig. 3.3 é o mais recomendado para essa finalidade).

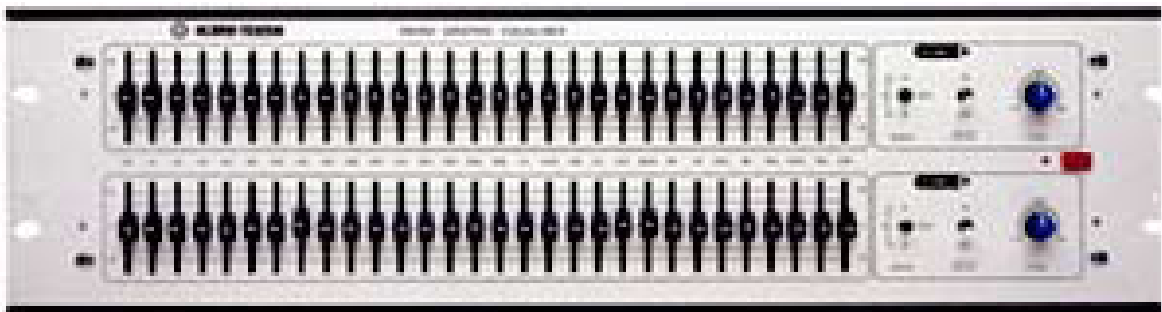


Figura 3.3 – Equalizador analógico KLARK TEKNIK DN 360.

4- Monitores – Deverão ser usados dois monitores amplificados em suportes do tipo tripé. Tais monitores, depois de terem seus sinais de alimentação, como dito anteriormente, analisados e corrigidos no equalizador, com o auxílio do analisador de espectro, servirão de única fonte sonora dentro do estúdio e serão os responsáveis diretos pela qualidade de som que será enviada para a CGRTA e possíveis veículos de comunicação, ou seja, o que acontecer neles em termos de timbre e mixagem será exatamente o que acontecerá nas torres de som da avenida, com a única diferença de maior NPS destas últimas (o modelo da Fig. 3.4 ilustra o enunciado).



Figura 3.4 – Monitor Studio R 250 para aplicações em estúdios e palcos.

CAPÍTULO 4

A CENTRAL GERAL DE RECEPÇÃO E TRANSMISSÃO DE ÁUDIO (CGRTA)

Localizada na área de apoteose da Aldeia Cabana, a CGRTA funcionará como o coração de todo o sistema. É de lá que será transmitido para toda a avenida, através das 48 torres de som - divididas em 8 blocos de seis torres - e os dois refúgios de bateria (ver desenho esquemático geral no Apêndice I), o sinal de áudio de cada agremiação, já mixado e devidamente processado.

4.1 O FUNCIONAMENTO DA CGRTA

A CGRTA não necessitará de tratamento ou mesmo isolamento acústico, já que o melhor sinal de áudio já vem totalmente mixado do estúdio do CSPE, via MC1A ou MC1B pelos canais 21 e 22 e serão apenas redirecionados para as torres de som e refúgios de bateria da avenida.

Os sinais separados dos canais 1 até o 20 do MC1A e MC1B (ver entradas do sistema no item 3.1) serão novamente mixados na CGRTA, através da utilização de fones de ouvido e somente serão usados em casos extremos como por exemplo, uma pane no estúdio do CSPE, ou seja, é um sinal reserva e totalmente independente.

É válido saber que o sinal principal, já mixado, proveniente do estúdio do CSPE e os sinais separados no MC1A e MC1B serão distribuídos para as 48 torres da avenida pelas vias Auxiliares da Mesa III (descrita a seguir), utilizando o recurso de *pós-fader*, o qual possibilita o aumento ou atenuação de todas as torres com um único controle de *fader*. Assim o controle do sistema torna-se bastante prático com todos os oito blocos de seis torres podendo ter seus NPS's nivelados separadamente ou em conjunto.

A seguir, serão listados todos os equipamentos da CGRTA e suas respectivas funções.

1 - Mesa de Som III – Deverá ser usada uma mesa de 40 canais analógica, com três bandas paramétricas, possuindo oito vias Auxiliares e oito Subgrupos, que serão responsáveis pela distribuição de som para as 48 torres do percurso e pelo endereçamento do som já mixado para os dois refúgios de bateria, respectivamente. O modelo da Fig. 4.1 é, atualmente, o mais indicado para uso no sistema, já que possui as funções listadas, além de ótima relação custo/benefício.



Figura 4.1 – Mesa de Som Mackie SR 40.8.

2 - Compressor/Gate – Deverão ser usados seis aparelhos em modo mono com a função de comprimir os sinais de instrumentos cuja dinâmica seja muito instável além de comprimir vozes cuja dinâmica ultrapasse os níveis desejados, bem como diminuir o ângulo de captação dos microfones de instrumentos de percussão.

2- Processador de Efeitos – Deverão ser usados dois aparelhos estéreos com as funções de reverberação, eco, *delay*, *chorus*, *flanger* e outros efeitos aqui não citados.

4- CD/MP3 – Deverão ser usados dois aparelhos com a função de sonorizar os intervalos de apresentações entre as agremiações.

5- Microfones – Deverão ser usados quatro microfones modelo SM 58, ideais para vozes, (dois com fio e dois sem fio) para comunicação interna da equipe técnica e externa de apresentadores e autoridades.

4.2 RECEPÇÃO E TRANSMISSÃO DOS SINAIS DE ÁUDIO PELA CGRTA

Deverão chegar pelo MC1A e MC1B dois sinais de áudio distintos: um estéreo pelos canais 21 e 22, já mixados, provenientes do estúdio do CSPE e o outro separado, através dos canais 1 até o 20.

Como dito anteriormente, apenas um dos sinais mixados, provenientes do estúdio, será enviado, em oito vias, para as 48 Torres do Percurso (TP) pelas vias Auxiliares e para os dois refúgios de bateria pela via Matriz LR da Mesa III.

Os sinais separados deverão, depois de mixados por fone de ouvido, permanecer disponíveis (em *stand by*) para uma eventual necessidade, ou seja, em caso de pane no estúdio do CSPE.

A transmissão dos sinais de áudio para as 48 torres e refúgios de bateria, será feita por dois multicabos de seis vias balanceadas e blindadas contra rádio frequência (RF) e outros ruídos indesejáveis. Como a CGRTA estará localizada aproximadamente no meio do percurso, o uso de dois multicabos com cerca de 250 m cada, se fará necessário.

Para cada bloco de seis torres, o sinal de áudio será comandado por uma via Auxiliar da mesa III, por exemplo, o bloco 1 (ver desenho esquemático geral no apêndice I) será comandado pela via Auxiliar 1, o bloco 2 pela via Auxiliar 2 e assim sucessivamente, até completar os oito blocos da avenida.

Os dois refúgios de bateria terão o comando de áudio proveniente da matriz LR da Mesa III, funcionando também de forma independente.

Todo esse procedimento poderá ser feito com o auxílio de ramificações nos multicabos, ou seja, uma ramificação com o sinal de áudio para cada bloco de seis torres. Dessa forma o multicabo não perde sua continuidade e cada bloco de seis torres receberá seu sinal de áudio definitivo através dos processadores que estarão distribuídos de forma técnica e estratégica ao longo do percurso (ver desenho esquemático geral no Apêndice I).

CAPÍTULO 5

AS 48 TORRES DE SOM (48TP) E OS DOIS REFÚGIOS DE BATERIA

Neste capítulo serão dimensionadas as 48 Torres do Percurso (48TP) e os dois refúgios de bateria, bem como os tipos de caixas acústicas a serem utilizadas e seus respectivos alto-falantes. Será sugerido um posicionamento ótimo para essas caixas e sugerida também, as melhores distâncias entre elas para que seja alcançada a maior inteligibilidade geral do som e um ótimo NPS, bem como os tipos de amplificadores e processadores de áudio que farão parte do sistema de som da avenida (48 TP e os Dois Refúgios de Bateria).

Esse dimensionamento está em conformidade com as medições de ruído de fundo feitas no local utilizando um medidor de nível de pressão sonora (Fig. 5.1), onde se mediu o nível de ruído de fundo equivalente das arquibancadas durante oito minutos em cada ponto aleatório, no momento em que se encontravam sem público e também com público. Os resultados foram: 67 dBA de nível equivalente de ruído com as arquibancadas vazias e 71 dBA de nível equivalente de ruído com as arquibancadas cheias, em média.

Para que se tenha uma relação sinal/ruído satisfatória é importante que o nível do sinal de áudio seja maior que 10 dBA em relação ao ruído de fundo, o que justifica a escolha dos equipamentos a seguir descritos.



Figura 5.1 – Medidor de nível de pressão sonora Tipo B&K 2238.

5.1 AS CAIXAS ACÚSTICAS

Deverão ser usadas 240 caixas acústicas em todas as 48TP, incluindo os Dois Refúgios de Bateria, sendo que 112 caixas devem operar na faixa de freqüência que vai de 20 a 80 Hz (SB-850) com dois alto-falantes de 18" (1.000 W RMS/8 ohms e com sensibilidade axial de 100 dB) em cada uma e 128 caixas, devem operar na faixa de freqüência que vai de 80 a 20.000 Hz (KF-750) com três alto-falantes em cada uma, sendo um com 15" (700 W RMS/8 ohms e com sensibilidade axial de 101 dB), um com 10" (400 W RMS/8 ohms e com sensibilidade axial de 110 dB) e um *drive* de titânio com 200 W RMS/8 ohms e com sensibilidade axial de 111 dB .

Em cada uma das 48 TP deverão ser usados dois pares de caixas, ou seja, duas SB 850 cuja sensibilidade axial total será de 103 dB e duas KF 750 cuja sensibilidade axial total será de 104 dB, 113 dB e 114 dB respectivamente respeitando a ordem crescente de faixas de freqüência. Já nos dois refúgios de bateria serão utilizadas oito SB-850 e 16 KF-750 em cada refúgio. As Figs. 5.2 e 5.3 ilustram modelos adequados para as caixas SB-850 e KF-750, respectivamente, considerando o que existe de mais atual em termos de projeto e de melhor relação custo/benefício para a finalidade desejada.



Figura 5.2 – Caixa EAW SB-850 ZR.



Figura 5.3 – Caixa EAW KF750.

5.2 AMPLIFICADORES, PROCESSADORES E SUB-ESTÚDIOS

A seguir serão mostradas a relação de amplificadores e suas funções, os processadores de sinal e como atuarão no sistema, além da quantidade e posicionamento dos sub-estúdios de amplificação (ver desenho esquemático geral no Apêndice I).

5.2.1 Amplificadores

Deverão ser usados 88 amplificadores assim distribuídos:

- 28 amplificadores para SB-850 com 10.000 W RMS em 2 ohms, estéreo, os quais terão a função de amplificar as caixas de sub-graves na faixa de freqüências de 20 a 80 Hz;
- 32 amplificadores para KF-750 com 5.600 W RMS em 2 ohms, estéreo, os quais terão a função de amplificar os alto-falantes de graves na faixa de freqüências de 80 a 275 Hz e os alto-falantes de médio-graves na faixa de freqüências de 275 Hz a 1,25 kHz;
- 28 amplificadores para KF-750 com 800 W RMS em 4 ohms, estéreo, os quais terão a função de amplificar os *drivers* de titânio na faixa de freqüências de 1,25 kHz a 20 kHz.

As Figs. 5.4, 5.5 e 5.6 fornecem exemplos de três tipos de amplificadores de fabricação nacional e que podem ser usados no sistema. Esses amplificadores possuem um seletor de sensibilidade DS (*digital setup*), ideal para operação com processadores digitais, dentre outras vantagens.

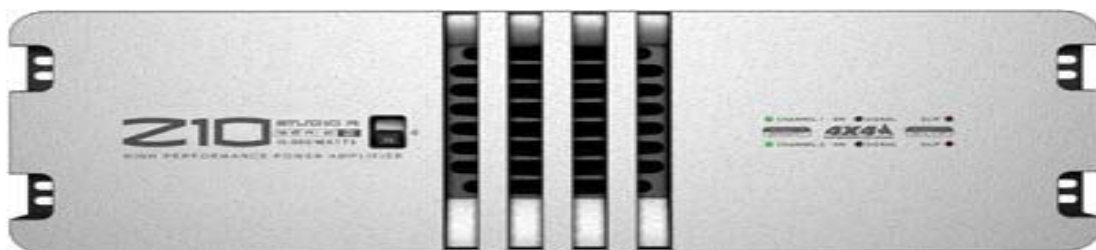


Figura 5.4 – Amplificador Studio R Z10 com 10.000 W RMS em 2 ohms.



Figura 5.5 – Amplificador Studio R X5 com 5.600 W RMS em 2 ohms.



Figura 5.6 – Amplificador Studio R X1 com 800 W RMS em 4 ohms.

5.2.2 Processador Digital de Sinal de Áudio

Deverão ser usados dez processadores digitais monos de quatro vias que poderão seguir o modelo ilustrado na Fig. 5.7, o qual representa um equipamento atualizado e que satisfaz todas as exigências do sistema dimensionado (ver esquema de ligação das TP no Apêndice II). Estes processadores terão as funções de: equalizar o sinal de áudio de cada bloco de seis TP e os dois refúgios de bateria; dividir o sinal de áudio em quatro faixas de frequência (20 a 80 Hz; 80 a 275 Hz; 275 Hz a 1,25 kHz; e 1,25 a 20 kHz) para cada bloco de seis TP e para os dois refúgios de bateria.



Figura 5.7 – Processador digital BSS modelo FDS-334T/MINIDRIVE.

5.2.3 Sub-Estúdios de Amplificação

Deverão ser instalados entre cada duas torres e uma para cada Refúgio de Bateria, suportes com a metade da altura destas últimas, e protegidos contra intempéries, ou seja, 26 suportes, os quais serão denominados Sub-Estúdios. Neles deverão ser colocados sempre três amplificadores no caso das 48TP e oito no caso dos Refúgios de Bateria, atuando conforme as faixas de frequências já determinadas e um processador digital de sinal de áudio, sendo que este último atuará somente a cada seis torres, ou seja, um total de oito processadores para as 48 TP e os dois restantes para os dois refúgios de bateria (ver desenho esquemático no Apêndice I).

5.3 DISPOSIÇÃO DAS 48 TORRES DE SOM E REFÚGIOS DE BATERIA

Cada TP deverá ser posicionada de modo a se obter uma melhor distribuição sonora, tanto para os espectadores quanto para as agremiações. A posição ideal deve acompanhar o desenho trapezoidal das caixas com frequências acima de 80 Hz e separar por uma distância de 1 m de altura as caixas de frequência abaixo de 80 Hz, ou seja, as caixas do tipo SB-850 deverão ficar abaixo das KF-750, separadas por essa distância. Esse procedimento diminuirá a interferência acústica destrutiva do sistema, que é muito comum nos sistemas que operam com caixas de faixas de frequências diferentes, próximas umas das outras. Esse procedimento fará com que a amplitude do sinal se mantenha em seu nível normal.

As únicas exceções são as TP's dos dois refúgios de bateria que deverão ser direcionadas exclusivamente para a bateria das agremiações (ver desenho

esquemático no Apêndice I). Desse modo, cada TP deverá estar a 60° do eixo principal que é o próprio percurso e as TPs dos refúgios deverão estar frontais à bateria das agremiações, contribuindo assim para uma melhor homogeneidade sonora, e boa inteligibilidade geral.

CAPÍTULO 6

DIMENSIONAMENTO DA CENTRAL DE ENERGIA ELÉTRICA INDEPENDENTE (CEEI)

Em um evento com tamanha envergadura, como o carnaval da Aldeia Cabana, os cuidados com o fornecimento de energia elétrica exigem atenção especial. Assim, o dimensionamento de uma central de energia elétrica independente da rede doméstica, através do uso de um grupo gerador, é de fundamental importância para a manutenção da potência elétrica requerida pelo sistema e pela total independência do mesmo.

Dessa forma a central deverá funcionar como fonte principal de energia, isto é, em caso de pane na rede doméstica, o evento segue em sua normalidade, exceto com relação à iluminação pública e energia elétrica das dependências do próprio complexo.

Para tanto, será proposto o uso de uma Central de Energia Elétrica Independente (CEEI) através da utilização de um grupo gerador, onde serão especificadas: sua potência máxima; a tabela de bitolas mínimas dos condutores que deverão ser usados no sistema; a localização da fonte de energia elétrica; a identificação das áreas de abrangência dos circuitos e a autonomia do sistema.

6.1 POTÊNCIA MÁXIMA DO GRUPO GERADOR

Após serem somadas as potências nominais máximas de todos os amplificadores especificados nos capítulos anteriores deste trabalho, num total de 100 unidades, chegou-se a um valor de 510 kW. Em seguida, esse valor foi dividido por 0,96 que representa o fator de potência mínimo, segundo especificações técnicas da maioria dos fabricantes, resultando num valor de 531,5 kVA.

Considerando o consumo do restante do sistema menor que 5 kVA, poderá ser usado um grupo gerador com motor de 795 cv em 1.800 rpm com seis cilindros em linha, turbina e *intercooler*, acoplado a um gerador de 642 kVA em 60 Hz com 85% de potência, ou seja, 545,7 kVA, cujo valor é maior que a soma da potência total requerida pelo sistema em momentos de pico, isto é, aproximadamente 536,5 kVA. A Fig. 6.1, a seguir, apresenta um exemplo de grupo gerador que atende às especificações recomendadas.



Figura 6.1 – Grupo gerador GEHV-642-Volvo Penta/Heimer.

6.2 DIMENSIONAMENTO DE CABOS PARA O SISTEMA DE FORÇA (AC)

Aqui será mostrada a tabela de bitolas dos cabos em função de cargas e distâncias, indicadas para as várias aplicações no sistema, levando-se em consideração que qualquer condutor apresenta uma resistência elétrica que pode se traduzir em perda de potência.

Para isso, será estudada uma melhor solução objetivando a menor perda possível e, conseqüentemente, o equilíbrio geral do sistema. O fluxograma apresentado na Fig. 6.2 representa as interligações AC/Amplificador/Caixa Acústica.



Figura 6.2 – Representação esquemática das interligações.

A potência que o amplificador consome da CEEI é função da potência que ele fornece à caixa acústica que, por sua vez, é função do programa de áudio amplificado. Essa potência é denominada de “Ciclo Útil”. A Tab. 6.1 desenvolvida por vários usuários e projetistas dos mais diversos tipos de sistemas, e sugerida por Correia (2004) ilustra esta idéia.

Tabela 6.1 – Classificação para vários tipos de programas de áudio.

Sinal de Programa (com distorção nunca maior que 1% e um amplificador devidamente carregado)	CICLO ÚTIL EM %
Sinal senoidal	100%
Ruído rosa, que se aproxima do aplauso constante de uma torcida.	50%
<i>Rock n'roll</i> de alta compressão nos médios graves	40%
Trio elétrico com seu emprego típico para as massas	35% - 40% (**)
<i>Jazz</i> moderno e os programas de show brasileiro	30%
Música ambiente	20%
Voz isolada de um cantor e a conversação contínua	10%
Sistema de chamadas de uso pouco freqüente	1%

Nota-se na Tab. 6.1 que um programa musical tipo “*Rock n’roll*” provocará um consumo médio de potência, no máximo, igual a 40% da potência nominal do amplificador e esse valor será tomado como base para o cálculo do consumo do total de amplificadores. Isso significa um reflexo no consumo médio de potência da CEEI. Baseado nessas informações pode-se calcular, com bastante precisão, o consumo da potência elétrica de um amplificador, utilizando a seguinte expressão:

$$C = \frac{P_n \cdot U}{E} + Q \quad (6.1)$$

Onde: C é o consumo de potência elétrica (watt); P_n é a potência nominal de saída com ambos os canais operando (watt); U é o Ciclo Útil (%); E é a eficiência do amplificador (%) e Q é o consumo de potência em repouso (watt).

Dessa forma pode-se calcular a corrente elétrica que fluirá pelos cabos através da seguinte expressão:

$$I = \frac{C}{V \cdot F} \quad (6.2)$$

onde: I representa a corrente elétrica (ampére); V é a tensão (volt) e F é o fator de potência.

Depois de realizados os cálculos pertinentes, será possível, através da Tab. 6.2, a determinação das bitolas dos cabos de AC que deverão ser utilizados em todo o sistema.

Tabela 6.2 – Bitolas de condutores elétricos em mm^2 .

Secção (mm^2)	Nominal	Capacidade de condução de corrente (A)	Comprimento máximo do circuito em função da queda de tensão (m)			
			Eletroduto não magnético		Eletroduto magnético	
			127V	220V	127V	220V
1,5		15,5	8	14	7	12
2,5		21,0	10	17	9	15
4,0		28,0	12	20	10	17
6,0		36,0	13	23	12	21
10,0		50,0	32	56	29	50
16,0		68,0	37	64	33	57
25,0		89,0	47	81	38	66
35,0		111,0	47	81	41	71
50,0		134,0	50	86	44	76
70,0		171,0	54	94	46	80
95,0		207,0	57	99	49	85
120,0		239,0	59	102	51	88

6.3 LOCALIZAÇÃO DA FONTE DE ENERGIA ELÉTRICA

A CEEI deverá estar localizada em um local aberto nas laterais para melhor ventilação e o mais próximo possível do principal ponto de distribuição de AC, de modo a não provocar ruído de fundo suficiente para ser percebido na área a ser sonorizada. Este local estará previamente determinado e poderá ser mais bem visualizado no desenho esquemático apresentado no Apêndice I.

6.4 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE ABRANGÊNCIA DOS CIRCUITOS

Os circuitos elétricos AC deverão percorrer praticamente todos os 420 m do percurso, bem como alimentar a CGRTA e o CSPE. Este último deverá ser alimentado com um cabo AC interligado a cada 100 m por conexões trifásicas do tipo industrial e com alimentação geral proveniente das Sub-Estações elétricas distribuídas estrategicamente ao longo do percurso. Isso facilitará a movimentação do cabo conectado ao CSPE durante o percurso, ou seja, a cada 100 m um cabo é conectado e outro posteriormente desconectado. Assim apenas dois cabos de 100 m para alimentação do CSPE deverão ser suficientes para todo o percurso.

6.5 AUTONOMIA DA CEEI

A CEEI foi dimensionada para uma autonomia de 128 l/h de combustível, tal que o sistema opere com 75% de sua potência, em média. Dessa forma, considerando um funcionamento diário de 16 horas, o consumo máximo de combustível seria de aproximadamente 2.048 litros. Assim, um tanque com capacidade de 2,5 m³ será suficiente e deverá acompanhar a CEEI em suas proximidades, com a necessidade de reabastecimento do mesmo durante cada dia do evento.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES FINAIS

7.1 CONCLUSÕES

Como dito na introdução deste trabalho, os projetos arquitetônicos de espaços destinados a eventos de grande porte, quase sempre, investem maciçamente em uma determinada área e por desconhecerem ou simplesmente desprezarem a importância de outras acabam por gerar problemas de ordem acústica, como é o caso aqui estudado, e que impossibilitam um campo sonoro de bom nível e qualidade satisfatória nesses espaços.

Este trabalho apresentou então, uma proposta para resolver os referidos problemas em espaços destinados a eventos de grande porte, utilizando soluções eletroacústicas de forma abrangente e atualizada. Assim, foi possível delinear as seguintes conclusões:

1. O presente trabalho buscou apresentar a configuração eletroacústica mais simples para obtenção de um campo sonoro satisfatório no espaço “Aldeia Cabana”, com a vantagem de poder substituir produtos importados, cujos preços são bastante elevados, por produtos similares de fabricação nacional, sem comprometer a qualidade do sistema.
2. A geração do principal sinal geral de áudio que chega até a CGRTA via multicabo e que recebeu tratamento adequado no estúdio do CSPE é uma forma eficaz de se obter a desejada qualidade sonora final endereçada às 48 TP e Refúgios de Bateria. Isso descarta a necessidade do uso de transmissores de FM (frequência modulada), os quais são tradicionalmente utilizados por empresas contratadas para realização do evento aqui em estudo.

Desse modo, espera-se um resultado satisfatório tanto para as agremiações que se apresentarem no evento, quanto para o público que irá assisti-los.

3. A utilização de dois CSPE seria ideal para questões como o tempo de troca de uma agremiação em relação a outra nos desfiles. De outra forma, devido ao fato de o CSPE trabalhar com uma mesa digital, e por questões econômicas, avalia-se que a utilização de apenas um CSPE não traria desvantagens em relação às trocas de agremiações, desde que uma pré-apresentação (“checagem de som”) fosse realizada diariamente em horários diurnos. Essa vantagem se dá pelo fato de a mesa digital armazenar em um banco de dados todas as informações de níveis e timbres finais de instrumentos e vozes para cada agremiação, sem a interferência de uma em relação a outra, ou seja, havendo dez apresentações em uma noite, as configurações para cada uma delas poderão permanecer armazenadas em bancos diferentes para serem utilizadas à medida que forem solicitadas.

4. O dimensionamento da CEEI é importante para garantir a independência do evento, diminuindo bastante o risco de pane elétrica no sistema, já que foi dimensionada para trabalhar como principal fonte de energia, deixando assim a utilização da energia elétrica da rede doméstica para segundo plano.

5. O projeto ora apresentado é bastante flexível, pois o uso de seus equipamentos, de um modo geral, não se restringe apenas à utilização em eventos de grande porte, podendo ser desmembrado em vários sistemas menores para uso em eventos menores e que necessitem funcionar simultaneamente.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Projeto otimizado de um palco-estúdio móvel em uma carreta duplo eixo, com a finalidade de incentivar a cultura musical regional através do uso de espaços alternativos para shows e gravações de DVD’S e CD’S.
- Elaboração de um **Manual Técnico e Operacional de Áudio e Acústica**, com linguagem simplificada para dar apoio aos técnicos e operadores de sistemas de sonorização e audiófilos.

- Projeto de sistemas fixos de sonorização para os principais estádios de futebol e ginásios poliesportivos do Estado do Pará.
- Projeto de sistemas de sonorização ambiente para espaços fechados e com graves problemas de inteligibilidade.
- Dissertação sobre a história e evolução dos sistemas de som de aparelhagens de Belém-PA, acompanhado de um projeto completo para um novo modelo otimizado dos referidos sistemas.

7.3 BIBLIOGRAFIA

BALLOU, Glen. Handbook for sound engineers. Boston: focal Press, 2002

MEHTA, Madan; JOHNSON, James; ROCAFORT, Jorge. Architectural Acoustics: Principles and Designs. New Jersey: Merrill Prentice Hall, 1999.

GERGES, Samyr. Ruído, Fundamentos e controle. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.

CYSNE, Luiz. Áudio: Engenharia e Sistemas. Rio de Janeiro: Livraria Editora técnica, 4ª Edição 1997.

HALLIDAY, RESNICK, WALKER. Fundamentos de Física. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 6ª Edição 2002.

BONJORNO & CLINTON. *Física fundamental* -- Novo: volume único, 2º Grau. São Paulo: FTD, 2002.

U.S. NAVY BUREAU OF NAVAL PERSONNEL TRAINING PUBLICATIONS DIVISION. Basic Electricity: Hemus, Distribuidora e Editora S.A 2002

SELENIUM. Disponível em <http://www.selenium.com.br>

STUDIO R. Disponível em <http://www.studior.com.br>

BRAVOX. Disponível em <http://www.bravox.com.br>

SHURE. Disponível em <http://www.shure.com>

C.A. BERTULANI. Disponível em [http:// www.if.ufrj.br](http://www.if.ufrj.br)

MIGUEL RATTON. Disponível em <http://www.music-center.com.br>

ROMEU GOMES. Disponível em <http://www.highpowersomeluz.com.br>

JOÃO AFONSO ABEL JANKOVITZ. Disponível em <http://www.abel-acustica.com.br>

ACÚSTICA. Disponível em <http://www.fisica.hpg.ig.com.br>