

## Capítulo 1 – Sistemas de Energia

Os sistemas de energia muitas vezes não recebem a merecida atenção, este fato faz com que apareçam muitos problemas no sistema de áudio em função do descaso com a energia que é a base para o bom funcionamento dos equipamentos eletrônicos em geral.

### 1.1- Geração da Energia Elétrica

A energia elétrica que geramos é uma transformação da energia que está presente na natureza: no calor do sol, nas quedas de água, nos ventos, no calor do vapor, etc., ou seja, já está criada. O fato é que transformamos a energia já existente em outra forma de energia mais adequada a nossa utilização. A partir disto podemos exemplificar algumas formas de transformação:

- Fissão do urânio radioativo obtendo energia elétrica (usinas nucleares);
- Queima do óleo obtendo eletricidade (usinas termoeletricas);
- Energia mecânica das quedas de água transformada em energia elétrica (usinas hidroelétricas). Esta é a forma mais utilizada no Brasil.

As formas citadas anteriormente geram energia elétrica na forma de uma corrente elétrica alternada e trifásica, e com tensão também alternada e trifásica. A frequência na maior parte dos casos é de 60Hz (ciclos/segundo), porém alguns países ou regiões adotam a frequência de 50Hz.

A forma de onda gerada é senoidal e possui geralmente tensão eficaz de 127 ou 220 Volts, porém em alguns locais podemos ter variações de valores iguais a 110V, 115V, 120V, 127V, 220V ou 230V.

### 1.2- Fator de Potência

Quando a energia elétrica é gerada na usina a fase da tensão e da corrente são iguais, ou seja, a tensão e a corrente estão em fase (sobrepostas). Veja a figura 1 que ilustra esta situação.

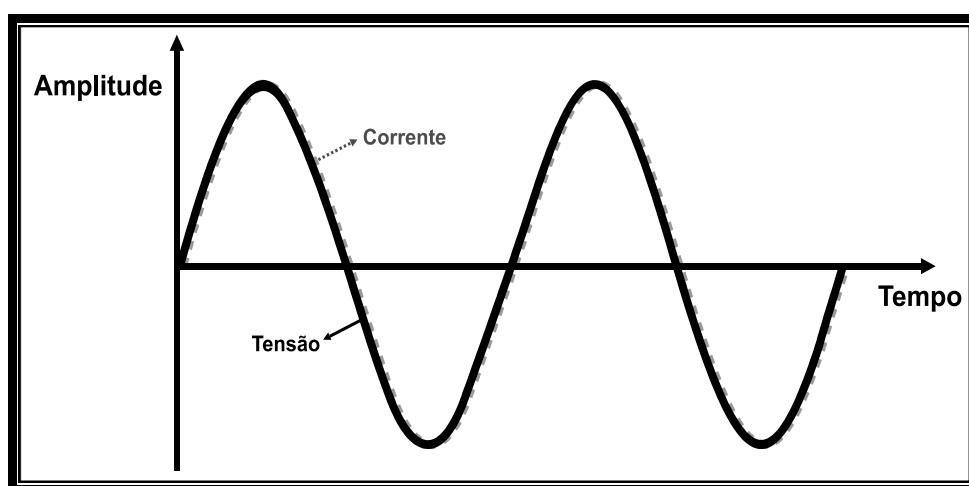


Figura 1 – Tensão e Corrente em Fase na Geração

Observe na figura 1 que as ondas de tensão e corrente na forma senoidal, geradas na usina, estão em fase. Pois bem, a partir disto cargas conectadas à rede elétrica, principalmente as indutivas, como motores elétricos, fazem com que a onda de corrente se atrase em relação à onda de tensão. Se aplicarmos um certo valor de tensão de corrente contínua em um capacitor, observa-se que o mesmo leva um certo tempo para carregar-se e atingir o máximo valor da tensão entre seus terminais, já a

corrente tem altos valores logo no início, decrescendo à medida que o capacitor carrega-se e tornando-se nula no final. Este fato nos faz perceber porque a corrente não se encontra em fase com a tensão em um capacitor. No indutor o processo é semelhante, porém, com as propriedades inversas.

A figura 2 ilustra esta situação.

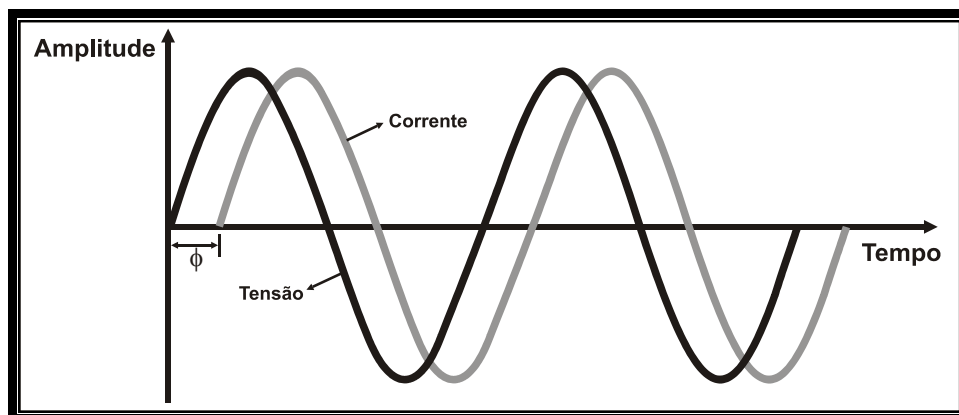


Figura 2 – Tensão e Corrente Defasadas

A defasagem entre tensão e corrente pode ser medida através do ângulo “ $\phi$ ”, sendo que o cosseno deste ângulo nos fornece o fator de potência, assim:

$$0 < \cos \phi = \text{fator de potência} < 1$$

O fator de potência possui valor igual a um quando a tensão está em fase com a corrente. O valor começa a diminuir de um quando a corrente começa a se atrasar em relação à tensão, e este tenderá a zero se a defasagem chegar aos 90°. Através do triângulo das potências podemos definir a equação para cálculo do fator de potência.

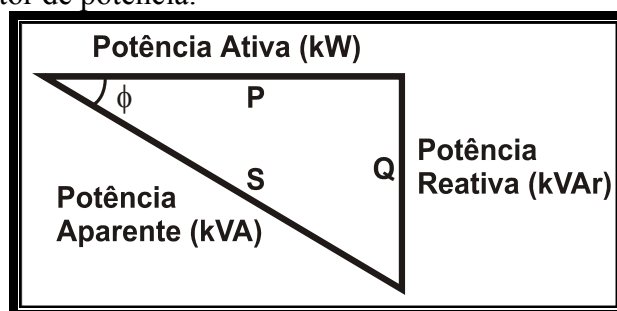


Figura 3 – Triângulo das Potências

O fator de potência pode ser definido como a relação entre a potência ativa e a potência aparente consumida por um equipamento, independentemente da forma de onda apresentada. Porém, os sinais que variam no tempo devem ser periódicos e de mesma frequência.

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int V_i(t) \times i_i(t) \times dt}{V_{RMS} \times I_{RMS}} \quad [1]$$

Para ondas de tensão e corrente senoidais temos:

$$FP_{SENO} = \frac{kW}{kVA} = \cos \left( \arctg \left( \frac{kVAr}{kW} \right) \right) = \cos \phi \quad [2]$$

onde :

$FP \Rightarrow$  fator de potência;

$kW \Rightarrow$  potência ativa;

$kVA \Rightarrow$  potência aparente.

O que podemos avaliar com o fator de potência é que quanto mais defasadas estiverem a tensão e a corrente, menor será o valor do fator. Com isso, menor valor de potência ativa estaremos utilizando, ou seja, necessitamos uma potência aparente elevada, mas devolvemos boa parte desta em forma de energia reativa. Salientamos que esta situação pode ser crítica em instalações industriais com muitos motores.

### 1.3- Configurações de Rede Elétrica

Quem já não viu ou escutou o seguinte: rede elétrica em 220V ou 380V. Pois bem, vamos esclarecer o que significa a rede elétrica entregue pela concessionária estar em 220V ou 380V. A situação de 220V ou 380V indica a diferença de potencial que temos entre as fases R, S e T.

#### 1.3.1 - Vivo, Neutro e Terra

O “Vivo” é o condutor que carrega a corrente elétrica até o equipamento, ou seja, é o condutor “carregado”. O Neutro é o condutor que proporciona o “retorno” da corrente elétrica, sendo que este, como o condutor vivo, é fornecido pela concessionária de energia. Na teoria o condutor neutro deve ter potencial elétrico igual a zero volt, porém pelo motivo de desbalanceamento de carga entre as fases este pode apresentar potenciais diferentes de zero. O desbalanceamento entre as fases é ocasionado por setores com necessidade de diferentes quantidades de consumo de potência ligados em um mesmo sistema de distribuição. A diferença de demanda entre os setores pode fazer com que o neutro varie o seu potencial, que chamamos de flutuação.

O condutor terra é aquele que utilizamos para interligar a carcaça e o ponto de terra central do equipamento à haste de terra. Em situações normais não deve possuir corrente elétrica circulante. Quando há corrente circulando no condutor de terra, normalmente trata-se de corrente transitória, que está sendo desviada de uma descarga atmosférica para o terra, por exemplo.

#### 1.3.2- Rede em 220V

Quando a rede elétrica está na configuração de 220V teremos uma diferença de potencial entre fases de 220V (chamada de tensão de linha – configuração em “triângulo”) e entre neutro e fase de 127V (chamada de tensão de fase – configuração em “estrela”). A figura 4 exemplifica esta configuração.

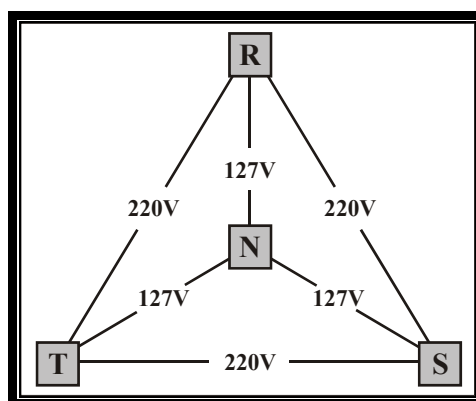


Figura 4 – Rede Elétrica em Configuração 220V

Observe na figura 4 que podemos ter 220V entre fases, constituindo assim uma configuração em triângulo ou podemos ter 127V entre fase e neutro, o que nos fornece a configuração em estrela. A rede elétrica possui configuração em 220V ou 380V dependendo da localidade, concessionária, etc...

Uma questão que você deve estar se perguntando agora é a seguinte: se tivermos uma diferença de potencial entre fase e neutro de 127V, por que a diferença de potencial entre fases não é o dobro desta? A resposta é que as fases de um sistema de energia trifásico estão defasadas em 120°, o que faz

a diferença de potencial entre duas fases de uma rede elétrica em configuração 127V ser de 220V e não de 254V que seria o dobro de 127V. A figura 5 ajudará a entender melhor esta situação.

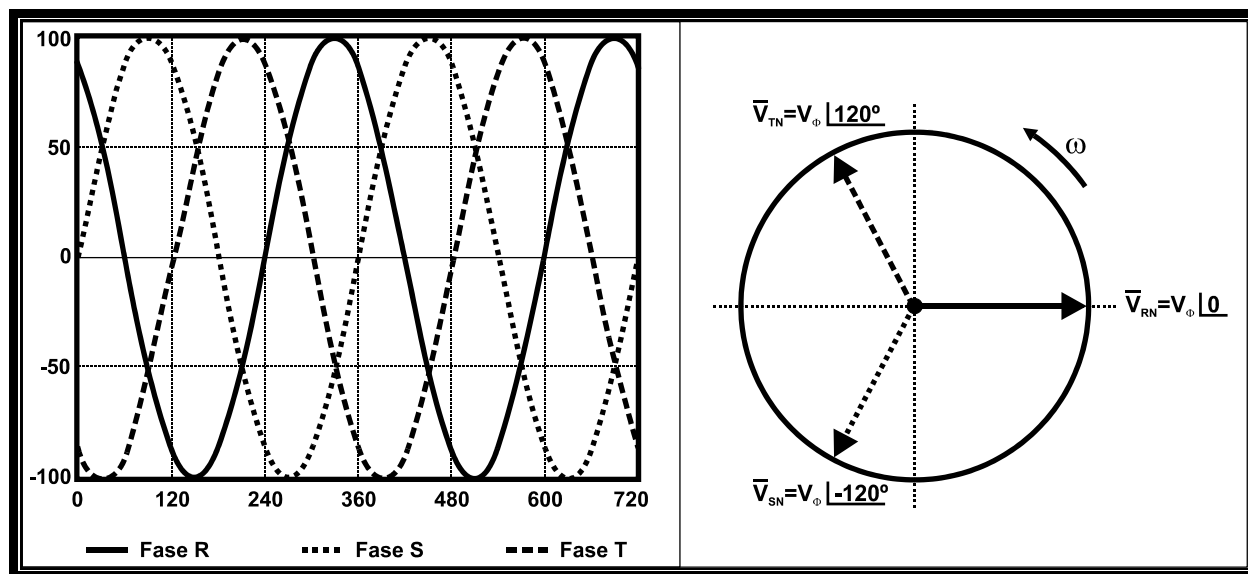


Figura 5 – Fases da Rede Trifásica

Observe na figura 5 que as fases possuem uma defasagem de  $120^\circ$  entre elas. Por este motivo quando trabalhamos com a diferença de potencial entre fase e neutro temos 127V (na configuração de rede 220V) e quando trabalhamos com diferença de potencial entre fases temos 220V e não 254V como num primeiro momento seria esperado. Para um sistema trifásico simétrico a relação entre tensão de linha e tensão de fase é dada conforme a figura 6.

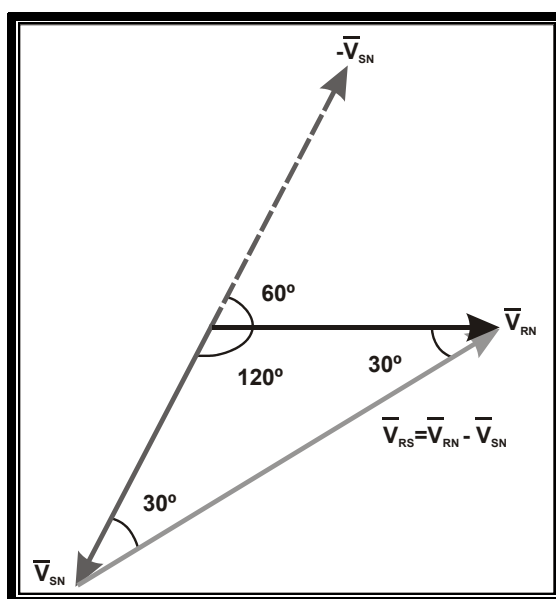


Figura 6 – Relação entre Tensão de Linha e Tensão de Fase Rede Trifásica Simétrica

Analisando a figura 6 temos:

$$V_L = |\vec{V}_{RS}| = 2 \times |\vec{V}_{RN}| \times \cos 30^\circ$$

$$V_L = \sqrt{3} \times \vec{V}_{RN} = \sqrt{3} \times V_\Phi \quad [3]$$

onde :

$V_L \Rightarrow$  tensão de linha;

$V_\Phi \Rightarrow$  tensão de fase.

As tensões no sistema trifásico são especificadas da seguinte forma:

#### Tensões de Fase ( $\Phi$ )

$$\bar{V}_{RN} = V_{\Phi}$$

$$\bar{V}_{SN} = V_{\Phi}$$

$$\bar{V}_{TN} = V_{\Phi}$$

ou

$$|\bar{V}_{RN}| = |\bar{V}_{SN}| = |\bar{V}_{TN}| = V_{\Phi}$$

#### Tensões de Linha (L)

$$\bar{V}_{RS} = \sqrt{3} \times V_{\Phi} \Rightarrow \bar{V}_{SR} = \sqrt{3} \times V_{\Phi}$$

$$\bar{V}_{ST} = \sqrt{3} \times V_{\Phi} \Rightarrow \bar{V}_{TS} = \sqrt{3} \times V_{\Phi}$$

$$\bar{V}_{TR} = \sqrt{3} \times V_{\Phi} \Rightarrow \bar{V}_{RT} = \sqrt{3} \times V_{\Phi}$$

ou

$$|\bar{V}_{RS}| = |\bar{V}_{ST}| = |\bar{V}_{TR}| = \sqrt{3} \times V_{\Phi}$$

Através da equação 3 podemos entender como a tensão de linha tem valor de 220V e não 254V em uma configuração de rede de 220V. Observe:

$$V_L = \sqrt{3} \times V_{\Phi} \Rightarrow 1,73250800757 \times 127V \cong 220V$$

### 1.3.3- Rede em 380V

Quando a rede elétrica estiver na configuração de 380V teremos uma diferença de potencial entre fases de 380V (chamada de tensão de linha – configuração em “triângulo”) e entre neutro e fase de 220V (chamada de tensão de fase – configuração em “estrela”). A figura 7 exemplifica esta configuração.

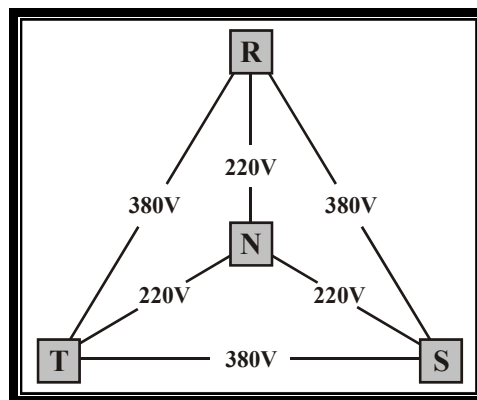


Figura 7 – Rede Elétrica em Configuração 380V

Na figura 7 podemos ter tensão de 380V entre fases, constituindo assim uma configuração em triângulo ou podemos ter 220V entre fase e neutro, o que nos fornece a configuração em estrela. Novamente temos a relação de raiz de três entre a tensão de fase e a tensão de linha, pois as fases estão defasadas entre si em 120°. Este fato faz com que as tensões de linha sejam de 380V e não de 440V, que seria o dobro de 220V. Observe:

$$V_L = \sqrt{3} \times V_{\Phi} \Rightarrow 1,73250800757 \times 220V \cong 380V$$

### 1.4- Configurações da Rede Elétrica em Sistemas de Áudio

Em sistemas de áudio temos uma enorme variedade de equipamentos que utilizam energia elétrica em voltagem 110V-127V ou 220V-240V. Dessa maneira, há a necessidade de utilizarmos uma ligação de energia conforme a configuração que estiver a rede elétrica que está sendo fornecida de companhia distribuidora.

#### 1.4.1- Configuração 220V

Como já vimos no item 1.3.2 quando a rede elétrica estiver em configuração de 220V temos diferença de potencial de 220V entre fases e 127V entre fase e neutro. Neste caso para alimentarmos

os equipamentos que necessitam de tensão em 110V-127V utilizamos a tensão de fase, ou seja, entre fase e neutro. Para os equipamentos que necessitam tensão em 220V utilizaremos a tensão de linha, de fase para fase. A figura 8 exemplifica esta situação.

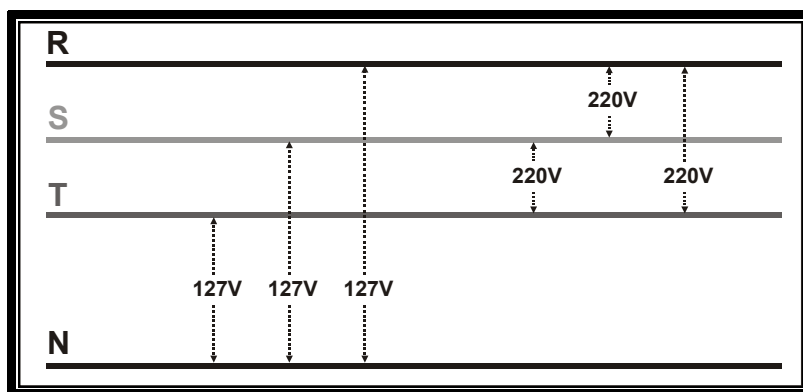


Figura 8 – Tensões 127V e 220V em Configuração de Rede 220V

Na figura 8 temos as linhas de fase (R, S e T) e a linha de neutro (N), observe que os equipamentos que necessitam de tensão entre 110V e 127V deverão ser ligados entre uma das fases e o neutro (entre R e N, S e N ou T e N). Já os equipamentos que precisam de tensão de 220V devem ser ligados entre as fases (entre R e S, S e T ou T e R).

#### 1.4.2- Configuração 380V

Conforme seção 1.3.3 quando a rede elétrica estiver em configuração de 380V temos diferença de potencial de 380V entre fases e 220V entre fase e neutro. Agora para alimentarmos os equipamentos que necessitam de tensão em 110V-127V há a necessidade de utilizarmos um transformador abaixador de tensão de 220V para 127V, ou seja, seu primário será conectado entre uma das fases e o neutro, e no seu secundário teremos a tensão de 127V. Para os equipamentos que necessitam tensão em 220V utilizaremos a tensão de fase, entre fase e neutro. As tensões de linha, entre fases, as quais proporcionam 380V, não são utilizadas nestes casos (não utilizado principalmente em função do fator de isolamento). A figura 9 exemplifica esta situação.

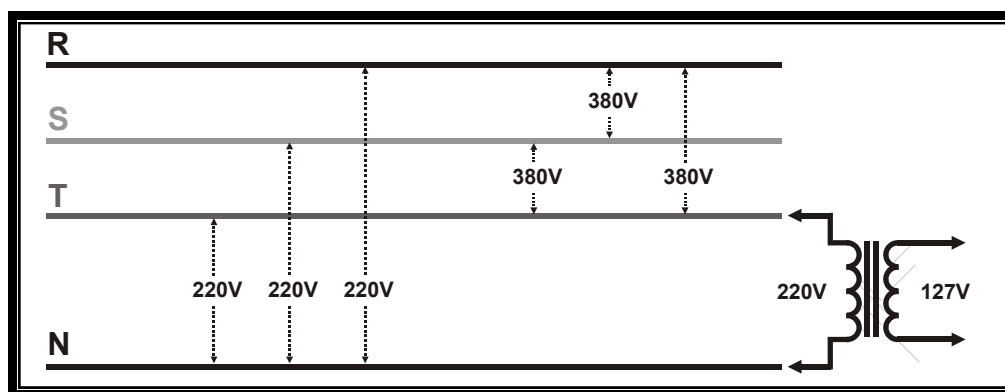


Figura 9 – Tensões 127V e 220V em Configuração de Rede 380V

Observe na figura 9 que as tensões de fase possuem uma diferença de potencial de 220V, portanto, entre fase e neutro alimentaremos os equipamentos que utilizam tensões de 220V. Os equipamentos que necessitam de alimentação de tensão de 127V utilizarão o transformador abaixador de tensão de 220V para 127V.

É importante também salientar que é muito comum a utilização do transformador abaixador de tensão mesmo quando utilizada a configuração de rede 220V, onde o primário do transformador é conectado entre duas fases. A utilização deste transformador proporciona isolamento elétrico entre a rede e as cargas que serão alimentadas com tensão 110-127V.

## 1.5- Perda de Neutro

A perda do neutro pode ocorrer por vários motivos, mas podemos dizer que esta perda acontece quando o neutro for interrompido ou deixar de existir no quadro geral de entrada de energia elétrica de uma residência, edifício, indústria, sistema de áudio, etc. Mais freqüentemente, ocorrem maus contatos, os quais provocam interrupção e ligamento da corrente muitas vezes em espaços de tempo muito curtos. Salientamos que ligações mal feitas, por motivo da corrosão com o passar do tempo, podem também proporcionar a perda de neutro.

Em princípio, podemos dizer que a perda do neutro não traz nenhum problema, provocando apenas uma descontinuidade no fornecimento de energia. Porém, em algumas configurações de ligação pode haver problemas indesejados e danosos.

Quando estivermos operando em uma configuração de rede de 220V com um sistema alimentado por duas fases e um neutro, (equipamentos utilizados requerem alimentação de 127V) vamos supor que um equipamento esteja conectado em uma das fases e no neutro e o outro equipamento esteja conectado na outra fase e no neutro. Esta situação é ilustrada na figura 10.

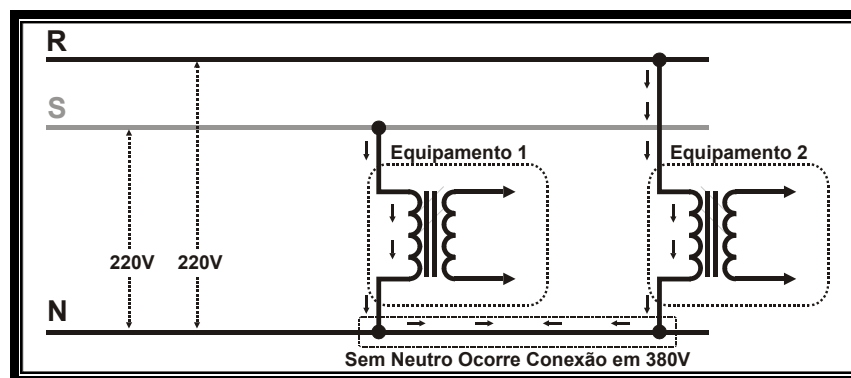


Figura 10 – Perda do Neutro

Na figura 10 podemos observar que se houver uma perda do condutor neutro, o equipamento 1 e o equipamento 2 ficarão ligados em série em uma diferença de potencial de 380V, já que estarão conectados entre as fases R e S em configuração 380V. Este fato é que pode trazer grandes danos aos equipamentos, inclusive a queima. Um exemplo mais claro desta situação pode ser dado com dois equipamentos comumente utilizados em sistemas de áudio.

Vamos supor que um processador de efeitos que opera com tensão de 110V até 127V está ligado entre a fase R e o neutro de uma rede elétrica em configuração 220V consumindo uma potência máxima de 50 Watts. Entre a fase S e o neutro está ligada uma console também operando em 127V, mas consumindo uma potência máxima de 1000 Watts. Primeiramente vamos calcular a impedância de cada equipamento a partir da tensão e potência utilizada, sem a preocupação se são cargas indutivas ou capacitivas.

*Impedância do Processador*

$$Z = \frac{V^2}{P} \Rightarrow Z = \frac{127^2}{50} = 332,58\Omega$$

*Impedância da Console*

$$Z = \frac{127^2}{1000} = 16,129\Omega$$

O esquema correspondente a esta ligação é dado pela figura 11.

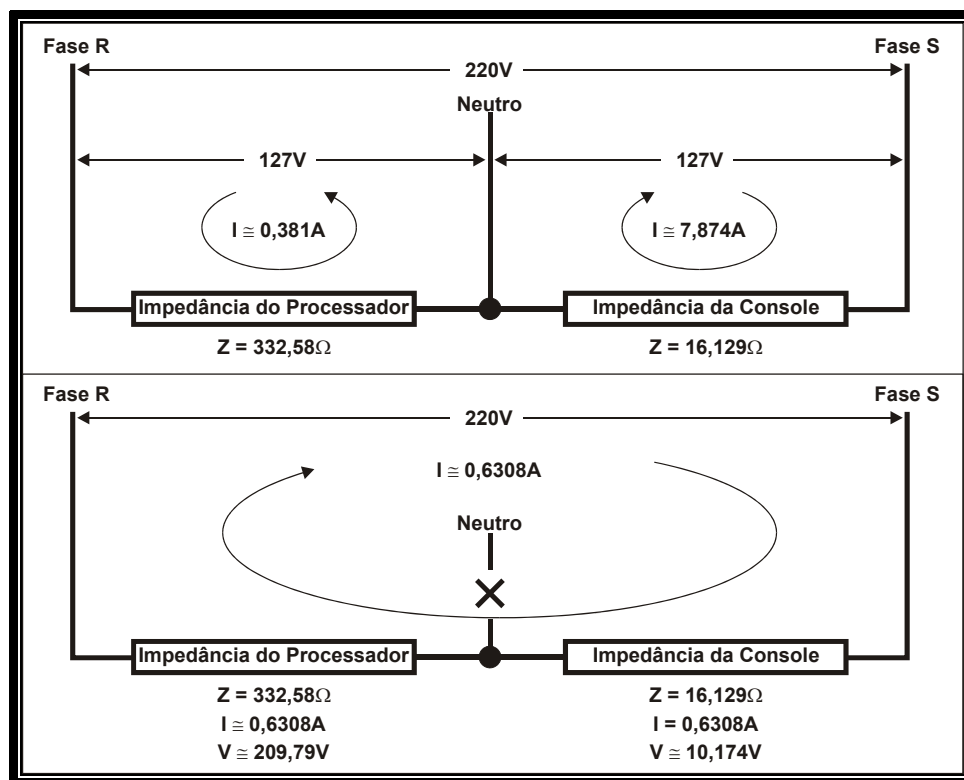


Figura 11 – Esquema de Exemplo da Perda do Neutro

Através do exemplo ilustrado na figura 11 podemos entender que se houver uma perda do neutro, na console provavelmente não teremos nenhum problema, já que a tensão em cima desta será pequena. No processador o caso é bem mais complicado, pois a tensão em cima deste será de um valor bem mais elevado em relação à tensão que o equipamento pode suportar, este fato pode provocar muitos danos, inclusive a sua queima. Pois bem, devemos então tomar bastante cuidado principalmente quando estivermos trabalhando com uma configuração que utilize o neutro e mais de uma fase, pois este não pode sofrer corte em hipótese alguma, sob pena de grandes danos ao sistema de áudio.

## Capítulo 2 – Aterramento em Sistemas de Áudio

O assunto aterramento elétrico se traduz na maioria das vezes em grande número de dúvidas quanto às normas e procedimentos para realização de um sistema de aterramento que funcione de maneira satisfatória. Neste contexto devemos salientar que muitas vezes pelo desconhecimento das técnicas adequadas para a realização do aterramento, em vez de proteção ocorre sim a queima do equipamento e também choques elétricos nos operadores dos mesmos. Para apresentarmos as técnicas básicas de construção de um aterramento devemos primeiramente entender o que é o “terra” e qual a diferença entre terra, neutro e vivo. Claro que o assunto aterramento é muito vasto e várias literaturas podem ser encontradas, porém os aspectos e regras básicas caminham na mesma direção.

### 2.2- Principais Funções do Aterramento

- Proteger o usuário do equipamento das descargas atmosféricas ou provenientes de falha de componentes, viabilizando um caminho alternativo para conduzir tais energias a terra;
- Promover a descarga de energias estáticas acumuladas nas carcaças dos equipamentos para a terra.

### 2.3- Tipos de Aterramento Mais Utilizados

O campo de instalações de baixa tensão é regido pela NBR 5410/2004. Esta norma determina os tipos de aterramento que podem ser utilizados.

Para classificar os esquemas de aterramento é utilizada a seguinte simbologia:

A primeira letra representa a situação da alimentação em relação a terra.

- T = um ponto diretamente aterrado.
- I = isolamento de todas as partes vivas em relação a terra ou aterramento de um ponto através de uma impedância.

A segunda letra representa a situação das massas da instalação elétrica em relação a terra.

- T = massas diretamente aterradas, independente do aterramento eventual de um ponto da alimentação.
- N = massas ligadas diretamente ao ponto da alimentação aterrado (em CA o ponto aterrado é normalmente o neutro).

Outras letras indicam a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção.

- S = funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos.
- C = funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

## Principais Sistemas:

- **Sistema TT**

Um ponto (geralmente o centro da estrela em um sistema de BT ligado em estrela) da fonte é conectado diretamente a terra. Todas as partes metálicas expostas e todas as partes metálicas estranhas à instalação são ligadas a um eletrodo de terra separado na instalação.

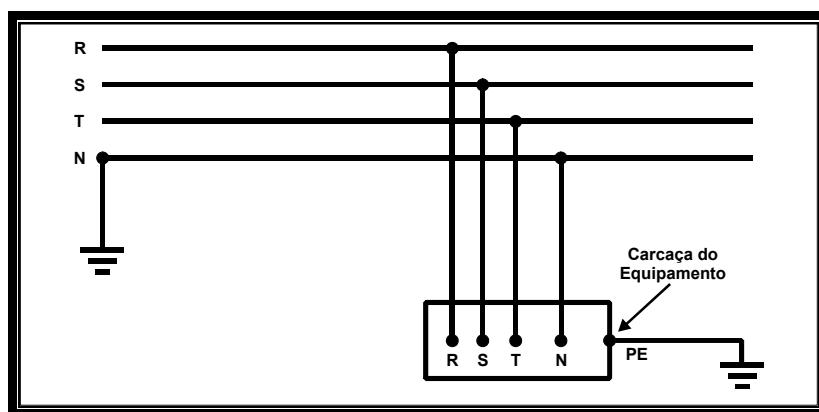


Figura 12 – Sistema de Aterramento TT

- **Sistema TN**

Como no sistema TT a fonte também é aterrada diretamente. Todas as partes metálicas expostas e todas as partes metálicas não pertencentes à instalação são ligadas ao condutor neutro. No sistema TN podemos ter as seguintes variações:

1. **TN-C** – O condutor neutro é utilizado também como condutor de proteção e designado como PEN (condutor de proteção e neutro). **Obs:** Este sistema não é permitido para condutores de seção inferior a  $10\text{mm}^2$  e para equipamentos portáteis.

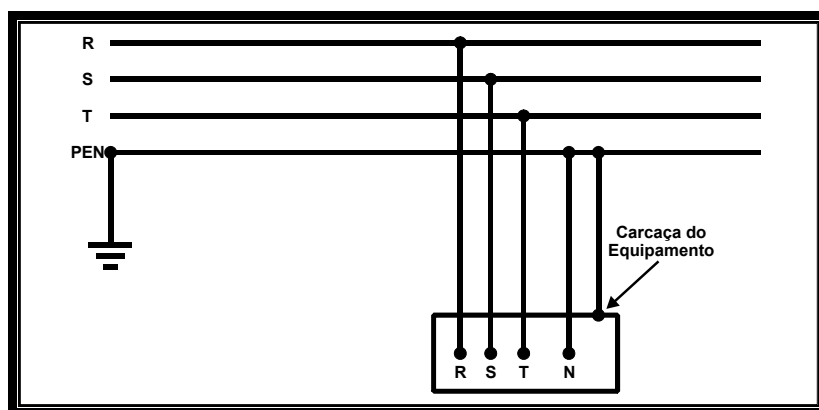


Figura 13 – Sistema de Aterramento TN-C

2. **TN-S** – Neste sistema TN-S há uma ligação em Y, dessa forma o neutro é aterrado logo na entrada e posteriormente levado até a carga. Em paralelo ao condutor neutro, temos o condutor terra (PE) que está conectado à carcaça (massa) do equipamento. Em sistemas com cabo enterrado onde exista uma capa de proteção de chumbo, o condutor de proteção é geralmente a capa de chumbo. A utilização de condutores separados N e PE (cinco fios) é obrigatória para circuitos com seção inferior a  $10\text{mm}^2$  para cobre e  $16\text{mm}^2$  para alumínio e em equipamentos móveis.

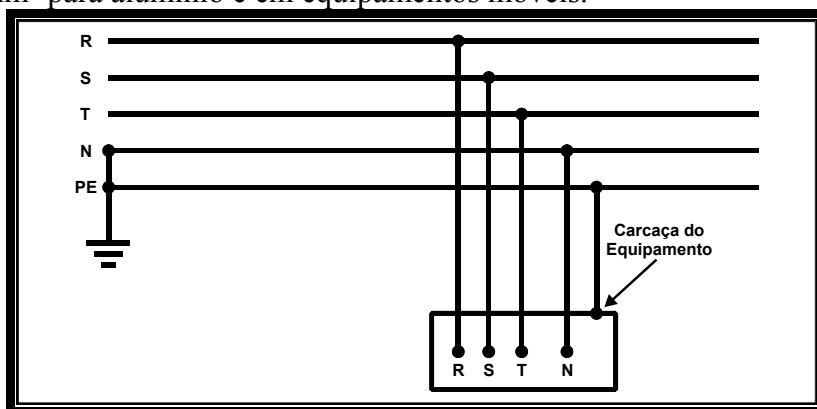


Figura 14 – Sistema de Aterramento TN-S

3. **TN-C-S** – No sistema TN-C-S o ponto em que o condutor PE se separa do condutor PEN é geralmente na origem do sistema.

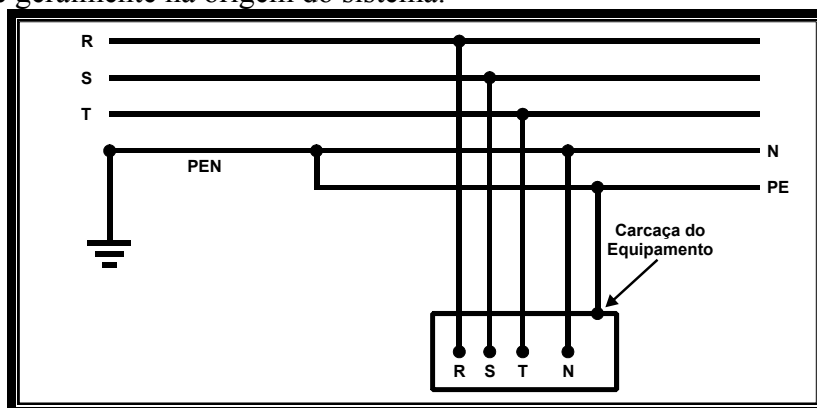


Figura 15 – Sistema de Aterramento TN-C-S

- **Sistema IT**

Sistema IT com neutro aterrado por impedância. Normalmente utiliza-se uma impedância na ordem de 1000 a 2000 Ohms entre o neutro do enrolamento de baixa tensão (BT) do transformador e a terra. As razões para utilização desta forma de aterramento são: fixar o potencial de uma pequena rede em relação a terra e reduzir o nível de sobretensões, tais como surtos em relação a terra transmitidos pelos enrolamentos de alta tensão, cargas estáticas, etc. Todas as partes condutoras expostas e estranhas à instalação são ligadas a um eletrodo de terra.

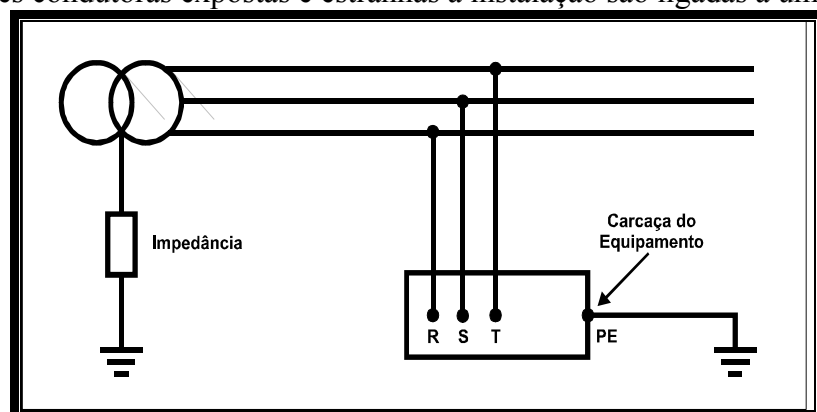


Figura 16 – Sistema de Aterramento IT

## 2.4- Procedimentos Básicos para Implementação do Aterramento

O dimensionamento de um aterramento envolve muitas variáveis e os cálculos são bastante complexos, assim queremos apresentar apenas dicas práticas que podem ajudar muito no seu dia-a-dia. A resistência de um aterramento pode variar em função de muitos fatores, dentre eles podemos destacar:

- resistividade e tipo de solo;
- geometria e constituição da haste de aterramento;
- formato em que as hastes são distribuídas.

### Como dicas práticas temos:

- 1) A haste de aterramento geralmente é feita de uma alma de aço com revestimento em cobre. O comprimento desta pode variar de 1,0 a 3,0 metros, porém as hastes com 2,0 metros são as mais utilizadas por motivo de diminuir o risco de atingirem dutos subterrâneos quando são instaladas. Lembramos que outros materiais também podem ser utilizados.
- 2) Dependendo da química do solo (salinidade, quantidade de água, alcalinidade, etc.) pode ocorrer a necessidade de utilização de mais de uma haste para alcançar valores próximos aos desejados para um bom aterramento. Quando ocorrer este tipo de situação (resistência muito alta), temos duas possibilidades a analisar: agrupamento de barras (muitas vezes não resolve) ou tratamento químico do solo (processo bem mais complicado).

- Agrupamento de Barras

No agrupamento de barras temos duas regras importantes, uma é a formação de polígonos no agrupamento e a outra manter sempre a mesma distância entre as barras, sendo essa distância o mais próximo possível do comprimento de uma barra. A figura 17 ilustra estas dicas práticas.

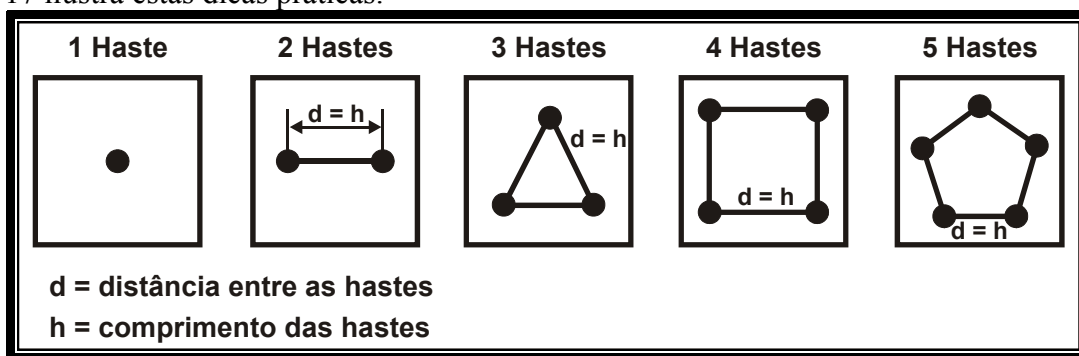


Figura 17 – Agrupamento de Hastes

- Tratamento Químico do Solo

Em muitos casos o aumento do número de barras não consegue reduzir significativamente a resistência do aterramento e nestes casos a solução é o tratamento químico do solo. A grande desvantagem do tratamento do solo é que com o tempo a terra absorve os elementos adicionais e a resistência volta a aumentar. No caso de tratamento, existem vários produtos que podem ser utilizados antes ou depois da colocação das hastes para ocasionar uma diminuição da resistividade do solo. Dentre eles destacamos a “Bentonita e o Gel” que são os mais utilizados atualmente. Uma questão importante é que qualquer produto que venha a ser utilizado para esta finalidade deve possuir as seguintes características:

- não ser tóxico;
- deve reter a umidade;
- ser bom condutor elétrico;
- ter pH alcalino (não corrosivo);
- não deve ser solúvel em água.

Neste contexto temos uma questão importante a ressaltar. Para instalações de baixa tensão, a utilização do tratamento químico do solo para equipamentos que são instalados em locais de acesso público é proibida por norma, isto em virtude da segurança das pessoas nos referidos locais. Exemplo de locais que se encaixam nesta situação são: colunas de semáforos, cabines telefônicas, controladores de tráfego, etc...

## 2.5- Procedimentos Básicos para Medição do Aterramento

A medição clássica da resistência do aterramento é feita com o instrumento chamado “terrômetro”, o qual possui duas hastes de referência que funcionam como divisores resistivos. O seu funcionamento dá-se através da injeção de uma corrente na terra, onde esta corrente é transformada em quedas de tensão pelos resistores formados pelas hastes de referência e pela própria haste de terra. Observe a figura 18 que ilustra um básico sobre o funcionamento deste instrumento.

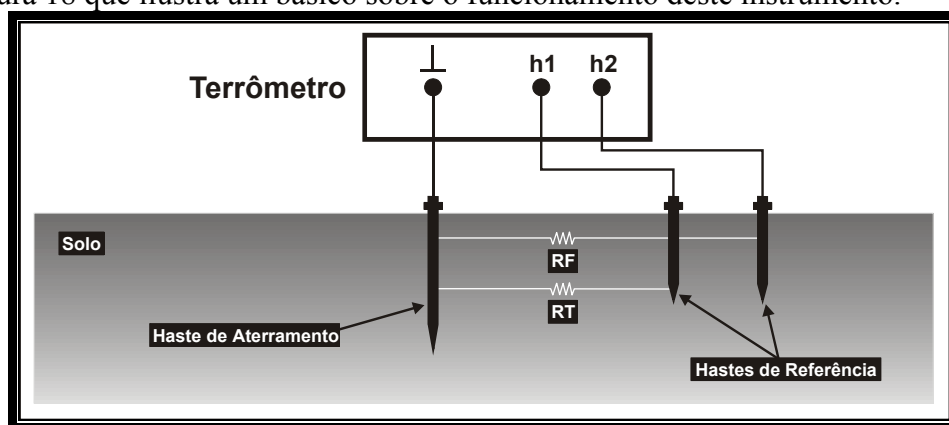


Figura 18 – Terrômetro Básico

Através da queda de tensão o instrumento possui uma calibração para fornecer no mostrador o valor ôhmico de resistência do aterramento. O fato de precisar colocar as duas hastes de referência para executar a medição torna este processo difícil em muitos casos, pois imaginem um local que possui uma haste de terra para ser medida, mas que no mesmo local há um piso em concreto ou outro material qualquer, quebrar o piso para colocar as outras duas barras pode não ser um processo muito fácil. Por outro lado somente assim conseguiremos executar uma medida com precisão, e caso haja essa necessidade, não há outra solução.

Outro equipamento muito utilizado para medição de resistividade do solo e de resistência da malha de terra chama-se “telurímetro”, este também é conhecido como “Megger” pelo fato das primeiras unidades terem sido fabricadas pela empresa Megger.

Uma forma prática simples de verificação do estado do aterramento é a utilização de uma lâmpada elétrica comum que tenhamos um bom conhecimento sobre o seu brilho. Conectamos um de seus pólos em uma fase qualquer e o outro pólo na haste do aterramento a ser analisado. Quanto mais próximo do brilho normal estiver a lâmpada mais baixa é a resistência do aterramento. Porém, ressaltamos que não é uma medida precisa em hipótese alguma, ou seja, é apenas uma forma simplificada que dependendo da situação podem ser suficiente.

## 2.6- Problemas Gerados por Mau Aterramento

Os problemas gerados por um aterramento que tenha o seu funcionamento deficitário podem ir bem além das questões de segurança como grande parte dos usuários acredita. Claro que os principais efeitos do mau aterramento são os choques elétricos ao operador e a resposta muito lenta ou muitas vezes até ausente dos dispositivos de proteção do equipamento, como fusíveis, disjuntores, etc. Normalmente, problemas operacionais podem ocorrer quando o aterramento está deficiente. Dentre eles podemos destacar:

- quebra de comunicação entre a máquina (CNC, CPL, etc.) e o computador, principalmente quando utilizado o protocolo de comunicação RS 232;

- excesso de interferências eletromagnéticas (EMI);
- excesso de aquecimento em etapas de potência de conversores, inversores, motorização, etc.;
- falhas intermitentes sem seguir um padrão;
- queima de circuitos integrados ou placas eletrônicas sem razão aparente, mesmo quando em situações onde elas são novas e muito confiáveis;
- equipamentos que possuem monitores de vídeo interferências geradas na imagem e ondulações podem ocorrer.

## 2.7- Eletrodos de Aterramento Convencionais

A utilização dos eletrodos de aterramento convencionais deve seguir algumas regras básicas, dentre elas podemos destacar:

- o tipo e a profundidade de instalação dos eletrodos de aterramento devem ser tais que as mudanças nas condições do solo, por exemplo, secagem, não aumente a resistência do aterramento acima do valor exigido para tal instalação ou situação;
- no projeto do aterramento deve ser considerado o possível aumento da resistência de aterramento em virtude da corrosão dos eletrodos utilizados;
- a eficiência de qualquer eletrodo utilizado em um aterramento depende extremamente das condições locais do solo, por este motivo, sempre devem ser selecionados um ou mais eletrodos que sejam adequados às condições do solo em questão, e claro também ao valor de resistência de aterramento exigida para o sistema.

A tabela 1 nos apresenta os tipos de eletrodo mais utilizados em aterramentos convencionais.

**Tabela 1 – Tipos de Eletrodos Convencionais**

| <b>Tipo de Eletrodo</b>         | <b>Dimensões Mínimas</b>                                              | <b>Observações</b>                                        |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Tubo de aço zincado             | 2,40 m de comprimento e diâmetro nominal de 25 mm                     | Enterramento totalmente vertical                          |
| Perfil de aço zincado           | Cantoneira de (20mmx20mmx3mm) com 2,40 m de comprimento               | Enterramento totalmente vertical                          |
| Haste de aço zincado            | Diâmetro de 15 mm com 2,00 ou 2,40 m de comprimento                   | Enterramento totalmente vertical                          |
| Haste de aço revestida de cobre | Diâmetro de 15 mm com 2,00 ou 2,40 m de comprimento                   | Enterramento totalmente vertical                          |
| Haste de cobre                  | Diâmetro de 15 mm com 2,00 ou 2,40 m de comprimento                   | Enterramento totalmente vertical                          |
| Fita de cobre                   | 50 mm <sup>2</sup> de seção, 2 mm de espessura e 10 m de comprimento  | Profundidade mínima de 0,60m. Largura na posição vertical |
| Fita de aço galvanizado         | 100 mm <sup>2</sup> de seção, 3 mm de espessura e 10 m de comprimento | Profundidade mínima de 0,60m. Largura na posição vertical |
| Cabo de cobre                   | 50 mm <sup>2</sup> de seção e 10 m de comprimento                     | Profundidade mínima de 0,60m. Posição horizontal          |
| Cabo de aço zincado             | 95 mm <sup>2</sup> de seção e 10 m de comprimento                     | Profundidade mínima de 0,60m. Posição horizontal          |
| Cabo de aço cobreado            | 50 mm <sup>2</sup> de seção e 10 m de comprimento                     | Profundidade mínima de 0,60m. Posição horizontal          |

### 3- Micro-Choques e Macro-Choques

O choque elétrico pode ser definido como o conjunto de perturbações de natureza e efeitos diversos, que se manifestam no organismo humano ou animal, quando este é percorrido por corrente elétrica. As manifestações relativas ao choque elétrico dependendo das condições e intensidade da corrente, podem ser desde uma ligeira contração superficial até uma violenta contração muscular que pode provocar a morte.

Podemos dizer que as pessoas que trabalham com equipamentos eletro-eletrônicos estão expostas a dois tipos de risco. Um deles geralmente denomina-se de “micro-choque”, o qual é difícil de se evitar em função da própria natureza dos circuitos elétricos, porém normalmente não traz consequências sérias para as pessoas, e o outro é denominado de “macro-choque”, o qual traz riscos muito sérios para as pessoas, mas que podem ser evitados seguindo-se algumas regras (normas).

Uma questão importante é que grande parte das pessoas acredita que a causa do que denominamos de choque elétrico é uma “voltagem”, porém este fato não é verdadeiro, já que os efeitos produzidos nos humanos e animais são função direta da circulação de uma corrente elétrica através do corpo, ou seja, um fluxo de elétrons. Neste contexto podemos ter, como exemplo, uma tensão elétrica na ordem de 1000 volts não causando efeito perceptível no corpo se a capacidade de corrente da fonte for muito baixa (poucos mA).

A título de informação vamos apresentar os níveis de corrente elétrica e os possíveis efeitos causados no corpo humano.

- **0,5mA:** limiar de percepção do choque elétrico;
- **<10mA:** provoca formigamento ou até mesmo pode ser imperceptível dependendo da situação;
- **>10mA:** pode provocar fortes contrações musculares e dor, são contrações involuntárias, mas o indivíduo ainda possui uma reação consciente, pois não é forte o suficiente para gerar a perda de consciência;
- **18mA a 22mA:** muito doloroso e se trata do limiar da parada respiratória. São correntes que normalmente “agarram” o indivíduo, e este passa a ter poucas chances de agir por conta própria;
- **75mA e 400mA:** provocam fibrilação do coração e podem levar a morte. Neste caso mesmo que seja cessada a circulação da corrente elétrica, a fibrilação tenderá a se manter e com isso ocorre a necessidade de um médico com o equipamento adequado. O processo de fibrilação é uma das maiores causas das mortes ocasionadas por choques elétricos. Choques elétricos com esta ordem de corrente podem também provocar queimaduras, danos musculares e até mesmo sérios problemas psíquicos.

#### 3.1- Micro-Choques

Dois condutores, mesmo que isolados, ou duas superfícies metálicas que estejam com potenciais elétricos diferentes e em uma proximidade suficiente, fazem fluir correntes elétricas na ordem de microampères, as quais chamamos de “correntes de fuga”. Na maioria dos casos as correntes de fuga fluem através da capacitância formada por dois condutores ou superfícies metálicas adjacentes que estejam com diferentes potenciais elétricos.

Outro fator que também proporciona que a corrente elétrica flua é a baixa resistência que é oferecida por uma isolamento não eficiente, umidade ou poeira. A figura 19 exemplifica a situação das correntes de fuga.

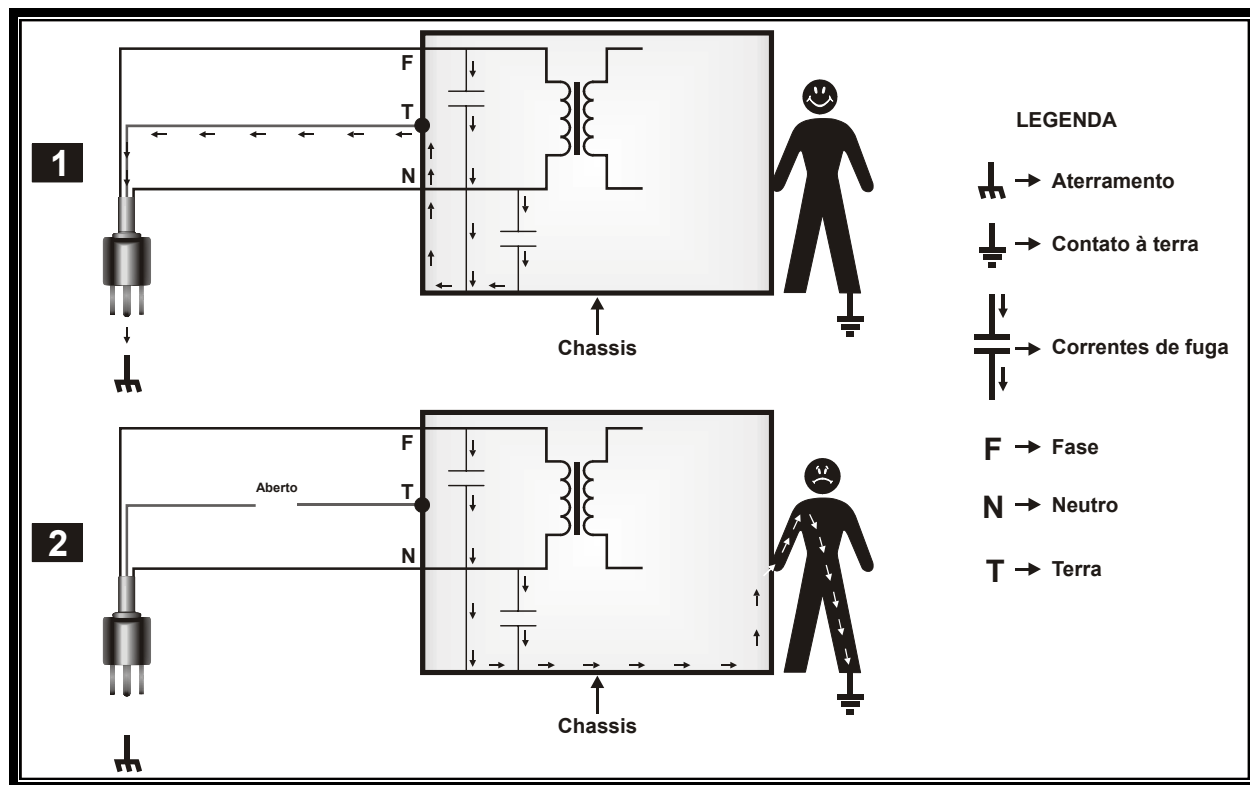


Figura 19 – Correntes de Fuga e Micro-Choques

Observe na figura 19-2 que as correntes de fuga de pequena intensidade, em sistemas sem aterramento podem oferecer risco de micro-choques para o usuário através do toque no chassi do equipamento ou em alguma parte metálica que estiver próxima o suficiente para existir a condução da corrente. Na figura 19-1 temos um sistema com aterramento correto e podemos ver que as correntes de fuga serão descarregadas pelo aterramento e não no usuário.

### 3.2- Macro-Choques

Em virtude de qualquer equipamento eletro-eletrônico ser constituído por uma grande quantidade de componentes e fios onde circulam correntes elétricas, e também por possuírem, na sua grande maioria, pelo menos alguma parte metálica (muitas vezes todo o gabinete), há sempre a possibilidade de que o usuário deste equipamento toque alguma destas partes metálicas durante a sua utilização normal. Pois bem, se tivermos alguma falha de um componente do equipamento ou da própria fiação, e que este fato possa fornecer algum potencial elétrico para tal parte metálica ou chassi inteiro o usuário passa a ter sério risco de levar um macro-choque ao tocar tal superfície se esta não estiver aterrada (potencial idealmente igual a zero).

Caso o chassi do equipamento não esteja aterrado corretamente, uma falha na isolação de um componente ou um fio desencapado, pode entregar um potencial elétrico ao chassi, o qual será transformado em corrente elétrica quando surgir qualquer possibilidade de ligação com o potencial de terra. Normalmente quem fornece esta ligação é o próprio o usuário que irá tocar no equipamento e assim levará o macro-choque. A figura 20 exemplifica duas situações, uma sem aterramento (possibilidade de macro-choque) e outra com aterramento feito corretamente.

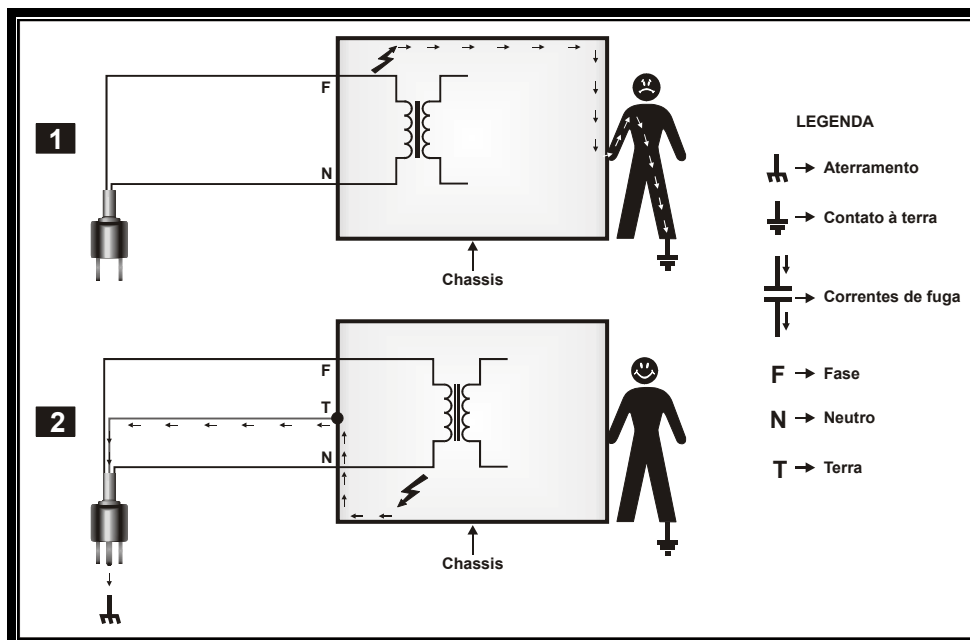


Figura 20 – Macro-Choques

Na figura 20-1 podemos observar que alguma falha em componente, fiação, etc., pode ocasionar uma presença de potencial no chassi do equipamento e este como não possui uma ligação com o terra ficará aguardando uma conexão para que a corrente possa fluir. Essa ligação por sua vez tem grande probabilidade de ser feita através do usuário no manuseio do equipamento, o que causará um macro-choque, pois agora podem não ser apenas correntes de fuga e sim altas correntes capazes de matar. Na figura 20-2 se o condutor de terra estiver bem dimensionado e oferecer uma baixa resistência pode-se evitar o choque elétrico, pois a corrente elétrica encontrará um caminho de menor resistência pelo condutor terra.

Na figura 21 apresentamos um exemplo clássico de choque elétrico que um músico leva ao tocar o microfone mesmo que esteja com seus pés isolados do chão. Neste caso a corrente elétrica irá percorrer um caminho mais complexo, mas poderá causar um macro-choque ao usuário.

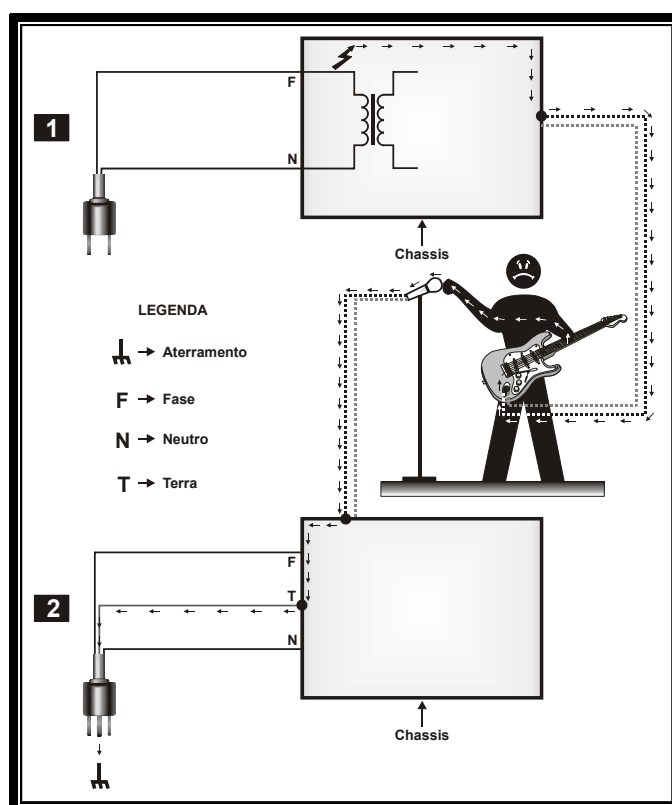


Figura 21 – Exemplo de Macro-Choque

Na figura 21 o equipamento “1” pode ser , por exemplo, um cubo de guitarra e o equipamento “2” um mixer onde esteja conectado o microfone. Como o cubo não está aterrado, qualquer problema que acontecer com este, e que possa fornecer uma diferença de potencial para sua carcaça, a corrente aguardará um contato com a terra para circular, o contato por sua vez será estabelecido pelo músico ao tocar simultaneamente nas cordas do instrumento e no microfone, e dependendo do caso este choque pode trazer sérias consequências para o usuário.

### 3.3- Aterramento e Suas Generalidades

As características e a eficácia do aterramento devem satisfazer às prescrições de segurança dos usuários e também funcionais da instalação. O valor da resistência de aterramento, por sua vez, também deverá satisfazer as condições de proteção e de funcionamento da instalação elétrica.

A seleção e instalação dos componentes de um aterramento deve atender as seguintes características principais:

- o valor da resistência do aterramento obtida não deve se modificar consideravelmente ao longo do tempo;
- resistam às solicitações térmicas, termomecânicas e eletromecânicas;
- sejam adequadamente robustos ou possuam proteção mecânica apropriada para fazer face às condições de influências externas.

### 3.4- Aspectos Gerais

Uma das primeiras coisas que devemos esclarecer é que o aterramento em um sistema de áudio qualquer se comporta como um sistema de segurança e não como um filtro para diminuir ruídos no áudio como muitos imaginam. O que podemos dizer é que quando o sistema de aterramento for mal elaborado pode aumentar excessivamente a incidência de ruídos em função da formação de laços de terra (loops de terra). Dessa maneira, podemos também perceber que ele pode ter influência direta no áudio com relação aos ruídos, claro que dependendo da forma de aterramento. Alguns casos comuns de geração de ruídos no áudio que podemos destacar são:

- quando dois equipamentos são ligados em tomadas de energia AC diferentes, porém com o terra sendo comum para ambos (chassis interligados), no momento que um cabo de sinal de áudio efetuar a interligação entre estes equipamentos o elo de terra será formado. Neste laço há uma grande susceptibilidade de captação de ruídos externos, observe a figura 22 que ilustra esta situação.

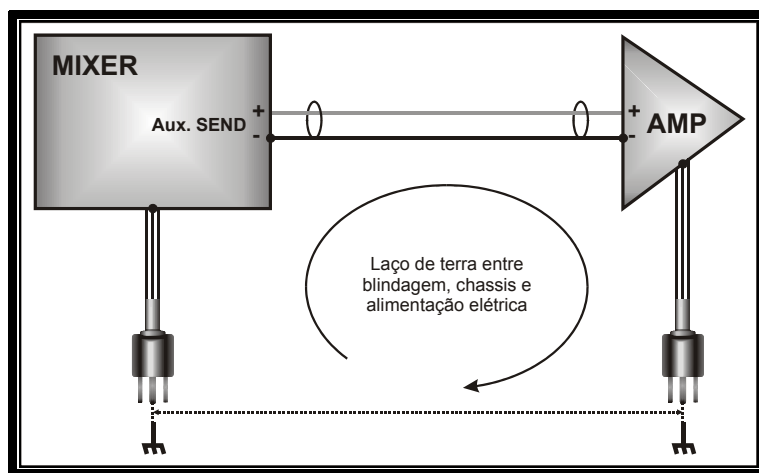


Figura 22 – Laços de Terra x Ruídos

Pela figura 22 parece óbvio que devemos levantar o terra de segurança de um dos equipamentos para eliminar o laço, porém neste caso estaremos também eliminando a proteção contra choques neste equipamento. Pois bem, a melhor solução para este problema é a

utilização de uma régua de AC comum aos dois equipamentos e fazer com que os cabos de energia fiquem o mais próximos uns dos outros. Este fato faz com que a resistência ocasionada pelo comprimento dos cabos diminua, diminuindo também o loop de terra.

- um outro caso bem comum de geração de laços de terra é a ligação de um processador de efeito ou outro processador de áudio qualquer em uma mandada com retorno. Este fato acontece porque o terra novamente é comum à console de mixagem e ao processador, assim o laço está formado. A redução dos ruídos gerados por este elo ou a extinção total pode ser feita utilizando-se cabos quanto mais curto possível. A figura 23 exemplifica esta situação.

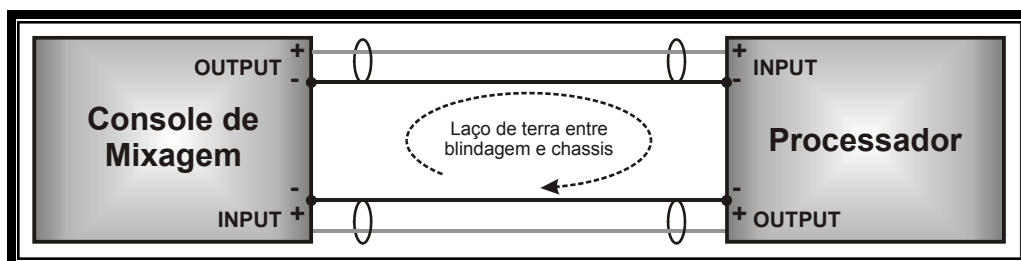


Figura 23 – Laços de Terra Entre Mixers e Processadores

Depois de termos abordado alguns dos principais motivos de geração de ruídos nos sistemas de áudio (alguns em função do aterramento incorreto) vamos destacar algumas dicas básicas para prevenção deste tipo de problema:

- manter os cabos o mais curto possível, pois dessa forma diminuimos a resistência da malha e consequentemente os laços de terra;
- manter cabos do mesmo tipo juntos e os diferentes afastados, ou seja, cabos de força afastados de cabos de microfone, cabos de sinal afastados de cabos de alto-falantes, etc. Caso não seja possível o ideal é cruzá-los em 90 graus, pois assim a possibilidade de indução de roncões no sistema por motivo da criação de elos de terra será minimizada;
- utilizar sempre cabos e conectores de boa qualidade, pois devemos lembrar que os cabos defeituosos são a causa principal de ruídos indesejados. Sempre que possível usar sistemas e linhas balanceadas, já que com isso, a maioria dos problemas com relação aos laços de terra serão resolvidos.

Um fato comumente encontrado é o conector de energia de três pinos com o terceiro pino referente ao terra arrancado ou cortado, pois quando não há uma tomada de três pinos (sem aterramento) o usuário trata de cortar o mesmo em vez de utilizar um adaptador de três pinos para dois pinos. A idéia de cortar o terceiro pino está totalmente equivocada já que os fabricantes são obrigados pela norma a utilizarem os três pinos (norma de segurança), ou seja, trata-se do aterramento do equipamento, a proteção.

### 3.5- Como Evitar Loops de Terra

Primeiramente vamos ver de forma bem clara do que se trata um loop de terra (“ground loop”). Este fato ocorre quando existe mais de um caminho de aterramento entre duas partes de um equipamento, sendo que a existência deste caminho duplo, forma o equivalente ao elo de uma antena, que por sua vez tem uma grande eficiência captando as correntes de interferência. Como os terminais sempre oferecem uma resistência, as variações de correntes de interferência captadas são transformadas em flutuações de voltagem, e dessa forma, a referência de terra no sistema passa a não ser estável, aparecendo assim o ruído no sinal.

Em certos casos mesmo pessoas especializadas e experientes podem ter dificuldades em isolar um loop de terra, pois muitas vezes em equipamentos de áudio mal projetados, os laços de terra ocorrem dentro do chassis do equipamento, mesmo este possuindo entradas e saídas balanceadas. Nestas situações, o problema é bem complexo e somente uma reavaliação do projeto for feita pode-se eliminar o problema.

Com os aspectos apresentados até este momento, lembre-se sempre que você deve evitar equipamentos de áudio profissional com conexões não balanceadas. Caso necessite utilizá-los, coloque-os quanto mais próximos uns dos outros for possível e conectados à mesma linha da rede elétrica. Lembre-se sempre que os sistemas balanceados eliminam todos ou quase todos os problemas relacionados aos loops de terra, assim um bom resultado final será bem mais facilmente alcançado. Na figura 24 exemplificamos como são feitos os aterramentos na maioria dos equipamentos profissionais na atualidade, principalmente com relação ao famoso pino “1” do conector.

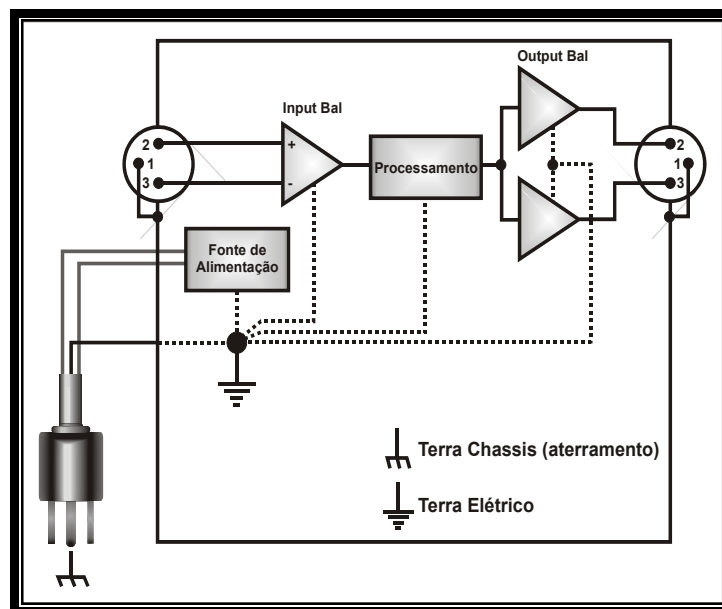


Figura 24 – Aterramento x Pino “1”

Na configuração apresentada na figura 24 podemos observar que o sistema de aterramento adotado dispensa a utilização de uma chave “LIFT”, pois o pino “1” (blindagem do cabo) é conectado diretamente ao terra pelo chassis do equipamento. Junto à fonte de alimentação há um ponto de terra comum a todo o circuito e este também está ligado ao terra do chassis que é o terra conectado ao aterramento externo do equipamento. Muitos ou a maioria dos equipamentos profissionais com entradas e saídas balanceadas já utilizam esta topologia e dessa maneira possuem um índice de problema quanto aos loops muito baixo, na verdade são tão eficientes que a chave LIFT já foi abolida em muitos casos. Caso o equipamento não seja aterrado externamente seu sistema de proteção contra choques simplesmente não existirá e os riscos podem ser grandes. Por este motivo, nunca ignore o terceiro pino da tomada de AC (terra), pois este, lhe fornece a proteção contra choques elétricos.

## Capítulo 4 – Interferências no Áudio

### 4.1- Harmônicos da Rede e Interferências

Muitas vezes ouvimos falar da influência dos harmônicos na rede elétrica. Vamos agora verificar como e por quem os harmônicos são gerados na rede e que influências podem trazer ao sistema de áudio. Os harmônicos podem ser gerados por muitos componentes (não lineares), dentre eles podemos destacar:

- reatores eletrônicos;
- inversores de frequência;
- retificadores;
- cargas não lineares em geral.

Em sistemas de sonorização o principal problema pode estar relacionado com os conversores de corrente alternada para corrente contínua (conversores CA-CC). Estamos falando das fontes de alimentação da maioria ou todos os equipamentos da cadeia do áudio. A geração de muitos harmônicos pode “sujar” a rede elétrica, que por sua vez irá alimentar os demais periféricos carregando consigo tais harmônicos, com isso podendo prejudicar o sinal de áudio em seu processamento (aumentar ruídos). Podemos salientar que em sistemas de sonorização de médio ou grande porte temos vários equipamentos que geram grande quantidade de harmônicos poluindo a rede elétrica, entre os quais os amplificadores são os maiores geradores.

#### 4.1.1- Geração dos Harmônicos da Rede Elétrica

A forma de onda da corrente como a forma de onda da tensão em um sistema de potência “limpo” (sistema ideal) é puramente senoidal. Porém, na prática as cargas que não possuem uma relação linear com a tensão aplicada sobre elas, resultam em correntes não senoidais. Quando temos circuitos compostos por apenas elementos lineares, tais como resistores, indutores e capacitores, se analisarmos em uma frequência particular, a corrente que fluirá será sempre proporcional a tensão aplicada à carga. O capacitor e o indutor são elementos reativos que causarão um defasamento entre a tensão e a corrente e por consequência um menor fator de potência para o sistema, mas ainda assim o circuito permanecerá sendo linear.

Quando estamos utilizando elementos não lineares como, por exemplo, uma ponte retificadora e um capacitor como carga para a rede elétrica (elementos típicos do estágio de entrada de fontes de alimentação) o que ocorre é o seguinte: a corrente elétrica irá fluir somente quando a tensão da rede for maior que a tensão armazenada pelo capacitor, ou seja, trata-se de um valor próximo ao valor de pico da tensão senoidal. Dessa maneira, a forma de onda da corrente passa a não ser mais senoidal, assumindo uma forma complexa, onde os pontos de variação podem variar de acordo com a mudança da corrente entregue à carga.

Um fato importante a salientar, é que considerando uma onda simétrica, ou seja, que tenha o ciclo negativo e o positivo com mesma forma e amplitude, os harmônicos pares são iguais a zero. Na verdade os harmônicos de ordem par são relativamente raros, mas utilizações como em retificação de meia onda podem aparecer.

As componentes harmônicas são geradas em forma de correntes e tais correntes é que causarão os maiores efeitos. O motivo das correntes harmônicas terem que passar através do circuito, impedância da fonte e por qualquer caminho que estiver em paralelo resultará na produção de tensões harmônicas relacionadas à impedância da fonte, as quais permanecerão na rede elétrica. Como a impedância da fonte influencia na amplitude da tensão harmônica (amplitude da tensão é proporcional à impedância da fonte pelo menos em uma certa faixa), temos a comprovação de que o gerador dos harmônicos tem o comportamento de uma fonte de corrente. Devemos ter cuidado ao avaliar situações em que haja suspeita de presença de harmônicos, pois mesmo que a impedância da fonte possua um baixo valor, as correntes harmônicas podem atingir altos valores e dessa forma as tensões harmônicas geradas assumirão valores elevados.

#### 4.1.2- Correntes Harmônicas e Possíveis Problemas Gerados

Quando ocorre a geração de correntes harmônicas na rede elétrica tanto o sistema de distribuição quanto o sistema alimentado (cargas) sofrerão certos tipos de problema. Vamos salientar algumas situações comuns:

**A) Sobreaquecimento do Condutor Neutro:** devemos lembrar de que já tratamos anteriormente sobre o fato do sistema trifásico possuir a onda de tensão de cada fase defasada em  $120^\circ$  uma da outra, desta forma se as cargas estiverem equilibradas entre as fases o somatório das correntes no condutor neutro será igual a zero. Porém, principalmente em um sistema de sonorização manter as cargas equilibradas entre as fases requer um estudo profundo de todos os componentes envolvidos no sistema, pois temos de um lado os equipamentos de áudio (amplificadores com maior consumo e periféricos com baixíssimo consumo quando comparados aos amplificadores) e do outro lado temos os sistemas de iluminação que necessitam de uma enorme quantidade de energia, os quais precisam ser bem distribuídos.

Quando as cargas não são equilibradas começa a fluir corrente pelo neutro, normalmente pequena. O problema é que as correntes fundamentais se cancelam, mas com as harmônicas não acontece o mesmo, ou seja, não ocorre o cancelamento. Por este motivo, as harmônicas múltiplas ímpares de três vezes a fundamental ( $3^\circ$ ,  $9^\circ$ ,  $15^\circ$ ... harmônicos) irão se somar no neutro. Supondo que estas correntes harmônicas em certas situações atinjam valores elevados a corrente que circulará pelo neutro pode representar um problema. Considerando a rede elétrica com frequência de 60Hz os harmônicos que se somarão no neutro serão os destacados em negrito abaixo:

- $2^\circ$  harmônico: 120Hz
- **$3^\circ$  harmônico: 180Hz**
- $4^\circ$  harmônico: 240Hz
- $5^\circ$  harmônico: 300Hz
- $6^\circ$  harmônico: 360Hz
- $7^\circ$  harmônico: 420Hz
- $8^\circ$  harmônico: 480Hz
- **$9^\circ$  harmônico: 540Hz**
- $10^\circ$  harmônico: 600Hz
- $11^\circ$  harmônico: 660Hz
- $12^\circ$  harmônico: 720Hz
- $13^\circ$  harmônico: 780Hz
- $14^\circ$  harmônico: 840Hz
- **$15^\circ$  harmônico: 900Hz**
- ...

Na figura 25 apresentamos uma exemplificação do somatório dos harmônicos no neutro.

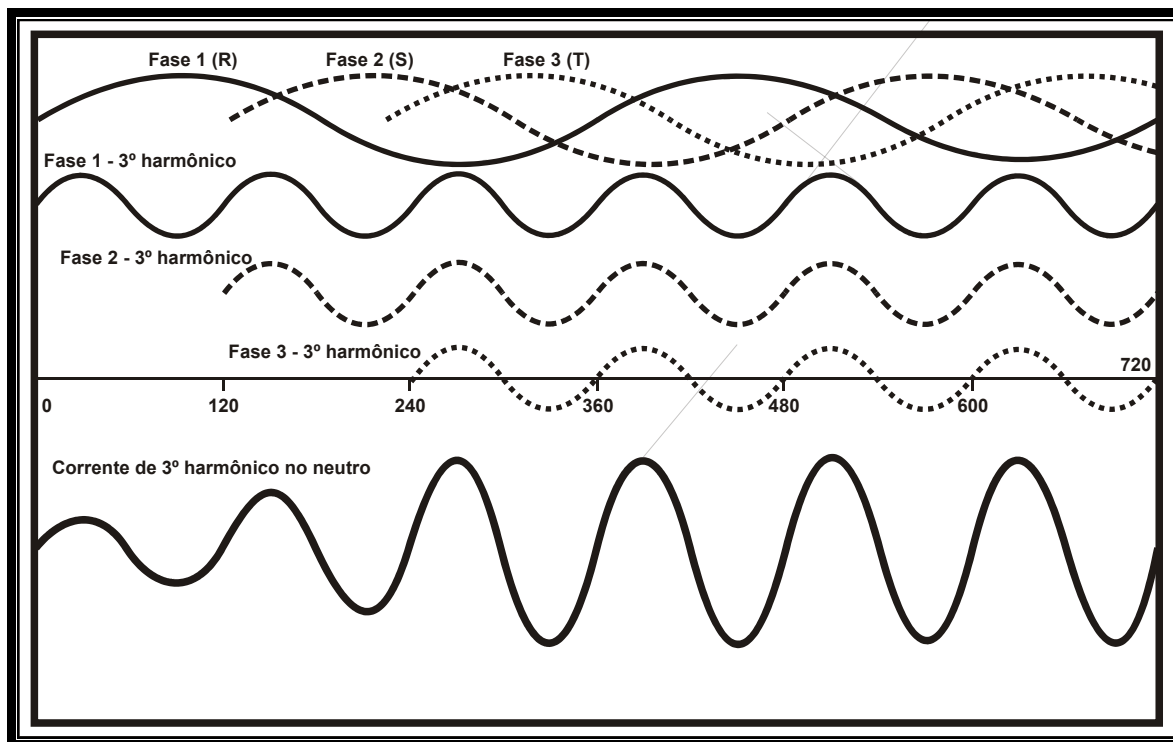


Figura 25 – Somatório de Harmônicos no Neutro

No exemplo apresentado na figura 25 as fases 1, 2 e 3 estão defasadas em  $120^\circ$  e os harmônicos de terceira ordem das respectivas fases, possuem amplitude igual a 70% da fundamental. Este fato faz aparecer uma corrente no neutro de aproximadamente duas vezes o valor da amplitude da corrente fundamental, ou seja, um valor bastante alto e que pode trazer problemas para a instalação, para a distribuidora de energia e para todo o sistema em questão.

**B) Efeitos nos Transformadores:** nos transformadores as perdas por magnetização, as quais representam cerca de 10% das perdas totais a plena carga, crescem na razão do quadrado do número do harmônico. Como consequência temos um sobreaquecimento e uma diminuição da vida útil do transformador.

**C) Sobrecorrente em Capacitores de Correção de Fator de Potência:** a utilização dos capacitores corretores do fator de potência está voltada a drenar a corrente que está adiantada, contrabalanceando as correntes atrasadas drenadas pelas cargas indutivas como os motores de indução e os reatores. Como a impedância do capacitor diminui com o aumento da frequência e a impedância da fonte, que normalmente é indutiva, aumenta, o capacitor passa a conduzir correntes harmônicas bem maiores do que a sua especificação, fato este que pode danificar tal componente. Salientamos ainda um problema grave que pode ocorrer quando o capacitor entra em ressonância com a indutância da fonte em uma das frequências harmônicas. Uma das soluções que pode-se utilizar é a adição de um indutor em série com o capacitor efetuando uma combinação puramente indutiva na frequência do harmônico menos significativo, porém se forem harmônicos de baixa frequência o tamanho do indutor pode passar a ser problema.

**D) Efeito Skin:** o efeito “Skin” trata do fato das correntes alternadas tenderem a fluir na superfície externa dos condutores, sendo que sua maior ocorrência está voltada para as altas frequências. Na maioria dos casos este efeito é ignorado, pois exerce pouca influência na rede de 60Hz, porém a partir do sétimo harmônico o efeito passa a exercer influência, causando assim perdas adicionais e aquecimento dos condutores. Dessa maneira, se há a previsão de harmônicos no sistema, estes efeitos devem ser levados em conta no projeto de dimensionamento dos condutores.

Destacamos aqui apenas alguns dos principais problemas que as correntes harmônicas na rede elétrica podem ocasionar. Portanto, dependendo da situação o problema pode ser grave e requer muita atenção, caso contrário o mau funcionamento do sistema será inevitável.

#### 4.1.3- Tensões Harmônicas e Possíveis Problemas Gerados

O fato da criação de correntes harmônicas ocasionará a distorção na forma de onda da tensão caso a impedância da fonte de alimentação (impedância dos cabos mais a impedância interna dos geradores ou transformadores) não for nula. Quando isto ocorre mesmo a carga linear será alimentada por uma tensão com forma de onda distorcida, sendo assim o resultado de trabalho nesta carga linear pode ser muito ruim. Observe a figura 26 para melhor entender esta situação.

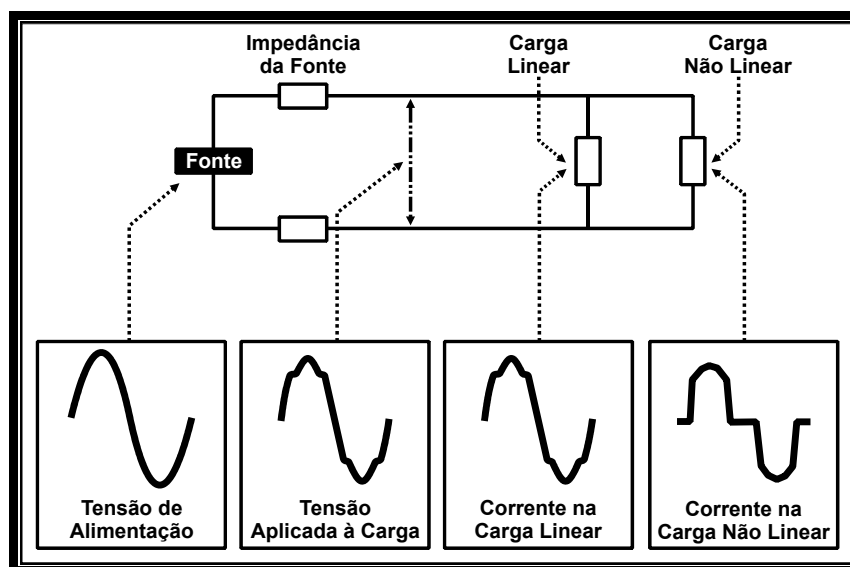


Figura 26 – Distorção da Tensão ocasionada por Carga Não Linear

Na figura 26 apresentamos apenas um exemplo, já que a forma de onda da corrente pode ser muito mais complexa, nossa intenção é apenas mostrar como as correntes harmônicas produzidas por cargas não lineares, que são jogadas na rede elétrica, podem prejudicar as cargas lineares, ou seja, receberão distorções na tensão de alimentação ocasionadas pelas harmônicas produzidas pelas cargas não lineares, fazendo com que o funcionamento destas seja comprometido dependendo da situação.

Uma solução para este problema é separar os circuitos que alimentam as cargas que produzem harmônicos dos demais circuitos que possuem cargas sensíveis aos harmônicos gerados por não lineares, dessa forma as distorções geradas na tensão não afetarão as cargas lineares.

#### 4.1.4- Possíveis Soluções para as Correntes Harmônicas

Duas formas de controle das correntes harmônicas podem ser empregadas. A utilização de filtros passivos e a utilização de filtros ativos.

**A) Filtros Passivos:** a idéia da utilização dos filtros passivos é criar um caminho de baixa impedância, fazendo com que as correntes harmônicas fluam pelo filtro e não pela fonte de alimentação. Este filtro poderá ser projetado para uma única frequência harmônica ou para uma grande faixa do espectro, e isto depende exclusivamente de cada necessidade ou situação de trabalho.

**B) Filtros Ativos:** o fato dos filtros passivos serem eficazes apenas para as frequências particulares dos harmônicos, faz com estes não sejam boas soluções em certas instalações onde ocorre uma variação do harmônico da corrente ao longo do tempo de operação. Nestes casos normalmente são utilizados os filtros ativos que em prática podem reduzir até 90% da magnitude das correntes harmônicas, e com isso a distorção na onda de tensão também será eliminada.

## 4.2- Itens de Qualidade da Energia

A qualidade da energia pode ser definida por uma série de itens que expressam os distúrbios que podem ocorrer na mesma. Vamos destacar alguns dos principais a título de conhecimento desses distúrbios.

### 4.2.1- Transitórios

Podemos classificar os transitórios como distúrbios causados por alterações súbitas nas condições operacionais de um sistema de energia elétrica. Normalmente um transitório possui uma duração muito pequena, mas de grande importância, pois os equipamentos estarão submetidos a grandes solicitações de tensão ou corrente (ou ambas). Os transitórios podem ser classificados em dois tipos: os impulsivos geralmente causados por descargas atmosféricas e os oscilatórios causados por chaveamentos.

**A) Transitório Impulsivo:** normalmente é causado por uma descarga atmosférica podendo ser definido como uma alteração repentina nas condições de regime permanente da tensão ou da corrente (ou ambas). Possui característica de apresentar impulsos com polaridade unidirecional positiva ou negativa e com frequência bem diferenciada da frequência da rede elétrica. Podemos salientar que em um sistema de distribuição a probabilidade maior para a ocorrência de descargas atmosféricas se dá através do condutor fase causando com isso sobretensões no sistema. Descargas ocasionadas diretamente em uma fase também podem provocar sub tensões de curta duração chamadas de “sags” e interrupções. Elevadas sobretensões transitórias podem ser fruto de descargas ao longo do condutor de terra, sendo que como consequência podem causar elevação do potencial de terra local em vários kilovolts e também causar indução de altas tensões nos condutores de fase no momento que as correntes passam pelos cabos a caminho do terra.

**B) Transitório Oscilatório:** também é caracterizado como uma alteração repentina nas condições de regime permanente da tensão ou corrente (ou ambos), podendo possuir valores com polaridade positiva e negativa. Sua maior incidência ocorre pela energização de linhas, corte de corrente indutiva, eliminação de faltas, chaveamento de bancos de capacitores e transformadores, etc. Para o caso de transitórios de média frequência a causa pode estar relacionada com a energização de capacitores resultando em correntes transitórias de dezenas de kHz, com o chaveamento de disjuntores eliminadores de faltas e também como resposta do sistema a transitórios impulsivos.

Na figura 27 exemplificamos alguns transitórios que podem gerar distúrbios na rede elétrica.

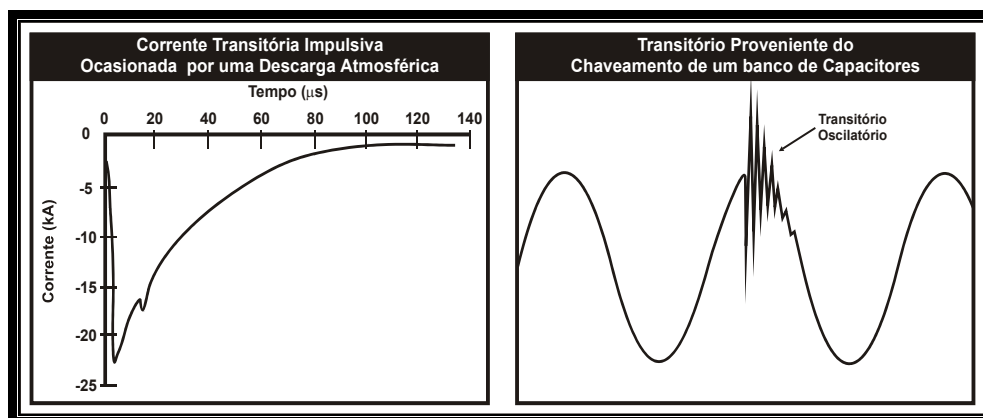


Figura 27 – Exemplo de Geração de Transitórios na Rede Elétrica

## 4.2.2- Sags, Swells e Interrupções

As variações de tensão de curta duração podem ocorrer como alterações instantâneas, momentâneas ou temporárias, sendo que essas variações geralmente são causadas pela energização de grandes cargas, as quais requerem grandes correntes de partida, ou também por falhas em conexões de cabos do sistema. Conforme estiver a condição do sistema e do local da falha podemos ter uma queda de tensão temporária (“sag”), um aumento da tensão (“swell”), ou até a interrupção completa do sistema elétrico.

**A) Sag:** pela norma IEEE1159, um sag é definido como um decréscimo no valor rms do sinal de tensão ou corrente, na frequência fundamental, colocando o valor rms entre 0,1 e 0,9 pu (sistema por unidade, por exemplo, se considerarmos 100% como valor base teremos um valor entre 10% [0,1 pu] e 90% [0,9 pu]), tendo como relação o valor nominal. Normalmente a atribuição de um valor numérico a um sag é feita utilizando-se a porcentagem onde, por exemplo, podemos dizer “um sag para 20%”, significando assim que a tensão foi reduzida para 20% do seu valor nominal.

Os sags de tensão geralmente são associados com quedas de energia, porém estes podem ser causados por chaveamento de grandes cargas ou na partida de grandes motores, pois um motor de indução durante a partida pode drenar de 6 a 10 vezes sua corrente nominal, e esta alta corrente causará uma queda de tensão na impedância da rede, a qual afetará diretamente a tensão de alimentação.

Ainda segundo a norma IEEE1159 a classificação de um sag é dada da seguinte forma:

- ½ a 30 ciclos: instantâneo;
- 30 ciclos a 3 segundos: momentâneo;
- 3 segundos a 1 minuto: temporário.

**Obs:** 60Hz = 60 ciclos / segundo

A figura 28 exemplifica a ocorrência de um sag.

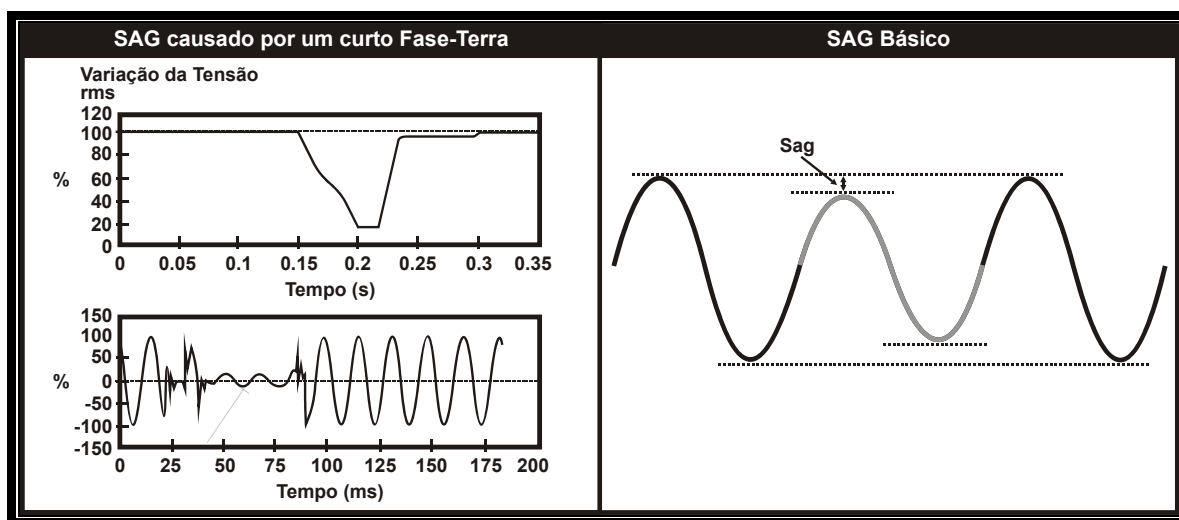


Figura 28 – Ocorrência de um Sag

**B) Swell:** este é caracterizado por uma sobretensão de curta duração com aumento entre 1,1 e 1,8 pu na tensão eficaz, na frequência da rede, e com duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto. Este tipo de distúrbio normalmente está relacionado com curto-circuitos no sistema. Outro fator que pode estar associado a este tipo de distúrbio é a energização de um grande banco de capacitores. A ocorrência de um swell pode gerar falhas dos componentes, onde dispositivos como computadores e controladores eletrônicos podem apresentar falhas imediatas quando operando nestas condições. No caso de máquinas rotativas, transformadores, dispositivos de chaveamento, etc., podem ter sua vida útil reduzida. Lembramos que um equipamento pode não suportar tal distúrbio não somente por sua magnitude, mas também pelo período de duração do mesmo.

A figura 29 exemplifica a ocorrência de um swell.

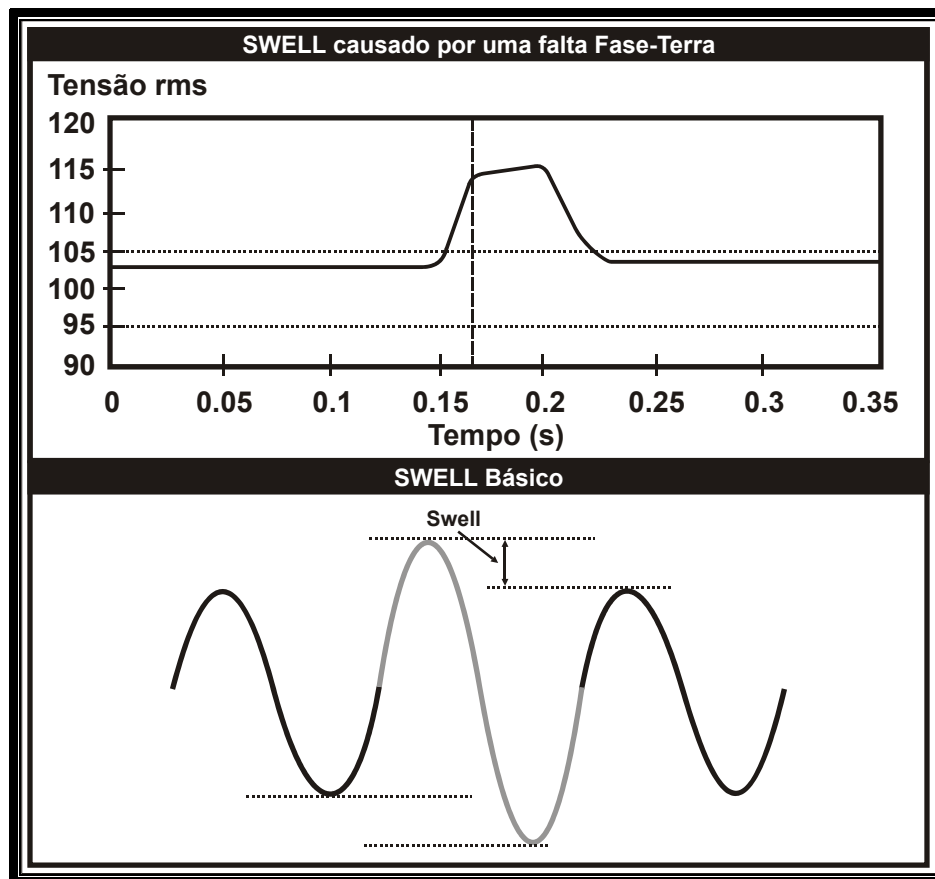


Figura 29 – Ocorrência de um Swell

**C) Interrupção:** esta é caracterizada por uma queda de curta duração onde a tensão cai para um valor menor que 0,1 pu por um período de tempo não superior a um minuto. Sua maior ocorrência está relacionada com faltas no sistema de energia, por falhas no equipamento e funcionamento incorreto dos sistemas de controle. Muitas vezes as interrupções podem ser precedidas de um sag, sendo que o sag ocorre no período de tempo em que iniciou a falta até que o sistema de proteção seja ativado.

A partir dos pontos destacados até agora sobre a qualidade da energia, uma grande preocupação é destinada aos equipamentos eletrônicos, nos quais tais quedas ou aumentos de tensão ou corrente, ou ainda de ambos, podem danificar os componentes internos dos mesmos, causando com isso uma condição de mau funcionamento ou até mesmo a inutilização do equipamento. Devemos destacar novamente que a suportabilidade de um equipamento a um distúrbio da rede elétrica não está ligada somente a magnitude da sobretensão, mas também é claro pelo período de duração de tal distúrbio.

Este fato é avaliado pela curva CBEMA (Computer and Business Equipment Manufacturers Association), onde temos as tolerâncias típicas para as variações de tensão para os microcomputadores. A curva CBEMA no ano de 1994 passou para ITIC (Information Technology Industry Council), sendo um grupo trabalha para defender os interesses da indústria de informática. Os distúrbios que estiverem fora da curva podem provocar danos aos equipamentos.

A curva CBEMA é ilustrada na figura 30.

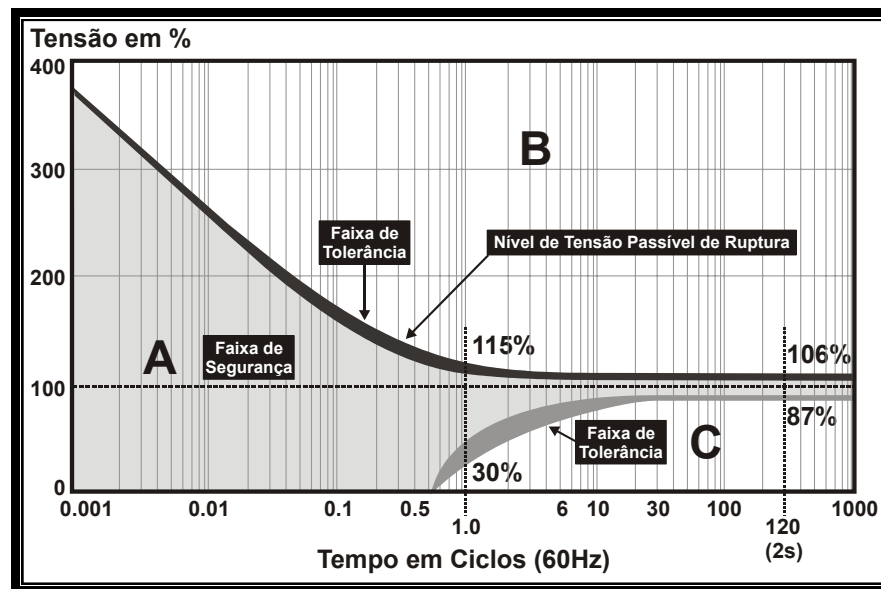


Figura 30 – Curva CBEMA

A curva CBEMA foi publicada na norma IEEE-446 e representa a sensibilidade dos computadores a distúrbios da rede de alimentação. Apesar da curva CBEMA ter sido originalmente proposta para caracterizar a sensibilidade de computadores mainframe (unidade central de processamento), atualmente ela também tem sido utilizada para outros componentes eletro-eletrônicos como: microcomputadores, equipamentos microprocessados, etc.

Na figura 30 o ponto “A” indica a região de imunidade ou faixa de segurança, o ponto “B” indica região de susceptibilidade, com possibilidade de ruptura da isolamento dos equipamentos (perda de hardware), devido à ocorrência de sobretensões transitórias e elevações de tensão e o ponto “C” indica região de sensibilidade, com possibilidade de parada de operação dos equipamentos, em virtude da ocorrência de quedas de tensão, juntamente com as interrupções momentâneas.

Como já salientamos anteriormente a curva CBEMA foi modificada (passou para ITIC) para caracterizar melhor a sensibilidade dos computadores e demais equipamentos, com isso acomodando mais adequadamente a diversidade dos modernos dispositivos eletrônicos. Nesta nova curva as regiões A, B e C são classificadas segundo os mesmos princípios da curva CBEMA. A figura 31 ilustra a curva ITIC.

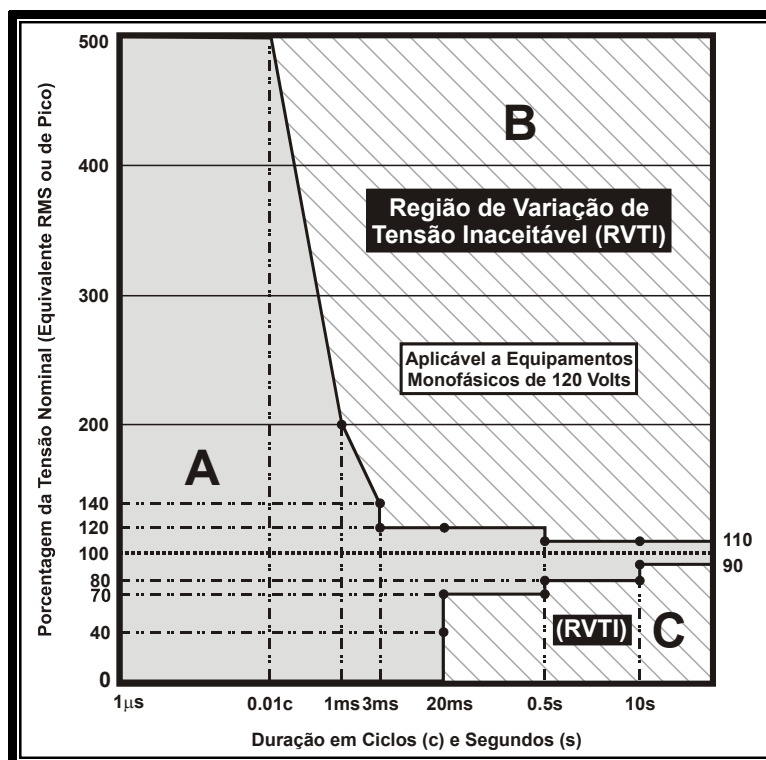


Figura 31 – Curva ITIC

### 4.2.3- Desequilíbrios de Tensão

A definição dos desequilíbrios de tensão é dada pelo máximo desvio da média das correntes ou tensões trifásicas dividido pela média das correntes ou tensões trifásicas, expresso em percentual. Como causa destes desequilíbrios podemos dizer que geralmente estão associados com os sistemas de distribuição que possuem cargas monofásicas mal distribuídas, fazendo com que surjam tensões de seqüência negativa (quando há desequilíbrio nas tensões de um sistema trifásico pode ocorrer a seqüência negativa, onde a rotação de fases será invertida). Este problema é bastante agravado quando há má distribuição de cargas em sistemas trifásicos, fazendo com que o circuito da concessionária tenha correntes desequilibradas. Estes fatores fazem com que a qualidade da energia fornecida seja prejudicada, criando alimentações com desequilíbrio de tensão, onde as cargas (equipamentos) que forem alimentadas com tais tensões possam ter problemas. Dentre os vários problemas que podem ser gerados por tal desequilíbrio podemos destacar:

- **Motores de Indução:** o desequilíbrio das tensões resulta num conjugado pulsante no eixo da máquina e no sobreaquecimento da mesma, onde como consequência direta da elevação de temperatura temos a redução da vida útil dos motores, pois o material isolante passa a sofrer uma deterioração mais acentuada com a presença de altas temperaturas nos enrolamentos.
- **Máquinas Síncronas:** como o desequilíbrio das tensões ou correntes provoca uma seqüência negativa, neste caso esta corrente negativa fluindo através do estator da máquina criará um campo magnético girante, o qual terá velocidade igual à do rotor, mas no sentido contrário ao de rotação definido pela seqüência positiva. O fato é que as tensões e correntes induzidas nos enrolamentos de campo, de amortecimento e na superfície do rotor (ferro), ficarão com uma freqüência de duas vezes a freqüência da rede e como consequência teremos um grande aumento nas perdas no rotor.
- **Retificadores:** um retificador CA/CC injeta na rede AC (quando operando em condições nominais) correntes harmônicas características (harmônicas com ordem igual a 5, 7, 11, 15, etc.). Porém, se o sistema de alimentação estiver desequilibrado tais retificadores passam a gerar além das correntes harmônicas características, o terceiro harmônico e seus múltiplos como já comentamos anteriormente sobre aquecimento do condutor neutro. A geração do terceiro harmônico e seus múltiplos é extremamente indesejável, pois estes podem provocar a geração de ressonâncias não previstas, as quais causarão danos em uma série de equipamentos. Nesta situação é que se encaixam os equipamentos de áudio que em sua maioria possuem conversores CA/CC, principalmente os amplificadores que são cargas de grande consumo, ou seja, na operação com um sistema de alimentação trifásico, onde as cargas estiverem mal distribuídas, como consequência direta tais equipamentos podem gerar muitos harmônicos para a rede e com isso danificar outros equipamentos mais sensíveis que estejam sendo alimentados pela mesma rede elétrica. Por isso, tome muito cuidado com o balanceamento de cargas na rede, pois ele é extrema importância para a sua utilização e com certeza a concessionária também agradecerá.

### 4.2.4- Distorções na Forma de Onda

Estas distorções são definidas como desvios na forma de onda puramente senoidal (em regime permanente) na freqüência fundamental. A caracterização de cada forma de distorção está centrada principalmente no conteúdo espectral da mesma. Dentre os principais tipos podemos destacar as seguintes:

- **Harmônicos:** os harmônicos tratam-se de tensões ou correntes senoidais de freqüências múltiplas inteiras da freqüência fundamental. O resultado de tais harmônicos é a distorção nas formas de onda da tensão e corrente, sendo que estes são fruto de equipamentos e cargas instalados no sistema de energia que possuem características de funcionamento não lineares.
- **Interharmônicos:** estes são componentes de freqüência (na tensão ou na corrente) que não são múltiplos inteiros da freqüência fundamental da rede de alimentação. Podem aparecer

como frequências discretas ou como uma larga faixa espectral. Os principais geradores de interharmônicos são os conversores estáticos de potência, os cicloconversores, os motores de indução e equipamentos a arco. Os problemas que podem ser causados pelos interharmônicos ainda não são bem conhecidos, porém é admitido que eles podem afetar a transmissão de sinais portadores (carrier) e induzir efeitos de tremulação (flicker) visual em displays de equipamentos que utilizem tubos de raios catódicos.

- **Nível CC:** quando temos a presença de um nível de tensão ou corrente contínua em um sistema CA, denominamos este de “DC offset”. O nível contínuo (CC) introduzido na rede CA pode levar transformadores à saturação, o que resulta em maiores perdas e menor vida útil.
- **Notching:** trata-se de um distúrbio de tensão causado pela operação normal de equipamentos relacionados à eletrônica de potência, nas situações em que a corrente é comutada de uma fase para a outra fase. As componentes de frequência geradas possuem um alto valor e não podem ser medidas com os mesmos equipamentos utilizados para análises de harmônicos.
- **Ruídos:** o ruído trata-se de um sinal elétrico indesejado, o qual possui uma larga faixa espectral, porém com frequências abaixo de 200kHz. Estas frequências estão superpostas às tensões ou correntes de fase ou no condutor neutro. Para os sistemas de potência os ruídos na maioria dos casos estão relacionados ou são causados por equipamentos eletrônicos de potência, circuitos de controle, equipamentos a arco, fontes chaveadas, retificadores de estado sólido, etc., porém os aterramentos impróprios feitos nestes equipamentos é quem fornecem a maior relação com ruídos gerados.

#### 4.2.5- Distorções Harmônicas

Como já apresentamos anteriormente os aspectos sobre a ocorrência de harmônicos na rede elétrica, aqui queremos ressaltar que as distorções harmônicas caminham no sentido contrário dos objetivos da qualidade de energia fornecida pela concessionária, pois esta deve fornecer aos seus consumidores uma tensão puramente senoidal, com amplitude e frequência constantes. O fato de alguns consumidores poluírem a rede elétrica com geração de harmônicos prejudicará não somente o próprio consumidor que está causando o distúrbio, mas todos os demais que estiverem conectados na mesma rede elétrica.

Na verdade há algum tempo atrás os harmônicos não causavam tanta preocupação, pois as cargas com características não lineares eram utilizadas em uma pequena escala e também porque os equipamentos eram menos sensíveis a tal distúrbio, ou seja, possuíam uma resistência maior aos efeitos provocados pelas harmônicas. Porém, na atualidade temos um grande desenvolvimento principalmente na área de eletrônica de potência, o qual tem elevado bastante a geração de harmônicas e com isso trazendo uma série de efeitos em diversos equipamentos que não são desejados, pois podem comprometer a qualidade destes equipamentos. Dentre as cargas que possuem características não lineares e que são muito utilizadas no sistema de energia elétrico podemos citar:

- circuitos de iluminação com lâmpada de descarga;
- fornos a arco;
- compensadores estáticos do tipo reator saturado;
- motores de corrente contínua controlados por retificadores;
- motores de indução controlados por inversores com comutação forçada;
- processos de eletrólise com retificadores não controlados;
- motores síncronos controlados por cicloconversores;
- fornos de indução de alta frequência;
- fornos de indução controlados por reatores saturados;
- cargas de aquecimento controladas por tiristores;
- velocidade de motores CA controlados por tensão de estator;
- reguladores de tensão com núcleo saturado;
- computadores;

- eletrodomésticos com fontes chaveadas, etc;

A partir disto podemos entender que a rede elétrica pode estar bem “suja” dependendo da situação, e se não bastasse isso ainda temos os próprios amplificadores no sistema de áudio que também são grandes geradores de harmônicas, ou seja, realmente a rede elétrica pode representar um grande problema para os equipamentos sensíveis a estes distúrbios.

#### 4.2.6- Flutuações ou Oscilações de Tensão

As flutuações ou oscilações de tensão da rede elétrica tratam-se das variações sistemáticas dos valores eficazes do suprimento dentro da faixa de 0,95 e 1,05 pu. Estas flutuações normalmente são causadas por sistemas industriais, sendo que o acontecimento pode ter várias formas. Dentre elas podemos destacar:

- **Flutuações Aleatórias:** estas são causadas pela atuação de fornos a arco, nos quais a amplitude das oscilações irá depender do estado de fusão do material e também do nível de curto-circuito da instalação;
- **Flutuações Repetitivas:** estas geralmente são causadas por laminadores, máquinas de solda, elevadores de minas e ferrovias;
- **Flutuações Esporádicas:** causadas em função direta da partida de grandes motores.

Com o acontecimento das oscilações destacadas anteriormente temos alguns efeitos principais que podem ser gerados nos sistemas elétricos. Estes efeitos podem ser oscilações de potência e torque em máquinas elétricas, queda de rendimento, interferência em sistemas de proteção e efeito flicker ou cintilação luminosa.

#### 4.2.7- Variações na Frequência

As variações de frequência são definidas como desvios no valor da frequência fundamental do sistema elétrico (50 ou 60Hz). A frequência do sistema de potência é uma função direta da velocidade de rotação dos geradores de suprimento do sistema, sendo que pequenas variações podem ser vistas como resultado do balanço entre carga e geração (variações na faixa de  $60 \pm 0,5\text{Hz}$ ). Quando tivermos variações de ordem maior, ou seja, variações que ultrapassam o limite de funcionamento normal, estas podem ser ocasionadas por faltas nos sistemas de transmissão, por saídas de grandes blocos de carga ou por saída de operação de uma grande fonte de geração. Para certos casos em indústrias, as quais possuem a geração própria de energia, quando um distúrbio eventual tiver uma certa magnitude e um tempo de permanência das máquinas operando fora da velocidade, como resultado, podemos ter desvios de frequência com proporções muito mais significativas.

## Capítulo 5 – Main Powers

Os “main powers” são definidos como distribuidores centrais de energia, ou seja, a energia fornecida pela concessionária chega até o main power e este é quem distribui para todos os equipamentos do sistema. Trata-se de uma peça de extrema importância nos sistemas de áudio, pois com ele consegue-se distribuir melhor as cargas entre as fases e também efetuar outras funções básicas que discutiremos a seguir.

A maioria dos modelos de main powers fabricados por empresas nacionais, destinados principalmente a sistemas de sonorização e iluminação, possuem funções parecidas, porém deve-se atentar muito para o tipo de material utilizado na fabricação do main power, pois este fato é um dos mais importantes para que o equipamento tenha a proteção necessária. Além da qualidade do material utilizado, deve-se tomar muito cuidado com o tipo de montagem, já que este, é importantíssimo na instalação do sistema onde circularão altas correntes.

A idéia básica de um sistema de distribuição principal de energia é exemplificada na figura 32.

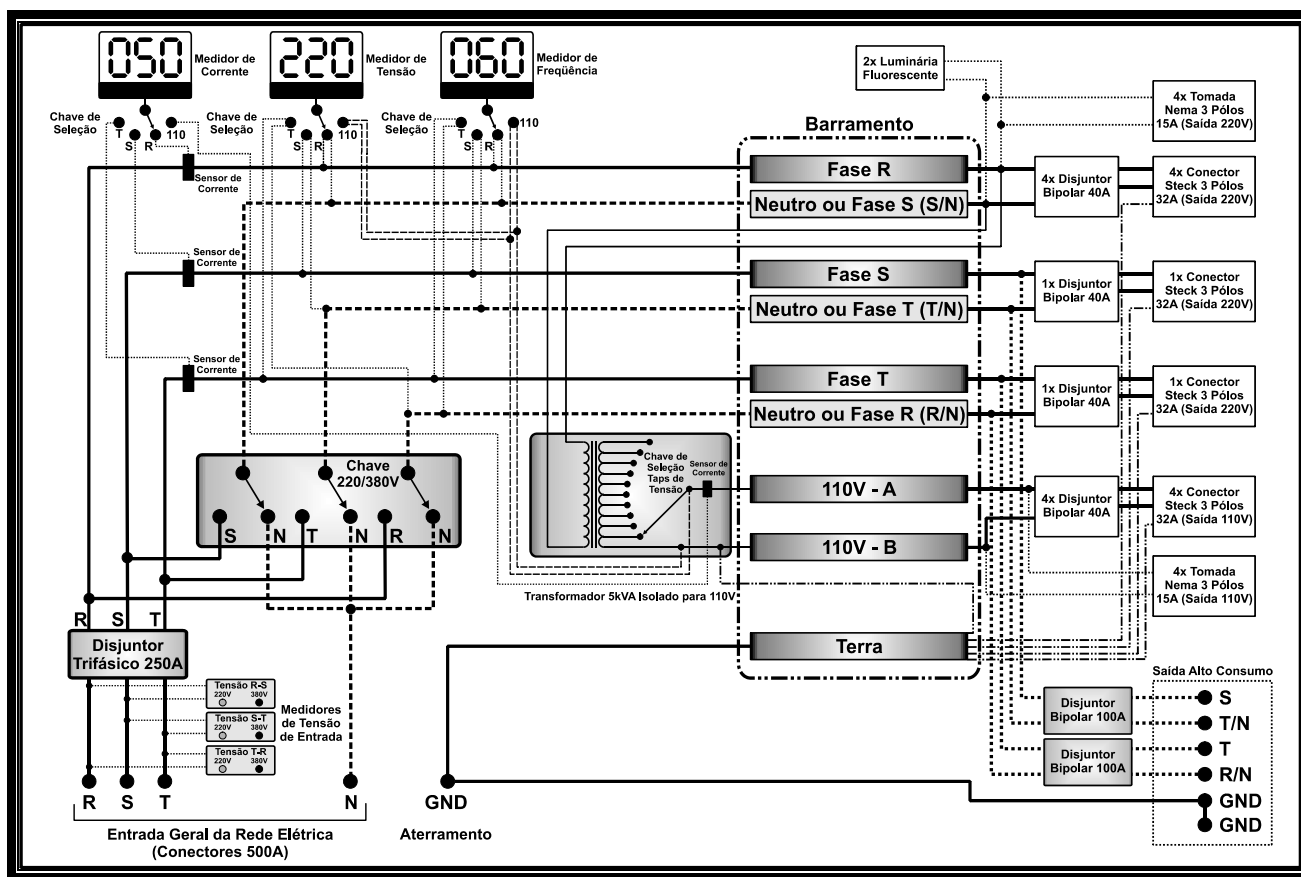


Figura 32 – Exemplo Esquema Main Power

Tomando como exemplo o esquema ilustrado na figura 32 (esquema apenas ilustrativo) podemos analisar de melhor forma as principais funções do main power. Primeiramente podemos observar que a energia trifásica fornecida pela concessionária é interligada aos conectores de entrada por meio de um cabo com quatro vias ou quatro cabos distintos (um para cada fase e neutro) dimensionados de acordo com a carga máxima utilizada por todo o sistema que será alimentado pelo distribuidor. Após as fases são distribuídas para um disjuntor trifásico e também para a chave reversora (chave que coloca o sistema em estrela ou triângulo conforme visto na seção 1.3). O condutor neutro é endereçado somente para chave reversora. Logo que forem conectadas as fases nos conectores de entrada os medidores de tensão de entrada já estarão marcando se a tensão de linha (entre fases) é de 220V ou de 380V, assim conforme for indicado este valor, antes de ligar o disjuntor trifásico geral, deve-se colocar a chave reversora (chave 220/380V) na posição correspondente a esta leitura de tensão.

O medidor de corrente mostra a corrente que está circulando nas fases R, S e T ou na saída de 110V, sendo que na maioria dos casos temos a visualização do valor de uma das fases e para as demais fazemos a seleção através de uma chave. O medidor de tensão (voltagem) possui o seu funcionamento idêntico ao de corrente e também deve ser selecionado através da chave. O medidor de frequência estará exibindo o valor da frequência da rede elétrica, das fases R, S e T ou da saída do transformador de 110V (a qual deverá ser igual em todas as posições).

Os cabos que saem do disjuntor trifásico e da chave reversora vão para o barramento elétrico e aí sim são distribuídos para as respectivas saídas, onde o número de saídas depende de cada fabricante, porém a quantidade de saídas normalmente é colocada nas mesmas proporções entre as fases, justamente para que o usuário faça um balanceamento da carga entre as fases. Na linha de saída há (dependendo do modelo) um disjuntor bipolar, onde o objetivo deste é cortar os dois condutores, já que um deles será sempre vivo e o outro poderá ser neutro ou vivo, dependendo da configuração da rede entregue pela concessionária, e este fato garante segurança para o usuário.

Para os modelos que possuem o transformador abaixador de tensão para 110V (valores comuns de mercado estão entre 5 e 10kVA) geralmente possuem uma chave de seleção de níveis (“taps”) de tensão. Isto serve para quando a tensão da rede primária cair podermos corrigir o valor de saída de 110V ou 127 conforme a necessidade de cada usuário. Sem esta chave, em casos de muita queda, o transformador de 110V poderá fornecer uma tensão muito baixa e como consequência não poderão ser alimentados os equipamentos que dependem de tal tensão. Salientamos que o ajuste para o TAP de tensão desejado deve ser feito sem carga conectada na saída do transformador, evitando problemas com a chave e com o sistema em geral por motivo de geração de grandes faíscas (spikes).

Importante salientar que toda a estrutura, configuração e qualidade do cabeamento interno, conectores, disjuntores, chaves, tomadas, medidores, etc., depende exclusivamente de cada fabricante e modelo. Por isso deve-se tomar um certo cuidado quando este tipo de equipamento estiver sendo oferecido por um preço muito reduzido, já que os componentes de boa qualidade envolvidos em um sistema de main power possuem um custo um pouco elevado.

Com relação ao conector de entrada de aterramento, trata-se da segurança do sistema e em hipótese alguma deve ficar sem conexão a terra, ou seja, o usuário deve providenciar um bom ponto de aterramento para interligar na entrada de terra do main power. O importante em um main power é que as conexões de terceiro pino nas tomadas já estão feitas, ou seja, todas as tomadas e conectores de saídas já possuem o pino de aterramento, portanto, basta conectar o condutor de terra na entrada do main power que todos os cabos conectados nas saídas (desde que tenham condutor terra) estarão compartilhando do mesmo aterramento.

As capacidades de corrente de cada saída bem como a capacidade total do main power depende muito do fabricante e do modelo, porém valores como 125A e 250A (trifásicos) são comuns. Para as cargas com maior consumo, como as de iluminação, geralmente há uma conexão de saída direta interligada com os conectores principais de entrada (conectores para alta corrente, valor comum igual a 500A), apenas passando por disjuntores específicos. Neste caso deve-se atentar em que configuração está a rede fornecida pela concessionária, para assim efetuar a conexão correta, já que estas linhas não passarão pela chave reversora que efetua o ajuste conforme a configuração da rede conectada. Observe na figura 32 as conexões diretas com a saída para utilização com cargas de consumo mais elevado.

## **Capítulo 6 – Cabos de Áudio**

O correto dimensionamento, bem como a escolha geral dos cabos para a interligação de um sistema de áudio, ou seja, cabos de sinal, cabos das caixas e cabos de energia (AC), são de extrema importância para um bom funcionamento dos equipamentos, primeiro individualmente e posteriormente no conjunto do sistema. É muito comum a parte de escolha e dimensionamento dos cabos ficar por último no projeto de um sistema, isso quando é lembrado no projeto, pois muitas vezes o dinheiro que sobrou depois da compra de amplificadores, processadores, caixas acústicas, etc., é utilizado para a compra dos cabos. Dessa forma, como normalmente o valor que sobra é baixo, escolhe-se cabos mais baratos fora das especificações reais para o determinado sistema e todo o equipamento comprado não responderá o esperado. Ainda podemos destacar os inúmeros casos de

tomadas e cabos de energia que derretem e começam até queimar por exceder a corrente que podem suportar.

Os cabos utilizados em um sistema de áudio podem ser divididos em duas categorias: os cabos de sinal (cabos em que trafegam sinais com níveis de microfone ou níveis de linha) e os cabos das caixas de som (cabos onde trafegam sinais com níveis de alto-falantes, potência do amplificador para o alto-falante).

## **6.1- Cabos de Sinal**

O nível de sinal que trafega nestes cabos é bastante baixo como já comentamos, desse modo a bitola do fio utilizado é pequena. Porém, temos outros aspectos importantes como impedância, capacitância, resistência, formato de construção, etc. que devem ser considerados. Importante salientar que um cabo não deve ser analisado somente pela flexibilidade, como é muito comum atualmente.

### **6.1.1- Características Técnicas**

- A impedância define a quantidade de oposição à passagem de corrente alternada (AC) fornecida pelo cabo por comprimento. Atualmente podemos encontrar vários tipos de cabo e com uma vasta gama de impedância. Os valores variam normalmente entre 50 e 110 Ohms. Cabos com 110 Ohms são bastante utilizados para conexão de sinais digitais AES/EBU fornecendo bons resultados.
- A capacitância é um dado que poucos fabricantes (principalmente nacionais) especificam em seus manuais, mas valores elevados podem provocar elevada perda na resposta de frequência. Cabos para instrumentos musicais com valores na faixa de 100 a 120nF por quilômetro de capacitância nominal podem ser considerados bons cabos. Para cabos de microfone (dois condutores) valores entre 100 e 140nF por quilômetro para condutor x blindagem + condutor, e em torno de 70nF por quilômetro para condutor x condutor podem ser considerados bons cabos. Porém valores na ordem de poucos picofarads (pF) por metro podem ser encontrados em cabos de altíssima qualidade, mas claro que o preço também passa para um nível bem mais elevado. A capacitância depende do material isolante, pois uma pequena quantidade do sinal elétrico que passa pelo cabo é transferida para o isolante e armazenada como energia (elétrons). Essa energia está solta e retornará para o condutor degradando o sinal de áudio.
- A resistência define a quantidade de oposição à passagem de corrente contínua (DC) oferecida pelo condutor. Este dado normalmente vem acompanhado da temperatura máxima em que mantém este valor, ou seja, com o aumento da temperatura a resistência também irá variar. A variação dos valores de resistência também é bastante grande nos inúmeros modelos de cabos encontrados atualmente, porém valores menores que 100 Ohms por quilômetro para cabos mais finos (em torno de 24 AWG) e valores menores que 60 Ohms para cabos mais grossos (em torno de 22 AWG), com uma temperatura máxima de 20°C podem ser considerados bons cabos. Lembremos que valores bem menores, na ordem de poucos miliohms por metro podem ser encontrados em cabos de altíssima qualidade, mas também com preços bem mais elevados.

Os materiais utilizados para a fabricação dos condutores e blindagens dos cabos de sinal são: o cobre nu ou estanhado, dielétrico em polietileno e blindagem adicional de carbono condutivo ou fita de alumínio. A capa externa normalmente é feita em PVC 70 graus flexível ou super flexível. As bitolas mais utilizadas estão entre 20 e 30 AWG.

Para o caso dos multicabos, cada via deste possui dois condutores e uma malha, onde a cada pequeno espaço ocorre um trança entre os condutores, por isso é chamado de par trançado. A finalidade do par trançado é captar menor nível de ruídos. Vamos ver como isso funciona. Infelizmente os condutores do cabo formam uma espécie de antena, a qual capta campos magnéticos que estejam próximos, sendo que estes campos podem ser gerados por transformadores, fontes chaveadas, reatores de lâmpadas fluorescentes, etc. Pois bem, quanto mais distantes estiverem os dois condutores, maior quantidade de ruído captado teremos, assim mesmo com os equipamentos com entrada balanceada será difícil eliminar toda essa sujeira. Poderíamos pensar na blindagem de aterramento que o cabo tem,

porém esta protege apenas contra os campos elétricos, mas não contra os magnéticos. Com a utilização do par trançado nos cabos reduzimos a área de captação desses ruídos (captação da antena), dificultando a captação dos campos magnéticos.

Devemos lembrar um pouco sobre os sinais balanceados, pois a condição ideal para a menor captação de ruído pelos condutores seria que eles ocupassem exatamente a mesma posição no espaço, assim todo o ruído que atinge um dos condutores, também atingirá o outro igualmente, sendo totalmente cancelado pelo circuito pré-amplificador com entrada balanceada. Na prática, não temos esse acontecimento nunca em virtude de uma lei física bem clara, onde é definido que dois corpos não podem ocupar o mesmo espaço ao mesmo tempo. Na condição real os condutores sempre estão a uma certa distância um do outro, onde o ruído captado por um dos condutores é ligeiramente menor que o outro condutor (menor naquele que estiver mais distante da fonte). Desse modo, o par trançado faz com que os condutores alternem sua posição continuamente, onde a cada volta um deles capta o mesmo ruído que o outro captou na volta anterior. Veja a figura 33 para melhor entender o processo.

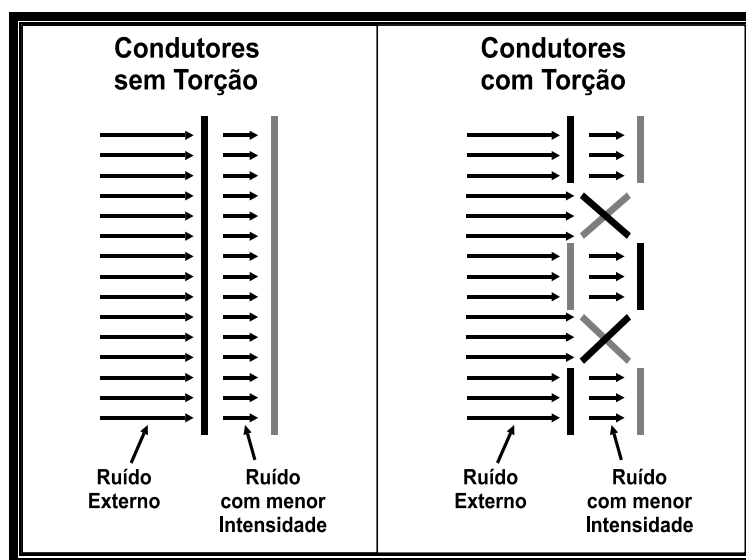


Figura 33 – Condutores com Par Trançado

Observe na figura 33 que na situação do cabo sem torção o ruído externo sempre causa maior interferência em um dos condutores, já no caso do par trançado a interferência gerada será muito parecida em ambos os condutores do cabo, com isso a entrada balanceada do equipamento (pré-amplificador) se encarregará de efetuar o cancelamento do ruído. Em média, podemos dizer que é quase como se um dos condutores estivesse infiltrado no outro. Pois bem, para essa torção quanto menor o espaçamento entre cada torção melhor será a qualidade do cabo (considerando apenas este fator). Este espaçamento entre cada torção recebe o nome de passo, pois é este dado que os fabricantes (nem todos) disponibilizam em seus manuais. Para os melhores modelos atuais espaçamentos de 2 a 4cm são comumente encontrados (cabos com passos de torção de 2,5cm podem ser considerados de excelente qualidade). Devemos lembrar que quanto mais torcido, mais material torna-se necessário e conseqüentemente maior será o seu preço, ou seja, bons cabos custam bem mais caro.

### 6.1.2- Materiais Utilizados nos Condutores

- **Condutores de Cobre Comum:** normalmente são mesclados com outros materiais como o ferro e outras impurezas, alcançando assim um menor custo. Este tipo de cabo é o mais utilizado em instalações residenciais, em indústrias, etc. Trata-se do modelo de menor preço.
- **Condutores de Cobre Estanhado:** estes recebem uma camada de estanho em cima do cobre, o que melhora a construção do cabo e também a soldagem. Os cabos com condutores e malha em cobre e estanhados são os mais utilizados atualmente no áudio. Seu custo é um pouco maior que o cobre comum.
- **Condutores de Cobre Livre de Oxigênio:** são utilizados para dar uma melhor definição de áudio. Neste tipo de condutor são retiradas as moléculas de oxigênio do metal, e também as

impurezas. É o cabo mais usado pelos audiófilos por seu sinal de melhor qualidade. Seu custo em média está na faixa de 50 a 5000 dólares o metro, claro que depende de cada fabricante.

- **Condutores de Prata:** trata-se de um metal muito nobre, e em virtude de sua extração existem vários graus de pureza. Este cabo possui uma qualidade superior de áudio, onde os sinais agudos são mais destacados do que os graves, ou seja, possui uma melhor resposta às altas frequências, com isso desequilibrando um pouco o sinal original. Seu custo em média está na faixa de 100 a 1500 dólares o metro, dependendo de cada fabricante.
- **Condutores de Carbono com Prata:** o objetivo principal é corrigir o problema gerado nos condutores feitos somente com prata. Seu custo em média está na faixa de 50 a 1000 dólares o metro, dependendo de cada fabricante.
- **Condutores de Ouro:** este é um metal muito nobre, mas neste caso o miolo do condutor é feito em cobre e aplica-se um banho artificial de ouro, o que mescla desta forma o baixo custo do cobre com o alto valor do ouro. Seu custo em média está na faixa de 150 dólares o metro.
- **Condutores de Prata com Ouro:** tratam-se de uma excelente combinação e boa relação custo benefício, porém existem poucos fabricantes desse tipo de cabo. Cabo utilizado para sistemas de alta fidelidade. Seu custo em média está na faixa de 500 a 10000 dólares o metro, dependendo de cada fabricante.
- **Condutores de Ouro Puro:** com esse metal a qualidade sonora é altíssima, porém seu custo é muito alto podendo chegar a 25000 dólares o metro de cabo.

## 6.2- Cabos de Caixas

Os cabos de conexão utilizados entre amplificador e caixa acústica sempre geram muitas dúvidas entre os usuários e em consequência disto muitos erros de dimensionamento são cometidos. Desta maneira, o rendimento do sistema é afetado, ocasionado pela perda de potência em função dos cabos. A seguir vamos apresentar um básico sobre o dimensionamento de cabos para caixas acústicas, tentando deixar mais claro como efetuar este processo corretamente.

O resultado sonoro poderá variar bastante em função da resistência total vista pelo alto-falante e caixa acústica. Neste caso devemos calcular a perda de potência em função do cabo de conexão e não a queda de tensão no cabo. Também devemos calcular o fator de amortecimento do sistema. A seguir apresentamos as fórmulas necessárias para a execução destes cálculos.

### A) Fator de Amortecimento do Sistema:

$$D_{CORRETO} = \frac{1}{\frac{1}{D} + \frac{R_{FIO}}{Z_L}} \quad [4]$$

Onde :

$D \Rightarrow$  Fator de amortecimento encontrado sem considerar o fio;

$R_{FIO} \Rightarrow$  Resistência total do fio em Ohms;

$Z_L \Rightarrow$  Impedância na carga.

### B) Corrente elétrica fornecida pelo amplificador à carga:

$$I_A = \sqrt{\frac{P_N}{R_L}} \quad [5]$$

onde :

$I_A \Rightarrow$  corrente elétrica fornecida pelo amplificador;

$P_N \Rightarrow$  potência nominal do amplificador;

$R_L \Rightarrow$  carga conectada ao amplificador.

### C) Atenuação devido ao fio condutor:

$$AT_{FIO(dB)} = 20 \log \left( \frac{R_{FIO}}{R_L} + 1 \right) \quad [6]$$

onde :

$AT_{FIO(dB)} \Rightarrow$  atenuação no fio em dB;

$R_{FIO} \Rightarrow$  resistência do fio;

$R_L \Rightarrow$  carga.

#### D) Perda no condutor:

$$P_{FIO(\%)} = \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{R_{FIO}}{R_L} + 1 \right)^2} \right] \times 100 \quad [7]$$

onde :

$P_{FIO(\%)} \Rightarrow$  perda no fio em porcentagem;

$R_{FIO} \Rightarrow$  resistência do fio;

$R_L \Rightarrow$  carga.

#### E) Potência útil em watts:

$$P_{L(W)} = P_N \cdot \frac{1}{\left( \frac{R_{FIO}}{R_L} + 1 \right)^2} \quad [8]$$

onde :

$P_{L(W)} \Rightarrow$  potência útil em watts;

$P_N \Rightarrow$  potência nominal do amplificador;

$R_{FIO} \Rightarrow$  resistência do fio;

$R_L \Rightarrow$  carga.

#### F) Potência útil em porcentagem:

$$P_{L(\%)} = \frac{1}{\left( \frac{R_{FIO}}{R_L} + 1 \right)^2} \times 100 \quad [9]$$

onde :

$P_{L(\%)} \Rightarrow$  potência útil em porcentagem;

$R_{FIO} \Rightarrow$  resistência do fio;

$R_L \Rightarrow$  carga.

A partir destas fórmulas podemos apresentar um exemplo prático de dimensionamento.

Suponha uma potência de 800 watts em uma carga de 8 ohms e uma potência de 5000 watts em uma carga de 2 ohms. Para execução dos cálculos algumas tabelas se fazem necessárias para obtenção dos valores de resistência dos condutores conforme o seu tipo e bitola. As tabelas que utilizamos nos exemplos são fornecidas pela Pirelli e estão de acordo com a norma brasileira NBR 5410/2004 para dimensionamento de cabos.

**Resolução:** primeiramente devemos calcular a corrente elétrica fornecida pelo amplificador que circulará pelo cabo levando esta potência à carga. Com a fórmula 5 temos:

$$I_A = \sqrt{\frac{800}{8}} = 10A \quad (\text{para } 800 \text{ watts em } 8 \text{ ohms})$$

$$I_A = \sqrt{\frac{5000}{2}} = 50A \quad (\text{para } 5000 \text{ watts em } 2 \text{ ohms})$$

O próximo passo é determinar a bitola do cabo pelo critério da máxima capacidade de condução de corrente pelo cabo através das tabelas dos anexos.

Para o caso de exemplo temos no apêndice A o seguinte:

- **Método de instalação:** para cabo multipolar “E”

Pelo apêndice B escolhemos o cabo conforme coluna “E” cabos bipolares que tenha a capacidade de condução de corrente desejada (consideramos a temperatura ambiente de 30°C).

- **Para 10A:** cabo com seção nominal de 0,5mm<sup>2</sup> (ligeiramente maior, pois tem capacidade de condução de 11A)
- **Para 50A:** cabo com seção nominal de 6mm<sup>2</sup> (ligeiramente maior, pois tem capacidade de condução de 51A)

**Observação:** devemos tomar bastante cuidado com os valores de temperatura ambiente diferentes dos que correspondem as tabelas, pois para casos diferentes devemos utilizar a tabela de fatores de correção de temperatura (apêndice D), caso contrário estaremos executando um dimensionamento incorreto. O motivo da correção de temperatura é porque ocorre um aumento da resistência com o aumento da temperatura, diminuindo assim a capacidade de corrente do condutor.

Depois de definida as bitolas dos condutores devemos encontrar os valores de resistência dos mesmos através do apêndice C. Na tabela encontramos o valor de resistência máxima para cada condutor a 20°C (condutores circulares e fios nus) em Ω/Km. Para temperaturas diferentes deve-se utilizar os fatores de correção. Como estamos trabalhando com cabos bipolares devemos multiplicar o valor encontrado por dois e depois dividir por mil para encontrar o valor de resistência máxima por metro.

- **Para 0,5mm<sup>2</sup>:** 36Ω/Km (2 x 36 = 72Ω/Km) = **0,072Ω/m**
- **Para 6mm<sup>2</sup>:** 3,08Ω/Km (2 x 3,08 = 6,16Ω/Km) = **0,00616Ω/m**

Definido estes dois parâmetros, podemos efetuar os demais cálculos e montar a tabela 2.

**Tabela 2- Dimensionamento de Cabos Caixas Acústicas**

|                                                 | Potência 800W @ 8Ω |       |       | Potência 5000W @ 2Ω |       |       | Unidade | Fórmula |
|-------------------------------------------------|--------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|---------|---------|
| <b>I<sub>A</sub></b>                            | 10                 |       |       | 50                  |       |       | A       | [5]     |
| <b>R<sub>FIO</sub> (2 x 0,5mm<sup>2</sup>)*</b> | 0,072**            |       |       | -----               |       |       | Ω/m     | -----   |
| <b>R<sub>FIO</sub> (2 x 6mm<sup>2</sup>)*</b>   | -----              |       |       | 0,00616**           |       |       | Ω/m     | -----   |
| <b>Comprimento</b>                              | 1                  | 10    | 20    | 1                   | 10    | 20    | m       | -----   |
| <b>R<sub>FIO</sub>/R<sub>L</sub></b>            | 0,009              | 0,090 | 0,180 | 0,003               | 0,030 | 0,061 | -----   | -----   |
| <b>AT<sub>FIO</sub></b>                         | 0,078              | 0,748 | 1,437 | 0,026               | 0,256 | 0,514 | dB      | [6]     |
| <b>P<sub>FIO</sub> %</b>                        | 1,77               | 15,83 | 28,18 | 0,59                | 5,74  | 11,16 | %       | [7]     |
| <b>D<sub>S</sub> (D = 100 @ 8Ω)</b>             | 52                 | 10    | 5     | 77                  | 25    | 14    | -----   | [4]     |
| <b>D<sub>S</sub> (D = 1000 @ 8Ω)</b>            | 100                | 11    | 6     | 250                 | 32    | 16    | -----   | [4]     |
| <b>D<sub>S</sub> (D = 10000 @ 8Ω)</b>           | 110                | 11    | 6     | 323                 | 33    | 16    | -----   | [4]     |

\* Retirado apêndice B, coluna E para cabos bipolares com corrente nominal pouco superior, a mais próxima da corrente calculada. Temperatura ambiente de 30°C.

\*\* Retirado apêndice C para um par de condutores, com temperatura ambiente de 20°C.

Neste momento temos uma análise bastante importante a fazer. Observando os valores obtidos na tabela 2 podemos entender que não somente a máxima capacidade de corrente deve ser levada em

conta na hora de dimensionar os cabos para as caixas, como normalmente se faz em dimensionamento de cabos para alimentação de energia. A resistência dos mesmos tem papel fundamental no fator de amortecimento do sistema (amplificador + fio + caixa acústica), como sabemos que o comprimento e a bitola do fio estão intimamente ligados ao resultado da resistência do fio, devemos efetuar sempre todos os cálculos para que o fator de amortecimento não caia muito e também para que a perda de potência em função do condutor não seja alta. Muitas vezes bitolas maiores de condutores são utilizadas mesmo que suportem maior quantidade de corrente, o motivo é justamente ter menor resistência melhorando os demais fatores. Não esqueça que quanto menor o cabo entre amplificador e caixa acústica, menor será o problema gerado com relação ao aumento de resistência.

Outra questão a salientar é que o resultado sonoro recebe boa influência do fator de amortecimento, portanto baixos valores podem apresentar sonoridade bem diferenciada. Valores acima de 20 são recomendados para o fator de amortecimento total do sistema.

## Capítulo 7 – Cabos de Alimentação

### 7.1- Corrente Alternada (AC)

Quando alimentamos cargas complexas, ou seja, resistiva mais reativa, em corrente alternada, é provocado um defasamento entre a tensão e a corrente fornecidas pela rede de alimentação. Este fato faz com que a fonte que gera a energia tenha que fornecer uma potência complexa maior do que a realmente utilizada pela carga. Esta potência é chamada de potência aparente ( $P_A$ ) e possui sua unidade dada em VA (Volt-Ampère). A fórmula para o cálculo da potência aparente é a seguinte:

$$P_A = \frac{P_C}{FP} \quad [10]$$

onde :

$P_A \Rightarrow$  potência aparente em VA;

$P_C \Rightarrow$  potência média consumida (potência ativa) em watts;

$FP \Rightarrow$  fator de potência;

Com o valor da potência aparente calculado podemos calcular também a corrente elétrica máxima AC que circulará nos cabos. A fórmula para o cálculo é:

$$I_{AC} = \frac{P_A}{V_{AC}} \quad [11]$$

onde :

$I_{AC} \Rightarrow$  corrente elétrica que circulará no cabo em ampères;

$P_A \Rightarrow$  potência aparente em VA;

$V_{AC} \Rightarrow$  tensão fornecida pela rede elétrica em volts;

A máxima corrente elétrica é o primeiro parâmetro para determinação da bitola do condutor, mas em segundo lugar devemos calcular a queda de tensão no cabo devido a sua resistência elétrica total. Para isso utilizamos novamente a lei de Ohm:

$$V_{FIO} = R_{FIO} \times I_{AC} \quad [12]$$

onde :

$V_{FIO} \Rightarrow$  queda de tensão no condutor em volts por metro;

$R_{FIO} \Rightarrow$  resistência elétrica total do condutor em ohms por metro (ver tabela conforme bitola);

$I_{AC} \Rightarrow$  corrente elétrica que circulará no cabo em ampères;

Para obter a queda de tensão total percentual em virtude do cabo devemos aplicar a seguinte fórmula:

$$QT\% = \frac{V_{FIO}}{V_{AC}} \times 100 \quad [13]$$

onde :

$QT\% \Rightarrow$  queda de tensão total devido a resistência do condutor em porcentagem;

$V_{FIO} \Rightarrow$  queda de tensão no condutor em volts;

$V_{AC} \Rightarrow$  tensão fornecida pela rede elétrica em volts;

Pois bem, agora chegamos no ponto onde devemos saber a potência de consumo máximo e a potência de consumo médio, pois assim, podemos dimensionar um cabo dentro dos parâmetros necessários. O consumo máximo é aquele especificado no manual do amplificador pelo fabricante para determinado sinal de teste. Já o consumo médio dependerá extremamente do fator de crista do sinal, ou seja, do tipo de programa de áudio que estará sendo amplificado.

Para calcular esta potência devemos aplicar a seguinte fórmula:

$$P_{C(dBW)} = P_{N(dBW)} - FC_{A(dB)} + FC_{T(dB)} - \eta_{(dB)} \quad [14]$$

onde :

$P_{C(dBW)} \Rightarrow$  potência elétrica consumida pelo amplificador em dBW;

$P_{N(dBW)} \Rightarrow$  potência elétrica nominal de saída do amplificador em dBW;

$FC_{A(dB)} \Rightarrow$  fator de crista do sinal de áudio a ser amplificado em dB;

$FC_{T(dB)} \Rightarrow$  fator de crista do sinal de teste utilizado na especificação do amplificado em dB;

$\eta_{(dB)} \Rightarrow$  rendimento do amplificador em dB;

Para converter o valor de rendimento em porcentagem do amplificador para um valor em dB, devemos aplicar a seguinte fórmula:

$$\eta_{(dB)} = 10 \log \left( \frac{\eta\%}{100} \right) \quad [15]$$

onde :

$\eta_{(dB)} \Rightarrow$  rendimento do amplificador em dB;

$\eta\% \Rightarrow$  rendimento do amplificador em porcentagem;

Um outro ponto importante é que devemos conhecer os valores de fator de crista para os sinais mais comuns, bem como os gêneros de programa musical mais comuns.

A tabela 3 apresenta os fatores de crista para os sinais e programas mais utilizados:

**Tabela 3- Fatores de Crista para os Sinais e Programas mais Utilizados**

| Fator de Crista                         |                 |     |            |     |
|-----------------------------------------|-----------------|-----|------------|-----|
| Tipo de Sinal                           | Restrito(500ms) |     | Amplio     |     |
|                                         | Veze*           | dB  | Veze*      | dB  |
| Onda Quadrada                           | 1               | 0   | 1          | 0   |
| Onda Senoidal                           | $\sqrt{2}$      | 3   | $\sqrt{2}$ | 3   |
| Onda Triangular                         | $\sqrt{3}$      | 4,8 | $\sqrt{3}$ | 4,8 |
| Ruído Rosa                              | 2,8             | 9   | 2,8        | 9   |
| Aplauso ou Música Fortemente Comprimida | 2,8             | 9   | 3,2        | 10  |
| Rock “Pesado” (médio-grave de guitarra) | 3,2             | 10  | 4          | 12  |
| Axé (graves)                            | 3,2             | 10  | 5          | 14  |
| Axé (médio-grave)                       | 4               | 12  | 5,6        | 15  |
| Pop, Rock Comum                         | 4               | 12  | 5,6        | 15  |
| Jazz                                    | 5,6             | 15  | 10         | 20  |
| Orquestra                               | 3,2             | 10  | 31,6       | 30  |
| Voz Humana (fala)                       | 5,6             | 15  | 5,6        | 15  |

\* Os valores especificados se referem a níveis de tensão ou correntes, sendo que para potência, estes valores devem ser elevados ao quadrado, pois tensão e corrente ao quadrado são proporcionais à potência.

### Exemplo Prático:

Como exemplo prático vamos tomar por base um amplificador que seja capaz de fornecer 2600 watts rms para uma carga de 2 ohms, especificação feita com um sinal de teste senoidal de 1kHz. Seu consumo de potência de alimentação máximo especificado é de 4100 watts. O rendimento do amplificador é de 63%, o fator de potência 0,85 e a tensão de rede  $V_{ac}$  igual a 220V. Supondo que o programa de áudio que será amplificado será uma música fortemente comprimida (que é um dos piores casos), vamos dimensionar o cabo de alimentação para este amplificador.

**Solução:** primeiramente devemos calcular o consumo de potência médio para este amplificador trabalhando com o programa especificado, pois o consumo de potência máximo é um dado que já foi fornecido (é fornecido em quase todos os manuais de amplificadores). Usaremos o valor de fator de crista para condição “amplo” fornecido na tabela 3.

- Passando 4100 watts para dBW :

$$Valor\ em\ dBW = 10 \log 4100 \cong 36,1$$

- Passando o valor de rendimento do amplificador em porcentagem para dB:

$$\eta_{dB} = 10 \log \left( \frac{65}{100} \right) \cong -1,9dB$$

- Sinal de teste senoidal

$$FC_{dB} = 3dB$$

Aplicando a fórmula 14 temos :

$$P_{C(dBW)} = 36,1 - 10 + 3 - 1,9 \cong 27,2dBW$$

ou

$$P_{C(WATTS)} = 10^{\frac{27,2}{10}} \cong 525Watts$$

Portanto, notamos que o consumo médio será de apenas 525 watts para o programa especificado. Agora devemos calcular o valor da potência aparente para o consumo máximo e médio:

Aplicando a fórmula 10 temos :

$$P_{A(média)} = \frac{525}{0,85} \cong 618W \quad (\text{para o consumo médio})$$

$$P_{A(máxima)} = \frac{4100}{0,85} \cong 4824W \quad (\text{para o consumo máximo})$$

Aplicando a fórmula 11 achamos as correntes correspondentes à potência aparente média e máxima:

$$I_{AC(média)} = \frac{618}{220} \cong 2,81A \quad (\text{para o consumo médio})$$

$$I_{AC(máxima)} = \frac{4824}{220} \cong 21,93A \quad (\text{para o consumo máximo})$$

**Tabela 4- Exemplo Dimensionamento de Cabos de Alimentação AC**

|                                                 | <b>P<sub>C</sub> (média) = 525W</b> | <b>P<sub>C</sub> (máxima) = 4100W</b> | <b>Unidade</b> | <b>Equação</b> |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------|----------------|
| <b>P<sub>A</sub></b>                            | 618                                 | 4824                                  | VA             | [14]           |
| <b>I<sub>AC</sub></b>                           | 2,81                                | 21,93                                 | A              | [11]           |
| <b>R<sub>FIO</sub> (2 x 0,5mm<sup>2</sup>)*</b> | 0,072**                             | -----                                 | Ω/m            | -----          |
| <b>R<sub>FIO</sub> (2 x 1,5mm<sup>2</sup>)*</b> | -----                               | 0,0242**                              | Ω/m            | -----          |
| <b>V<sub>FIO</sub></b>                          | 0,2023                              | 0,5307                                | V/m            | [12]           |
| <b>QT%<sub>1m</sub></b>                         | 0,091                               | 0,241                                 | %/m            | [13]           |
| <b>QT%<sub>5m</sub></b>                         | 0,459                               | 1,206                                 | %/5m           | [13]           |
| <b>QT%<sub>10m</sub></b>                        | 0,919                               | 2,412                                 | %/10m          | [13]           |
| <b>QT%<sub>50m</sub></b>                        | 4,597                               | 12,06                                 | %/50m          | [13]           |
| <b>QT%<sub>100m</sub></b>                       | 9,195                               | 24,12                                 | %/100m         | [13]           |

\* Retirado apêndice B, coluna E para cabos bipolares com corrente nominal pouco superior, a mais próxima da corrente calculada. Temperatura ambiente de 30°C.

\*\* Retirado apêndice C para um par de condutores, com temperatura ambiente de 20°C.

## Análise Geral

Depois de efetuado todos estes cálculos, percebemos que a queda de tensão é uma função direta da bitola e do comprimento do condutor, portanto, para escolher o cabo deve-se definir primeiramente a aplicação, pois em menores distância podemos utilizar cabos mais finos, já para grandes distâncias o cabo deve ser de maior bitola. Lembre-se que todas as perdas causadas pelos condutores resultarão em perda de potência no amplificador.

Porém, agora temos uma bitola de condutor calculado para o consumo de corrente médio e outra bitola para o máximo consumo de corrente, qual devemos utilizar? Pois bem, uma sugestão que os especialistas e alguns livros apresentam é considerar a média ponderada das correntes respectivas ao consumo médio e máximo, lembramos que este é apenas um ponto de partida e que outros pontos podem ser levados em conta, fazendo assim com que o dimensionamento seja o melhor possível. Veja a equação abaixo:

$$I_{ACP} = \sqrt{\frac{I_{ACM}^2 \cdot t_1 + I_{ACMAX}^2 \cdot t_2}{t_1 + t_2}} \quad [16]$$

onde :

$I_{ACP} \Rightarrow$  corrente ac média (ponderada) em ampères;

$I_{ACM}^2 \Rightarrow$  consumo médio de corrente ac;

$I_{ACMAX}^2 \Rightarrow$  consumo máximo de corrente ac;

$t_1 \Rightarrow$  tempo de duração de consumo de corrente média;

$t_2 \Rightarrow$  tempo de duração de consumo de corrente máxima;

Agora para escolhermos os valores destes tempos devemos observar a forma com que o sistema irá operar, o tipo de sinal que será amplificado e claro termos o bom senso. Para o caso do nosso exemplo citado anteriormente vamos adotar que o tempo de consumo de corrente média e o tempo de consumo de corrente máxima sejam de 50% cada (estes consumos distribuídos aleatoriamente):

$$I_{ACP} = \sqrt{\frac{(2,81)^2 \times 1 + (21,93)^2 \times 1}{1 + 1}} \cong 15,63 A$$

Com o novo valor de consumo de corrente podemos montar uma nova tabela e esta definitiva. Veja a tabela 5.

**Tabela 5- Dimensionamento Final AC**

|                                                                 | Valor    | Unidade | Equação |
|-----------------------------------------------------------------|----------|---------|---------|
| $P_A$ (para corrente média ponderada) $= V_{AC} \times I_{ACP}$ | 3438     | VA      | -----   |
| $I_{ACP}$ (média ponderada)                                     | 15,63    | A       | [16]    |
| $R_{FIO}$ (2 x 1mm <sup>2</sup> )*                              | 0,0362** | Ω/m     | -----   |
| $V_{FIO}$                                                       | 0,565    | V/m     | [12]    |
| QT% 1m                                                          | 0,256    | %/m     | [13]    |
| QT% 5m                                                          | 1,284    | %/5m    | [13]    |
| QT% 10m                                                         | 2,568    | %/10m   | [13]    |
| QT% 50m                                                         | 12,84    | %/50m   | [13]    |
| QT% 100m                                                        | 25,68    | %/100m  | [13]    |

\* Retirado apêndice B, coluna E para cabos bipolares com corrente nominal pouco superior, a mais próxima da corrente calculada. Temperatura ambiente de 30°C.

\*\* Retirado apêndice C para um par de condutores, com temperatura ambiente de 20°C.

Pela tabela 5 observamos que a queda total percentual será de 0,256% por metro, dessa forma para um cabo de dez metros teremos 2,56% de queda de tensão o que podemos considerar como um número relativamente baixo, devemos lembrar que esta situação só ocorrerá em regime de máxima potência de consumo. **Obs:** nunca esqueça de levar em consideração a temperatura ambiente, utilizando o apêndice D para possíveis correções dos fatores.

Mais uma questão que devemos observar é o dimensionamento da seção do condutor neutro e condutor de proteção (terra). Segundo a NBR 5410/2004, no item 6.2.6.2 o condutor neutro deve possuir no mínimo a mesma seção que os condutores fase, nos seguintes casos:

- em circuitos monofásicos e bifásicos;
- em circuitos trifásicos, quando a seção do condutor fase for igual ou inferior a 25mm<sup>2</sup>;
- em circuitos trifásicos, quando prevista a presença de harmônicos.

Ainda conforme a norma, no item 6.2.6.2.6 é admitida a redução do condutor neutro, apenas em circuitos trifásicos, quando as três condições abaixo forem atendidas simultaneamente:

- quando a seção do neutro for no mínimo igual a 25mm<sup>2</sup>;
- caso a máxima corrente susceptível de percorrer o neutro seja inferior a capacidade de condução de corrente correspondente à seção reduzida do condutor neutro;
- quando o condutor neutro for protegido de sobrecorrentes.

**Obs:** Para dimensionamento correto ver apêndice E.

Para o condutor de proteção (fio terra - designado por PE), a NBR 5410/2004 recomenda que sejam utilizados cabos isolados, cabos unipolares ou veias de cabos multipolares. O apêndice F apresenta as seções mínimas para o condutor de proteção em função dos condutores fase do circuito.

Para alguns casos é admitido que o condutor neutro e de proteção seja o mesmo, neste caso é chamado de PEN (PE+N), sendo que sua seção mínima deve ser de 10mm<sup>2</sup> para cabo isolado ou cabo unipolar e de 4mm<sup>2</sup> para uma veia de cabo multipolar.

Segundo a norma NBR 5410/2004 temos a seguinte denominação de cores para os condutores:

### 1. Baixa Tensão: Fios e Cabos com Bitola até 16mm<sup>2</sup>

- **Condutor de Fase**
  - Fase R: Preta
  - Fase S: Branca
  - Fase T: Vermelha

- **Condutor de Neutro**

- Azul-Claro

**Obs:** a veia com isolamento azul-claro de um cabo multipolar pode ser usada para outras funções, que não a de condutor neutro, se o circuito não possuir condutor neutro ou se o cabo possuir um condutor periférico utilizado como neutro.

- **Condutor de Proteção (PE)**

- Dupla coloração Verde-Amarela ou Verde

- **Condutor de Proteção (PEN)**

- Azul-Claro com anilhas Verde-Amarela

## **2. Baixa Tensão: Fios e Cabos com Bitola de 25mm<sup>2</sup> a 240mm<sup>2</sup>**

- **Condutor de Fase**

- Fase R: cobertura do cabo na cor Preta, com identificação na cor Preta
- Fase S: cobertura do cabo na cor Preta, com identificação na cor Branca
- Fase T: cobertura do cabo na cor Preta, com identificação na cor Vermelha

- **Condutor de Neutro**

- Azul-Claro

- **Condutor de Proteção (PE)**

- Verde

## **3. Baixa Tensão: Fios e Cabos com Bitola de 300mm<sup>2</sup> e acima**

- **Condutor de Fase**

- Fase R: cobertura do cabo na cor Preta, com identificação na cor Preta
- Fase S: cobertura do cabo na cor Preta, com identificação na cor Branca
- Fase T: cobertura do cabo na cor Preta, com identificação na cor Vermelha

- **Condutor de Neutro**

- Cobertura do cabo na cor Preta, com identificação na cor Azul-Claro

- **Condutor de Proteção (PE)**

- Cobertura do cabo na cor Preta, com identificação de Dupla coloração Verde-Amarela ou Verde

## **4. Baixa Tensão: Cabos Multipolares**

- **2 Condutores (Bipolar)**

- 1 veia na cor Preta
- 1 veia na cor Azul-Claro

- **3 Condutores (Tripolar)**

- 1 veia na cor Preta
- 1 veia na cor Branca
- 1 veia na cor Azul-Claro

- **4 Condutores (Tetrapolar)**

- 1 veia na cor Preta

- 1 veia na cor Branca
- 1 veia na cor Vermelha
- 1 veia na cor Azul-Claro
- **5 Condutores (Pentapolar)**
  - 1 veia na cor Preta
  - 1 veia na cor Branca
  - 1 veia na cor Vermelha
  - 1 veia na cor Azul-Claro
  - 1 veia na cor Verde - Amarela

## 5. Baixa Tensão: Barramentos

- **Condutor de Fase**
  - Fase A: Azul-Escuro
  - Fase B: Branca
  - Fase C: Marrom
- **Condutor de Neutro**
  - Azul-Claro
- **Condutor de Proteção (PE)**
  - Verde-Amarelo ou Verde

## 7.2- Corrente Contínua (DC)

Para corrente contínua novamente utilizamos a potência de consumo médio e potência de consumo máximo, para a partir destes encontrar uma média de consumo de corrente e escolher assim a bitola do cabo necessária. Lembramos que a alimentação com corrente contínua é típica em automóveis. Nestes o dimensionamento dos condutores de alimentação tem um papel fundamental, pois como se trata de baixa tensão e alta corrente, podemos ter grandes quedas provocadas por mau dimensionamento, as quais podem comprometer muito o funcionamento do sistema (muitas perdas). As equações para cálculo são as mesmas utilizadas em corrente alternada, porém aqui vamos utilizar nas fórmulas os seguintes índices:

- $V_{AC}$  (tensão em corrente alternada) passa para  $V_{DC}$  (tensão em corrente contínua)
- $I_{AC}$  (corrente em corrente alternada) passa para  $I_{DC}$  (corrente em corrente contínua)

Um ponto importante a salientar é que em corrente contínua, não temos a potência aparente, já que a tensão e a corrente não estão defasadas. Para este caso a potência entregue pela fonte geradora é a potência que será realmente consumida pelo equipamento. Vamos executar um exemplo prático para que você possa melhor entender o processo.

Suponha um sistema automotivo com consumo de potência média de 200W e de potência máxima de 1600W, com uma tensão de alimentação de 13,8V (bateria). Aplicando as fórmulas vistas anteriormente em corrente alternada podemos achar os seguintes valores:

**Solução:** primeiramente devemos calcular a corrente média e máxima.

$$I_{DC(médio)} = \frac{200W}{13,8V} \cong 14,5A$$

$$I_{DC(máximo)} = \frac{1600W}{13,8V} \cong 116A$$

Agora vamos montar uma tabela exatamente como feito no caso de corrente alternada. Veja tabela 6.

**Tabela 6- Exemplo Dimensionamento de Cabos de Alimentação DC**

|                                                | <b>P<sub>C</sub> (média) = 200W</b> | <b>P<sub>C</sub> (máxima) = 1600W</b> | <b>Unidade</b> | <b>Equação</b> |
|------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------|----------------|
| <b>I<sub>DC</sub></b>                          | 14,5                                | 116                                   | A              | [11]           |
| <b>R<sub>FIO</sub> (2 x 1mm<sup>2</sup>)*</b>  | 0,0362**                            | -----                                 | Ω/m            | -----          |
| <b>R<sub>FIO</sub> (2 x 25mm<sup>2</sup>)*</b> | -----                               | 0,001454**                            | Ω/m            | -----          |
| <b>V<sub>FIO</sub></b>                         | 0,5249                              | 0,1686                                | V/m            | [12]           |
| <b>QT%<sub>1m</sub></b>                        | 3,803                               | 1,221                                 | %/m            | [13]           |
| <b>QT%<sub>5m</sub></b>                        | 19,018                              | 6,108                                 | %/5m           | [13]           |

\* Retirado apêndice B, coluna E para cabos bipolares com corrente nominal pouco superior, a mais próxima da corrente calculada. Temperatura ambiente de 30°C.

\*\* Retirado apêndice C para um par de condutores, com temperatura ambiente de 20°C.

Pelos valores obtidos na tabela 6 podemos observar que o dimensionamento dos cabos nas instalações automotivas na maioria dos casos são sub-dimensionados, causando assim altas perdas de potência. O motivo de usarmos normalmente cabos com pequenas distâncias (na maioria dos casos no máximo cinco metros) nos fornece um o custo menor de instalação, possibilitando assim a utilização de um condutor próximo ao da bitola calculada para consumo máximo, pois estaremos garantindo uma menor perda em função do condutor. Observe também que a máxima queda de tensão em cinco metros chega a 6%, o que em 13,8V de alimentação significa uma queda 0,82V, a qual podemos considerar uma baixa queda de tensão.

Para finalizar queremos lembrar que todos os pontos apresentados e discutidos nesta parte sobre dimensionamento de cabos são pontos de partida, pois para um correto dimensionamento, ou pelo menos coerente, deve ser muito bem avaliado cada sistema, onde as características dos equipamentos utilizados variam muito de modelo, marca, fabricante, etc. Porém uma coisa é certa, se você resolver gastar menos porque o cabo corretamente especificado é muito caro, lembre-se sempre que você estará poupando de um lado para gastar no outro, pois seu amplificador ou sistema, fornecerá menor potência em virtude das perdas. Caso necessite alimentar sistemas em grandes distâncias (evitar sempre que possível), tome muito cuidado com o dimensionamento, caso contrário às consequências podem ser desastrosas.

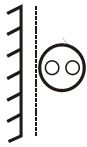
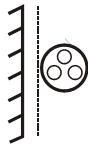
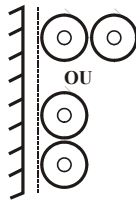
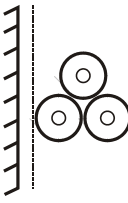
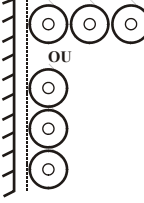
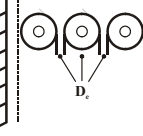
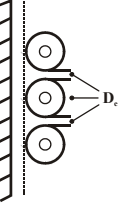
**Apêndice A – (\*) Métodos de Instalação e Determinação das Colunas do apêndice B.**

| Tipo de Linha Elétrica                                                              | Método de Instalação (1) | Condutor Isolado                                                           | Cabo Unipolar                                                                                                   | Cabo Multipolar                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                     |                          | Cabo Suprastic<br>Cabo Suprastic Flex<br>Fio Suprastic<br>Cabo Afumex 750V | Cabo Sintenax Flex<br>Cabo Sintenax<br>Cabo Eprotenax Gsette<br>Cabo Eprotenax<br>Cabo Voltalene<br>Cabo Afumex | Cabo Sintenax Flex<br>Cabo Sintenax<br>Cabo Eprotenax Gsette<br>Cabo Eprotenax<br>Cabo Voltalene<br>Cabo Afumex |
| Afastado da parede ou suspenso por cabo de suporte (2)                              | 15/17                    | -                                                                          | F                                                                                                               | E                                                                                                               |
| Bandejas não perfuradas ou prateleiras                                              | 12                       | -                                                                          | C                                                                                                               | C                                                                                                               |
| Bandejas perfuradas (horizontal ou vertical)                                        | 13                       | -                                                                          | F                                                                                                               | E                                                                                                               |
| Canaleta fechada no piso, solo ou parede                                            | 33/34/72/72A/75/75A      | B1                                                                         | B1                                                                                                              | B2                                                                                                              |
| Canaleta ventilada no piso ou solo                                                  | 43                       | -                                                                          | B1                                                                                                              | B1                                                                                                              |
| Diretamente em espaço de construção - $1,5D_e \leq V < 5D_e$ (4)                    | 21                       | -                                                                          | B2                                                                                                              | B2                                                                                                              |
| Diretamente em espaço de construção - $5D_e \leq V \leq 50D_e$ (4)                  | 21                       | -                                                                          | B1                                                                                                              | B1                                                                                                              |
| Diretamente enterrado                                                               | 62/63                    | -                                                                          | D                                                                                                               | D                                                                                                               |
| Eletrocalha                                                                         | 31/31A/32/32A/35/36      | B1                                                                         | B1                                                                                                              | B2                                                                                                              |
| Eletroduto aparente                                                                 | 3/4/5/6                  | B1                                                                         | B1                                                                                                              | B2                                                                                                              |
| Eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria                              | 27                       | -                                                                          | B2                                                                                                              | B2                                                                                                              |
| Eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria - $1,5D_e \leq V < 5D_e$ (4) | 26                       | B2                                                                         | -                                                                                                               | -                                                                                                               |
| Eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria - $5D_e \leq V < 50D_e$ (4)  | 26                       | B1                                                                         | -                                                                                                               | -                                                                                                               |
| Eletroduto em canaleta fechada - $1,5D_e \leq V < 20D_e$ (4)                        | 41                       | B2                                                                         | B2                                                                                                              | -                                                                                                               |
| Eletroduto em canaleta fechada - $V \geq 20D_e$ (4)                                 | 41                       | B1                                                                         | B1                                                                                                              | -                                                                                                               |
| Eletroduto em canaleta ventilada no piso ou solo                                    | 42                       | B1                                                                         | -                                                                                                               | -                                                                                                               |
| Eletroduto em espaço de construção                                                  | 23 / 25                  | -                                                                          | B2                                                                                                              | B2                                                                                                              |
| Eletroduto em espaço de construção - $1,5D_e \leq V < 20D_e$ (4)                    | 22 / 24                  | B2                                                                         | -                                                                                                               | -                                                                                                               |
| Eletroduto em espaço de construção - $V \geq 20D_e$ (4)                             | 22 / 24                  | B1                                                                         | -                                                                                                               | -                                                                                                               |
| Eletroduto embutido em alvenaria                                                    | 7 / 8                    | B1                                                                         | B1                                                                                                              | B2                                                                                                              |
| Eletroduto embutido em caxilho de porta ou janela                                   | 73 / 74                  | A1                                                                         | -                                                                                                               | -                                                                                                               |
| Eletroduto embutido em parede isolante                                              | 1 / 2                    | A1                                                                         | A1                                                                                                              | A1                                                                                                              |
| Eletroduto enterrado no solo ou canaleta não ventilada no solo                      | 61 / 61A                 | -                                                                          | D                                                                                                               | D                                                                                                               |
| Embutimento direto em alvenaria                                                     | 52 / 53                  | -                                                                          | C                                                                                                               | C                                                                                                               |
| Embutimento direto em caxilho de porta ou janela                                    | 73 / 74                  | -                                                                          | A1                                                                                                              | A1                                                                                                              |
| Embutimento direto em parede isolante                                               | 51                       | -                                                                          | -                                                                                                               | A1                                                                                                              |
| Fixação direta à parede ou teto (3)                                                 | 11 / 11A / 11B           | -                                                                          | C                                                                                                               | C                                                                                                               |
| Forro falso ou piso elevado - $1,5D_e \leq V < 5D_e$ (4)                            | 28                       | -                                                                          | B2                                                                                                              | B2                                                                                                              |
| Forro falso ou piso elevado - $5D_e \leq V < 50D_e$ (4)                             | 28                       | -                                                                          | B1                                                                                                              | B1                                                                                                              |
| Leitos, suportes horizontais ou telas                                               | 14 / 16                  | -                                                                          | F                                                                                                               | E                                                                                                               |
| Moldura                                                                             | 71                       | A1                                                                         | A1                                                                                                              | -                                                                                                               |
| Sobre isoladores                                                                    | 18                       | G                                                                          | -                                                                                                               | -                                                                                                               |

(1) método de instalação conforme a tabela 33 da NBR 5410/2004 – (2) distância entre o cabo e a parede  $\geq 0,3$  diâmetro externo do cabo – (3) distância entre o cabo e a parede  $< 0,3$  diâmetro externo do cabo – (4)  $V$  = altura do espaço de construção ou da canaleta /  $D_e$  = diâmetro externo do cabo.

(\*) Os locais da tabela assinalados por (-) significam que os cabos correspondentes não podem, de acordo com a NBR 5410/2004, ser instalados na maneira especificada ou então trata-se de uma maneira de instalar não usual para o tipo de cabo escolhido.

**Apêndice B – (\*)** Capacidades de Condução de Corrente em Ampères, para os Métodos de Referência E, F e G do apêndice A, Fios e Cabos Isolados em Termoplástico, Condutor de Cobre.

| Seções Nominiais (mm <sup>2</sup> ) | MÉTODOS DE INSTALAÇÃO DEFINIDOS NO APÊNDICE A                                     |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | Cabos Multipolares                                                                |                                                                                   | Cabos Unipolares ou Condutores Isolados                                           |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |
|                                     | E                                                                                 | E                                                                                 | F                                                                                 | F                                                                                 | F                                                                                  | G                                                                                   | G                                                                                   |
|                                     | Cabos Bipolares                                                                   | Cabos Tripolares e Tetrapolares                                                   | 2 Condutores Isolados ou 2 Cabos Unipolares                                       | Condutores Isolados ou Cabos Unipolares em Trifólio                               | 3 Cabos Unipolares ou 3 Condutores Isolados Contíguos                              | Espaçados Horizontalmente                                                           | Espaçados Verticalmente                                                             |
|                                     |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>1</b>                            | <b>2</b>                                                                          | <b>3</b>                                                                          | <b>4</b>                                                                          | <b>5</b>                                                                          | <b>6</b>                                                                           | <b>7</b>                                                                            | <b>8</b>                                                                            |
| 0,5                                 | 11                                                                                | 9                                                                                 | 11                                                                                | 8                                                                                 | 9                                                                                  | 12                                                                                  | 10                                                                                  |
| 0,75                                | 14                                                                                | 12                                                                                | 14                                                                                | 11                                                                                | 11                                                                                 | 16                                                                                  | 13                                                                                  |
| 1                                   | 17                                                                                | 14                                                                                | 17                                                                                | 13                                                                                | 14                                                                                 | 19                                                                                  | 16                                                                                  |
| 1,5                                 | 22                                                                                | 18,5                                                                              | 22                                                                                | 17                                                                                | 18                                                                                 | 24                                                                                  | 21                                                                                  |
| 2,5                                 | 30                                                                                | 25                                                                                | 31                                                                                | 24                                                                                | 25                                                                                 | 34                                                                                  | 29                                                                                  |
| 4                                   | 40                                                                                | 34                                                                                | 41                                                                                | 33                                                                                | 34                                                                                 | 45                                                                                  | 39                                                                                  |
| 6                                   | 51                                                                                | 43                                                                                | 53                                                                                | 43                                                                                | 45                                                                                 | 59                                                                                  | 51                                                                                  |
| 10                                  | 70                                                                                | 60                                                                                | 73                                                                                | 60                                                                                | 63                                                                                 | 81                                                                                  | 71                                                                                  |
| 16                                  | 94                                                                                | 80                                                                                | 99                                                                                | 82                                                                                | 85                                                                                 | 110                                                                                 | 97                                                                                  |
| 25                                  | 119                                                                               | 101                                                                               | 131                                                                               | 110                                                                               | 114                                                                                | 146                                                                                 | 130                                                                                 |
| 35                                  | 148                                                                               | 126                                                                               | 162                                                                               | 137                                                                               | 143                                                                                | 181                                                                                 | 162                                                                                 |
| 50                                  | 180                                                                               | 153                                                                               | 196                                                                               | 167                                                                               | 174                                                                                | 219                                                                                 | 197                                                                                 |
| 70                                  | 232                                                                               | 196                                                                               | 251                                                                               | 216                                                                               | 225                                                                                | 281                                                                                 | 254                                                                                 |
| 95                                  | 282                                                                               | 238                                                                               | 304                                                                               | 264                                                                               | 275                                                                                | 341                                                                                 | 311                                                                                 |
| 120                                 | 328                                                                               | 276                                                                               | 352                                                                               | 308                                                                               | 321                                                                                | 396                                                                                 | 362                                                                                 |
| 150                                 | 379                                                                               | 319                                                                               | 406                                                                               | 356                                                                               | 372                                                                                | 456                                                                                 | 419                                                                                 |
| 185                                 | 434                                                                               | 364                                                                               | 463                                                                               | 409                                                                               | 427                                                                                | 521                                                                                 | 480                                                                                 |
| 240                                 | 514                                                                               | 430                                                                               | 546                                                                               | 485                                                                               | 507                                                                                | 615                                                                                 | 569                                                                                 |
| 300                                 | 593                                                                               | 497                                                                               | 629                                                                               | 561                                                                               | 587                                                                                | 709                                                                                 | 659                                                                                 |
| 400                                 | 715                                                                               | 597                                                                               | 754                                                                               | 656                                                                               | 689                                                                                | 852                                                                                 | 795                                                                                 |
| 500                                 | 826                                                                               | 689                                                                               | 868                                                                               | 749                                                                               | 789                                                                                | 982                                                                                 | 920                                                                                 |
| 630                                 | 958                                                                               | 789                                                                               | 1005                                                                              | 855                                                                               | 905                                                                                | 1138                                                                                | 1070                                                                                |
| 800                                 | 1118                                                                              | 930                                                                               | 1169                                                                              | 971                                                                               | 1119                                                                               | 1325                                                                                | 1251                                                                                |
| 1000                                | 1292                                                                              | 1073                                                                              | 1346                                                                              | 1079                                                                              | 1296                                                                               | 1528                                                                                | 1448                                                                                |

(\*) De acordo com a tabela 38 da NBR 5410/2004

- Cabo Superastic, Cabo Superastic Flex, Fio Superastic, Cabo Sintenax e Cabo Sintenax Flex, Fio Afumex 750V;
- Temperatura no condutor: 70°C;
- Temperatura ambiente: 30°C.

**Apêndice C – Características dos Condutores Classe 2 (NBR NM 280).**

| Seção Nominal<br>(mm <sup>2</sup> ) | Número mínimo de fios no condutor   |                                     | Resistência máxima do condutor a 20°C,<br>condutores circulares e fios nus. (Ω / km) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | Condutor não-compactado<br>circular | Condutor compactado<br>não-circular |                                                                                      |
| 0,5                                 | 7                                   | -                                   | 36,0                                                                                 |
| 0,75                                | 7                                   | -                                   | 24,5                                                                                 |
| 1                                   | 7                                   | -                                   | 18,1                                                                                 |
| 1,5                                 | 7                                   | 6                                   | 12,1                                                                                 |
| 2,5                                 | 7                                   | 6                                   | 7,41                                                                                 |
| 4                                   | 7                                   | 6                                   | 4,61                                                                                 |
| 6                                   | 7                                   | 6                                   | 3,08                                                                                 |
| 10                                  | 7                                   | 6                                   | 1,83                                                                                 |
| 16                                  | 7                                   | 6                                   | 1,15                                                                                 |
| 25                                  | 7                                   | 6                                   | 0,727                                                                                |
| 35                                  | 7                                   | 6                                   | 0,524                                                                                |
| 50                                  | 19                                  | 6                                   | 0,387                                                                                |
| 70                                  | 19                                  | 12                                  | 0,268                                                                                |
| 95                                  | 19                                  | 15                                  | 0,193                                                                                |
| 120                                 | 37                                  | 18                                  | 0,153                                                                                |
| 150                                 | 37                                  | 18                                  | 0,124                                                                                |
| 185                                 | 37                                  | 30                                  | 0,0991                                                                               |
| 240                                 | 61                                  | 34                                  | 0,754                                                                                |
| 300                                 | 61                                  | 34                                  | 0,0601                                                                               |
| 400                                 | 61                                  | 53                                  | 0,0470                                                                               |
| 500                                 | 61                                  | 53                                  | 0,0366                                                                               |
| 630                                 | 91                                  | 53                                  | 0,0283                                                                               |
| 800                                 | 91                                  | 53                                  | 0,0221                                                                               |
| 1000                                | 91                                  | 53                                  | 0,0176                                                                               |

**Apêndice D – (\*) Fatores de Correção para Temperaturas Ambientes Diferentes de 30°C para Linhas Não Subterrâneas e de 20°C (temperatura do solo) para Linhas Subterrâneas.**

| Temperatura (°C) | ISOLAÇÃO |             |         |             |
|------------------|----------|-------------|---------|-------------|
|                  | PVC      | EPR ou XLPE | PVC     | EPR ou XLPE |
|                  | Ambiente |             | Do Solo |             |
| 10               | 1,22     | 1,15        | 1,10    | 1,07        |
| 15               | 1,17     | 1,12        | 1,05    | 1,04        |
| 20               | 1,12     | 1,08        | 1       | 1           |
| 25               | 1,06     | 1,04        | 0,95    | 0,96        |
| 30               | 1        | 1           | 0,89    | 0,93        |
| 35               | 0,94     | 0,96        | 0,84    | 0,89        |
| 40               | 0,87     | 0,91        | 0,77    | 0,85        |
| 45               | 0,79     | 0,87        | 0,71    | 0,80        |
| 50               | 0,71     | 0,82        | 0,63    | 0,76        |
| 55               | 0,61     | 0,76        | 0,55    | 0,71        |
| 60               | 0,50     | 0,71        | 0,45    | 0,65        |
| 65               | -        | 0,65        | -       | 0,60        |
| 70               | -        | 0,58        | -       | 0,53        |
| 75               | -        | 0,50        | -       | 0,46        |
| 80               | -        | 0,41        | -       | 0,38        |

(\*) De acordo com a tabela 40 da NBR 5410/2004

**Apêndice E – (\*) Seção do Condutor Neutro.**

| <b>Seção dos condutores fase (mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Seção mínima do condutor neutro (mm<sup>2</sup>)</b> |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| S ≤ 25                                            | S                                                       |
| 35                                                | 25                                                      |
| 50                                                | 25                                                      |
| 70                                                | 35                                                      |
| 95                                                | 50                                                      |
| 120                                               | 70                                                      |
| 150                                               | 70                                                      |
| 185                                               | 95                                                      |
| 240                                               | 120                                                     |
| 300                                               | 150                                                     |
| 400                                               | 240                                                     |
| 500                                               | 240                                                     |
| 630                                               | 400                                                     |
| 800                                               | 400                                                     |
| 1000                                              | 500                                                     |

(\*) De acordo com a tabela 48 da NBR 5410/2004

**Apêndice F – (\*) Seções Mínimas dos Condutores de Proteção.**

| <b>Seção dos condutores fase (mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Seção do condutor de proteção (mm<sup>2</sup>)</b> |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1,5                                               | 1,5 (mínima)                                          |
| 2,5                                               | 2,5                                                   |
| 4                                                 | 4                                                     |
| 6                                                 | 6                                                     |
| 10                                                | 10                                                    |
| 16                                                | 16                                                    |
| 25                                                | 16                                                    |
| 35                                                | 16                                                    |
| 50                                                | 25                                                    |
| 70                                                | 35                                                    |
| 95                                                | 50                                                    |
| 120                                               | 70                                                    |
| 150                                               | 95                                                    |
| 185                                               | 95                                                    |
| 240                                               | 120                                                   |
| 300                                               | 150                                                   |
| 400                                               | 240                                                   |
| 500                                               | 240                                                   |
| 630                                               | 400                                                   |
| 800                                               | 400                                                   |
| 1000                                              | 500                                                   |

(\*) De acordo com a tabela 58 da NBR 5410/2004

## Referências Bibliográficas

- [1] **Perda do Neutro.** Disponível em: <<http://www.byknirsch.com.br/artigos.htm>>. Acesso em 16 de agosto de 2007.
- [2] **Aterre o Seu Equipamento.** Disponível em: <<http://www.audiolink.com.br/audiolink/guitaramppage.htm>>. Acesso em 16 de agosto de 2007.
- [3] **Aterramentos. Engel Engenharia Elétrica.** Disponível em: <<http://www.grupozug.com.br/ENGEL/inicio.htm>>. Acesso em 16 de agosto de 2007.
- [4] **Aterramento, Ruído e Segurança.** Disponível em: <<http://www.music-center.com.br/princip.htm>>. Acesso em 16 de agosto de 2007.
- [5] **Qualidade de Energia. Causas, Efeitos e Soluções.** Disponível em: <[http://www.engecomp.com.br/pow\\_qual.htm](http://www.engecomp.com.br/pow_qual.htm)>. Acesso em 16 de agosto de 2007.
- [6] **Dimensionamento Baixa Tensão.** Disponível em: <[http://www.prismian.com.br/pt\\_BR/cables\\_systems/energy/product\\_families/dimensionamento/dimensionamento\\_en\\_br.jhtml](http://www.prismian.com.br/pt_BR/cables_systems/energy/product_families/dimensionamento/dimensionamento_en_br.jhtml)>. Acesso em 16 de agosto de 2007.
- [7] BORTONI, Rosalfonso. **Amplificadores de Áudio - Fundamentos Características e Aplicações.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora H. Sheldon, 2002.
- [8] **Diretrizes da Nova ABNT NBR 5410/2004 a Respeito de Proteção Contra Surtos.** Disponível em: <[www.clamper.com.br/baixararquivo.asp?a=arquivos/ABNT\\_NBR\\_5410\\_2004\\_SurtosEletricosEdicao2.pdf](http://www.clamper.com.br/baixararquivo.asp?a=arquivos/ABNT_NBR_5410_2004_SurtosEletricosEdicao2.pdf)>. Acesso em 16 de agosto de 2007.
- [9] **Qualidade de Energia - Harmônicas.** Disponível em: <<http://www.selinc.com.br/tcampo/funcdire.htm>>. Acesso em 16 de agosto de 2007.
- [10] **Identificação de Condutores Elétricos.** Disponível em: [www.sanasa.com.br/document/docsanasa/1472.pdf](http://www.sanasa.com.br/document/docsanasa/1472.pdf). Acesso em 20 de agosto de 2007.