

PCO

**PROGRAMA DE CERTIFICAÇÃO
OPERACIONAL CST**

**SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM
EQUIPAMENTOS E
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**

ELABORAÇÃO: JUNHO/05

SUMÁRIO

I	PROTEÇÃO, ALARME E EMERGÊNCIA.	
1	RELÉS DE PROTEÇÃO	9
1.1	DEFINIÇÃO DE RELÉ	9
1.2	CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS	9
1.3	O RELÉ ELEMENTAR	11
1.4	QUALIDADES REQUERIDAS DE UM RELÉ	14
1.5	CRITÉRIOS DE EXISTÊNCIA DE FALTA E SEUS EFEITOS	15
1.6	RELÉS DE PROTEÇÃO DIGITAIS	16
1.7	INSTALAÇÕES	19
1.8	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	21
1.9	CONCLUSÕES	22
2	SELETIVIDADE	23
2.1	CONTINUIDADE E SELETIVIDADE	23
2.1.1	Introdução	23
2.1.2	Arranjo dos Circuitos	24
2.2	CONCEITO DA SELETIVIDADE	25
2.3	SELETIVIDADE POR NÍVEL DE CORRENTE	29
2.3.1	O disjuntor a jusante não é limitador	29
2.3.2	O disjuntor a jusante é limitador	30
2.3.3	O disjuntor a montante é rápido com retardo curto (SD)	31
2.4	SELETIVIDADE POR RETARDO DE TEMPO	32
2.5	SELETIVIDADE LÓGICA	33
2.5.1	Tempos de Seletividade	36
2.5.2	Falha do Disjuntor	36
2.6	LIMITAÇÃO E SELETIVIDADE PELA EXPLORAÇÃO DA ENERGIA DO ARCO	37
2.6.1	Princípio de operação	38
2.6.2	Princípio da seletividade	38
2.7	SELETIVIDADE AT/BT EM UMA SUBESTAÇÃO DE CONSUMIDOR	39
3	SISTEMA DE FORNECIMENTO ININTERRUPTO DE ENERGIA ELÉTRICA (NO-BREAK)	41
3.1	INTRODUÇÃO	41
3.2	COMPOSIÇÃO DO SISTEMA	42
3.2.1	Circuito Retificador/Carregador	43
3.2.2	Banco de Baterias	43
3.2.3	Circuito Inversor	43

3.2.4	Chave Estática	43
3.3	TOPOLOGIAS PRINCIPAIS	43
3.3.1	No-Break Stand-by	43
3.3.1.1	Rede Presente	43
3.3.1.2	Falha na Rede	44
3.3.2	Nobreak Interativo	44
3.3.2.1	Rede Presente	45
3.3.2.2	Falha na Rede	45
3.3.2.3	Interativo Ferromressonante	45
3.3.2.4	Interativo de Simples Conversão	46
3.3.3	No-Break On-Line	46
4	SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA	49
4.1	OBJETIVO DO SISTEMA	49
4.2	ALGUMAS DEFINIÇÕES	50
4.3	CARACTERÍSTICAS DAS CENTRAIS	51
4.4	INSTALAÇÃO	53
4.4.1	Localização	53
4.4.2	Alimentação	53
4.4.3	Condutores	54
4.5	MANUTENÇÃO	55
4.6	BATERIAS	56
4.6.1	Características Técnicas	57
4.6.2	Vida Útil	57
4.6.2.1	Temperatura	58
4.6.2.2	Tipo de Utilização	58
4.6.2.3	Manutenção	59
4.6.3	Dimensionamento	59
4.6.4	Capacidade	59
4.7	ESQUEMA DE LIGAÇÃO DA CENTRAL DE ILUMINAÇÃO	61
5	RETIFICADORES	62
5.1	INTRODUÇÃO	62
5.2	CIRCUITOS RETIFICADORES COM DIODOS	63
5.2.1	Retificador de Meia Onda, Carga Resistiva.	64
5.2.2	Retificador de Onda Completa, Carga Resistiva	66
5.2.2.1	Retificador em Ponte	66
5.2.2.2	Retificador de Onda Completa com Transformador de Terminal Central	69
5.2.3	Retificador de Pico (carga capacitiva)	70
5.2.4	Retificador de Meia Onda com Filtro Capacitivo	71

5.2.5	Retificador de Onda Completa em Ponte com Filtro capacitivo	76
5.2.6	Retificador de Onda Completa com Filtro de Indutor à Entrada	77
5.3	ALGUMAS DEFINIÇÕES RELATIVAS A FONTES DE TENSÃO	80
5.4	PROBLEMAS RELACIONADOS COM A REALIZAÇÃO PRÁTICA DE CIRCUITOS RETIFICADORES	82
5.5	CURVAS DE SCHADE	82
6	BATERIAS	83
6.1	CÉLULA PRIMÁRIA	83
6.2	CÉLULA SECUNDÁRIA	86
6.2.1	Célula chumbo - chumbo ácido	86
6.2.1.1	Manutenção das baterias	88
6.2.2	Elemento ferro - níquel – alcalino	89
6.3	CONSTITUIÇÃO	91
6.3.1	Caixa	92
6.3.2	Placas	92
6.3.3	Eletrólito	93
6.3.4	Conectores de Elementos	93
6.4	CARACTERÍSTICAS	94
6.4.1	Tensão	94
6.4.2	Capacidade	94
6.5	CONDIÇÕES DE USO	95
6.6	MANUTENÇÃO	95
6.7	REPRESENTAÇÃO	95
6.8	COMPARAÇÃO ENTRE BATERIAS ALCALINAS E CHUMBO-ÁCIDAS	96
6.8.1	Armazenagem	96
6.8.2	Auto Descarga	96
6.8.3	Altas Temperaturas	96
6.8.4	Desprendimento de Gases	97
6.8.5	Perda de Capacidade com a Diminuição da Temperatura	97
6.8.6	Vida Útil, Quando Utilizadas em Flutuação.	97
6.8.7	Instalação	98
6.8.8	Final de Vida	98
6.8.9	Manutenção	99
6.8.9.1	Quadro Comparativo Sobre Alguns Aspectos Típicos de Manutenção	100
6.8.9.2	Quadro Comparativo - Tempo de Manutenção	101
6.8.9.3	Análises Comparativas entre Baterias Chumbo-Ácidas e Alcalinas	102

6.8.10	Ambiente	102
6.8.11	Confiabilidade	103
6.9	INSTRUMENTOS DE CONTROLE DA BATERIA DE ACUMULADORES	103
6.9.1	Densímetro	103
6.9.2	Voltímetro de alta descarga	105
6.10	CARREGADORES DE BATERIA	106
6.10.1	Introdução	106
6.10.2	Os tipos de carregadores mais usados	107
6.10.3	Condições de Uso	108
6.10.4	Conservação	108
6.11	REGIMES DE CARGA E BATERIAS	109
6.11.1	Temperatura Limite de Carga	110
6.11.2	Colocar Bateria de Acumuladores em Carga	111
7	SISTEMAS DE ATERRAMENTO	114
7.1	INTRODUÇÃO	114
7.1.1	Cabo	115
7.1.2	Estaca	115
7.1.3	Rede d'água	116
7.2	ESCOLHA DO CONDUTOR DE PROTEÇÃO	119
7.2.1	Conexão com Terminais	127
7.2.2	Solda de Cabo à Haste de Aterramento	129
7.3	DETERMINAÇÃO DO QUE ATERRAR	130
7.4	UTILIZAÇÃO DO NEUTRO COMO CONDUTOR DE PROTEÇÃO	135
7.5	CONDIÇÕES PARA USO DO NEUTRO NO ATERRAMENTO	139
7.6	CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS	139
7.7	SISTEMA DE ATERRAMENTO	140
7.8	VALOR DA TENSÃO EM SISTEMAS DE BAIXA TENSÃO	145
8	SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	146
8.1	ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA	146
8.2	O PÁRA-RAIOS E SUA ATUAÇÃO	150
8.2.1	Classificação dos Pára-Raios	151
8.2.1.1	Pára-raios comum	153
8.2.1.2	Pára-raios ionizante	159
8.3	RESISTÊNCIA DE TERRA	165
9	SISTEMA DE DETECÇÃO E ALARME DE INCÊNDIO	167
9.1	TIPOS DE PREVENÇÃO E COMBATE AO INCÊNDIO	167

9.2	INSTALAÇÃO DO ALARME DE INCÊNDIO	168
9.2.1	Detectores ópticos de fumaça ou DFO's:	169
9.2.2	Detectores iônicos de fumaça ou DFI's:	170
9.2.3	Detectores térmicos ou DT's:	171
9.2.4	Detectores termo-velocimétricos ou DTV's:	171
9.3	INSTALAÇÃO DOS DETECTORES:	172
10	SISTEMAS DE DETECÇÃO DE GASES AMBIENTE	173
10.1	INTRODUÇÃO	173
10.2	LEITURA DIRETA DE GASES E VAPORES	174
10.2.1	Aplicação	174
10.2.2	Princípio de operação	175
10.2.3	Interpretação de resultados	176
10.2.4	Limitações e considerações	176
10.3	INDICADOR DE OXIGÊNIO	179
10.3.1	Aplicação	179
10.3.2	Princípio de operação	179
10.3.3	Interpretação de resultados	180
10.3.4	Limitações e considerações	180
10.3.5	Calibração	181
10.3.6	Especificações técnicas (modelo 245 - MSA)	182
10.3.7	Acessórios	183
10.4	INDICADOR DE GÁS COMBUSTÍVEL (EXPLOSÍMETROS)	183
10.4.1	Aplicação	183
10.4.2	Princípio de operação	184
10.4.3	Limitações e considerações	185
10.4.4	Interpretação de resultados	186
10.4.5	Calibração do equipamento	188
10.4.6	Considerações gerais	189
10.5	FOTOIONIZADOR	190
10.5.1	Aplicação	190
10.5.2	Princípio de operação	190
10.5.3	Interpretação dos resultados	193
10.5.4	Limitações e considerações	195
10.5.5	Calibração	197
10.6	MONITORES QUÍMICOS ESPECÍFICOS	197
10.6.1	Aplicação	197
10.6.2	Princípio de operação	198
10.6.3	Interpretação dos resultados	199
10.6.4	Limitações e considerações	199

10.6.5	Calibração	199
10.7	MEDIDORES DE PH (PH-METROS)	199
10.7.1	Aplicação	199
10.7.2	Princípio de operação	200
10.7.3	Interpretação dos resultados	201
10.7.4	Limitações e considerações	202
10.7.5	Calibração	202
10.8	CROMATOGRAFIA A GÁS	203
10.8.1	Aplicação	203
10.8.2	Princípio de operação	204
10.8.3	Interpretação dos resultados	208
10.8.3.1	Análise Qualitativa	208
10.8.3.2	Análise Quantitativa	209
10.8.4	Limitações e Considerações	211
10.9	MEDIDOR DE INTERFACE	212
10.9.1	Aplicação	212
10.9.2	Princípio de operação	212
10.9.3	Interpretação de resultados	213
10.9.4	Limitações e considerações	214
10.10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	215
II	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM ATMOSFERAS EXPLOSIVAS	
1	CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS	217
1.1	INTRODUÇÃO	217
1.2	DEFINIÇÕES	218
1.2.1	Atmosfera Explosiva	218
1.2.2	Área Classificada	218
1.2.3	Explosão	218
1.2.4	Ignição	218
1.3	CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO AS NORMAS EUROPÉIAS (IEC)	218
1.3.1	Classificação em Zonas	219
1.3.2	Classificação em Grupos	220
1.4	CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO AS NORMAS AMERICANAS (NEC)	221
1.4.1	Classificação em Divisão	221
1.4.2	Classificação em Classes	221
1.4.3	Classificação em Grupos	222

1.5	COMPARAÇÃO ENTRE AS NORMAS EUROPÉIA E AMERICANA	222
1.5.1	Quanto aos Materiais	222
1.5.2	Quanto a Periodicidade	223
1.6	TEMPERATURA DE IGNIÇÃO ESPONTÂNEA	224
1.6.1	Temperatura de Superfície	224
2	TIPOS DE PROTEÇÃO PARA EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	225
2.1	POSSIBILIDADE DE EXPLOSÃO	225
2.1.1	Métodos de Prevenção	226
2.2	À PROVA DE EXPLOSÃO (Ex d)	227
2.2.1	Características	228
2.2.2	Aplicações	229
2.3	PRESSURIZADO (Ex p)	230
2.4	ENCAPSULADO (Ex m)	231
2.5	IMERSO EM ÓLEO (Ex o)	231
2.6	ENCHIMENTO DE AREIA (Ex q)	232
2.7	SEGURANÇA INTRÍNSECA (Ex i)	232
2.8	SEGURANÇA AUMENTADA (Ex e)	233
2.9	NÃO ASCENDÍVEL (Ex n)	234
2.10	PROTEÇÃO ESPECIAL (Ex s)	235
2.11	COMBINAÇÕES DAS PROTEÇÕES	235
2.12	APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE PROTEÇÃO	235
3	CERTIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	236
3.1	PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO	236
3.1.1	Certificado de Conformidade	238
3.1.2	Marcação	238
3.3	A CERTIFICAÇÃO DA SEGURANÇA INTRÍNSECA	241
3.3.1	Equipamentos Simples	241
3.3.2	Equipamentos Intrinsecamente Seguros	241
3.3.3	Equipamentos Intrinsecamente Seguros Associados	241
3.4	PARAMETRIZAÇÃO	242
3.4.1	Intrinsecamente Seguro	242
3.4.2	Intrinsecamente Seguro Associado	243
3.5	CONCEITO DE ENTIDADE	243
3.5.1	Aplicação da Entidade	244
3.5.2	Análise das Marcações	246
3.6	TEMPERATURA DE IGNIÇÃO ESPONTÂNEA	247
III	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	248

I – PROTEÇÃO, ALARME E EMERGÊNCIA

1 - RELÉS DE PROTEÇÃO

1.1 - DEFINIÇÃO DE RELÉ

Segundo a ABNT, o relé de proteção é um dispositivo por meio do qual um equipamento elétrico é operado quando se produzem variações nas condições deste equipamento ou do circuito em que ele está ligado, ou em outro equipamento ou circuito associado.

Outras normas definem o relé de proteção como um dispositivo cuja função é detectar falhas nas linhas ou equipamentos, perceber perigosas ou indesejáveis condições do sistema e iniciar convenientes manobras de chaveamento ou dar aviso adequado.

1.2 - CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS:

Há uma grande variedade de relés e eles podem ter diversos tipos de construção, muitos contatos e apresentar características próprias sendo indicados para aplicações bem determinadas. Analisaremos a seguir como são classificados na prática os relés classificando-os quanto:

a) Quanto a grandezas físicas de atuação:

- 1 - Elétricas;
- 2 – Mecânicas;
- 3 - Térmicas;
- 4 - Óticas;
- 5 - Etc.

b) Quanto ao tipo da grandeza de atuação:

1 - Corrente;

2 - Tensão;

3 - Potência;

4- Frequência;

5 - Pressão;

6 - Temperatura;

7 - Etc.

c) Quanto ao tipo construtivo:

1 - Eletromecânicos (indução);

2 - Mecânicos (centrífugos);

3 - Eletrônicos (fotoelétricos);

4 - Estáticos (efeito Hall);

5 - Etc.

d) Quanto à função:

1 - Sobre e subcorrente;

2 - Tensão ou potência;

3 - Direcional de corrente ou potência;

4 - Diferencial;

5- Distância;

6 - Etc.

e) Quanto à forma de conexão do elemento sensor

1 - Direto no circuito primário;

2 - Através de redutores de medida.

f) Quanto ao tipo de fonte para atuação do elemento de controle:

1 - Corrente alternada;

2 - Corrente contínua.

g) Quanto ao grau de importância dentro do circuito onde está instalado:

- 1 - Principal (51 ASA);
- 2 - Intermediário ou auxiliar (86 ASA).

h) Quanto ao posicionamento dos contatos (com circuito desenergizado):

- 1 - Normalmente aberto (NA);
- 2 - Normalmente fechado (NF).

i) Quanto à aplicação:

- 1 - Máquinas rotativas (motores, geradores);
- 2 - Máquinas estáticas (transformadores);
- 3 - Linhas aéreas ou subterrâneas;
- 4 - Aparelhos em geral.

j) Quanto ao tempo de atuação:

- 1 - Instantâneos (sem retardo proposital);
- 2 - Temporizados (mecânica, elétrica ou eletronicamente).

k) Quanto ao princípio de funcionamento:

- 1 - Atração eletromagnética;
- 2 - Indução eletromagnética.

1.3 - O RELÉ ELEMENTAR

Seja um circuito monofásico (Figura 1), contendo uma fonte de tensão (U) alimentando uma carga (Z), do que resulta uma corrente circulante (I). Nesse circuito foi introduzido um relé elementar, do tipo eletromecânico: uma estrutura em charneira, composta de um núcleo fixo e uma armadura móvel à qual estão solidários os contatos móveis e uma mola que obriga o circuito magnético a ficar aberto em uma posição regulável.

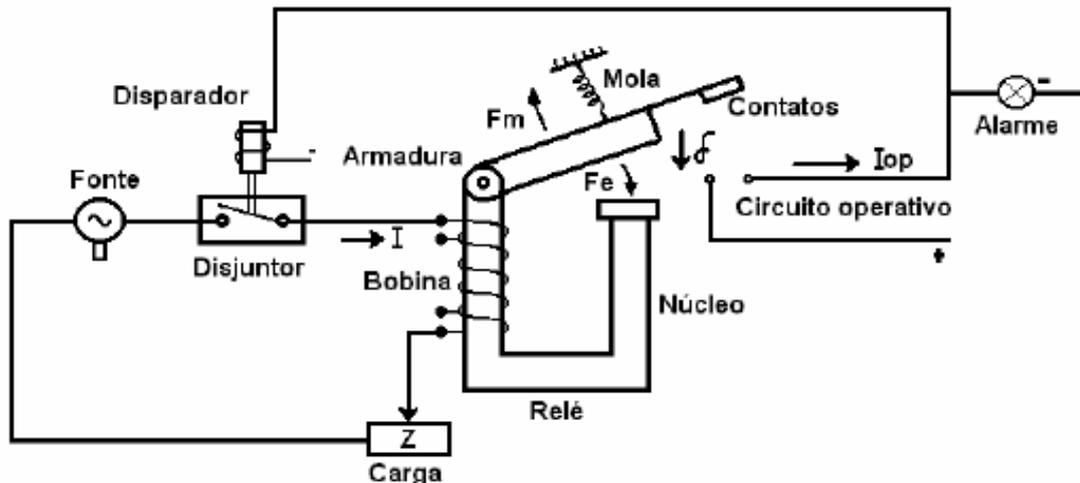


Figura 1 - Relé elementar

O núcleo é percorrido por um fluxo, proporcional à corrente do circuito, que circulando na bobina do relé faz com que seja possível que o contato móvel feche um circuito operativo auxiliar (fonte de corrente contínua, nesse caso), alimentando um alarme (lâmpada) e/ou o disparador do disjuntor colocado no circuito principal sempre que $F_e > F_m$.

Por motivos de projeto, o valor I deve ser limitado e assim, sempre que se exceder um valor prefixado a I_a (denominado, corrente de atuação, de pickup, de acionamento ou de operação do relé), o circuito deve ser interrompido, por exemplo, pelo fornecimento de um impulso de operação (I_{op}) enviado à bobina do disparador do disjuntor, ou pelo menos, ser assinalada aquela ultrapassagem por um alarme (lâmpada, buzina).

Sabemos através dos princípios da conversão eletromecânica que a força eletromagnética (F_e) desenvolvida através do entreferro (δ) pelo fluxo do núcleo, é provocada pela corrente I na bobina do relé que, segundo a fórmula de Picou, neste tipo de estrutura é:

$$F_e \cong KI^2$$

Onde K leva em conta a taxa de variação da permeância do entreferro, o número de espiras e ajusta as unidades convenientes.

Por outro lado, temos a força da mola (F_m) opondo-se ao deslocamento da armadura.

No relé há:

- Órgãos motores (bobina);
- Órgãos antagonistas (mola, gravidade);
- Órgãos auxiliares (contatos, amortecedores) do que resulta, no releamento, a presença de:

a) Elemento sensor - ou detector - Às vezes chamado elemento de medida que responde às variações da corrente atuante (I);

b) Elemento comparador - entre a grandeza atuante (F_e) e um comportamento predeterminado (F_m);

c) Elemento de controle - efetuando uma brusca mudança na grandeza de controle, por exemplo, fechando os contatos do circuito da bobina de disparo do disjuntor.

Graficamente, uma função $I(t)$ pode mostrar o funcionamento do relé (Figura 2).

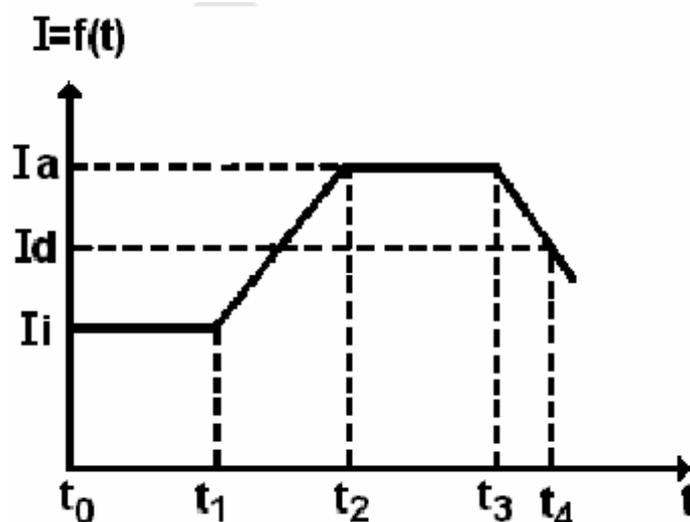


Figura 2 - Gráfico auxiliar

A partir de um instante (t_1) em que a corrente de carga inicial (I_i) começa a crescer, atingindo após certo tempo (t_2) o valor da corrente de acionamento (I_a).

Durante um intervalo de tempo (t_3-t_2) o disjuntor atua abrindo o circuito, em (t_3) a corrente começa a decrescer atingindo no instante (t_4) o nível de corrente (I_d) onde temos o ponto de equilíbrio $F_e = F_m$; ao passar por (t_4) onde $F_e < F_m$, o relé abre seu circuito magnético.

1.4 - QUALIDADES REQUERIDAS DE UM RELÉ

Para cumprir sua finalidade, os relés devem:

- a) Ser tão simples (confiabilidade) e robustos (efeitos dinâmicos da corrente de defeito) o quanto possível;
- b) Ser tão rápidos (razões de estabilidade do sistema) o quanto possível, independentemente do valor, natureza e localização do defeito;
- c) Ter baixo consumo próprio (especificação dos redutores de medida);
- d) Ter alta sensibilidade e poder de discriminação (a corrente de defeito pode ser inferior à nominal e a tensão quase anular-se);
- e) Realizar contatos firmes (evitando centelhamento e ricochetes que conduzem a desgaste prematuro);
- f) Manter sua regulagem, independentemente da temperatura exterior, variações de frequência, vibrações e campos magnéticos externos, etc.;
- g) Ter baixo custo.

1.5 - CRITÉRIOS DE EXISTÊNCIA DE FALTA E SEUS EFEITOS

Por definição, defeito ou falta é o termo usado para denotar um acidental afastamento das condições normais de operação. Assim, um curto circuito ou condutor interrompido constitui uma falta ou falha.

Um defeito modifica mais ou menos profundamente as tensões e as correntes próprias ao sistema considerado. Logo as grandezas atuantes sobre os relés deverão ser ligadas, obrigatoriamente, àquelas alterações de módulo e/ou argumento das correntes e tensões.

De fato, um curto-circuito traduz-se por:

- a) Altas correntes e quedas de tensões. No entanto ambas não são exclusivas do defeito;
- b) Variação da impedância aparente – correspondente à relação tensão/corrente no local do relé - e que é brusca e maior na ocasião do defeito do que nas simples variações de carga.
- c) Aparecimento das componentes inversas (seqüência negativa) e homopolar (seqüência zero) de tensão e/ou de corrente no caso de defeito desequilibrado, e de valor máximo no lugar do defeito. Recorde-se que o defeito desequilibrado comporta-se como gerador de seqüência negativa ou zero. Contudo, a presença de simples desequilíbrio, não obriga tratar-se de defeito, ou pelo menos de um curto-circuito;
- d) Acentuadas diferenças de fase e/ou amplitude entre a corrente de entrada (I_e) e de saída (I_s) de um elemento da rede. Em geral, as correntes derivadas (magnetizante dos transformadores; capacitiva das linhas) são pequenas comparativamente com as correntes de trabalho normais, assim, se a corrente derivada $ID=(I_e - I_s)$ é grande, há

defeito. Pode-se raciocinar, analogamente, com diferença de ângulo de fase entre I_e e I_s : cerca de 180° indica defeito interno (inversão de sentido de I_s) no elemento controlado.

É baseado nessas indicações que serão indicados o relé aplicável a cada caso, na prática.

Apesar de os sistemas de proteção, medição e controle digitais já serem empregados em larga escala em sistemas elétricos de potência, muitos dos critérios empregados nos sistemas elétricos ainda são os mesmos do tempo dos equipamentos eletromecânicos, não possibilitando o aproveitamento de todos os benefícios que este tipo de equipamento pode trazer ao sistema elétrico como um todo. O trabalho é conduzido de forma a apresentar os benefícios dos sistemas de proteção digitais, bem como os novos paradigmas trazidos por eles no projeto, nas instalações, na operação e na manutenção de sistemas elétricos de potência. O foco do trabalho será a proteção de sistemas elétricos industriais, sendo que muitos dos itens discutidos neste artigo podem ser estendidos a sistemas elétricos de potência em geral.

1.6 - RELÉS DE PROTEÇÃO DIGITAIS

As primeiras pesquisas em aplicação de computadores digitais em sistemas elétricos de potência (SEPs) remontam ao final dos anos 60, onde se vislumbrava a possibilidade de concentrar todas as operações e proteções de uma subestação em um único computador de grande porte .

Os avanços na tecnologia de sistemas digitais e na teoria de tratamento digital de sinais permitiram realizar a primeira instalação piloto de proteção de linha logo em 1972 pela Westinghouse e Pacific Gas & Electric .

A tecnologia eletromecânica estava bem estabelecida e sempre teve uma reputação de durabilidade e confiabilidade (desde que bem mantidos), porém vislumbrou-se com a aplicação de sistemas digitais uma maior flexibilidade de aplicação, maior compactação dos equipamentos, uma melhor performance dos sistemas e a exploração de um novo nicho pelos fabricantes destes sistemas.

O grande desafio da tecnologia digital tem sido se igualar à tecnologia eletromecânica em termos de durabilidade e obsolescência dos equipamentos uma vez que para os

sistemas digitais estima-se uma vida útil média de 10 anos, enquanto que os sistemas eletromecânicos têm uma vida útil média verificada de 30 anos. Para tal, investimentos maciços vêm sendo realizados para o aperfeiçoamento destes sistemas, de modo que hoje a tecnologia digital já conquistou definitivamente o seu espaço nos SEPs e é aplicada em larga escala.

A aplicação desta tecnologia, porém, é muitas vezes tratada como um elemento a parte do sistema de potência em si, uma vez que todo o seu potencial, não apenas como sistema de proteção mas também como ferramenta para análise de energia, não é aproveitado adequadamente para prover todos os benefícios possíveis a um sistema elétrico.

Os engenheiros de proteção talvez tenham sido os mais beneficiados com o advento da proteção digital. Padronização de equipamentos, novas funções, maior flexibilidade de aplicação e facilidades de comunicação estão entre as principais mudanças sentidas. Porém, tudo isso requer uma gama muito maior de itens a serem analisados e especificados e um número muito maior de ajustes e parametrizações a serem realizadas.

Dentre as novas características de projeto da proteção digital, podem ser citadas para os sistemas industriais as seguintes:

- Padronização de curvas de atuação e adaptação a sistemas existentes: a padronização de equipamentos trouxe esta facilidade, sendo que hoje, por exemplo, encontram-se programadas em um relé de sobrecorrente todas as funções dos padrões ANSI/IEEE e IEC e funções de relés eletromecânicos não padronizadas

(p.ex., linhas GE-IAC e Westinghouse-CO). Alguns chegam à sofisticação de permitir a programação da curva de atuação ponto a ponto.

- Novos critérios de ajuste para maior sensibilidade da proteção: o tratamento mais refinado dos sinais recebidos pelos relés e a utilização de alguns sinais lógicos adicionais permitem, por exemplo, filtrar a corrente de inrush de transformadores e a

componente contínua das correntes de curto-circuito e reconhecer a corrente de partida de motores de indução de forma que não são mais necessários as temporizações e aumentos de ajuste comumente utilizados para evitar as atuações indevidas nestes casos.

- Intertravamentos lógicos para composição de esquemas de proteção especiais: as entradas e saídas digitais dos relés digitais permitem a composição quase aleatória de relés de proteção para, por exemplo, montar um esquema de seletividade lógica entre relés de sobrecorrente e conseguir indiretamente a proteção diferencial de barra do painel (Figura 3). Além disso, relés multifunção podem ter suas funções internas combinadas aleatoriamente por meio de programação própria para compor esquemas completos de proteção de equipamentos.

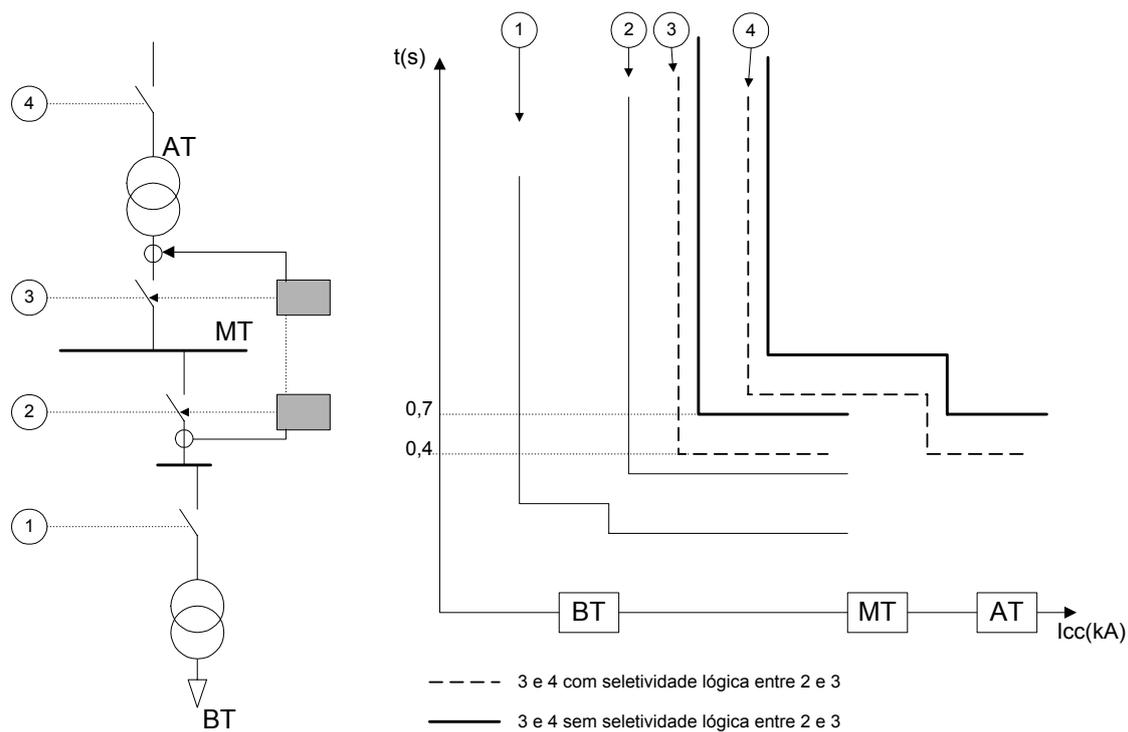


Figura 3 – Seletividade lógica entre relés de sobrecorrente

- Auto-monitoramento dos equipamentos e circuitos: as novas tecnologias de circuitos integrados, circuitos “watch-dog” por exemplo, permitem que se faça o auto-

monitoramento das funções internas do relé e também do circuito de trip do disjuntor. Isto, aliado à facilidade de substituição destes equipamentos, aumenta consideravelmente a confiabilidade e a disponibilidade do sistema de proteção (valor típico de disponibilidade com automonitoramento: 99,97 % (3)), além de amenizar a necessidade de redundância de sistemas de proteção em aplicações críticas.

- Medição, comando e comunicação integrados à proteção: os relés hoje são praticamente multi-medidores e mini-CLP’s integrados que, aliados a facilidades de comunicação em rede e integração com sistemas supervisores, praticamente eliminam a necessidade de estações remotas e outros equipamentos de medição e comando e permitem realizar funções tais como mudança automática de ajustes (de acordo com a configuração de fontes) e religamento automático de circuitos.

O principal resultado destas mudanças é o aumento da confiabilidade de um SEP (danos e tempos de restabelecimento de faltas menores) pelo fato destes novos conceitos permitirem a maior sensibilidade e o menor tempo de atuação das proteções. Porém, para se atingir tais benefícios, as equipes envolvidas devem ter uma qualificação diferenciada, que envolve além dos conhecimentos em SEP's, conhecimentos básicos de sistemas digitais e redes de computadores.

1.7 - INSTALAÇÕES

As instalações de SEP's também foram bastante beneficiadas, principalmente pela menor dimensão dos equipamentos de proteção e pelo surgimento dos relés multifunção. Na Figura 4 é mostrado um exemplo de um painel de proteção e excitação típico de geradores industriais para exemplificar esta mudança.



Figura 4 – Painel de proteção e excitação de geradores

Abaixo são citadas as principais mudanças na instalação introduzidas pela proteção digital em sistemas industriais:

- Compactação e simplificação das instalações: a menor dimensão dos equipamentos e os relés multifunção ocupam menos espaço físico e simplificam o cabeamento do sistema.
- Baixo consumo e menor solicitação de carga de TC's e TP's: pelo baixíssimo consumo de potência do circuito de sinal dos relés digitais, e pela integração entre proteção e medição, os requisitos de carga principalmente sobre os TC's são bastante reduzidos, permitindo assim a utilização de TC's de núcleo reduzido e de baixa corrente nominal mesmo em instalações com nível de curto-circuito elevado. Por exemplo, para um TC de relação 100:5, classe 10B100, impedância do enrolamento 0,065 ohms, alimentando um relé IAC-53 de impedância 0,27 ohms, existe precisão para correntes simétricas de até 5,97 kA; o mesmo TC alimentando um relé digital típico de impedância 0,022 ohms é preciso para correntes simétricas de até 23 kA. Ressalvas devem ser feitas quando na presença de componente

contínua na corrente de curto-circuito (esta satura o TC independente da carga do seu circuito secundário).

Contudo, a proteção digital possui requisitos de instalação antes inexistentes na tecnologia eletromecânica:

- Cabeamento de comunicações: necessário para a interligação entre relés e com o sistema supervisor, possui um grau de dificuldade de instalação maior por utilizar infra-estrutura sofisticada (fibras óticas, interfaces opto-eletrônicas) e por se estender em muitos casos por toda a instalação.
- Fonte de alimentação estabilizada e ininterrupta: necessária para a alimentação do sistema de proteção. Requer um sistema “no-break” de retificador/ inversor e bancos de baterias dedicados. Existem relés auto-alimentados pelos TC's e TP's, porém a prática tem sido prover uma fonte independente do circuito principal para maior confiabilidade.

- Aterramento: os relés digitais, por serem equipamentos sensíveis e por muitas vezes estarem interligados com equipamentos distantes, requerem uma série de cuidados no seu aterramento que devem ser respeitados sob pena de falha de atuação e/ou atuação indevida do equipamento.

Em comparação com os benefícios trazidos pelos relés digitais, os novos requisitos não devem ser encarados como empecilho para a sua aplicação.

1.8 - OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

A simplificação da manutenção e as novas possibilidades de aquisição de dados operacionais dos relés digitais são fatores adicionais nas mudanças introduzidas por eles.

Do ponto de vista da manutenção, os relés digitais possuem recursos como ajuste e aferição local, isto é, diretamente em interfaces nos painéis frontais ou traseiros, programas especiais e recursos de auto-monitoramento que reduzem drasticamente o tempo gasto nestas operações. Além disso, é eliminada a necessidade de calibração como nos relés eletromecânicos.

Do ponto de vista da operação do sistema de potência como um todo, as novas possibilidades de aquisição de sinais, registro de eventos, oscilografias e até localização de faltas permitem a correta identificação do tipo de falta e da sua origem e localização, acelerando a implantação de medidas mitigatórias e o restabelecimento do sistema. Devem ser implantadas novas rotinas operacionais para não serem desperdiçadas tais informações.

Além disso, recentemente tem-se discutido muito a aplicação de relés digitais na análise de qualidade de energia do sistema elétrico. Em resumo, apesar dos relés digitais possuírem filtros para o tratamento dos sinais e para a sua utilização nos algoritmos de

cálculo, pode-se aproveitá-los para registrar os principais eventos de interesse das indústrias, como interrupções momentâneas do fornecimento de energia, curtos-circuitos, sub e sobre-tensões, e a partir daí realizar um diagnóstico do sistema elétrico de forma rápida e confiável. A grande vantagem desta aplicação é que os relés digitais estão instalados por todo o sistema elétrico e permanecem permanentemente ligados a ele, dispensando a necessidade da aquisição de equipamentos adicionais para análise de energia e contribuindo para a localização rápida dos eventos.

Aqui, mais do que nos outros itens, é exigida das equipes envolvidas uma qualificação superior abrangendo noções de sistemas de potência, de parametrização de relés, de operação de software dedicado e de redes de computadores.

1.9- CONCLUSÕES

Relés de proteção digitais trazem benefícios significativos em todos os aspectos dos sistemas de potência. Porém eles requerem maior sofisticação das instalações e

principalmente uma qualificação diferenciada dos profissionais envolvidos nas várias etapas do projeto até a manutenção destes sistemas.

O uso de relés eletromecânicos não foi abandonado por eles não atenderem aos requisitos de proteção dos sistemas elétricos de potência, mas apenas pela disponibilidade de equipamentos mais sofisticados no mercado. E afinal, em termos de funções de proteção propriamente ditas, os relés digitais não fazem outra coisa senão tentar reproduzir o funcionamento dos eletromecânicos utilizando-se de algoritmos matemáticos. Hoje existem funções e facilidades adicionais com a vantagem de prover o comando e monitoramento do sistema elétrico, desde que exista a infra-estrutura necessária para isso.

2 – SELETIVIDADE

2.1 - CONTINUIDADE E SELETIVIDADE

2.1.1 - Introdução:

Em uma instalação típica em BT, os circuitos originam-se de um quadro geral de distribuição, de onde saem condutores em vários tipos de instalação para suprir quadros de distribuição e sub-distribuição locais.

O arranjo dos grupos de cabos isolados e os meios de fixa-los e protege-los contra danos mecânicos, levando em conta considerações estéticas constitui a realização prática de uma instalação elétrica.

A continuidade do fornecimento de energia em uma instalação elétrica pode ser mais (ou menos) assegurada por um arranjo razoavelmente sofisticado dos circuitos e pelo emprego de dispositivos de proteção contra curtos-circuitos mais (ou menos) rápidos, seguros e religáveis rapidamente.

A seletividade será obtida por uma discriminação entre estes dispositivos de proteção de modo que, em caso de falta, seja desligado o menor número possível de cargas.

2.1.2 - Arranjo dos Circuitos

A criação de circuitos independentes para partes independentes de uma instalação permite:

- Limitar as conseqüências no caso de falhas de um circuito;
- Simplificar a localização de um circuito defeituoso;
- Efetuar a manutenção ou alteração de um circuito sem perturbar o resto da instalação.

A divisão dos circuitos pode ser feita em várias categorias cada uma delas requerendo um circuito individual ou grupo de circuitos e, em alguns casos, determinados tipos de cabos (**por exemplo: para circuitos de alarme contra incêndio ou de proteção**).

Em geral são os seguintes os grupos utilizados:

- Circuitos de iluminação (circuitos em que ocorre a maioria das falhas de isolamento);
- Circuitos de tomadas;
- Circuitos para aquecimento e/ou ar condicionado;
- Circuitos de força para máquinas fixa acionadas por motores;
- Circuitos de força para serviços auxiliares (indicação e controle);
- Circuitos para sistemas de segurança (luz de emergência, sistemas de proteção contra incêndio, e UPS para sistemas de computação, etc...).

Estas instalações são sujeitas a regulamentos e normas nacionais.

2.2 – CONCEITO DA SELETIVIDADE

É a propriedade de uma instalação de, em caso de falta, só abrir o dispositivo de proteção contra curtos-circuitos que estiver mais próximo do ponto de falta. Com isto, a parte do circuito que fica inoperante será a menor possível.

A propriedade de escolher entre dois dispositivos de proteção quem vai ser desligado é denominada discriminação, a qual vai garantir a seletividade.

A seletividade pode ser de quatro tipos:

Baseada em níveis de corrente:

Este método é efetivado pelo ajuste das correntes de disparo de relés em degraus a partir dos relés a jusante (ajustes menores) para os do lado da fonte (maiores ajustes).

A seletividade é absoluta ou parcial de acordo com as condições particulares (Figura 5).

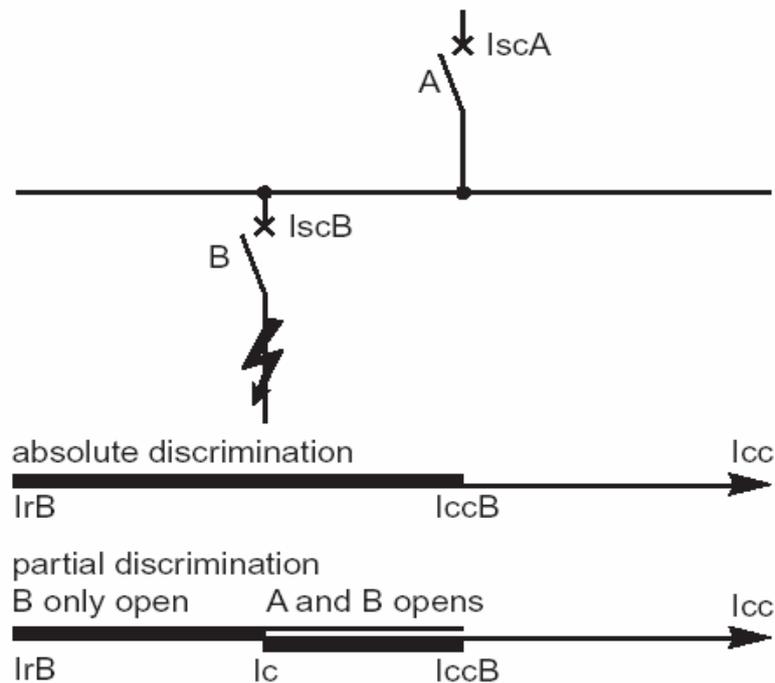


Figura 5 – Seletividade parcial e absoluta

Na discriminação parcial haverá seletividade para as faltas a partir de uma certa distância de B (a corrente será limitada pela impedância do circuito, ficando abaixo do ajuste inferior de A).

Para as faltas próximas a B poderão abrir os dois disjuntores. Como as maiorias das faltas estaticamente ocorrem ao longo dos condutores, para a maioria dos defeitos haverá discriminação e, portanto seletividade (Figura 6).

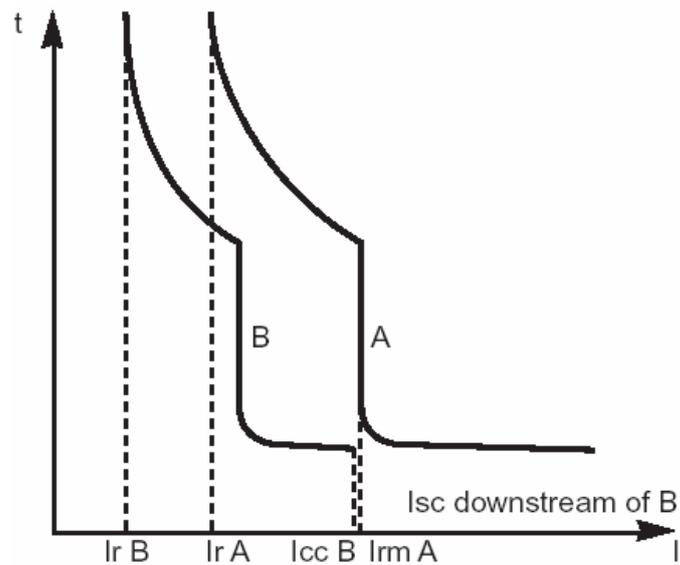


Figura 6 – Seletividade absoluta entre disjuntores A e B

Baseada em degraus de tempo:

Este método é implementado pelo ajuste das unidades de disparo retardado de modo que os relés a jusante tenham tempos de operação mais curtos progressivamente em relação aqueles em direção a fonte. Nos arranjos em dois níveis mostrados na Figura 7 o disjuntor A é retardado suficientemente para assegurar uma discriminação absoluta com B (por exemplo: Masterpact eletrônico).

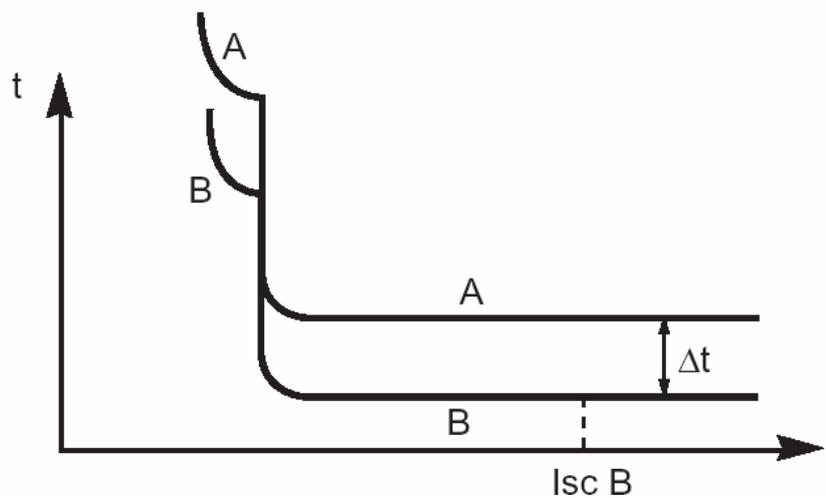


Figura 7 – Seletividade por degraus de tempo

Baseada em uma combinação dos dois métodos anteriores:

Se for adicionado um retardo de tempo mecânico a um esquema de discriminação por correntes, a discriminação será melhorada, reduzindo ou eliminando a zona em que os dois disjuntores poderiam atuar simultaneamente (Figura 8).

A seletividade será absoluta se $I_{sc} < I_{rm A}$ (valores instantâneos). O disjuntor a montante tem dois limiares de disparo magnético rápido:

- $I_{rm A}$ (retardado) ou um temporizador eletrônico tipo SD (retardo curto)
- $I_{rm A}$ (instantâneo) normal (Compact tipo AS)

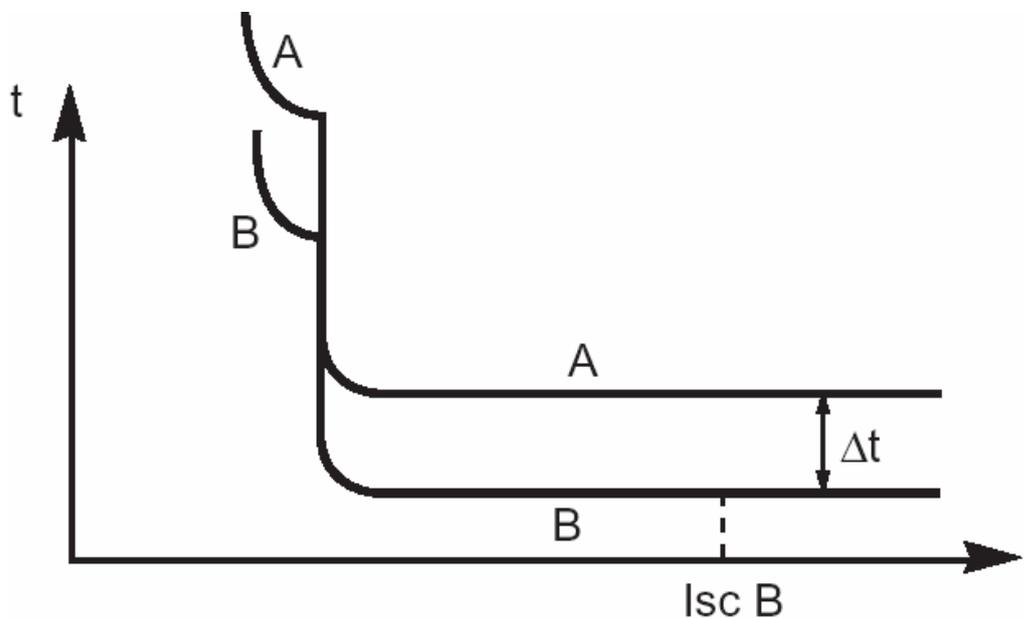


Figura 8 – Limiar de disparo

Seletividade baseada nos níveis de energia do arco (patente MG)

Para a faixa de correntes de curto circuito este sistema proporciona uma discriminação absoluta entre dois disjuntores atravessados pela mesma corrente.

Isto é conseguido usando disjuntores limitadores de corrente e iniciando o disparo por sensores de pressão instalados nas câmaras de arco dos disjuntores (Figura 9).

A pressão do ar aquecido depende da energia do arco, como será descrito mais adiante.

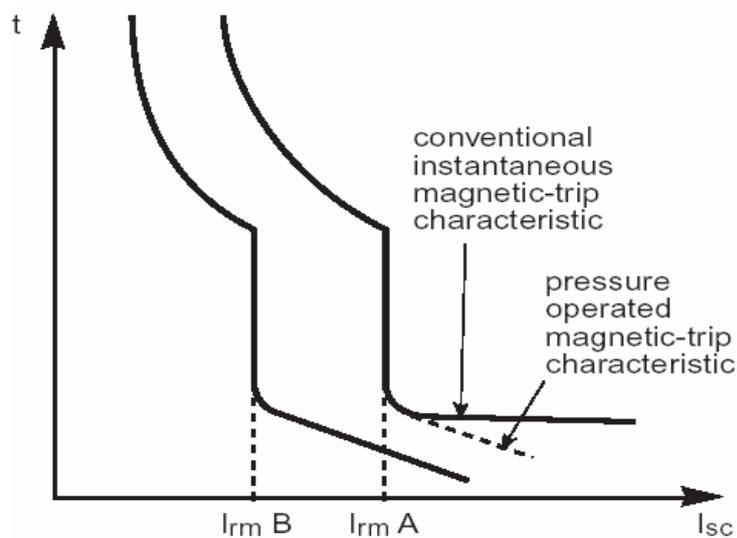


Figura 9 - Seletividade baseada nos níveis de energia do arco

Serão examinados a seguir, mais detalhadamente os diferentes tipos de seletividade.

2.3 - SELETIVIDADE POR NÍVEL DE CORRENTE

A seletividade por nível de corrente é conseguida com ajustes em degraus dos elementos de disparo magnético.

A seletividade por nível de corrente é obtida com disjuntores, de preferência limitadores, e elementos instantâneos de disparo magnético ajustáveis em degraus.

2.3.1 - O disjuntor a jusante não é limitador

A discriminação pode ser parcial ou absoluta para uma falta à jusante de B.

A discriminação absoluta nesta situação é praticamente impossível porque $I_{sc A} \cong I_{sc B}$, e deste modo ambos os disjuntores geralmente irão disparar ao mesmo tempo (Figura10).

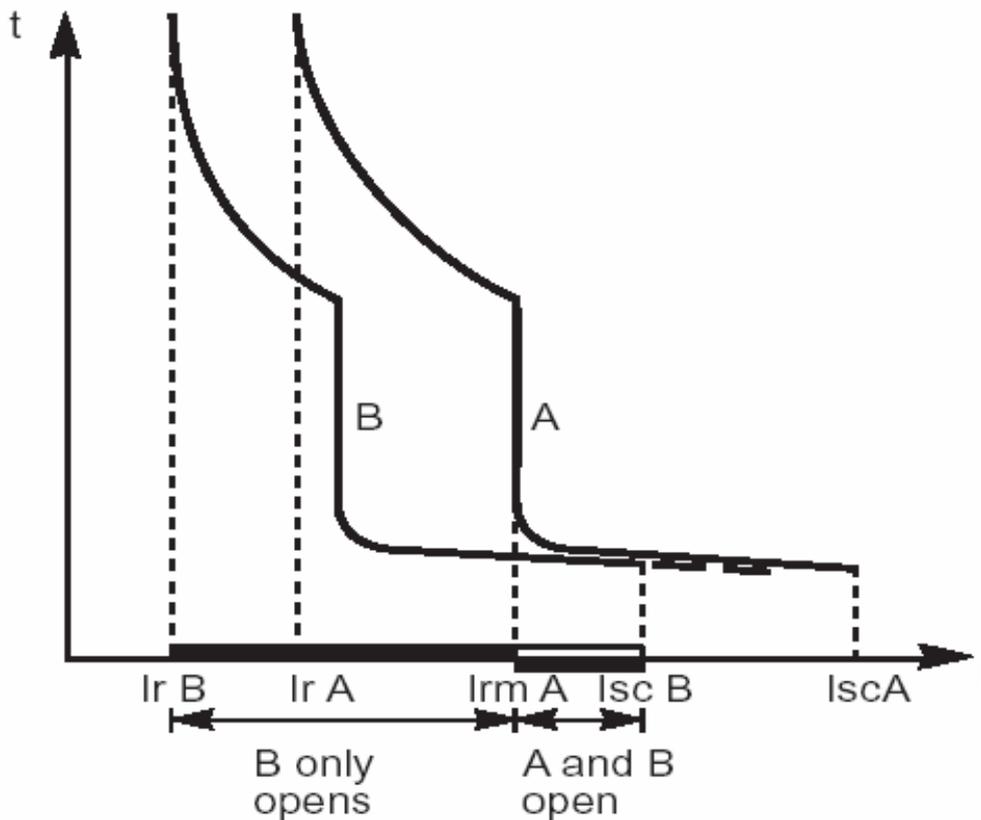


Figura 10 – Disparo concomitante dos disjuntores

Neste caso, a seletividade é parcial e limitada a I_{rm} do disjuntor a montante.

2.3.2 - O disjuntor a jusante é limitador

Pode ser conseguida uma melhoria no disparo discriminativo usando um limitador de corrente em um ponto a jusante, por ex., para o disjuntor B.

Para uma falta à jusante de B, o nível da corrente de pico limitada irá operar (se devidamente ajustado) a unidade de disparo magnético de B, mas será insuficiente para causar o disparo do disjuntor A (Figura 11).

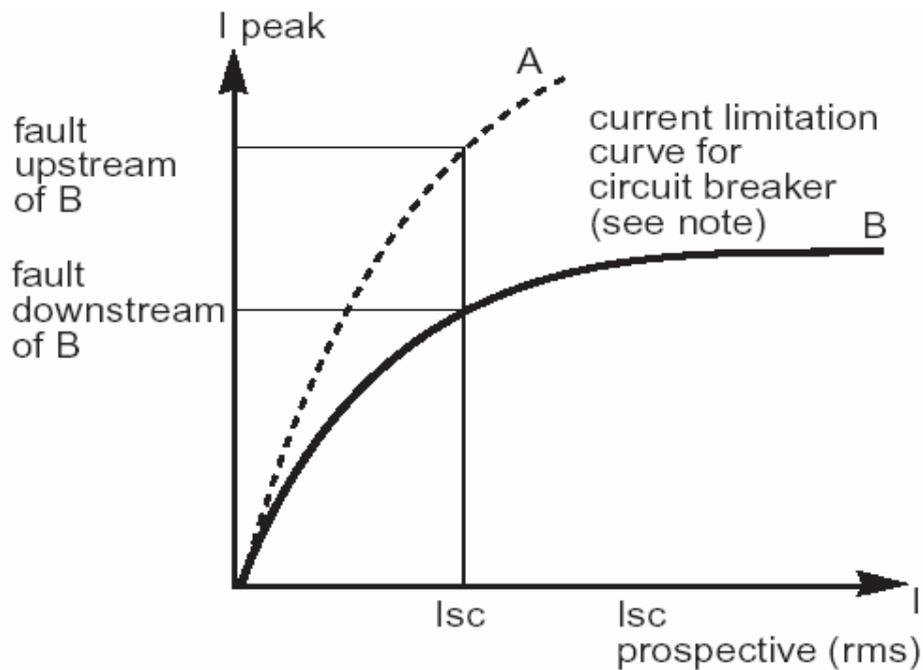


Figura 11 – Curva de disparo do disjuntor

Nota: Todos os disjuntores de BT (considerados aqui) têm algum grau inerente de limitação de corrente, mesmo aqueles não classificados como limitadores de corrente. Isto justifica a característica “deformada” para o disjuntor padrão A na Figura anterior. São necessários cálculos cuidadosos e ensaios, portanto, para assegurar um comportamento satisfatório deste arranjo.

2.3.3 - O disjuntor a montante é rápido com retardo curto (SD)

Estes disjuntores estão com unidades de disparo que incluem um retardo mecânico de tempo curto ajustável.

O retardo é suficiente para assegurar discriminação absoluta com qualquer disjuntor rápido em qualquer valor de corrente até I_{rmS} (Figura 12).

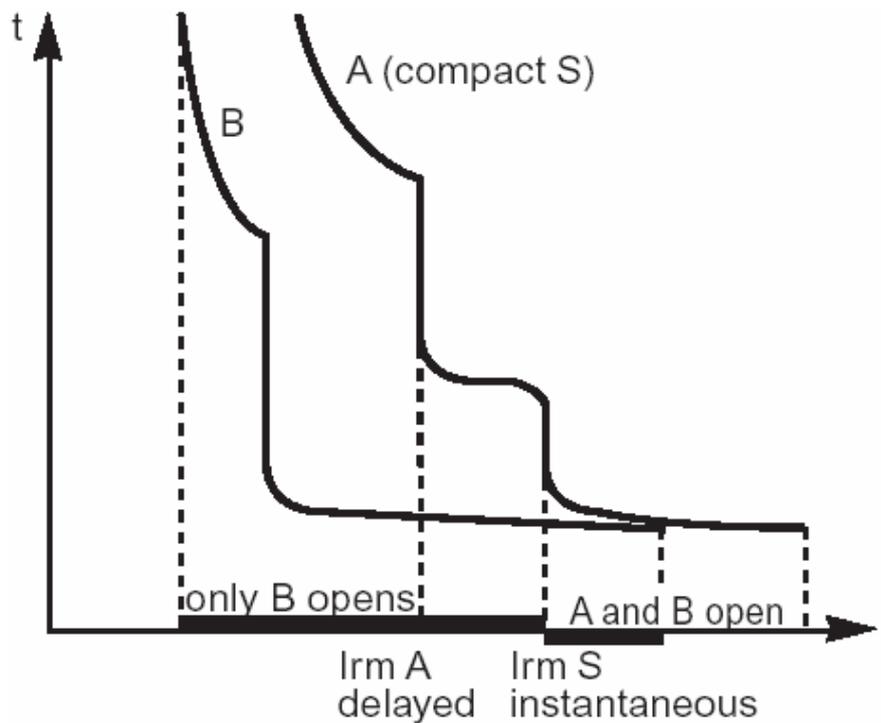


Figura 12 – Curva de disparo do disjuntor

Exemplo:

Disjuntor A: Compact NS250N contendo uma unidade de disparo que inclui um SD. $I_r=250$ A, disparo magnético ajustado em 2.000 A ; disjuntor B: Compact NS 100N, $I_r=100$ A.

O catálogo MG indica uma discriminação de 3.000 A.

2.4 - SELETIVIDADE POR RETARDO DE TEMPO

A seletividade baseada em disparadores com retardo de tempo usa disjuntores referidos como “seletivos” (em alguns países). A aplicação destes disjuntores é relativamente simples e consiste em retardar o instante de disparo dos vários disjuntores ligados em série em uma seqüência de tempo em degraus.

Esta técnica requer:

- A introdução de “timer’s” no mecanismo de disparo do disjuntor;
- Disjuntores com capacidades térmica e mecânica adequadas nos níveis elevados de corrente e para os retardos de tempo previstos.

Dois disjuntores A e B em série (i.e., sendo atravessados pela mesma corrente) são discriminativos se o período de interrupção do disjuntor B a jusante for menor que o tempo de não disparo do disjuntor A.

Seletividade em vários níveis

Um exemplo de um esquema prático com disjuntores (MG) tipo Masterpact (com dispositivos eletrônicos de proteção).

Estes disjuntores podem ser equipados com temporizadores ajustáveis, o que permite seleção em quatro degraus tais como (Figura 13):

- O retardo correspondente a um dado degrau é maior que o tempo de interrupção do próximo degrau inferior;
- O retardo correspondente ao primeiro degrau é maior que o tempo total de interrupção do disjuntor rápido (tipo Compact, por exemplo).

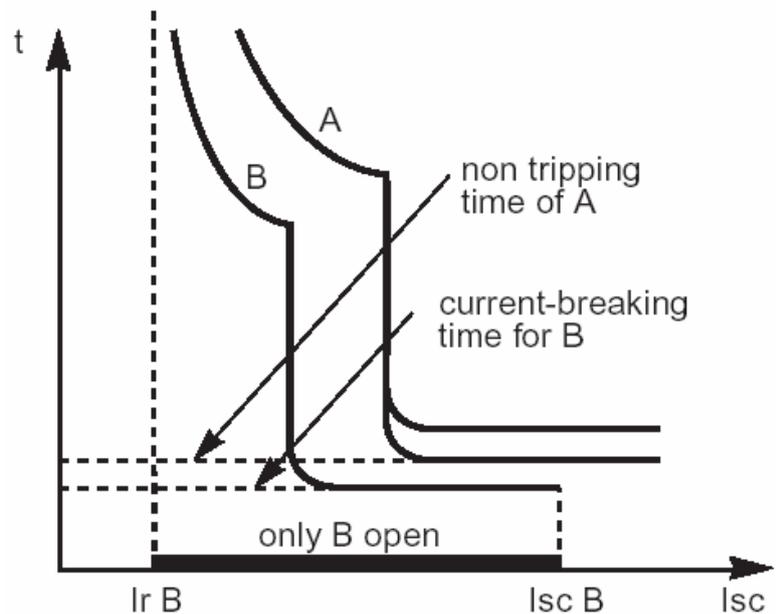


Figura 13 – Seletividade em vários níveis

2.5 - SELETIVIDADE LÓGICA

Os esquemas de seletividade baseada nas técnicas lógicas são possíveis usando disjuntores equipados com unidades disparadoras projetadas para essa função e interligadas com fios piloto.

Este sistema de seletividade lógica requer disjuntores equipados com unidades de disparo eletrônico, projetadas para essa aplicação, junto com fios piloto de interligação para troca de dados entre os disjuntores.

Com dois níveis A e B, o disjuntor A é ajustado para disparar instantaneamente, a não ser que o relé do disjuntor B mande um sinal confirmando que a falta é a jusante de B.

Este sinal causa o atraso da unidade de disparo de A, e com isso assegurando uma proteção de retaguarda no evento de B falhar na interrupção da falta, e assim por diante...(Figura 14).

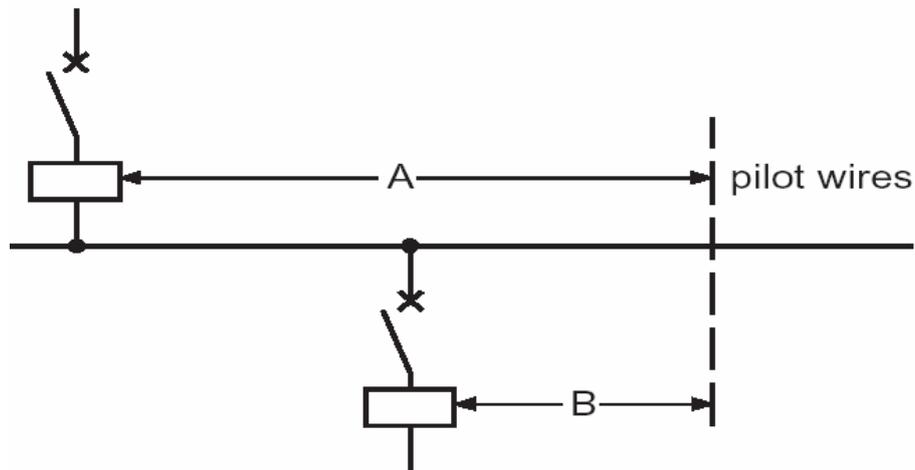


Figura 14 – Seletividade lógica

Desta forma, precisamos que todos os relés em cascata possam ter suas unidades de proteção de sobrecorrente instantâneas habilitadas, sem que isso signifique perda de seletividade na atuação e eliminação da falta em um determinado circuito. O resultado é a diminuição do tempo de coordenação entre os relés e do tempo de eliminação da falta.

Observe as Figuras 15 e 16 para entender como a seletividade lógica é implementada. Um relé instalado a jusante no circuito (R1, por exemplo) informa através de um contato discreto conectado aos relés a montante (R2 e R3, por exemplo), que ele (R1) está sendo sensibilizado por uma corrente de falta suficiente para levar à atuação qualquer uma de suas unidades instantâneas de fase ou de terra. Os relés a montante (R2 e R3) recebem o sinal de bloqueio, o qual evita que eles enviem sinal de trip para seus respectivos disjuntores. Com isso, a porção íntegra do circuito mantém-se alimentada. A ativação das entradas de seletividade lógica dos relés a montante poderá comandar o bloqueio das funções de “trip” dos relés ou fará com que eles comutem seus ajustes para um segundo conjunto pré-determinado.

Deve ser utilizado um relé auxiliar multiplicador de contatos, sempre que o contato de saída de seletividade lógica de um determinado relé deva ser conectado a mais do que um relé a montante. Da mesma forma, deve ser utilizado um relé auxiliar concentrador de contatos, sempre que contatos de saída de seletividade lógica proveniente de mais que um relé devam ser conectados a um mesmo relé a montante. Tais relés auxiliares,

multiplicador e concentrador de contatos, devem possuir atuação rápida (em um tempo inferior a 5 ms) e elevada confiabilidade.

O contato de saída de seletividade lógica de um determinado relé fechará quando qualquer uma de suas funções instantâneas for sensibilizada por uma corrente maior que o seu valor de “pick-up”. O fechamento do contato de saída de seletividade lógica do relé deverá ocorrer mesmo quando a entrada de seletividade lógica do mesmo tiver sido ativada pelo relé a jusante.

As funções temporizadas dos relés continuarão a atuar livremente, como retaguarda da proteção do relé à jusante.

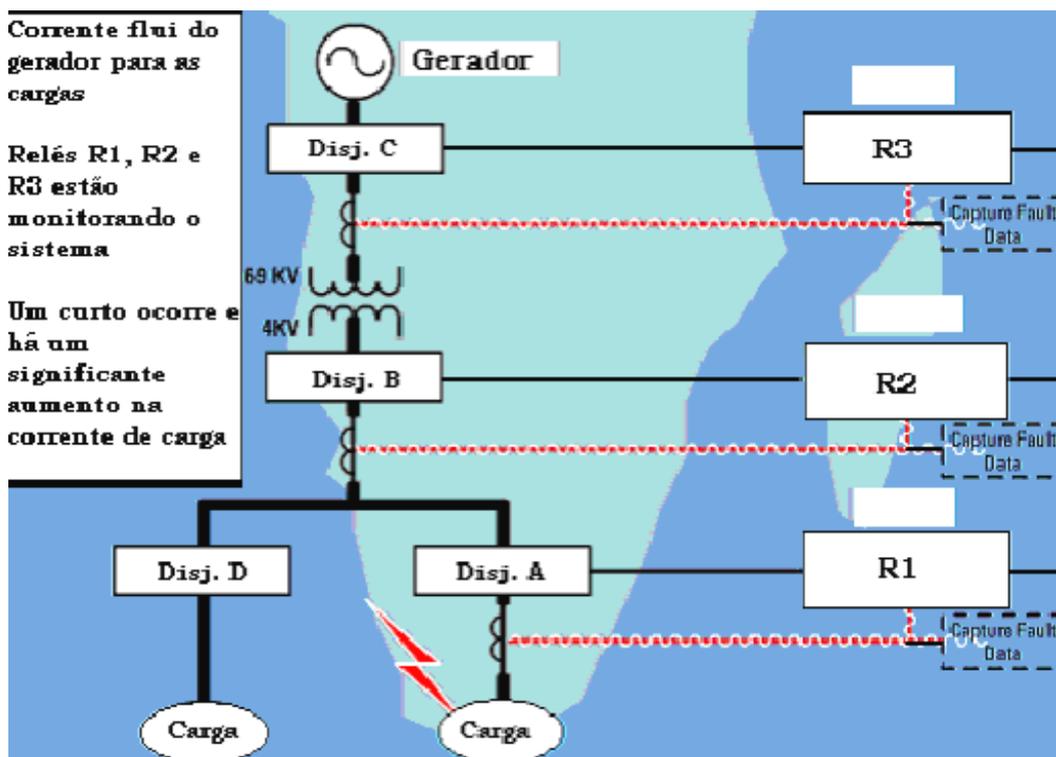


Figura 15 – Seletividade lógica

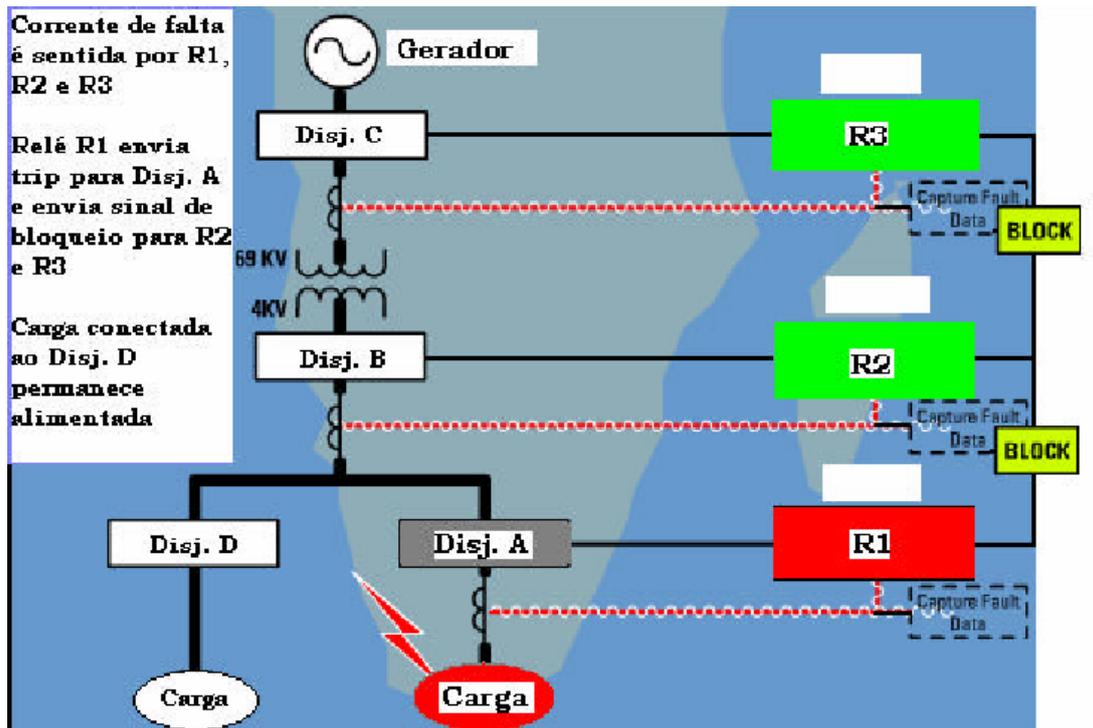


Figura 16 – Seletividade lógica

2.5.1 - Tempos de Seletividade

Funções temporizadas, em série, devem ser coordenadas mantendo-se um intervalo de 300 a 400 ms entre curvas.

As funções instantâneas devem ser habilitadas conforme o esquema de seletividade lógica descrito acima. Nesse caso, o tempo que as funções instantâneas dos relés levam para atuar deve ser suficiente apenas para cobrir o tempo de fechamento do contato da saída somado ao tempo de reconhecimento da entrada digital de seletividade lógica, adicionado a uma margem de segurança de 15 ms, chamemos esse tempo de **T1**. Caso sejam utilizados relés auxiliares multiplicadores ou concentradores, o tempo de atuação dos mesmos deverá ser também considerado.

2.5.2 - Falha do Disjuntor

A função falha do disjuntor (50BF) tem como finalidade liberar o sinal de bloqueio recebido pelo relé R2, através de sua entrada de seletividade lógica, caso a corrente de

defeito não seja eliminada, pelo disjuntor relacionado a R1 (Disj. A), dentro do tempo previsto para sua atuação.

A atuação do relé R2, e conseqüente abertura do respectivo disjuntor ocorrem após o sinal de bloqueio ter sido removido e após ter decorrido T1. Observe Figura 17 para compreender melhor.

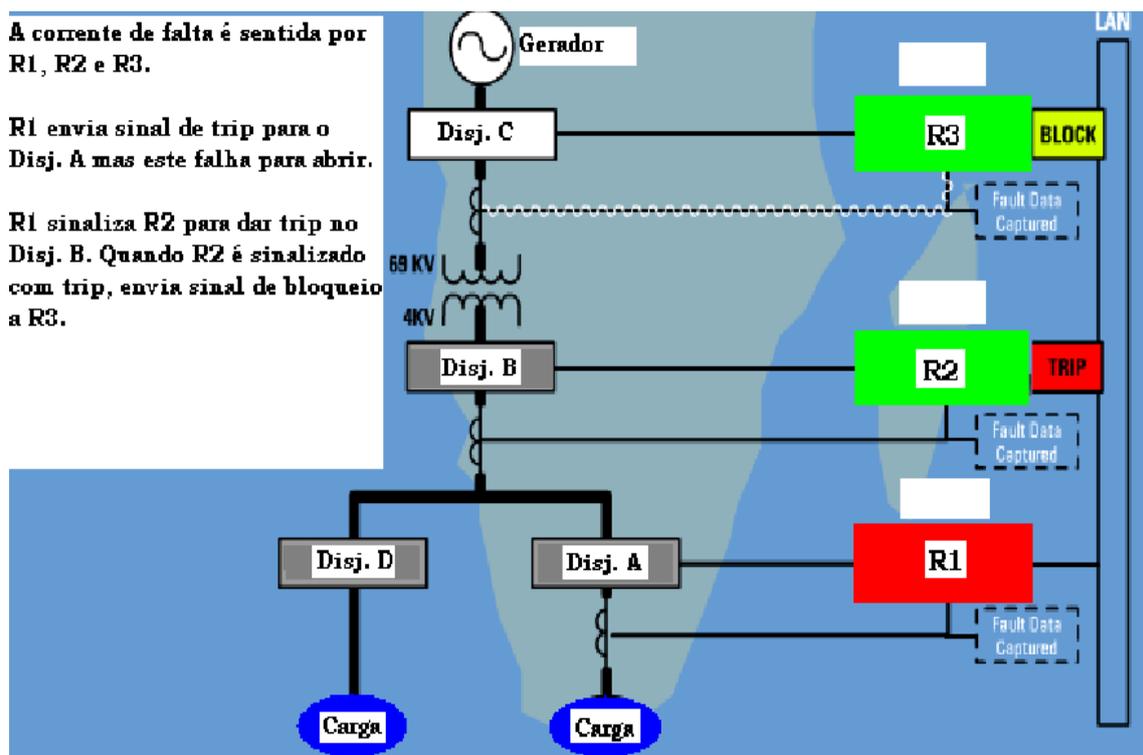


Figura 17 – Função falha do disjuntor

2.6 - LIMITAÇÃO E SELETIVIDADE PELA EXPLORAÇÃO DA ENERGIA DO ARCO

A técnica da “seletividade pela energia do arco” (patente da Merlin Gerin) é aplicada em circuitos tendo um nível de corrente de curto circuito $\geq 25 I_n$ e assegura seletividade absoluta entre dois disjuntores conduzindo a mesma corrente de curto circuito. A discriminação requer que a energia deixada passar para o disjuntor a jusante (B) é menor que causará o disparo do disjuntor a montante (A).

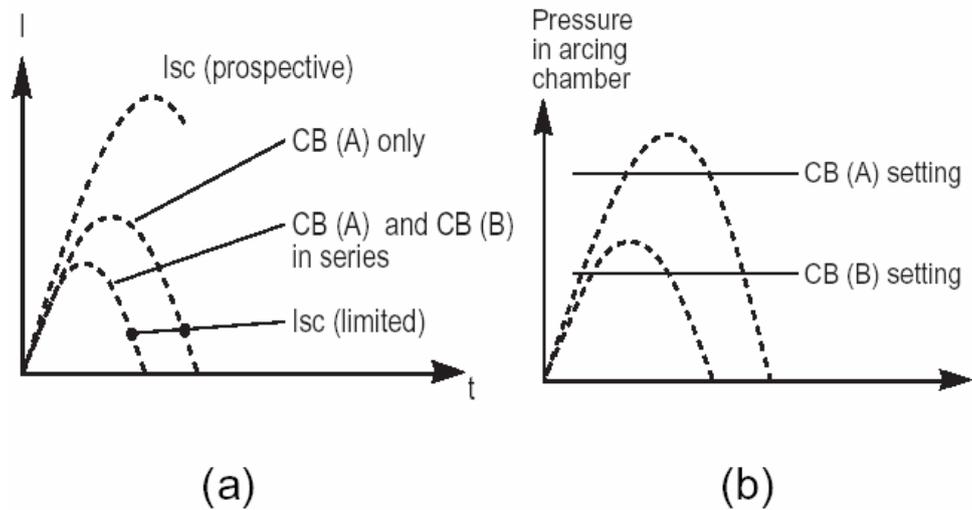


Figura 18 – Seletividade pela energia do arco

2.6.1 - Princípio de operação

Ambos os disjuntores são limitadores de corrente, de modo que as forças eletromagnéticas devidas ao curto circuito a jusante do disjuntor B cause a abertura simultânea dos contatos limitadores de corrente de ambos os disjuntores. A corrente de falta será fortemente limitada pelos dois arcos em série. O intenso calor do arco da corrente em cada disjuntor causa uma rápida expansão do ar no espaço confinado das câmaras de interrupção, produzindo uma rápida elevação da pressão.

Acima de um certo nível de corrente, a elevação da pressão pode ser realmente detectada e usada para iniciar o disparo instantâneo.

2.6.2 - Princípio da seletividade

Se ambos os disjuntores contêm um dispositivo de disparo por pressão adequadamente regulado, a discriminação absoluta pode ser conseguida pelo ajuste o disjuntor B para disparar uma pressão mais baixa que o disjuntor A.

Se ocorrer um curto a jusante de A, mas a montante de B, então somente a resistência do arco de A limitará a corrente. A corrente resultante irá ser significativamente maior que a que ocorreria para um curto circuito a jusante de B (onde dois arcos em série causam uma limitação muito forte), como mencionado acima. A maior corrente através

de A irá produzir correspondentemente uma maior pressão, a qual irá ser suficiente para operar seu dispositivo de disparo sensível à pressão.

Quanto maior a corrente de curto-circuito, mais rapidamente o disjuntor irá disparar.

A discriminação é assegurada com este equipamento de manobra se:

- A relação da corrente nominal dos dois disjuntores for $\geq 2,5$;
- A relação das duas correntes nominais de disparo for $\geq 1,6$, como mostrado (tipicamente) na Figura 19.

Para níveis de corrente inferiores a 25 In são empregados os esquemas convencionais descritos acima.

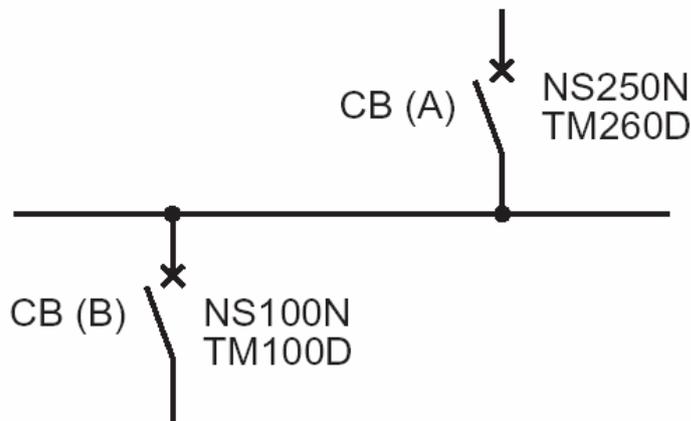


Figura 19 – Discriminação dos disjuntores

2.7 - SELETIVIDADE AT/BT EM UMA SUBESTAÇÃO DE CONSUMIDOR

Geralmente, o transformador em uma subestação de consumidor é protegido por fusíveis AT, adequadamente dimensionados para o transformador, de acordo com os princípios estabelecidos nas IEC-787 e 420 seguindo as instruções do fabricante dos fusíveis.

O requisito básico é que o fusível AT não opere para faltas BT ocorrendo a jusante do disjuntor BT do transformador, de modo que a curva característica de disparo deste último precisa estar à esquerda daquela de pré-arco do fusível AT.

Este requisito geralmente fixa os maiores ajustes para o disjuntor BT:

- Ajuste do máximo nível de corrente de curto circuito do elemento de disparo magnético;
- Máximo retardo de tempo permissível para o elemento de disparo de corrente de curto circuito.

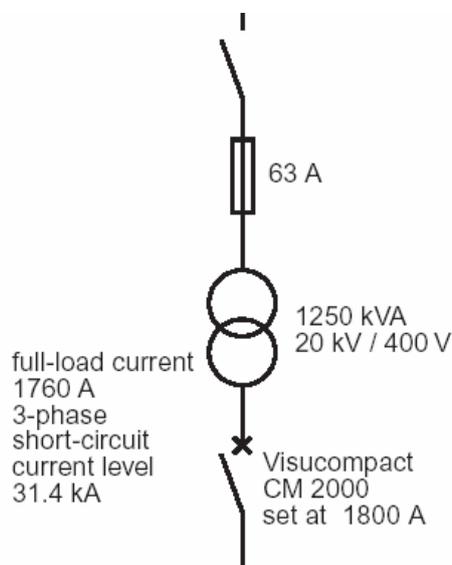


Figura 20 – Seletividade AT/BT

Exemplo (Figura 20):

Nível de curto circuito nos terminais AT do transformador: 250 MVA;

Transformador AT/BT: 1250kVA 20 / 0,4kV;

Fusíveis AT: 63 A;

Cabeamento do transformador ao disjuntor: 10m de cabos monofásicos;

Disjuntor BT: Visucompact CM 2000 ajustado em 1800 A (I_r).

Qual é o máximo ajuste de disparo de corrente de curto circuito e qual o máximo retardo de tempo permissível?

As curvas da Figura mostram que a seletividade é assegurada se a unidade de disparo retardado de tempo curto do disjuntor for ajustada em :

- Um nível $\leq 6 I_r$ igual 10,8kA;
- Um ajuste do retardo de tempo 0 ou A.

Uma regra geral para a seletividade fusível AT/disjuntor BT, adotada em alguns países, é baseada nos limites de tolerância normalizados pelos fabricantes , é ilustrado na Figura 21:

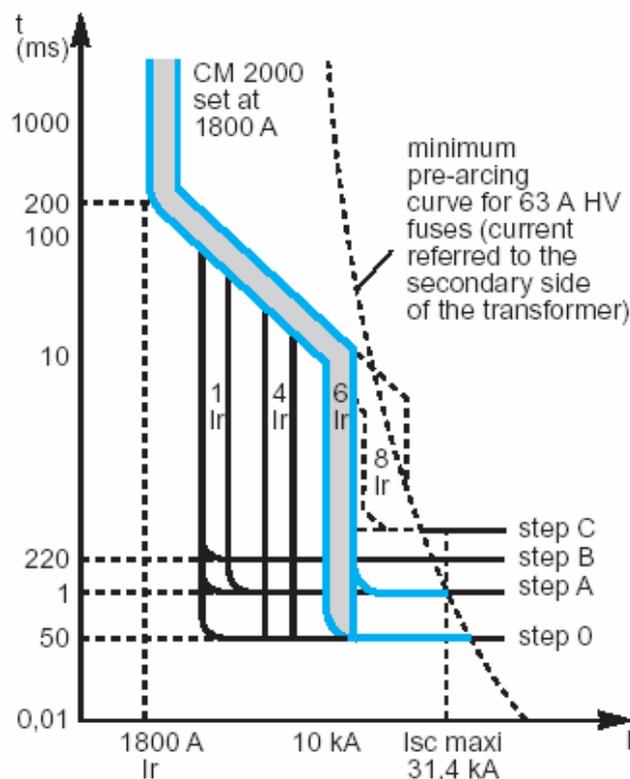


Figura 21 – Curva de seletividade

Quando o transformador for controlado e protegido no lado de alta tensão por um disjuntor, é usual instalar relés separados e operados por TC e TP os quais energizam a bobina de disparo do disjuntor.

A seletividade pode ser conseguida juntamente com disparos rápidos para faltas no transformador usando métodos apropriados.

3 - SISTEMA DE FORNECIMENTO ININTERRUPTO DE ENERGIA ELÉTRICA (NO-BREAK)

3.1 - INTRODUÇÃO:

De uma forma geral, os sistemas ininterruptos de energia, conhecidos popularmente no Brasil como Nobreaks, possuem como função principal fornecer à carga crítica energia condicionada (estabilizada e filtrada) e sem interrupção, mesmo durante uma falha da rede comercial.

Ao receber a energia elétrica da concessionária, o Nobreak transforma esta energia não condicionada, isto é; abundante em flutuações, transitórios de tensão e de frequência, em energia condicionada, onde as características de tensão e frequência são rigorosamente controladas. Desta forma oferece parâmetros ideais, o que é fundamental para o bom desempenho das cargas críticas (sensíveis) (Figura22).

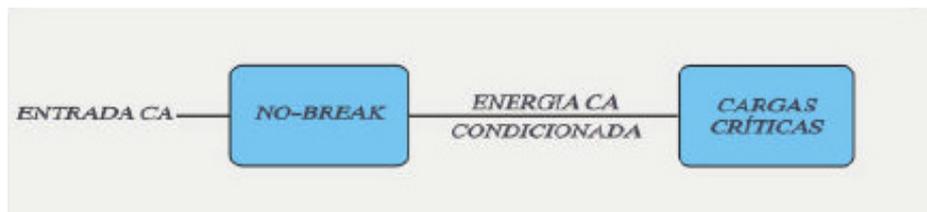


Figura 22 – Função do No-break

Transitórios e deformações da forma de onda de tensão, variações de frequência e mini interrupções (duração de até 0,1 segundo) dependem de uma série de fatores, tais como: proximidades de cargas reativas ou não lineares (retificadores controlados), comutação de cargas na rede, descargas atmosféricas, ruídos, sobrecargas, curtos-circuitos, etc.

Estes fenômenos perturbam a operação e comprometem a confiabilidade dos sistemas computacionais. De acordo com sua magnitude podem afetar até o hardware pela danificação de semicondutores, discos rígidos, cabeças de gravação, entre outros.

3.2 - COMPOSIÇÃO DO SISTEMA:

Um sistema de alimentação de potência ininterrupta (NoBreak) é normalmente composto por circuito retificador/carregador de baterias, banco de baterias, circuito inversor de tensão e chave estática ou by-pass automático.

3.2.1 - Circuito Retificador/Carregador:

Converte tensão alternada em contínua, para alimentação do inversor e carga do banco de baterias. Em algumas topologias, os circuitos retificador e carregador são independentes, o que normalmente traz benefícios ao banco de baterias;

3.2.2 - Banco de Baterias:

Responsável pelo armazenamento de energia, para que seja possível alimentar a carga durante falhas da rede elétrica;

3.2.3 - Circuito Inversor:

Converte tensão contínua (proveniente do retificador ou do banco de baterias) em tensão alternada para alimentar a carga;

3.2.4 - Chave Estática:

Transfere a carga para a rede em caso de falha no sistema.

3.3 - TOPOLOGIAS PRINCIPAIS:

Em função da disposição dos circuitos, são geradas diferentes arquiteturas (topologias) com características bem distintas. De acordo com a NBR 15014, de Dezembro / 2003, os Nobreaks são classificados em **On-Line, Interativo e Stand-by**.

3.3.1 - No-Break Stand-by

Na Figura 23 é mostrado o diagrama em blocos desta topologia. Existem duas condições de operação, definidas pela situação da rede de alimentação:

3.3.1.1 - Rede Presente:

A chave CH é mantida fechada. A carga é alimentada pela rede elétrica, onde a tensão e frequência de saída são, portanto totalmente dependentes da tensão e frequência de entrada;

3.3.1.2 - Falha na Rede:

A chave CH é aberta e é dada a partida no inversor. A carga passa a ser alimentada pelo conjunto inversor / banco de baterias.

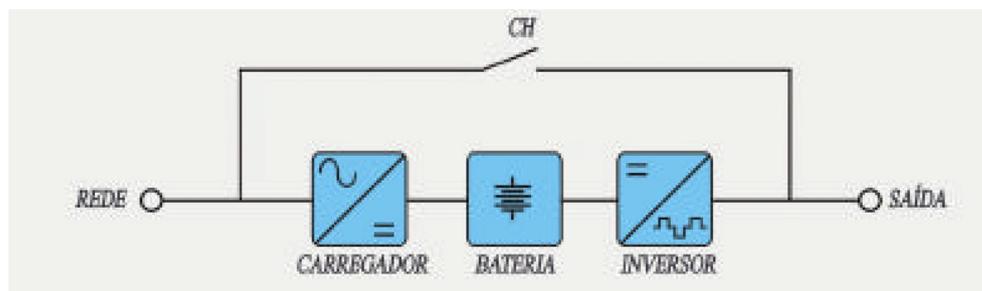


Figura 23 - No-Break Stand-by

Portanto, existem dois modos de operação, os quais são definidos pela condição da rede. Na ocorrência de falta ou retorno da energia, a carga é transferida da rede para o inversor, e vice-versa. Em ambos os casos, durante a transferência, existem interrupção do fornecimento de energia à carga crítica.

O carregador nesta topologia possui pequena capacidade de corrente de carga e, portanto, não são recomendados para as aplicações que necessitam de longo tempo de autonomia (acima de uma hora).

O inversor é dimensionado para operação eventual somente, e por pouco tempo (alguns poucos minutos!). Em praticamente 100% dos casos a forma de onda de saída do inversor é “*quadrada*”, sendo denominada como semi-senoidal por alguns fabricantes, com elevado conteúdo harmônico.

3.3.2 - Nobreak Interativo

Na Figura 24 é mostrado o diagrama em blocos desta topologia, muito similar ao nobreak do tipo Stand-by, exceto pela existência de estabilizador de tensão na saída. Em função da tensão da rede de alimentação, existem duas condições de operação:

3.3.2.1 - Rede Presente:

A chave CH é mantida fechada. Através do estabilizador, a carga é alimentada pela rede elétrica, onde a tensão é estabilizada, porém a frequência de saída é totalmente dependente da entrada (*frequência de saída = frequência de entrada!*);

3.3.2.2 - Falha na Rede:

A chave CH é aberta e a carga passa a ser alimentada pelo conjunto inversor / banco de baterias.

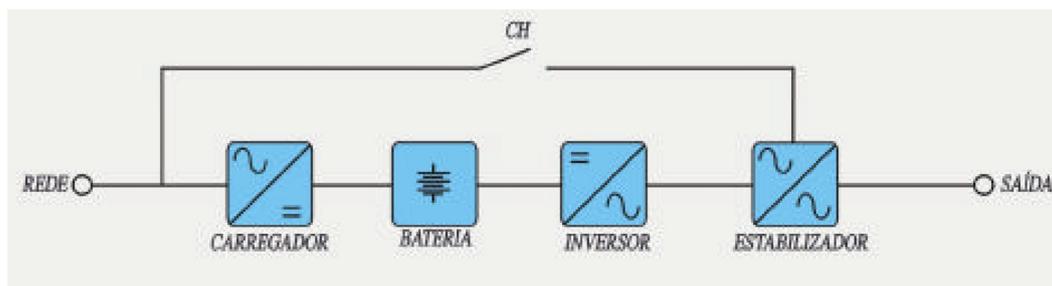


Figura 24 - Nobreak Interativo

De modo similar ao Stand-by, na ocorrência de falta e retorno da rede de alimentação, normalmente irá ocorrer interrupção durante a transferência da carga da rede/estabilizador => inversor e vice-versa.

De acordo com a NBR 15014, a topologia dita como “convencional”, apresentada na Figura 24, pode ter algumas variações, onde as principais são apresentadas a seguir:

3.3.2.3 - Interativo Ferrorressonante:

Esta configuração tem o mesmo descritivo funcional apresentado no item anterior, porém é caracterizada pelo emprego de um transformador do tipo ferrorressonante como estabilizador. Em função disto, são relativamente pesados, a regulação estática de saída é ruim, e existe normalmente elevada distorção harmônica na tensão de saída (em alguns casos é necessário o uso de filtros para harmônicos de terceira e quinta ordem em paralelo com a saída deste trafo). Ao longo do tempo, normalmente passam a apresentar elevado ruído sonoro, pois devido ao seu projeto / função, próximos à região de saturação do núcleo, operam com temperatura elevada.

3.3.2.4 - Interativo de Simples Conversão:

Nesta configuração um único conversor desempenha as funções de carregador de baterias, condicionador de tensão e inversor (Figura 25). Por esta razão, são também denominados como **Bidirecionais ou Tri-Port**. Enquanto a rede de alimentação está presente, esta é condicionada pelo conversor, que também mantém as baterias carregadas. A frequência de entrada e saída são iguais.

Durante uma falta de rede, a chave CH é aberta, este conversor inverte o sentido de potência, e passa operar como inversor alimentando a carga com a energia das baterias.

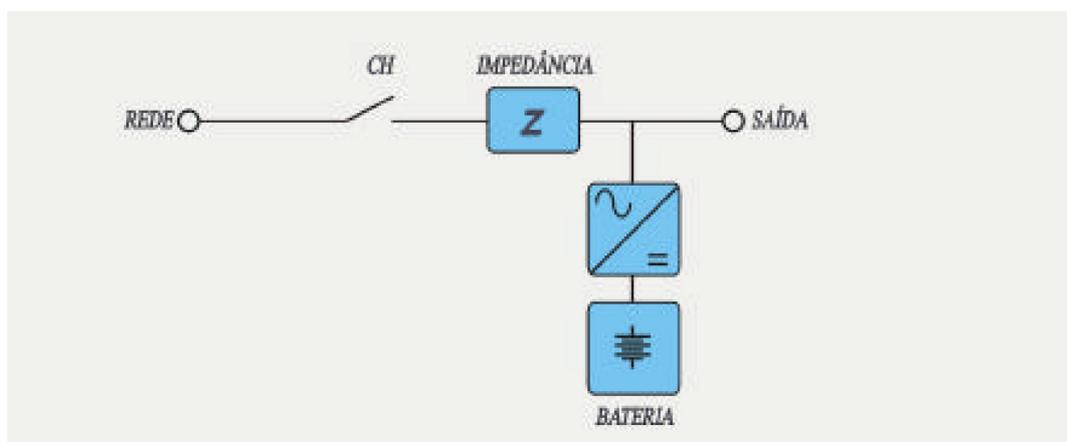


Figura 25 - Interativo de simples conversão

3.3.3 - No-Break On-Line

O diagrama em blocos desta configuração é apresentado na Figura 26.

Nos equipamentos desta topologia sempre existe dupla conversão de energia: no primeiro estágio o retificador opera como conversor de tensão alternada (rede) em contínua e no segundo estágio o inversor converte tensão contínua em alternada (saída), deste modo gerando tensão de saída com amplitude / frequência / forma totalmente independentes da entrada.

Atualmente, na maior parte dos casos, existe circuito independente para a carga do banco de baterias (carregador de baterias), o qual propicia gerenciamento totalmente voltado para as necessidades desta, bem como redundância neste ponto (aumento da confiabilidade do sistema).

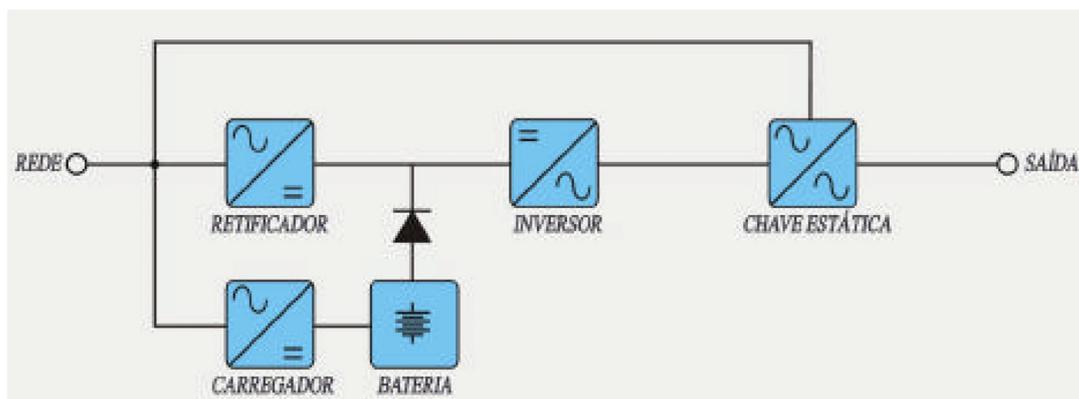


Figura 26 - No-Break On-Line

Esta configuração apresenta extrema confiabilidade, operando normalmente pelo inversor e em caso de sobrecarga (ou até mesmo curto-circuito na saída), sobre-temperatura, falha interna, ou outro fator que prejudique o fornecimento, a chave estática transfere a carga para a rede. Após a normalização da situação, a chave estática retorna a carga para o inversor, sem interrupção.

Na Figura 27 é mostrado o fluxo de potência com rede presente. O circuito retificador alimenta inversor, enquanto o banco de baterias é mantido carregado pelo circuito carregador de baterias. A carga é continuamente alimentada pelo inversor. Deste modo, a saída tem frequência e tensão controladas, e independentes da entrada. O banco de baterias é isolado do barramento CC através de um diodo, o qual não é polarizado com

rede presente. Também pode ser empregado tiristor nesta função, permitindo maior gerenciamento deste ponto.

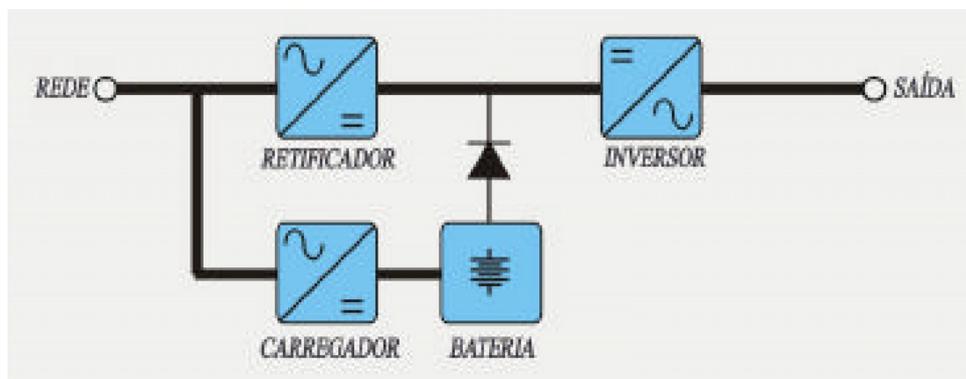


Figura 27 – Fluxo de potência com rede presente

Durante uma falha na rede comercial, a energia armazenada no banco de baterias é utilizada pelo inversor para alimentar a carga, sem interrupção ou transferência, sendo representado na Figura 28. A forma de onda da tensão de saída permanece inalterada.

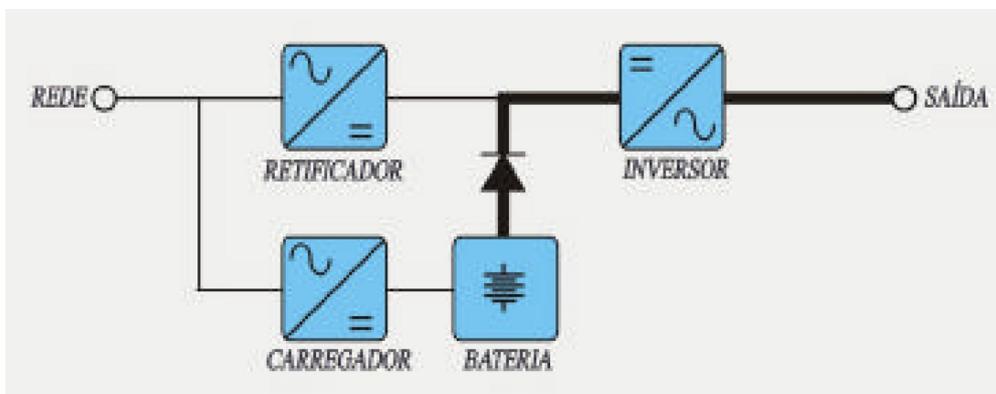


Figura 28 – Configuração durante falha na rede comercial

Os sistemas On-Line operam normalmente com tensão mais elevada no barramento de tensão contínua (utilizam maior número de baterias). Este fator faz com que o rendimento do circuito inversor seja normalmente superior nos sistemas On-Line.

O inversor é projetado para operação contínua, sendo neste caso totalmente compatível para aplicação em autonomias elevadas, de várias horas se for o caso, bastando apenas o

uso / dimensionamento do banco de baterias conforme a necessidade. Neste sentido, é também importante que o nobreak permita ampliação da capacidade do carregador de baterias (normalmente associação em paralelo de mais conversores), ou então o uso de retificador externo com esta finalidade.

Com esta topologia, associada ao rigoroso processo de desenvolvimento e produção das unidades da CP Eletrônica, são obtidos níveis de **MTBF acima de 500.000horas** (visto pela carga), e nas famílias mais recentes se aproximando de 1.000.000 de horas!!!

***Atenção: No caso de bancos de baterias em paralelo, é recomendado proteção via disjuntor adequado junto à cada banco de baterias, facilitando também sua desconexão para manutenção preventiva / corretiva.*

4 - SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA

4.1 - OBJETIVO DO SISTEMA:

A iluminação de emergência deve clarear áreas escuras de passagens, horizontais e verticais, incluindo áreas de trabalho e áreas técnicas de controle de restabelecimento de serviços essenciais e normais, na falta de iluminação normal.

A intensidade da iluminação deve ser suficiente para evitar acidentes e garantir a evacuação das pessoas, levando-se em conta a possível penetração de fumaça nas áreas. A iluminação deve permitir o controle visual das áreas abandonadas para localizar pessoas impedidas de locomover-se;

Manter a segurança patrimonial para facilitar a localização de estranhos nas áreas de segurança pelo pessoal da intervenção;

Sinalizar inconfundivelmente as rotas de fuga utilizáveis no momento do abandono do local;

Sinalizar o topo do prédio para a aviação comercial.

Em casos especiais, a iluminação de emergência deve garantir, sem interrupção, os serviços de primeiros socorros, de controle aéreo, marítimo, ferroviário e outros serviços essenciais instalados.

O tempo de funcionamento do sistema de iluminação de emergência deve garantir a segurança pessoal e patrimonial de todas as pessoas na área, até o restabelecimento da iluminação normal, ou até que outras medidas de segurança sejam tomadas.

No caso do abandono total da edificação, o tempo da iluminação deve incluir, além do tempo previsto para a evacuação, o tempo que o pessoal da intervenção e de

segurança necessitam para localizar pessoas perdidas ou para terminar o resgate em caso de incêndio.

Devem ser respeitados as limitações da visão humana, com referência as condições fisiológicas da visão diurna e noturna e o tempo de adaptação para cada estado.

4.2 - ALGUMAS DEFINIÇÕES:

- a) **Autonomia do sistema:** Tempo mínimo em que o sistema de iluminação de emergência assegura os níveis de iluminância exigidos.
- b) **Estado de flutuação:** Estado em que a bateria de acumuladores elétricos recebe uma corrente necessária para a manutenção de sua capacidade nominal.
- c) **Estado de vigília do sistema:** Estado em que a fonte de energia alternativa (sistema de iluminação de emergência) está pronta para entrar em funcionamento na falta ou na falha da rede elétrica da concessionária.

- d) **Estado de funcionamento do sistema:** Estado no qual a(s) fonte(s) de energia alimenta(m), efetivamente, os dispositivos da iluminação de emergência.
- e) **Estado de repouso do sistema:** Estado no qual o sistema foi inibido de iluminar propositalmente. Tanto inibido manualmente com religamento automático ou através de célula fotoelétrica, para conservar energia e manter a bateria em estado de carga para uso em emergência, quando do escurecimento da noite.
- f) **Fonte de energia alternativa:** Dispositivo destinado a fornecer energia elétrica ao(s) ponto(s) de luz de emergência na falta ou falha de alimentação na rede elétrica da concessionária.
- g) **Luminoso fluxo nominal:** Fluxo luminoso medido após dois minutos de funcionamento do sistema.
- h) **Fluxo luminoso residual:** Fluxo luminoso medido após o tempo de autonomia garantida pelo fabricante ao funcionamento do sistema.
- i) **Iluminação não permanente:** Nas instalações de iluminação de emergência, as lâmpadas de iluminação de emergência não são alimentadas pela fonte rede elétrica da concessionária e, só em caso de falta da fonte normal, são alimentadas automaticamente pela fonte de alimentação de energia alternativa.
- j) **Ponto de luz:** Dispositivo constituído de lâmpada(s) ou outros dispositivos de iluminação, invólucro(s) e/ou outro(s) componente(s) que têm a função de clarear o ambiente ou a sinalização.
- k) **Rede de alimentação:** Conjunto de condutores elétricos, dutos e demais equipamentos empregados na transmissão de energia do sistema, inclusive a sua proteção.
- l) **Rota de saída:** Caminho livre de obstáculos e materiais inflamáveis, definido para ser percorrido em caso de abandono do local, para alcançar um ambiente seguro ou uma área externa da edificação, através de corredores, rampas, escadas, etc.

- m) **Tempo de comutação:** Intervalo de tempo entre a interrupção da alimentação da rede elétrica da concessionária e a entrada em funcionamento do sistema de iluminação de emergência.
- n) **Rede elétrica da concessionária:** É a energia elétrica fornecida pela concessionária do município, a qual opera independente da vontade do usuário.

4.3 - CARACTERÍSTICAS DAS CENTRAIS:

O sistema centralizado com bateria de acumuladores elétricos possui as seguintes características:

1. **Circuito carregador com recarga automática** (através de fonte chaveada):
 - a) Recarga com tensão constante e corrente limitada garantindo a recarga da bateria em sua capacidade calculada para atender o sistema específico, em 12 horas.
 - b) Supervisão constante da tensão de recarga e da flutuação, permitindo ajuste de tensão na faixa necessária para o tipo de bateria de acumuladores elétricos utilizada, de acordo com as especificações fornecidas pelo fabricante. Para baterias chumbo ácidas a tensão de flutuação é recomendada entre 2,20 a 2,40V por elemento, logo a central manterá uma tensão de flutuação de 27,00V.
2. **Seccionadores automáticos** de proteção, que interrompam o fornecimento de energia, quando esta atingir a tensão mínima de descarga especificada pelo fabricante. Para baterias chumbo ácidas a tensão final é de 1,75V por elemento a 25°C, portanto a central desligará com 21V.
3. **Sinalização luminosa do painel**, para mostrar a situação de recarga, flutuação e o estado que se encontra a central: vigília ou funcionamento.

4. **Dispositivo** que controla automaticamente a passagem do estado de vigília para o estado de funcionamento na falta ou na falha da rede elétrica da concessionária compreendida entre 85% a 70% e do estado de funcionamento para o de vigília, para valores de tensão da rede elétrica da concessionária entre 75% a 90%.

5. A **comutação** ocorre na variação instantânea, **por contato**, no tempo mínimo de uma hora (60 minutos).

6. A **comutação** do estado de vigília para o estado de funcionamento do sistema **não excede 5 (cinco) segundos**.

7. **Proteção de saídas** : Fusíveis.

8. **Tensão de Entrada**: 110 / 220Vca + - 10%

9. **Tensão de Saída**: 24Vcc

10. **Potência de Saída**: 2 x 1000 W.

A central de iluminação de emergência com baterias não pode ser utilizado para alimentar quaisquer outros circuitos ou equipamentos. Esta exigência baseia-se no cálculo de tempo limitado da autonomia da iluminação de emergência definida para abandono do prédio e não para a autonomia definida para outros tipos de serviço

4.4 – INSTALAÇÃO:

4.4.1 - Localização:

Para a escolha do local onde deve ser instalado sistema de iluminação de emergência, bem como seus comandos, devem ser consideradas as seguintes condições:

- a) sem risco de incêndio;
- b) seja de uso exclusivo, não se situe em compartimento acessível ao público e que o local seja protegido por paredes resistentes ao fogo por 2 horas;
- c) seja ventilado, de forma adequada para cada tipo de fonte de energia e dotado de dispositivo para saída do ar para o exterior da edificação. Os gases da combustão, como da ventilação de resfriamento, não podem passar por locais ou compartimentos acessíveis ao público;
- d) não ofereça riscos de acidentes aos usuários, como por exemplo:
 - explosão, fogo ou propagação de fumaça;
 - acidentes em funcionamento, produzindo obstrução de uma saída da edificação ou dificultando a organização de socorro, etc.;
- e) tenha fácil acesso e espaço de movimentação ao pessoal especializado para inspeção e manutenção.

4.4.2 – Alimentação:

A alimentação principal da central de iluminação deve estar ligada ao quadro geral de distribuição de energia elétrica e o sistema protegido por disjuntores termomagnéticos da rede elétrica da concessionária, tais disjuntores devem ser o único meio de desligamento voluntário podendo ser usados para verificar o funcionamento do sistema.

4.4.3 – Condutores:

Os condutores para a alimentação da central de iluminação devem ser no mínimo de 1,5 mm².

Os condutores para a alimentação dos pontos de luz devem ser dimensionados para garantir uma queda máxima de tensão no ponto mais desfavorável, de 6% para lâmpadas incandescentes. Para lâmpadas fluorescentes ou similares com recuperação da tensão eletronicamente, a queda máxima permissível depende do dispositivo utilizado min. 1,5mm².

A fiação troncal interliga todas as fiações ramais à fonte de energia de iluminação de emergência. Esta fiação pode ser projetada na forma normal ou em forma de anel, com duas ou mais entradas possíveis de energia e, em caso de interrupção ou de curto-circuito, isola o defeito fazendo dois circuitos comuns do anel.

A fiação ramal interliga uma ou várias luminárias com a fiação troncal. Deve conter meios de separar lâmpadas do circuito troncal em caso de curto-circuito (exemplo, por queima de uma luminária) sem interromper a alimentação para as demais luminárias.

A polaridade dos condutores deve ser identificada conforme as cores previstas na NBR 8662.

Para c.c. (corrente contínua):

Vermelho ou branco - positivo

Cinza ou azul - negativo

Para c.a. (corrente alternada): ambos os condutores pretos.

Para ligação a terra: verde ou verde / amarelo

4.5 – MANUTENÇÃO:

1. Em lugar visível do aparelho já instalado, deve existir um resumo dos principais itens de manutenção de primeiro nível, que podem ser executados pelo próprio usuário.
2. Consiste em primeiro nível de manutenção: verificação das lâmpadas, fusíveis ou disjuntores, nível de eletrólito, data de fabricação e início de garantia das baterias.
3. Consiste em segundo nível de manutenção: os reparos e substituições de componentes do equipamento ou instalação não compreendidos no primeiro nível. O

técnico que atende ao segundo nível de manutenção é responsável pelo funcionamento do sistema.

4. Os defeitos constatados no sistema devem ser anotados no caderno de controle de segurança da edificação e reparados o mais rapidamente possível, dentro de um período de 24 horas de sua anotação.

5. O bom estado de funcionamento do sistema de iluminação de emergência pode ser assegurado contratando:

um técnico qualificado que atenda o estabelecimento ou um conjunto de estabelecimentos; o fabricante ou seu representante ;um profissional qualificado por um estabelecimento ou entidade, reconhecido pelos órgãos públicos.

6. Para instalações centralizadas com baterias de acumuladores elétricos:

a) Mensalmente deve ser verificado, simulando a falta de energia elétrica da rede da concessionária, o acionamento e funcionamento do sistema de iluminação de emergência, com todas as lâmpadas acesas, através do desligamento da rede pública;

b) Semestralmente deve ser verificado o funcionamento do sistema por pelo menos 1h, a plena carga, com todas as lâmpadas acesas ou pela metade do tempo garantido;

c) Nível de eletrólito no caso de baterias de acumuladores elétricos com eletrólito líquido e acessível (baterias ventiladas chumbo/ácida);

d) Verificar as tensões individualmente de cada bateria carregada e após o teste de funcionamento. Em caso de variações das tensões das baterias, devem ser consultadas as especificações do fabricante e eventualmente substituir as baterias defeituosas;

e) Anualmente devem ser verificados a capacidade de armazenamento de energia elétrica para todos os tipos de baterias de acumuladores elétricos, com a descarga total até a tensão mínima permissível, medindo-se a tensão de desligamento e o tempo de funcionamento, com todas as lâmpadas ligadas.

4.6 – BATERIAS:

Em sistemas de segurança somente poderão ser utilizadas baterias de acumuladores elétricos dos tipos construtivos abaixo:

Bateria de acumuladores elétricos de chumbo ácido, regulada por válvula ou ventilada com garantia mínima de 04 (quatro) anos de vida útil;

Bateria de acumuladores elétricos de níquel cádmio regulada por válvula ou ventilada, com garantia mínima de 04(quatro) anos de vida útil;

Qualquer bateria de acumuladores elétricos recarregáveis que por sua construção mecânica e por compostos químicos atenda as Normas de iluminação de emergência.

4.6.1 - Características Técnicas:

1. Para baterias chumbo-ácidas a capacidade nominal em regime de descarga é definida em 10 horas até a tensão final de 1,75 V por elemento a 25°C.

2. Para baterias alcalinas a capacidade nominal em regime de descarga é definida em 5 horas até a tensão final de 1,00V por elemento a 25°C.

3. Para a recarga de uma bateria regulada por válvula, ou selada hermeticamente, o retificador deverá atender aos seguintes requisitos:

- Faixa de ajuste da tensão de flutuação em função da temperatura ambiental aproximada (ver recomendações do fabricante para a bateria específica);

- Recomenda-se para baterias chumbo ácidas: de 2,20 a 2,40Volts por elemento (25°C);

- Recomenda-se para baterias de níquel cádmio: de 1,38 a 1,42Volts por elemento (25°C).

4. Para a recarga de uma bateria a fonte deverá possuir um dispositivo para iniciar a recarga automática da bateria, e retornar ao regime de flutuação após atingir a tensão máxima de carga.

4.6.2 - Vida Útil

Mínima de 04 (quatro) anos, nas condições especificadas pelo fabricante para as variações do clima brasileiro. A definição da vida útil de uma bateria chumbo-ácida é quando sua capacidade nominal for inferior a 80% de C_{10} . No caso de bateria alcalina o final de vida útil é considerado quando atingir 65% de sua capacidade nominal de C_5 .

Existem três fatores básicos que determinam o tempo de utilização de uma bateria:

4.6.2.1 - Temperatura:

A temperatura é um fator importante que afeta a eficiência, o desempenho e a vida da bateria. A velocidade da reação química na bateria é altamente dependente da temperatura. A velocidade de reação dobra a cada 8°C de aumento de temperatura. A reação se processa com maior eficiência em torno de 25°C.

Quando uma bateria trabalha num ambiente de baixa temperatura ela apresenta uma menor tensão, menor capacidade, exigindo-se nesse caso, uma bateria superdimensionada. É uma bateria com tendência a uma forte sulfatação, e menor eficiência na transferência de energia (- 50% a 40°C). É portanto uma forte candidata a ser substituída mais cedo que a previsão.

Por outro lado, bateria trabalhando em elevada temperatura, com uma velocidade de reação mais acelerada, apresenta uma maior auto-descarga, deteriorando mais rapidamente os seus componentes, reduzindo sua vida (- 30% a 5°C)

Como a bateria além do tempo de vida perde em capacidade, os fabricantes aconselham com muita razão, que ela deve trabalhar sempre nas proximidades de 25°C, caso a temperatura abaixe de 15°C e aumente de 35°C aumentar 30% seu dimensionamento.

4.6.2.2 - Tipo de Utilização:

A vida da bateria depende da tensão de flutuação, da densidade do eletrólito, do número e profundidade dos ciclos (descarga – carga).

A tensão de flutuação para baterias chumbo-ácidas deve sempre ser escolhida entre 2,20 a 2,40 volts por elemento. Abaixo de 2,15 volts/elemento, a bateria tende a sulfatar, exigindo maior número de recargas de equalização. Acima de 2,40 volts por elemento, além do maior consumo de água, apresenta uma maior variação de tensão entre os

elementos. Uma variação maior que 0,05 volts nas tensões individuais entre os elementos, mostra irregularidades.

Costuma-se citar como vida da bateria não os anos prováveis de sua existência, porém o número de ciclos que ela suporta.

4.6.2.3 - Manutenção:

O principal problema ou cuidado que se deve tomar com a bateria é mantê-la sempre carregada. Para completar uma boa manutenção é necessário verificar a qualidade de água de adição e a conservação dos elementos sempre limpos e secos.

4.6.3 – Dimensionamento:

O dimensionamento da bateria de acumuladores elétricos deverá ser calculado considerando-se o consumo, o tempo de autonomia, a temperatura ambiente e a redução da capacidade ao longo da vida útil.

As tensões por elemento mencionadas são sempre medidas nos pólos de ligação.

4.6.4 – Capacidade:

A capacidade de uma bateria é definida em Ampér / hora: quantidade de energia fornecida pela bateria, corrigida à temperatura de referência de 25°C, durante um tempo e uma tensão final determinadas.

Esta capacidade depende da corrente máxima que a bateria deve fornecer por um tempo pré-determinado em uma temperatura ambiental de 25°C.

Os valores nominais de 36, 38, 40, 42, 45, 47, 50, 55, 75, 100, 150 Ah para uma bateria, normalmente são referenciados a uma descarga de 10 horas (C_{10}).

O método para determinar a capacidade de A/h necessário para centrais de iluminação, é baseado no trabalho de E.A.Hoxie (Some Discharge Characteristics of Lead Acid Batteries-Paper 54.177-A.I.E.E.)

A prática, através de vários anos de observações e ensaios, tem mostrado ser plenamente aceitável o método Hoxie, que depende do tempo e da tensão final.

$$C_{10} = I * K$$

valor de I - Intensidade de descarga é obtida pela somatória das potências envolvidas dividindo pela tensão da central .

Valor de K relativo a uma descarga de 1 hora, para uma tensão final de 1,75 V é = 2,0.

Exemplo: Potência total = 1000W Tensão de saída da central = 24Vcc

$$I = 1000 / 24$$

$$I = 41,66 \text{ Ampères}$$

$$C_{10} = I * K$$

$$C_{10} = 41,66 * 2$$

$$C_{10} = 83,33 \text{ A/h para } 24\text{Vcc}$$

Logo precisaremos uma bateria de 84 A/h - 24Vcc ou quatro baterias de 42 A/h - 12Vcc conectadas corretamente para obtermos uma descarga de 1000W em 24Vcc durante 1 hora.(Temp. = 25°C).

4.7 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DA CENTRAL DE ILUMINAÇÃO (Figura 29)

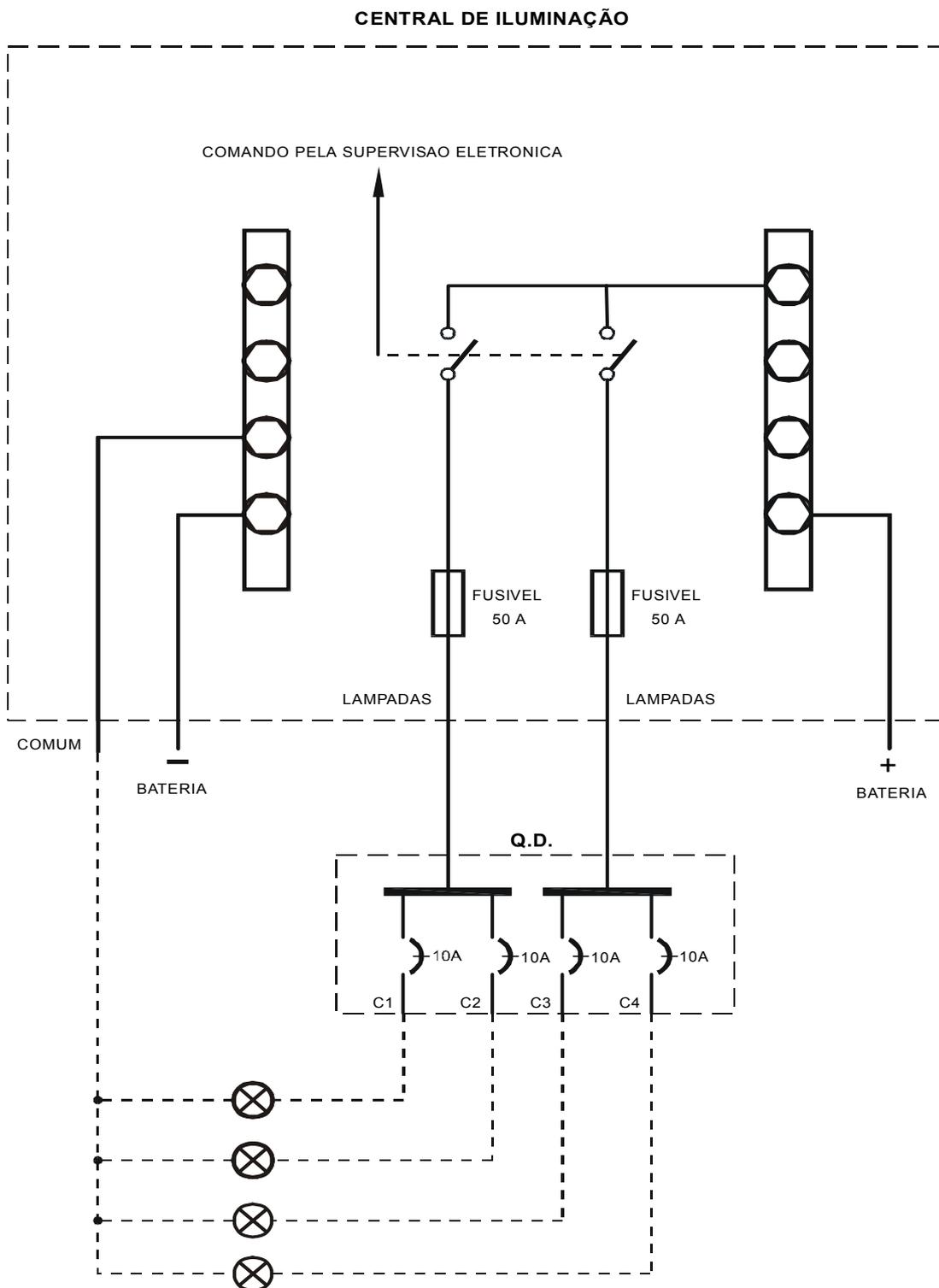


Figura 29 – Central de iluminação

5 - RETIFICADORES

5.1 - INTRODUÇÃO

A energia elétrica, hoje disponível em grande quantidade graças às extensas redes de distribuição, apresenta-se sob a forma de Corrente Alternada Senoidal, em geral de 220V ou 110V (valores eficazes)* e frequência de 50 ou 60 Hz. Esta pode ser utilizada diretamente para acionamento de motores, aquecimento resistivo e iluminação. Outras aplicações requerem corrente contínua como, por exemplo, os processos eletrolíticos industriais, o acionamento de motores de alto conjugado de partida (utilizados em tração elétrica e controles industriais), carregadores de bateria e a alimentação de praticamente todos os circuitos eletrônicos.

A obtenção de corrente contínua, a partir da corrente alternada disponível, é indispensável nos equipamentos eletrônicos. Estes, invariavelmente, possuem um ou mais circuitos chamados “Fontes de Alimentação” ou “Fontes de Tensão”, destinados a fornecer as polarizações necessárias ao funcionamento dos dispositivos eletrônicos. Aos circuitos ou sistemas destinados a transformar corrente alternada em contínua damos o nome genérico de “Conversores C.A. - C.C.”.

Para obtenção de corrente contínua em escala industrial (acima de dezenas de quilowatts) utilizam-se conversores constituídos de **grupos motor-gerador** em que o motor de corrente alternada é acionado pela rede e move um gerador de corrente contínua, como mostrado na Figura 30.

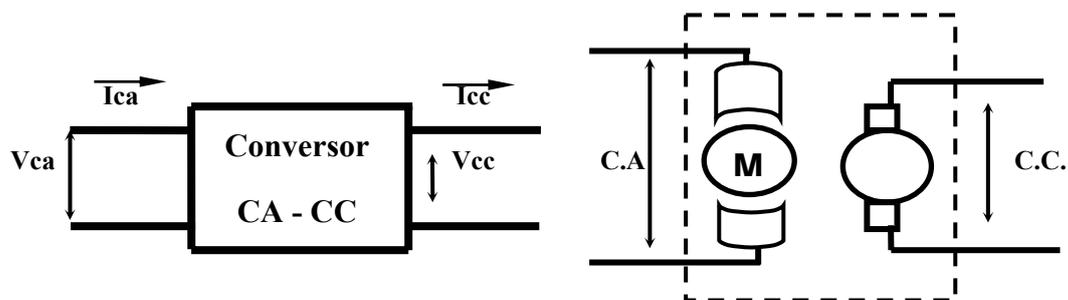


Figura 30 - Conversores C.A. - C.C.

Para obtenção de corrente contínua em pequena escala, como na alimentação de equipamentos eletrônicos a conversão se faz por meio dos circuitos retificadores, que em muitos casos começam a substituir os conversores eletromecânicos (motor-gerador) até para elevadas potências, devido ao alto rendimento que apresentam.

** Lembre-se que para uma forma de onda senoidal, o valor eficaz (ou rms - root mean square) de 110V corresponde a um valor de pico de $110 \times 2^{1/2} \cong 155V$, ou 310V de pico-a-pico.*

5.2 - CIRCUITOS RETIFICADORES COM DIODOS

Analisaremos a seguir vários tipos de circuitos onde a retificação é realizada por diodos semicondutores. Como você já sabe, o diodo semicondutor é um componente não linear que permite passagem de corrente num sentido e impede a passagem de corrente no sentido contrário. Na Figura 31 temos o símbolo de um diodo semicondutor bem como a curvas características de um diodo ideal e de um diodo real.

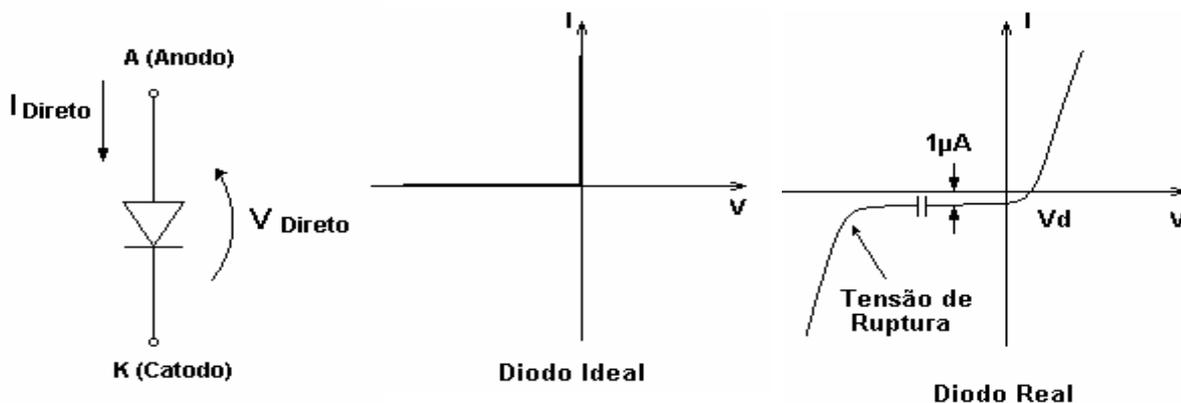


Figura 31 - Diodo semicondutor.

Como vemos, dentro de certas limitações, as duas curvas são bem semelhantes.

Evidentemente, o fator de escala para correntes no sentido negativo está exagerado, e a queda de tensão no sentido direto (da ordem de 1 V) pode ser desprezada em primeira análise na maioria dos circuitos (como veremos mais adiante a queda de tensão v_d no

sentido direto no diodo é geralmente muito menor que tensão do transformador e a queda de tensão nos demais componentes). Já a ruptura da junção do diodo ocorre em

tensões reversas elevadas nas quais o diodo não deve ser utilizado para retificar. Por exemplo, para 200 V eficazes (pico de 280 V) devemos utilizar um diodo que tenha tensão de ruptura pelo menos de 300 V (o melhor seria cerca de 500 V para maior margem de segurança) e com isto garantimos que não ocorrerá ruptura.

Além da tensão de ruptura, os diodos reais possuem outras limitações (geralmente indicadas pelo fabricante nos manuais), que passaremos a enumerar:

Tensão de Ruptura: Já explicada acima, aparece nos manuais como $V_{reverso}$.

$I_d \text{ máx}$: Corrente direta contínua máxima.

$I_p \text{ repetitivo}$: Máximo valor de pico repetitivo (função da frequência).

Isurto: Máximo valor de corrente de pico não repetitivo, é função da frequência e dos parâmetros do circuito e da duração do surto inicial.

v_d : Tensão direta aplicada no diodo durante a condução.

$I_{rev \text{ máx}}$: Máximo valor da corrente Reversa.

Geralmente o fabricante fornece mais dados como: capacitância parasitária do diodo, características mecânicas e térmicas do componente. No estudo dos circuitos apresentados a seguir vamos considerar um diodo modelado por um diodo ideal em série com uma fonte de tensão v_d .

5.2.1 - Retificador de Meia Onda, Carga Resistiva.

Neste circuito, mostrado na Figura 32, a corrente na resistência de carga R_c só circula num sentido, embora a tensão $e_g(t)$ aplicada ao circuito seja alternada (senoidal). A

corrente só circula quando o potencial do ponto A for mais elevado que o potencial do ponto B acrescido de v_d , ou seja, $e_g(t) > v_d$, quando o diodo se acha em plena

condução. A tensão $(e_g(t) - v_d)$ fica toda aplicada na resistência de carga e a corrente é $(e_g(t) - v_d)/R_c$.

Quando $e_g(t) < v_d$, o diodo bloqueia completamente e não há fluxo de corrente.

Como não há queda de potencial através da resistência de carga, toda a tensão fica aplicada no diodo.

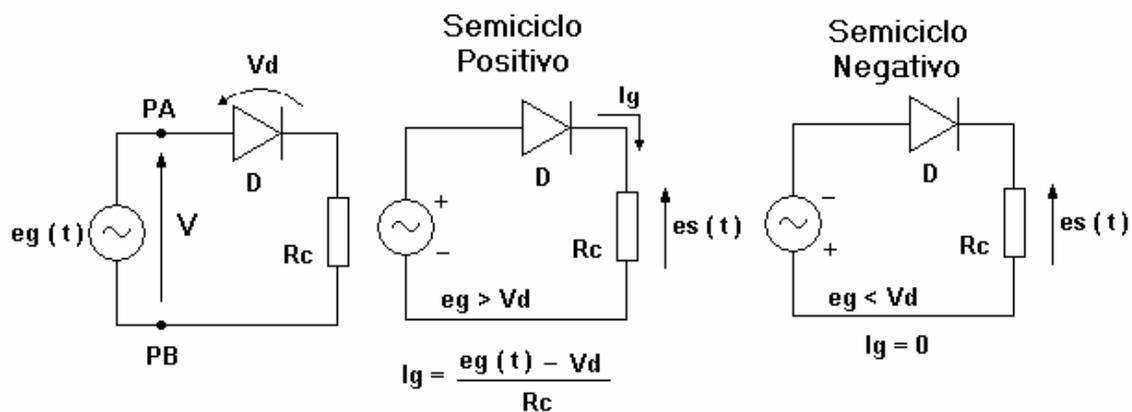


Figura 32 - Circuito retificador de 1/2 onda com carga resistiva.

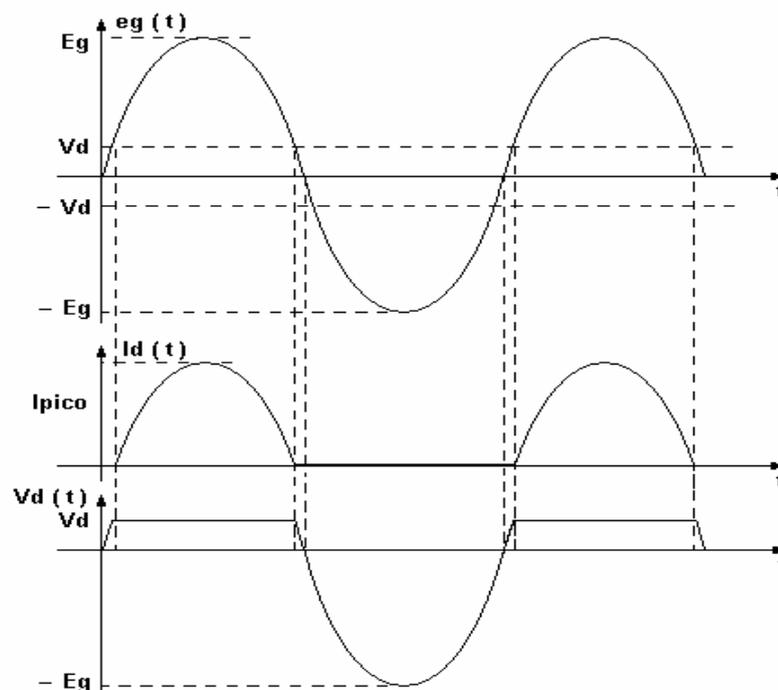


Figura 33 - Formas de onda no retificador de 1/2 onda sem filtro

A Figura 33 mostra as formas de onda que aparecem no circuito. Nota-se que a corrente só passa em um sentido e possui um valor médio (componente contínua) não nulo e que a tensão máxima no diodo é $-E_G$.

5.2.2 - Retificador de Onda Completa, Carga Resistiva.

5.2.2.1 - Retificador em Ponte:

O circuito da Figura 34 permite condução em R_c nos dois semiciclos da senóide, o que significa que para uma mesma tensão de entrada $e_g(t)$ a corrente média é o dobro da que tínhamos no circuito anterior. **Quando $e_g(t) > 2v_d$** (pois agora temos dois diodos em série), os diodos D1 e D3 conduzem (Figura 35. a), o que automaticamente bloqueia D2 e D4. Ou seja, D1 cria um caminho de corrente entre o terminal superior de R_c e o potencial P_a e D4 cria um caminho de corrente entre R_c e o potencial P_b . Portanto, na resistência R_c temos uma tensão $e_s(t)$ igual a $(e_g(t) - 2v_d)$ e a corrente será $i_c(t) = (e_g(t) - 2v_d)/R_c$. Quando $|e_g(t)| < |2v_d|$, nenhum diodo conduz e, portanto $i_c(t) = 0$.

Quando $e_g(t) < -2v_d$ (Figura 35. b), isto é, quando $P_a < (P_b - 2v_d)$, o diodo D2 conduz bloqueando D1 e o diodo D3 conduz também, bloqueando D4. A corrente passa pelo caminho formado por D2, R_c e D3, passando pela resistência **no mesmo sentido** que o anterior. Agora vale a relação $e_s(t) = (-e_g(t) - 2v_d)$.

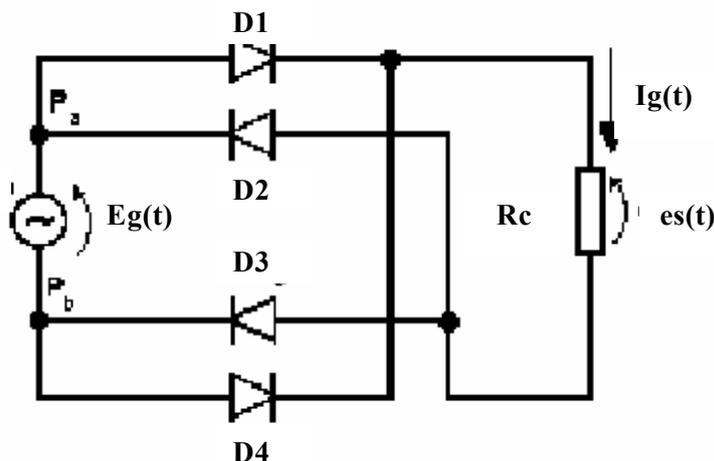
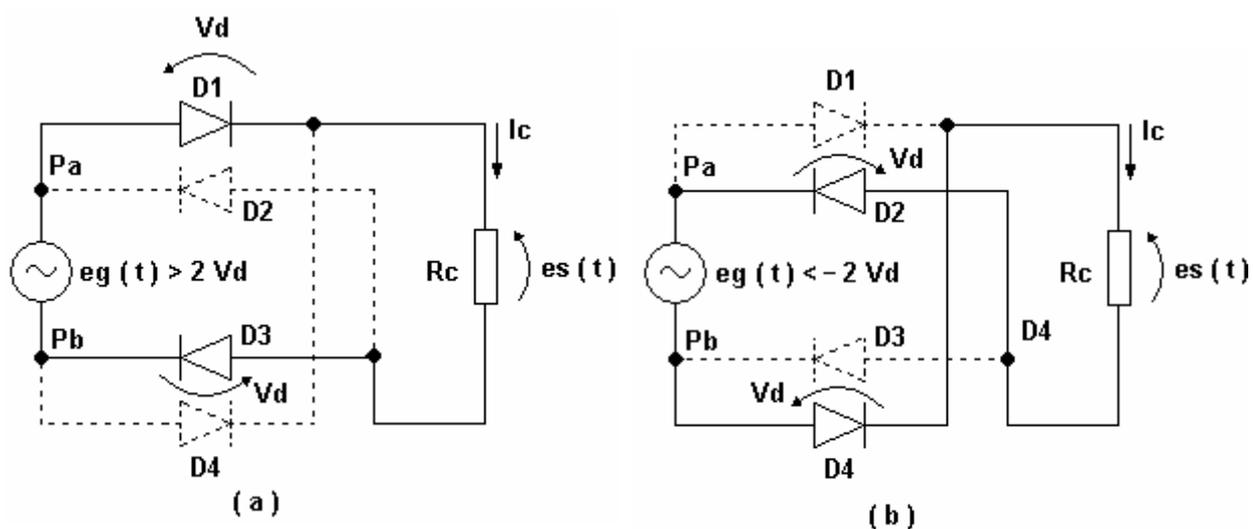


Figura 34 - Circuito retificador de onda completa com ponte de diodos



**Figura 35 - Sentidos de condução no retificador de onda completa em ponte:
eg(t) > 2vd ; b) eg(t) < - 2vd.**

Na Figura 36 vemos as formas de onda do circuito retificador em ponte. Nota-se que a corrente do gerador é ainda senoidal, embora a corrente em Rc passe sempre num só sentido.

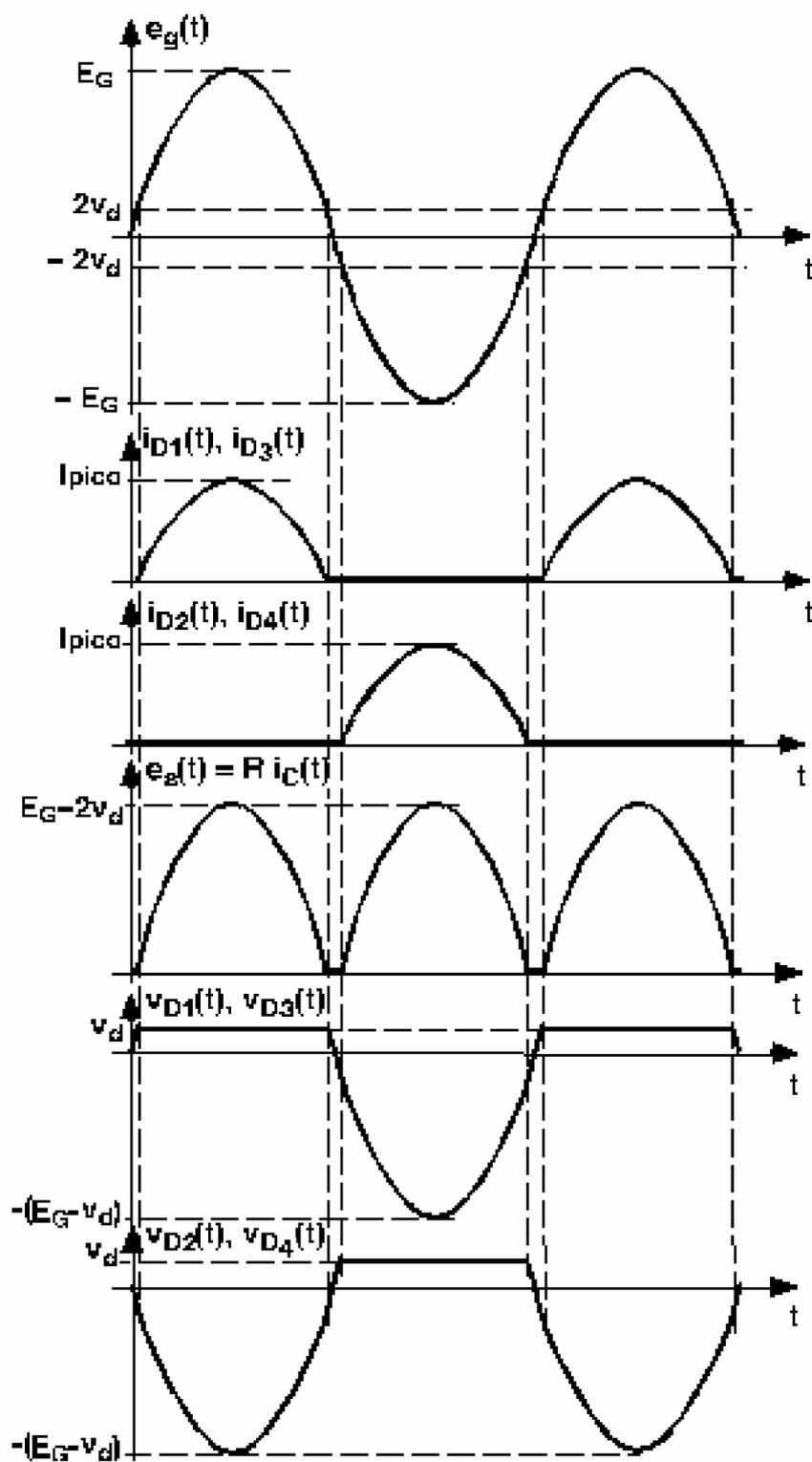


Figura 36 - Formas de onda no retificador de onda completa em ponte.

Como normalmente $EG \gg v_d$, a tensão reversa máxima em cada diodo é aproximadamente $-EG$.

5.2.2.2 - Retificador de Onda Completa com Transformador de Terminal Central

O circuito da Figura 37, que utiliza um transformador com terminal central (center tap), também permite a passagem de corrente por R_c nos dois semiciclos da senóide.

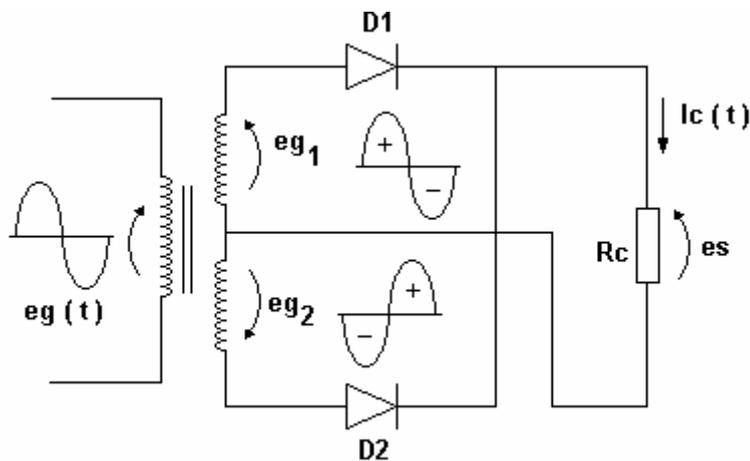


Figura 37 - Retificador de onda completa com transformador de terminal central.

O funcionamento do circuito, de acordo com os semiciclos de $eg_1(t)$ e $eg_2(t)$, está ilustrado na Figura 38. No primeiro semiciclo (Figura 38. a), $eg_1(t)$ é positivo e $eg_2(t)$ é negativo, e, portanto o diodo D_1 conduz e o diodo D_2 corta assim que $eg_1(t) > v_d$.

No segundo semiciclo (Figura 38. b), $eg_1(t)$ é negativo e $eg_2(t)$ é positivo, e portanto o diodo D_1 corta e o diodo D_2 conduz assim que $eg_2(t) > v_d$.

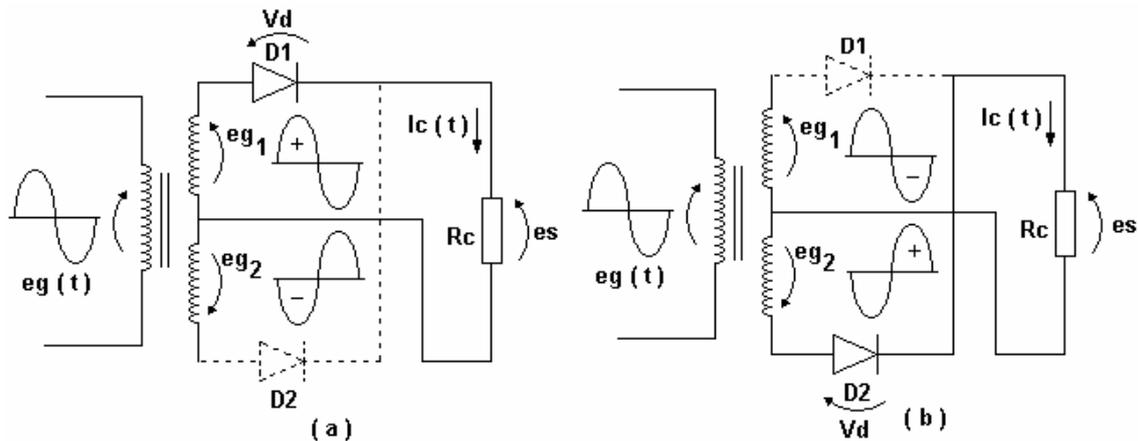


Figura 38 - Funcionamento do circuito retificador de onda completa com transformador de terminal central.

Nota-se que a corrente sempre circula em um mesmo sentido sobre a carga. A tensão reversa máxima sobre cada diodo é o dobro da tensão de pico que aparece em cada metade do secundário, $2EG$, se desprezarmos V_d .

5.2.3 - Retificador de Pico (carga capacitiva)

No circuito da Figura 39 temos o retificador de pico, onde ao invés de uma carga resistiva (item 5.2.1) temos uma carga puramente capacitiva. A capacitância só pode se carregar positivamente, pois o diodo não permite a circulação de corrente no semiciclo negativo.

Durante o primeiro semiciclo positivo de $eg(t)$ o diodo conduz totalmente e carrega a capacitância à tensão $(EG - v_d)$.

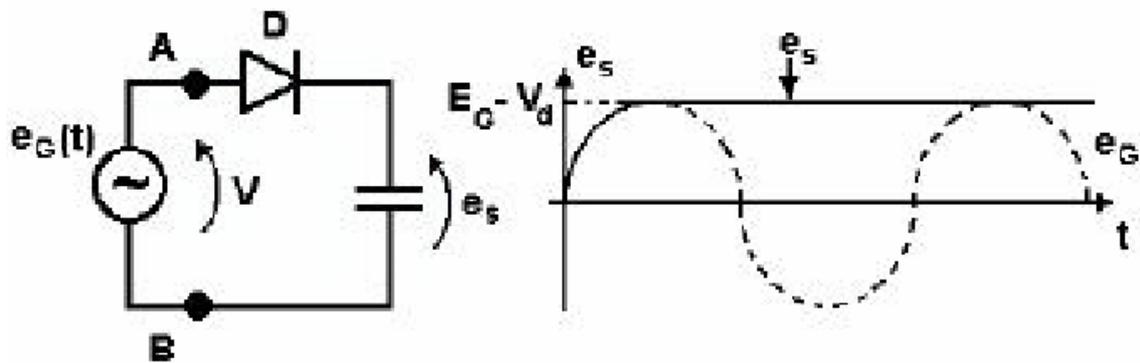


Figura 39 - Retificador de pico.

Quando $e_G(t)$ começa a cair, a capacitância tenderia a se descarregar, o que bloqueia D imediatamente, impedindo que C se descarregue. A capacitância mantém, portanto, a carga correspondente a $(e_G(t) - v_d)$, e a tensão $e_s(t)$ entre suas extremidades terá o valor $(E_G - v_d)$.

No caso da figura citada, vamos supor que ao ser aplicada a tensão $e_G(t)$ ao circuito, a capacitância já possuísse uma carga inicial Q_0 , o que manteria a tensão nos seus terminais no valor $V_0 = Q_0/C$. Então, o diodo só começaria a conduzir quando $e_G(t)$ atingisse a tensão $(V_0 + v_d)$. Isto é verdade mesmo que a tensão de entrada tenha uma outra forma da onda.

5.2.4 - Retificador de Meia Onda com Filtro Capacitivo:

O circuito mostrado na Figura 40 apresenta o que chamamos de “filtragem”, que no caso consiste na eliminação de variações bruscas na tensão $e_s(t)$ sobre a carga resistiva R_c graças à presença da capacitância C que age como “amortecedor”. Suponhamos que o capacitor esteja inicialmente descarregado. Ao chegar o primeiro semiciclo positivo de $e_G(t)$, o diodo D conduz colocando C e R diretamente em contato com a tensão $e_G(t)$, a menos de v_d .

Enquanto $e_G(t)$ estiver aumentando, o diodo estará conduzindo e a capacitância vai se carregando até atingir a tensão máxima $(E_G - v_d)$ e a corrente na resistência será $(e_G(t) - v_d) / R$. Quando $e_G(t)$ atinge o máximo e começa a cair, a carga em C tenta voltar, o

que é impedido pelo imediato bloqueio do diodo. A carga do capacitor não tem alternativa senão escapar suave e exponencialmente através de R, enquanto a tensão no outro lado do diodo vai caindo até atingir o pico negativo de $e_g(t)$. Nesse instante, a tensão inversa sobre o diodo é máxima, sendo igual a aproximadamente $-2E_G$.

O diodo só volta a conduzir quando $e_g(t)$ iguala $e_s(t)$ (ângulo θ_1) e o capacitor então se carrega novamente ao máximo, até que ocorra novo bloqueio (ângulo θ_2). Conforme observamos na Figura 40, a corrente no diodo inicialmente atinge um valor bastante elevado, (surto inicial), uma vez que ao o ligarmos o circuito, o capacitor encontra-se

descarregado e na saída do circuito produz-se em conseqüência, um curto-circuito se desprezarmos a resistência série equivalente do capacitor, ESR. A corrente fica limitada apenas pela resistência da fonte de alimentação, R_s . Por isso, a citada resistência deve assumir um valor de compromisso entre um mínimo, que mantém este pico de corrente abaixo do nível máximo permitido, e um máximo que ainda satisfaça às exigências de regulação e rendimento do circuito.

Para o pior caso, teremos:

$$I_{\text{surto}} = \frac{E_G}{R_s + \text{ESR}} \cong \frac{E_G}{R_s} \quad (1)$$

A corrente no diodo em regime permanente, chamada de corrente de pico repetitivo, é $i_D(t) = i_c(t) + i_R(t)$. Esta expressão é válida no intervalo $[\theta_1, \theta_2]$, denominado ângulo de condução, $\theta_2 - \theta_1$. No intervalo $[\theta_1, \theta_2]$, a corrente no capacitor é dada por:

$$i_c(t) = C \frac{d[e_g(t) - v_d]}{dt} \text{ onde } e_g(t) = E_G \text{ sen } \omega t \quad (2)$$

A corrente na carga será:

$$i_R(t) = \frac{(e_g(t) - v_d)}{R} \quad (3)$$

Portanto, temos:

$$i_D(t) = \frac{E_G}{R} (\omega RC \cos \omega t + \sin \omega t) - \frac{v_d}{R} \quad (\text{para } \theta_2 \leq \omega t \leq \theta_1) \quad (4)$$

A expressão acima mostra que o valor da corrente através do diodo aumenta com a diminuição do ângulo de condução, podendo assumir níveis elevados. A corrente média que flui durante todo o ciclo é obtida do gerador durante o intervalo θ_1 até θ_2 . Devido a este motivo recomenda-se não utilizar a capacidade máxima de corrente dos diodos, quando forem trabalhar com carga capacitiva.

Quanto menor for a descarga do capacitor durante o bloqueio do diodo, menor será a queda de tensão nos seus terminais e tanto mais demoradamente ocorrerá θ_1 , o ângulo de início de condução. O ângulo de condução será, portanto, menor. O tempo com que C se descarrega através de R depende tanto de R como de C. Quanto maior for R menor

será a corrente e mais lenta será a descarga. Por outro lado, quanto maior for C, para um mesmo R, mais carga terá que ser eliminada para obter um determinado decréscimo de tensão, o que levará mais tempo. O tempo de descarga de um circuito constituído por uma resistência e uma capacitância pode ser expresso pela constante de tempo do circuito, que nada mais é senão o produto RC. Este valor é mostrado na Figura 41 sobre a curva de descarga de um circuito RC.

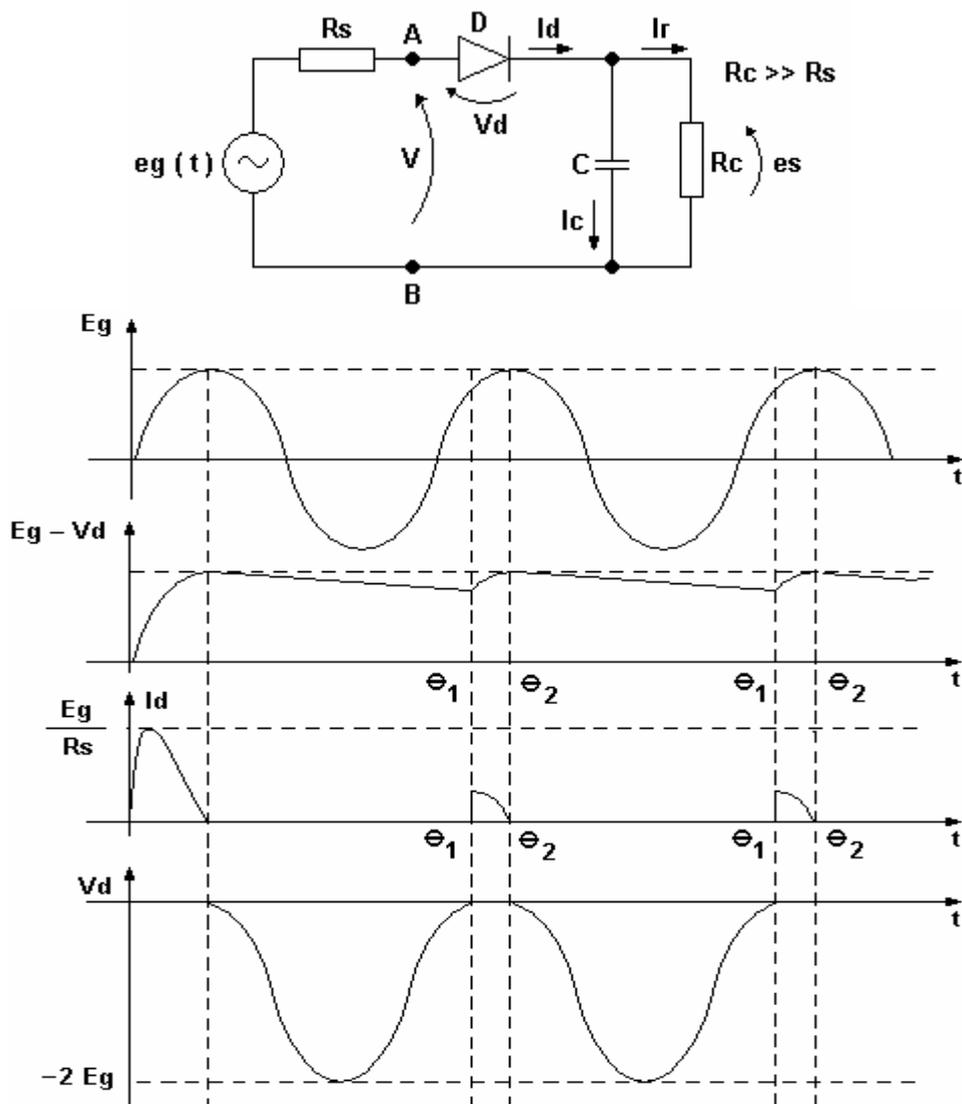


Figura 40 - Retificador de meia onda com filtro capacitivo

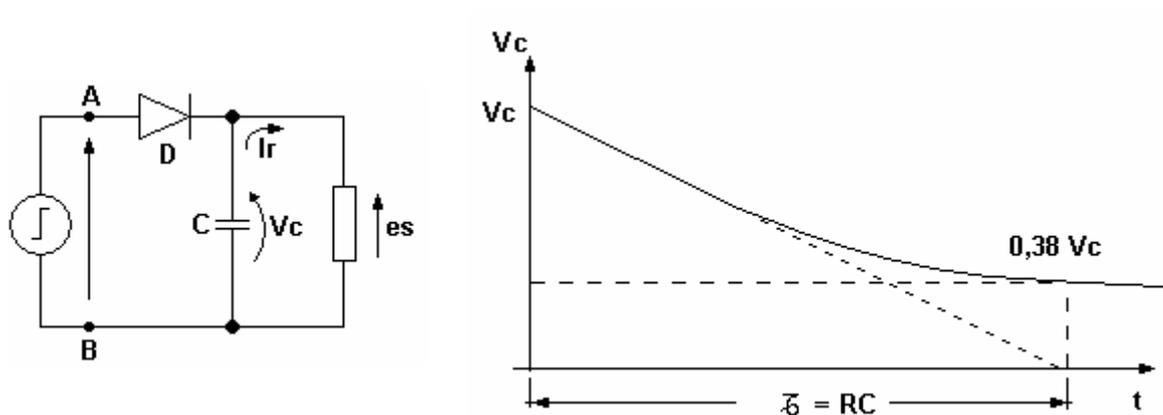


Figura 41 - Transitório da descarga de um capacitor através de uma resistência

A tensão média na carga pode ser calculada considerando-se a aproximação da Figura 42, supondo que o capacitor se carrega instantaneamente e que a descarga é linear.

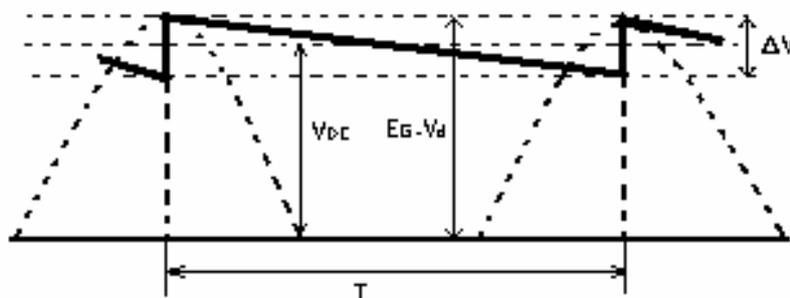


Figura 42 - Aproximação usada no cálculo da tensão média de saída do circuito retificador de meia onda com filtro capacitivo

Neste caso, a corrente média no capacitor é dada por:

$$I_{DC} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad \text{onde} \quad \Delta Q = C \Delta V \quad (5)$$

Então:

$$I_{DC} = C \frac{\Delta V}{T} = C \cdot \Delta V \cdot f \quad (6)$$

e

$$V_{DC} = R \cdot C \cdot \Delta V \cdot f \quad (7)$$

Da Figura 42 observamos que:

$$V_{DC} = (E_G - v_d) - \frac{\Delta V}{2} \quad (8)$$

Das equações de V_{DC} acima, obtemos:

$$V_{DC} = \frac{2 \cdot R \cdot C \cdot f \cdot (E_G - v_d)}{1 + 2 \cdot R \cdot C \cdot f} \quad (9)$$

5.2.5 - Retificador de Onda Completa em Ponte com Filtro Capacitivo

O valor médio da tensão de saída calculado de forma análoga ao caso de retificador de meia onda com filtro capacitivo é:

$$V_{DC} = \frac{4 \cdot R \cdot C \cdot f (E_G - 2v_d)}{1 + 4 \cdot R \cdot C \cdot f} \quad (10)$$

e

$$\Delta V = [(E_G - 2v_d) - V_{DC}] \times 2 \quad (11)$$

Note que $e_G(t)$ é a tensão de saída em aberto do secundário do transformador (VPsec) (Figura 43).

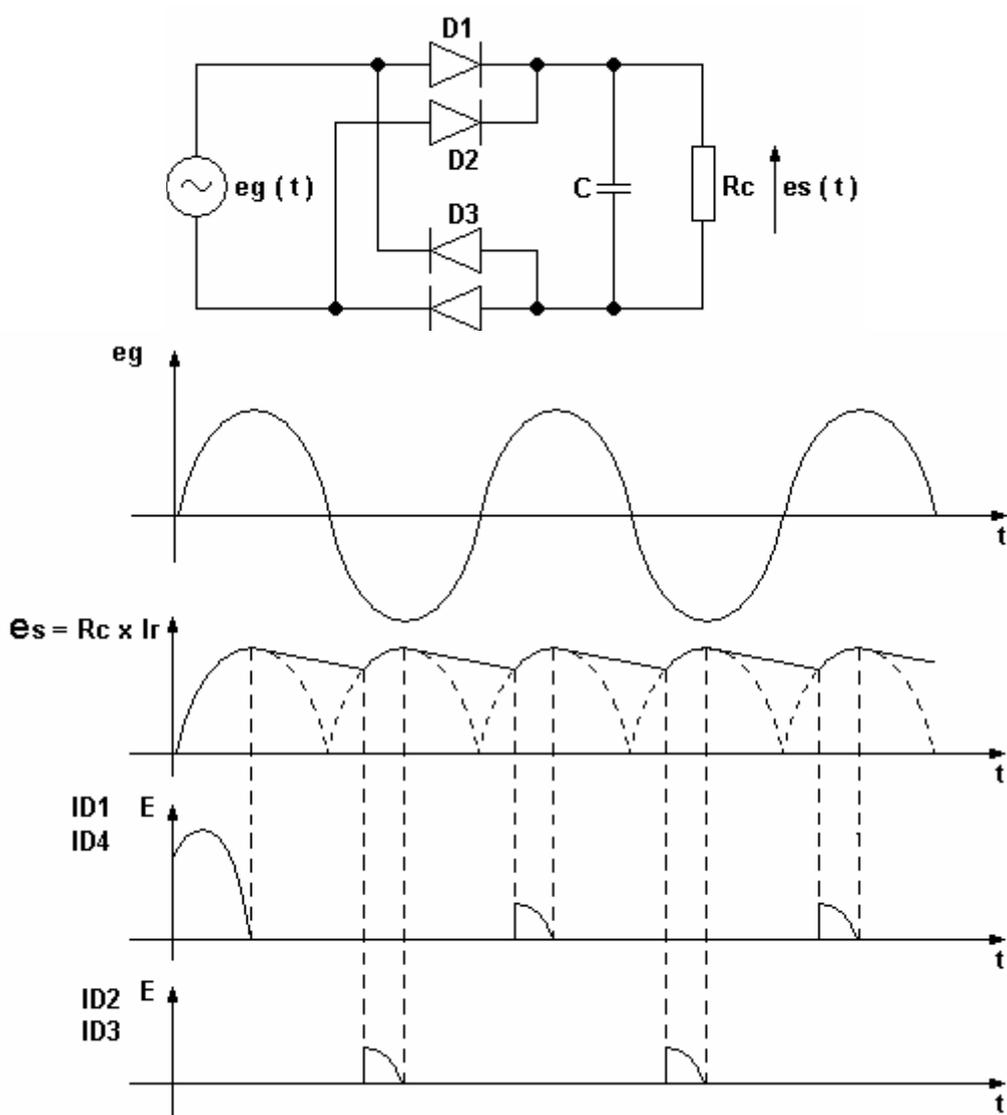


Figura 43 - Retificador de onda completa em ponte com filtro capacitivo

5.2.6 Retificador de Onda Completa com Filtro de Indutor à Entrada

Este circuito, mostrado na Figura 44, por apresentar ΔV pequeno face a V_{DC} (diz-se que o circuito tem “boa regulação”), é utilizado com frequência em aplicações onde a impedância de carga sofre grandes variações. Em relação ao circuito anterior a filtragem é mais eficiente graças a presença da indutância L em série com o RC de saída. A indutância apresenta “inércia” às variações bruscas de corrente, mesmo que entre seus

terminais apareçam tensões variáveis de grande amplitude. Analisaremos a seguir em maior detalhe o funcionamento deste circuito.

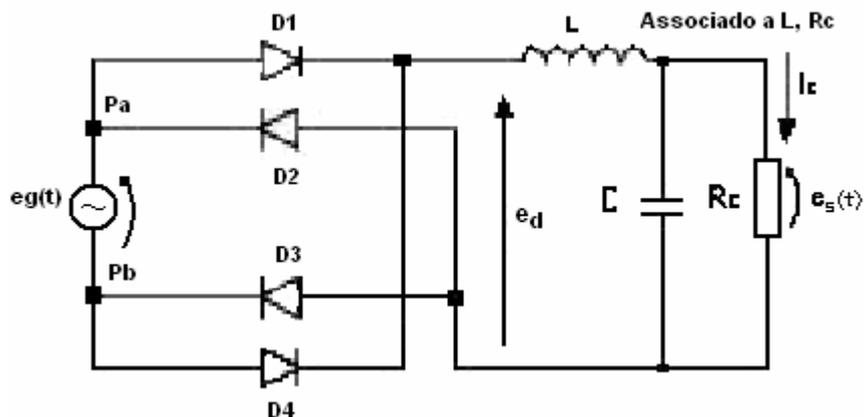


Figura 44 - Retificador de onda completa com filtro indutivo

Suponhamos inicialmente que a resistência de carga R_C esteja ausente. Como devido à disposição dos diodos, a corrente $i_L(t)$ só pode passar no sentido indicado na Figura 44, o capacitor se carrega até atingir o regime estacionário, onde a tensão fica igual ao valor de pico $(E_G - 2v_d)$. Uma vez alcançado esse valor a corrente deixará de fluir.

Compreende-se, por extrapolação, que se ligarmos ao circuito resistências de carga muito elevadas a tensão de saída será aproximadamente igual a $(E_G - 2v_d)$.

Se agora reduzirmos a resistência de carga, a corrente fluindo pela indutância não será mais nula no regime estacionário, e chegaremos logo a uma condição tal que, devido à inércia apresentada pela indutância, essa corrente na verdade nunca se anula, de maneira que sempre haverá diodos conduzindo. Quando $e_g(t) > 2v_d$ isto é, quando $P_a > P_b + 2v_d$, os diodos em condução são D1 e D3 e quando $e_g(t) < -2v_d$, ou seja, quando $P_a < P_b - 2v_d$, os diodos em condução são D2 e D4. Portanto, a tensão e_d à entrada do filtro tem o aspecto que se vê na Figura 45, e para a parte do circuito constituída de L, Rx (resistência série do indutor L), C e Rc tudo se passa como se na entrada tivéssemos aplicado um gerador de tensão e_d , como mostrado na Figura 45.

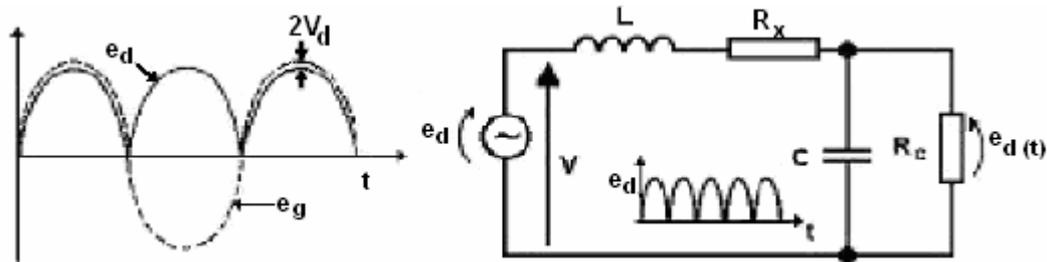


Figura 45 - (a) Formas de onda de $e_g(t)$ e de $e_d(t)$;(b) Circuito com filtro LC

O circuito da Figura 45b é linear e pode ser facilmente resolvido decompondo-se a tensão $e_d(t)$ em série de Fourier e utilizando-se métodos de análise da teoria de redes elétricas. A tensão $e_d(t)$, pode ser escrita, portanto, como:

$$e_d(t) = \frac{2(E_G - 2v_d)}{\pi} + \frac{4(E_G - 2v_d)}{3\pi} \cos(2\omega t) + \dots \quad (12)$$

Forneceremos a seguir apenas os resultados desta análise:

1) Tensão contínua à saída da fonte:

$$V_{DC} = \frac{2}{\pi} \frac{R_c}{R_x + R_c} (E_G - 2v_d) \approx \frac{2}{\pi} (E_G - 2v_d) \quad (13)$$

Podemos notar que se a resistência própria do indutor, R_x , for desprezível em relação à resistência de carga, a componente contínua à saída é aproximadamente $0,64(E_G - 2v_d)$.

2) Amplitude de pico da componente alternada na saída:

Para $2\omega L \gg R_x$ e $1/2\omega C \ll R_c$ teremos:

$$E_{ca} = \frac{4(E_G - 2v_d)}{3\pi} \frac{1}{(4\omega^2 LC - 1)} \quad (14)$$

Esta componente tem o dobro da frequência da rede e é aproximadamente senoidal.

3) Valor da carga mínima (resistência máxima) necessária:

Vimos que se a resistência de carga for muito elevada, a tensão na saída do circuito se aproxima do valor $(E_G - 2v_d)$, devido às interrupções de corrente na indutância. Para se garantir a continuidade de corrente pela indutância, que por sua vez garante a validade das expressões 13 e 14, é necessário colocar à saída uma carga “Bleeder” (resistência fixa ligada na saída, R_B). O valor desta resistência é obtido fazendo-se com que o módulo do valor máximo negativo da corrente devida à componente alternada na saída seja menor que a corrente devida a componente contínua, não permitindo portanto que a corrente no indutor se anule. Desta forma, considerando $2\omega L \gg 1/(2\omega C)$ e $R_B \gg R_x$, teremos:

$$\frac{4}{3} \frac{(E_G - 2v_d)}{\pi} \frac{1}{2\omega L} < \frac{2}{\pi} (E_G - 2v_d) \frac{1}{R_B} \quad (15)$$

Portanto, $R_B < 3 \omega L$. Somente para resistências de carga menores que esse valor são válidas as expressões acima.

5.3 - ALGUMAS DEFINIÇÕES RELATIVAS A FONTES DE TENSÃO

Em geral, é desejável que uma fonte de tensão forneça uma tensão contínua rigorosamente constante. Isto, porém, é impossível de se obter na prática. A tensão fornecida pode variar com a corrente solicitada pela carga e com as flutuações da rede, conforme mostrado pela Figura 46. Além disso, a tensão sempre contém componentes alternadas provenientes de filtragem, como indicado pela Figura 47.

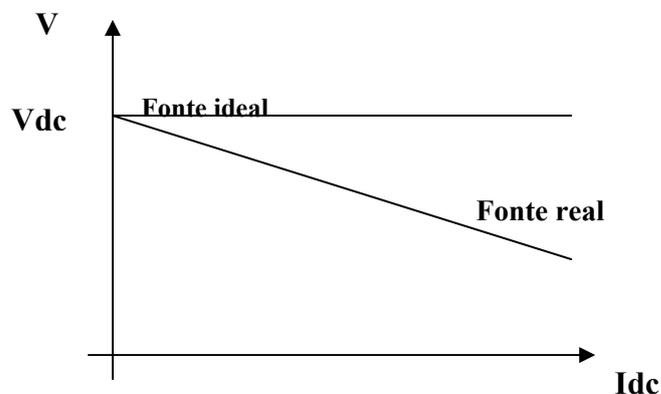


Figura 46 - Variação da tensão de saída com a corrente solicitada pela carga (curva de regulação)

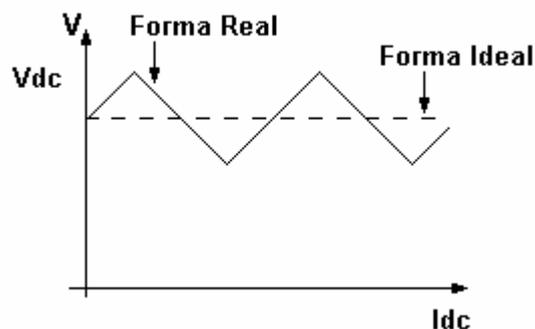


Figura 47: Ilustração da presença de componentes alternadas na tensão de saída

A queda de tensão devido à corrente de carga é expressa pela curva VDC (componente contínua da tensão de saída) versus IDC (componente contínua da corrente de carga), chamada “curva de regulação”, de onde obtemos a “regulação” (para uma dada carga):

$$\text{Regulação de Carga} = \frac{\text{tensão em vazio} - \text{tensão com carga}}{\text{Tensão em vazio}}$$

Mantendo-se a tensão de entrada constante.

Em geral, a regulação é definida para a condição de plena carga, isto é, para a máxima corrente permitida. Esta definição pode ser usada também para geradores senoidais desde que se tomem valores eficazes de tensão.

O conteúdo de componentes alternadas na tensão de saída é expresso pelo “fator de ondulação”:

$$R = \frac{\text{Valor eficaz das componentes alternadas da tensão de saída}}{\text{Tensão contínua de saída}} \times 100\% \quad (16)$$

Uma boa fonte de alimentação deve ter baixa regulação e baixo fator de ondulação.

Note que para ondas senoidais, [V] pico = $2^{1/2}$ [V] eficaz e para ondas triangulares, [V] pico = $3^{1/2}$ [V] eficaz.

5.4 - PROBLEMAS RELACIONADOS COM A REALIZAÇÃO PRÁTICA DE CIRCUITOS RETIFICADORES:

A tensão obtida de transformadores de potência sempre sofre uma queda de 5% quando em plena carga em relação à tensão em vazio devido às resistências internas desses transformadores. Também, nunca se esqueça que quando se trata de fontes de baixa tensão sempre devemos considerar o efeito de v_d , devido ao fato que um diodo para retificação (diodo retificador) em condução apresenta uma queda de tensão da ordem de 0,8V ou superior se polarizado na metade de sua corrente máxima e se fabricado de silício.

Em especial, nos circuitos retificadores possuindo filtro com capacitor à entrada, as quedas nos diodos e nos enrolamentos do transformador podem ser mais elevadas nos instantes em que há condução de picos de corrente.

5.5 - CURVAS DE SCHADE

Para circuitos retificadores monofásicos de altas potências onde os componentes são bastante onerosos e cujos projetos devem ser bem dimensionados, podemos calcular o

valor de tensão média na carga (V_{DC}), corrente de pico repetitivo (I_p), corrente eficaz nos diodos (I_{ef}) e valor eficaz das componentes alternadas da tensão de saída (V_{ef}), utilizando as curvas de Schade. (Figura 48).

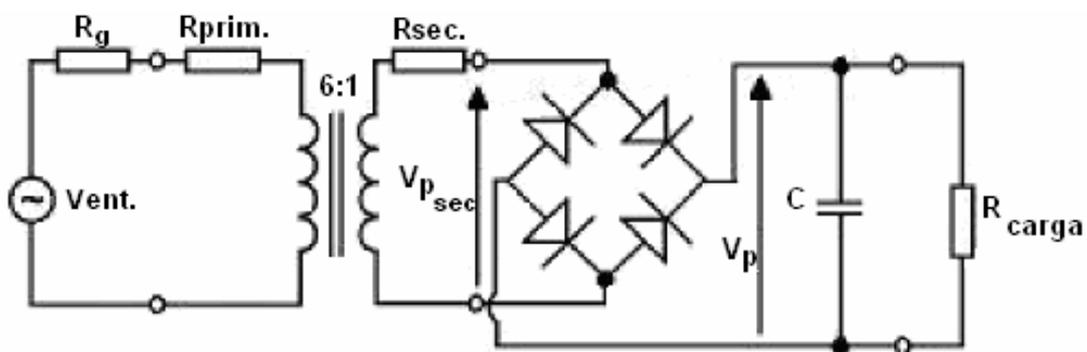


Figura 48 - Retificador em ponte considerando-se as perdas no transformador

6 - BATERIAS

Uma fonte de eletricidade de uso comum é a ação química que tem lugar nas pilhas e baterias.

As baterias são usadas com frequência em situações de emergência e como fonte portátil de eletricidade.

6.1 - CÉLULA PRIMÁRIA

A célula primária se compõe de uma cuba, duas placas metálicas diferentes e um líquido chamado eletrólito de solução (Figura 49).

O eletrólito empurra os elétrons de uma placa para outra. Esta ação resulta em um excesso de elétrons ou carga negativa em uma das placas de modo que um fio ligado a esta placa recebe o nome de terminal negativo. A outra placa perde elétrons e assim fica carregada positivamente e se for ligado um fio a ela, receberá o nome de terminal positivo.

A placa negativa será de zinco e a positiva de cobre.

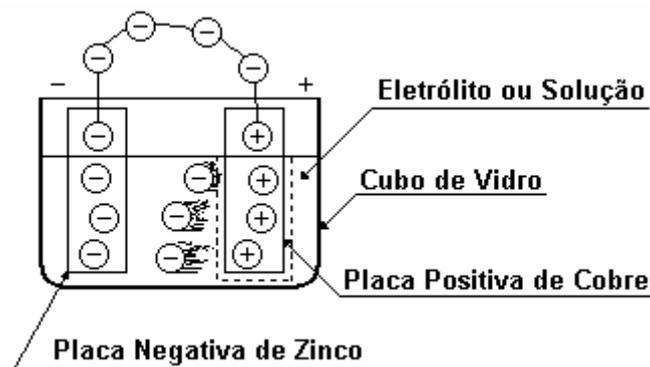


Figura 49 – Célula Primária

Com os terminais desligados os elétrons são empurrados para a placa negativa até que não haja mais espaço para eles, aí então diremos que a placa está com a sua carga máxima.

Ligando-se um fio entre as placas, conforme se pode observar na figura anterior, os elétrons deixam o pólo negativo e caminhando através do referido fio vão ter ao pólo positivo, o qual está com falta de elétrons. Imediatamente o eletrólito transportará novamente, elétrons para a placa negativa.

Enquanto o eletrólito estiver transportando os elétrons, observaremos que a placa negativa vai se consumindo, isto devido à ação química. Na placa positiva haverá um desprendimento de bolhas de gás.

Chegará um ponto em que a placa negativa se dissolverá completamente no eletrólito pela ação química e então a célula estará morta.

A pilha seca se compõe de um recipiente de zinco, que é, ao mesmo tempo, a placa negativa e de um bastão de carbono servindo como placa positiva suspensa no centro do recipiente e finalmente uma solução pastosa de cloreto de amônio constituindo o eletrólito.

No fundo do recipiente há um disco de papel alcatroado, cuja finalidade é impedir que o bastão de carbono toque no zinco.

Na parte superior o recipiente contém camadas de serragem, areia e resina. Estas camadas mantêm o cilindro de carvão na posição correta e impedem vazamentos do eletrólito.

Quando uma pilha seca fornece eletricidade, o recipiente de zinco e o eletrólito são gradualmente consumidos. Após o término do zinco e do eletrólito utilizáveis a pilha não mais fornece carga e tem de ser substituída. A pilha seca também chamada Leclanché tem muito pouco peso e é portátil além de outras propriedades que a tornam praticamente preferida dentre as demais pilhas primárias.

Vista, em corte, de uma pilha seca ou Leclanché (Figura 50).

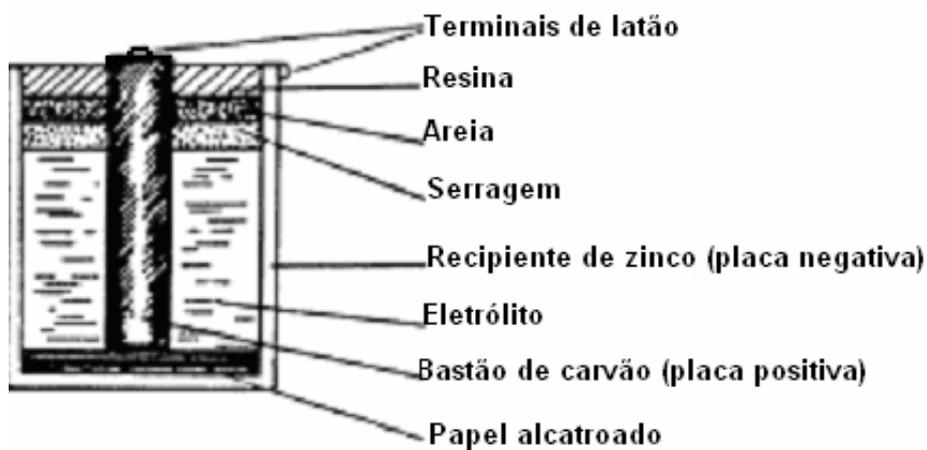


Figura 50 – Pilha seca ou Leclanché

A f.e.m. (força eletro motriz) de uma pilha seca é de 1,5 a 1,6 volts quando novas caindo lentamente à medida que ela vai sendo usada.

6.2 - CÉLULA SECUNDÁRIA

A célula secundária ou pilha secundária, conhecida também como acumulador se baseia nos mesmo princípio fundamental da pilha diferindo da outra na maneira de serem restauradas.

As pilhas primárias, uma vez descarregadas, não podem ser mais usadas, porém, as secundárias além de fornecerem uma quantidade de corrente maior, ainda podem ser recarregadas.

Há somente dois tipos de pilhas usadas comumente como acumuladores:

.Chumbo - chumbo ácido

. Níquel - ferro alcalino

6.2.1 - Célula chumbo - chumbo ácido

O princípio em que se baseia o elemento de chumbo pode ser ilustrado pela seguinte experiência: duas tiras de chumbo são mergulhadas em um vaso contendo ácido sulfúrico diluído tendo um peso específico aproximadamente de 1.250.

Liga-se essas tiras a uma fonte de corrente contínua. Quando a corrente circula por esta pilha formam-se e escapam bolhas de gás em ambas as placas, mas em uma das placas a formação de bolhas é muito maior que na outra. Depois de um curto período de tempo vê-se que a coloração de uma das placas mudou para “chocolate escuro”, no aspecto, tornando-se chumbo poroso (Figura 51).

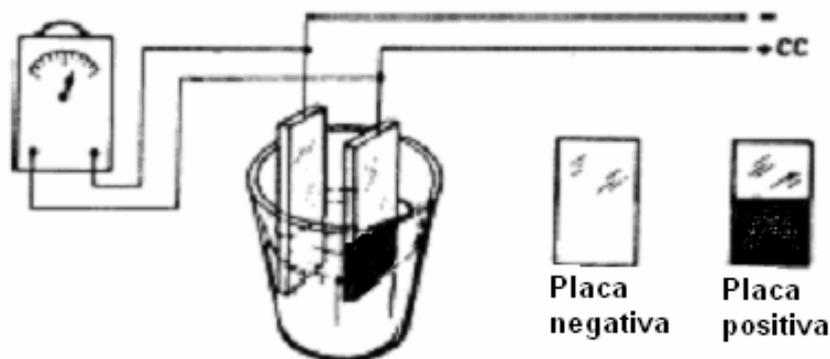


Figura 51 – Célula chumbo – chumbo ácido

Enquanto a pilha estiver carregando a tensão vai até cerca de 2,5 volts, caindo para 2 volts quando se interrompe a corrente.

Na descarga a tensão cai lentamente até 1,75 Volts, depois o decréscimo se torna mais rápido até vir a zero.

Quando se faz passar uma corrente na referida célula, o chumbo metálico da placa positiva é convertido em peróxido de chumbo enquanto que a placa negativa não sofre nenhuma alteração química, mas modifica-se de chumbo sólido para chumbo esponjoso.

Quando o elemento é descarregado, o peróxido de chumbo da placa positiva transforma-se em sulfato de chumbo e o chumbo esponjoso da placa negativa também se converte em sulfato de modo que ambas as placas tendem a igualar-se eletroquimicamente.

Quando as duas placas são idênticas sob a forma de sulfato de chumbo entre as mesmas não há diferença de potencial.

Se as placas estiverem em condições diferentes, a positiva modificada para peróxido de chumbo e a negativa para chumbo esponjoso, uma f.e.m. existe entre elas.

As reações que tem lugar no acumulador de chumbo são:

Bateria Descarregada

(Placa +)	(Placa -)
PbSO ₄	PbSO ₄ + 2H ₂ O
Sulfato de chumbo	sulfato de chumbo mais água

Que se decompõe em:

Bateria Carregada

(Placa +)	(Placa -)
PbO ₂ Peróxido de chumbo	Pb + 2H ₂ SO ₄ Chumbo + ácido sulfúrico

Observe-se que quando a bateria está sendo carregada a única modificação tem lugar no eletrólito com a formação de ácido sulfúrico. Esta é a razão do aumento do peso, específico do eletrólito.

No momento que o acumulador está recebendo carga o hidrogênio é libertado na placa negativa e o oxigênio na placa positiva.

6.2.1.1 - Manutenção das baterias:

O acumulador de chumbo requer muitos cuidados para a sua conservação; quando bem tratado, tem grande durabilidade.

A solução deve ser preparada com ácido sulfúrico puro e água destilada, sendo uma parte de ácido para 3,5 de água, tendo-se o cuidado de adicionar lentamente o ácido na água, pois há grande desenvolvimento de calor na mistura.

As placas devem estar sempre cobertas pela solução e sempre que necessário completá-la com água destilada, pois devido ao aquecimento há sempre uma perda por evaporação.

A bateria deve sempre receber cargas lentas e freqüentes porque cargas rápidas e elevadas danificam as placas da mesma.

6.2.2 - Elemento ferro - níquel – alcalino

“Acumulador Edison”

Este tipo de acumulador foi inventado por Edison em 1901 quando o amplo uso de baterias para o acionamento de carros, tratores, locomotivas, assim como para a iluminação de carros ferroviários de passageiros, reclamava um tipo leve e durável de acumulador.

A bateria de ferro-níquel é a única de uso comercial nos Estados Unidos.

Seu pouco peso e durabilidade se devem ao emprego de aço em sua construção, tanto nas placas como no invólucro.

A placa positiva é construída de um gradeado de aço-níquel, suportando também tubos de aço-níquel, nos quais se encontra o material ativo.

Quando introduzido nos tubos, este material ativo está sob a forma de um hidrato de níquel que se transforma em um óxido de níquel depois do tratamento de formação. Os tubos são perfurados para dar ao eletrólito facilidade de acesso até o material ativo.

A placa negativa, geralmente, é de construção similar à placa positiva com a diferença de que o material ativo usado é constituído por óxido de ferro finamente pulverizado e contido em bolsas perfuradas fabricadas de aço níquel em vez de serem em tubos.

Liga-se em paralelo um certo número de placas para formar um grupo, dispondo mais uma placa no grupo negativo que no positivo Intercalam-se então os dois grupos de placas, conjuntamente, separando-se as placas, uma das outras por meio de tiras de ebonite.

O recipiente é de aço laminado a frio, ondulado para dar-lhe maior resistência. É soldado nas juntas e depois níquelado com uma espessa camada de níquel como proteção contra oxidação.

A tampa leva dois terminais e tem um orifício que serve ao mesmo tempo para encher o recipiente e dar saída aos gases.

O eletrólito utilizado se compõe de uma solução de 21% de potassa em água destilada à qual se adiciona uma pequena quantidade de óxido de lítio. Deste eletrólito não se desprendem gases corrosivos, de modo que não é necessário tomar nenhuma precaução para montar a unidade.

A finalidade de óxido de lítio é aumentar a duração e a capacidade do acumulador.

O tempo nominal para a carga deste tipo de acumulador é de 7 horas e 5 horas para a descarga com a mesma corrente sendo o seu rendimento de 82% aproximadamente.

A temperatura interna não deve exceder 45°C.

As vantagens do acumulador Edson consistem em ser ele mais leve e mais forte que o de chumbo, podendo permanecer carregado ou descarregado por tempo indefinido sem alterar-se.

Não há desprendimento de gases ácidos, podendo ser colocado em salas onde haja máquinas sem perigo de corrosão.

Para se substituir o eletrólito, o acumulador deverá primeiramente ser descarregado por completo até a voltagem cair a zero deixando-o fechado em curto circuito durante duas horas ou mais.

Retira-se o eletrólito e imediatamente coloca-se o novo eletrólito.

Deve-se manter o nível da solução completando-o, sempre que necessário, com água destilada para compensar a porção que se evapora com o tempo.

Quando se desejar guardar o acumulador Edson, fora de serviço, deve-se descarregá-lo até chegar a zero, depois fechar em curto circuito seus bornes e em seguida guardá-lo.

O acumulador Edson não se deteriora por congelamento.

Um contraste notável pode-se observar entre ele e o acumulador de chumbo, pois este deve ser completamente carregado antes de ser armazenado ao passo que o acumulador Edson deve ser completamente descarregado.

As principais desvantagens do acumulador Edson são: seu elevado custo, baixo rendimento e grande resistência interna.

Como o acumulador de chumbo é mais barato e ao mesmo tempo o seu rendimento é maior, ele é o mais usado.

6.3 - CONSTITUIÇÃO

A bateria é constituída por:

- . Caixa
- . Tampas
- . Placas
- . Eletrólito
- . Conectores de elementos
- . Bornes

6.3.1 - Caixa

É fabricada geralmente de ebonite ou plástico (Figura 52).

Divide-se em compartimentos estanques, onde estão alojadas as placas.

As tampas da caixa são fabricadas de ebonite ou plástico e tem um bujão roscado ou de pressão, que pode ser retirado para se verificar o eletrólito.

O pequeno orifício do bujão permite o escapamento dos gases.

O fundo de cada compartimento tem os apoios para os elementos.

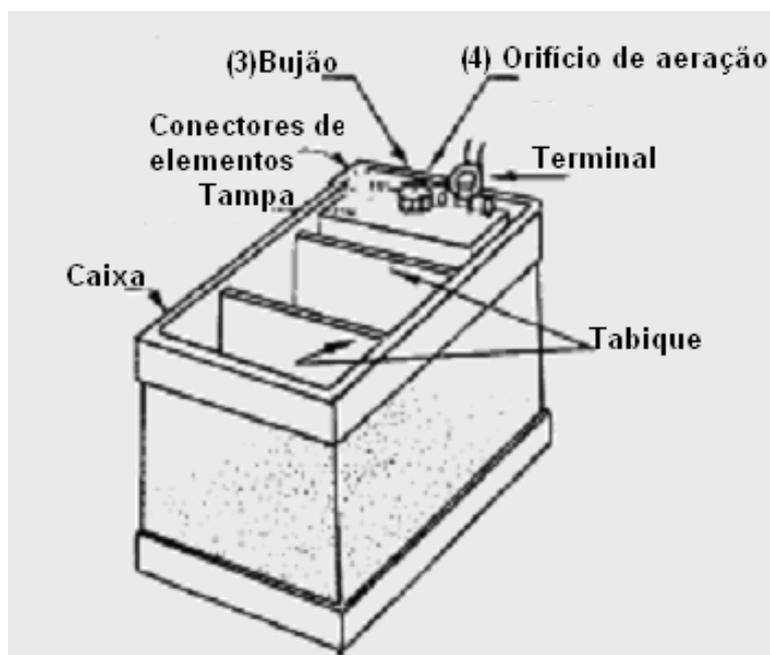


Figura 52 – Caixa da bateria

6.3.2 - Placas

Cada elemento é composto por placas de chumbo isoladas entre si por separadores (Figura 53).

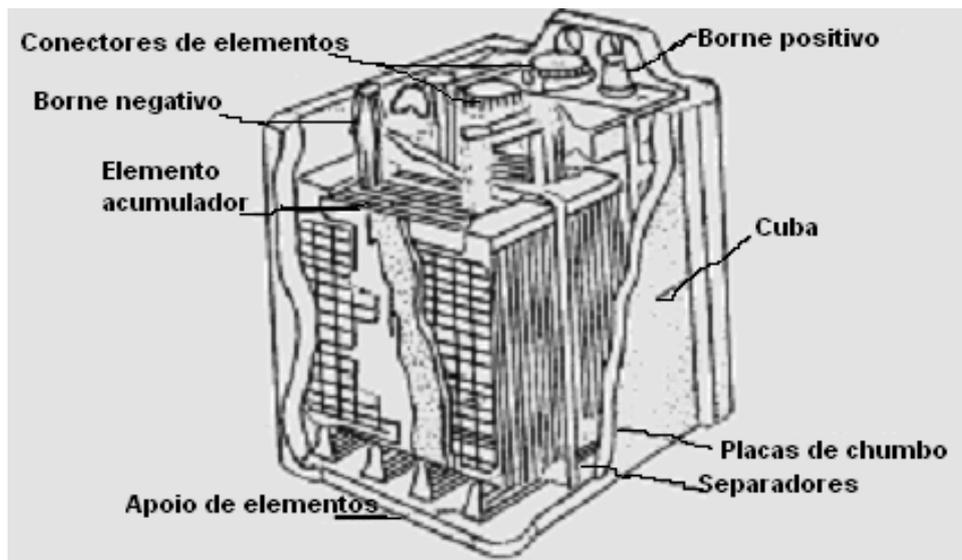


Figura 53 - Placas

6.3.3 - Eletrólito

É a solução composta de água destilada e ácido sulfúrico, que se encontra nos compartimentos da caixa cobrindo as placas.

Precaução:

O ácido sulfúrico do eletrólito é altamente corrosivo. Produz queimaduras na pele e destrói a roupa, portanto, deve-se tomar especial cuidado, ou se manipular a bateria.

6.3.4 - Conectores de Elementos

São de chumbo e servem para conectar os elementos. Podem ser externos ou internos.

Borne

Cada bateria de acumuladores tem dois bornes de saída; são de chumbo e servem para conectar a bateria à sua instalação.

Borne Positivo - É o de maior diâmetro e está marcado com um sinal mais (+) de cor vermelha.

Borne Negativo - É o que está marcado com o sinal (-) de cor verde.

6.4 - CARACTERÍSTICAS

As principais características de uma bateria são:

6.4.1 - Tensão

Depende do número de elementos - três para as de 6 volts e seis para as de 12 volts (Figura 54).

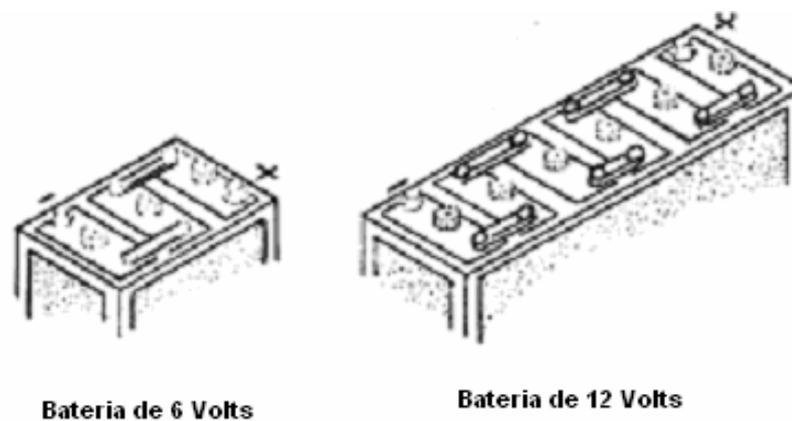


Figura 54 – Baterias por número de elementos

6.4.2 - Capacidade

Depende do número e superfície de suas placas. É expressa em ampères-horas.

O funcionamento de uma bateria de acumuladores compreende duas fases, que são:

- . Processo de carga;
- . Processo de descarga.

Processo de Carga

Ao se fazer circular uma corrente elétrica (C.C.) por uma bateria, é produzida uma transformação química que aumenta a densidade do eletrólito. Desta forma, acumula-se energia.

Processo de Descarga

Ao ser fornecida corrente elétrica pela bateria, ocorre uma transformação química inversa. O ácido se combina novamente com o material das placas, diminuindo a densidade do eletrólito.

6.5 - CONDIÇÕES DE USO

As baterias não devem ser submetidas a regime de alta descarga por tempo prolongado, nem a curto-circuito, pois isso diminui sua vida útil.

Ao ser instalada no automóvel, a bateria deve ser fixada em sua posição, com a presilha respectiva, e conectada, respeitando-se sua polaridade.

6.6 - MANUTENÇÃO

Deve-se revisar periodicamente o nível do eletrólito, mantendo-se o mesmo um centímetro acima do nível das placas.

Os bornes e os terminais devem manter-se limpos, para se evitar resistência à passagem da corrente elétrica.

Devem estar firmemente apertados e recobertos com vaselina, para se impedir a *sulfatação*.

6.7 - REPRESENTAÇÃO

Para a representação convencional de cada elemento acumulador, utiliza-se o seguinte símbolo (Figura 55):

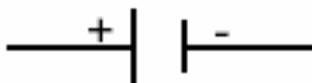


Figura 55 – Símbolo de bateria

O traço maior representa o pólo positivo (+), e o menor, o pólo negativo (-).

6.8 - COMPARAÇÃO ENTRE BATERIAS ALCALINAS E CHUMBO-ÁCIDAS

6.8.1 - Armazenagem

Alcalinas:

Podem ser armazenadas descarregadas e sem eletrólito por um período de 2 anos.

Podem ser armazenadas carregadas e com eletrólito por um período de 12 meses, com cargas periódicas de manutenção a cada 6 meses.

Baterias alcalinas em operação podem ser desativadas a qualquer momento, armazenadas descarregadas e sem eletrólito por um período de 2 anos.

Ácidas:

Uma vez efetuado o primeiro enchimento com eletrólito, o processo de envelhecimento da célula se inicia e não há possibilidade de interrompê-lo, isto é, uma vez colocado o eletrólito nunca mais poderá ser retirado. Portanto, numa operação de retirada de serviço a bateria deverá receber cargas periódicas a cada 3 meses (dependendo da temperatura ambiente) para compensar a auto descarga e evitar a sulfatização das placas.

6.8.2 - Auto Descarga

Todas as baterias em circuito aberto perdem parte de sua carga devido a auto descarga. As perdas ocorrem por causa de processos internos nos elementos. Por exemplo, a armazenagem durante três meses a 25°C resulta perdas de carga, em valores típicos.

6.8.3 - Altas Temperaturas

Alcalinas

Durante a carga a temperatura não deve ultrapassar 45°C. Em operação a faixa recomendável é de 10°C a 35°C, podendo suportar temperaturas extremas de até 55°C por períodos curtos, sem prejuízo para a bateria.

Se operadas constantemente a 35°C haverá uma redução de 20% na capacidade nominal.

Ácidas

Durante a carga a temperatura não deve ultrapassar 45°C. Em operação a faixa recomendável é de 15°C a 35°C, porém com média de 25°C.

Se operadas constantemente a 35°C haverá uma redução de 50% na capacidade nominal.

6.8.4 - Desprendimento de Gases

Alcalinas

Durante a carga há despreendimento de hidrogênio, sendo necessário em alguns casos prover a sala de baterias com equipamento para ventilação.

Ácidas

Durante a carga há despreendimento de hidrogênio e gases ácidos corrosivos.

De um modo geral os eletrólitos das baterias ácidas e alcalinas são classificados como corrosivos. Entretanto o eletrólito alcalino não ataca os materiais de construção normais, concreto e aço, não necessitando de acabamento especial. o eletrólito ácido e a névoa ácida são muito corrosivos para os materiais comuns de construção e os locais de instalação necessitam de tratamentos especiais (pisos e revestimentos anti-corrosivos).

6.8.5 - Perda de Capacidade com a Diminuição da Temperatura

Alcalinas

A 0°C a redução da capacidade é de aproximadamente 10%.

Ácidas

A 0°C a redução da capacidade é de aproximadamente 30%.

6.8.6 - Vida Útil, Quando Utilizadas em Flutuação.

Alcalinas

20 - 25 anos em condições ideais de operação e manutenção.

Ácidas

10 - 12 anos em condições ideais de operação e manutenção.

6.8.7 - Instalação

Alcalinas

Podem ser instaladas junto com equipamentos eletrônicos.

Ácidas

Não podem ser instaladas junto com equipamentos eletrônicos, pois a névoa ácida irá atacar os componentes.

6.8.8 - Final de Vida

Alcalinas

O final de vida nas baterias alcalinas é facilmente detectado. Considera-se final de vida quando a bateria atinge entre 60 e 70% da capacidade nominal.

A perda de capacidade das baterias alcalinas é lenta e de certa forma linear em função do tempo, que permite planejar com segurança a sua substituição.

Ácidas

O final de vida das baterias ácidas é difícil de detectar, tendo em vista as variações de quantidades de parâmetros que devem ser tecnicamente analisados.

Na prática o final de vida é definido quando a bateria atinge 80% da capacidade nominal, mas o que se tem observado é que geralmente o final de vida acontece antes que a capacidade atinja 80%. É o fenômeno “Morte Súbita”, o qual leva a bateria ao final de vida devido a problemas relativos a corrosão, degradação do material ativo, sedimentação, sulfatação, etc.

Por esta razão, as baterias ácidas necessitam de inspeções visuais rígidas para acompanhamento da evolução destes defeitos.

A possibilidade de “Morte Súbita” descarta o planejamento para a substituição da bateria, pois o final de vida pode ocorrer a qualquer momento, mesmo após ter sido aprovada nos testes de capacidade.

6.8.9 - Manutenção

A manutenção nas baterias alcalinas é mais simples do que nas baterias ácidas. Apesar do maior nº de elementos, as baterias alcalinas não necessitam carga de equalização, controle rígido da tensão de flutuação, da densidade do eletrólito e da temperatura.

6.8.9.1 - Quadro Comparativo Sobre Alguns Aspectos Típicos de Manutenção

Tabela 1 – Tabela comparativa sobre aspectos típicos de manutenção das baterias

	Níquel-Cádmio	Chumbo-Ácida
Armazenagem	Com eletrólito e carregado = 12 meses.	Com eletrólito e carregado = 3 - 6 meses.
Colocação em serviço	Carga 8 h com corrente constante.	Carga de 10 a 15 h com corrente constante.
Carga de equalização	Não é necessária	<ul style="list-style-type: none"> • A cada 3 meses quando armazenada. • A cada 3 ou 6 meses em operação, dependendo da idade.
Corrente de flutuação	Uma vez por ano.	A cada 3 meses.
Tensão de flutuação	Uma vez por ano.	A cada 3 meses em todos os elementos.
Teste de capacidade	A cada 2 - 5 anos dependendo da vida.	A cada 18 meses.
Adição de água	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação do nível anualmente. • Adição de água a cada 2 anos em média. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação do nível mensalmente. • Adição de água a cada ano dependendo da idade.
Limpeza	Uma vez por ano: <ul style="list-style-type: none"> • Limpar a parte superior dos elementos. • Verificar o torque nas ligações. • Aplicar graxa protetiva nas ligações e pólos. 	A cada 6 meses: <ul style="list-style-type: none"> • Limpar a parte superior dos elementos. • Verificar o torque nas ligações. Aplicar graxa protetiva nas ligações e pólos.

6.8.9.2 - Quadro Comparativo - Tempo de Manutenção

Tabela 2 – Comparativo em tempo de manutenção tendo como base um sistema 110 Volts (96 elementos. Níquel-cádmio ou 55 elementos. Chumbo ácido)

Operação	Níquel-Cádmio	Chumbo - Ácida
Verificação da Tensão de Carga e Corrente de Flutuação.	1 operação/ano = ½ h/ano	4 operações/ano = 2 h/ano
Limpeza, Torque e Proteção das Ligações.	96 elem./ano = 4 h/ano (2 min./elem.)	2 x 55 elem./ano = 4 h/ano
Verificação do Nível do Eletrólito.	96 elem./ano = 0,3 h/ano	12 x 55 elem./ano = 2 h/ano
Adição de Água.	96 elem./ano = 1 h/ano (1 min./elem)	55 elem./ano = 3 h/ano
Carga de Equalização.	-	2 x 55 elem./ano = 3 h/ano
Teste de Capacidade.	8 h/5 anos = 1,5 h/ano	10 h/1,5 ano = 6,5 h/ano
Total	7,3 h / ano	18 h / ano

6.8.9.3 - Análises Comparativas entre Baterias Chumbo-Ácidas e Alcalinas

Tabela 3 – Quadro comparativo: Baterias Chumbo-Ácidas & Alcalinas

Característica	Alcalina	Ácida
Custo de Manutenção	Menor	Maior
Resistência Mecânica	Maior	Menor
Facilidade de Verificação do estado de carga	Maior	Menor
Volume (espaço ocupado)	Depende da Aplicação	
Desprendimento de gases	Igual	Igual
Necessidade de troca de eletrólito	Maior (10 - 12 anos)	Menor
Vida útil (prática)	Maior	Menor
Influência da temperatura	Menor	Maior
Ocorrência de defeitos	Menor	Maior
Garantia dos fornecedores	Maior	Menor
Custo dos reparos	Menor	Maior
Custo do retificador	Igual	Igual
Corrosão	Não	Sim
Névoa corrosiva	Não	Sim
Facilidade de detecção do final de vida	Maior	Menor

6.8.10 - Ambiente

Os materiais que compõem as baterias ácidas e alcalinas são recicláveis:

Ácidas

O chumbo é reciclado para chumbo liga.

Alcalinas

O níquel é reciclado em siderúrgicas para fabricação de liga de aço.

O cádmio é reciclado e utilizado em novas baterias.

6.8.11 - Confiabilidade

Nos cálculos de comparação de preços foram considerados fatores mensuráveis quando se adquire uma ou outra tecnologia, porém não se pode mensurar o fator confiabilidade, que está diretamente ligado à responsabilidade de cada projeto para garantir a saúde dos meios materiais e humanos envolvidos dentro de um sistema como um todo.

Os acumuladores alcalinos são dispositivos de altíssima confiabilidade e reconhecidamente os mais seguros para toda e qualquer aplicação que exija energia confiável.

6.9 - INSTRUMENTOS DE CONTROLE DA BATERIA DE ACUMULADORES

São aparelhos que permitem verificar o estado da carga das baterias de acumuladores. Os mais comuns e gerais são: o densímetro e o voltímetro de alta descarga.

6.9.1 - Densímetro

Permite-nos medir diretamente a densidade do eletrólito e determinar, assim, o estado da carga da bateria.

É composto por um elemento flutuador com escala graduada, contida dentro de um tubo de vidro que se pode encher mediante uma “pêra” de borracha (Figura 56).



Figura 56 – Densímetro

Funcionamento

Fazendo-se sucção com a “pêra” de borracha e introduzindo-se a sonda no vaso da bateria, consegue-se retirar deste uma quantidade de eletrólito que permite ao flutuador elevar-se. A altura deste, no tubo de vidro, depende da proporção de ácido que contenha o eletrólito e indica a densidade do mesmo, na escala graduada do flutuador (Figura 57).

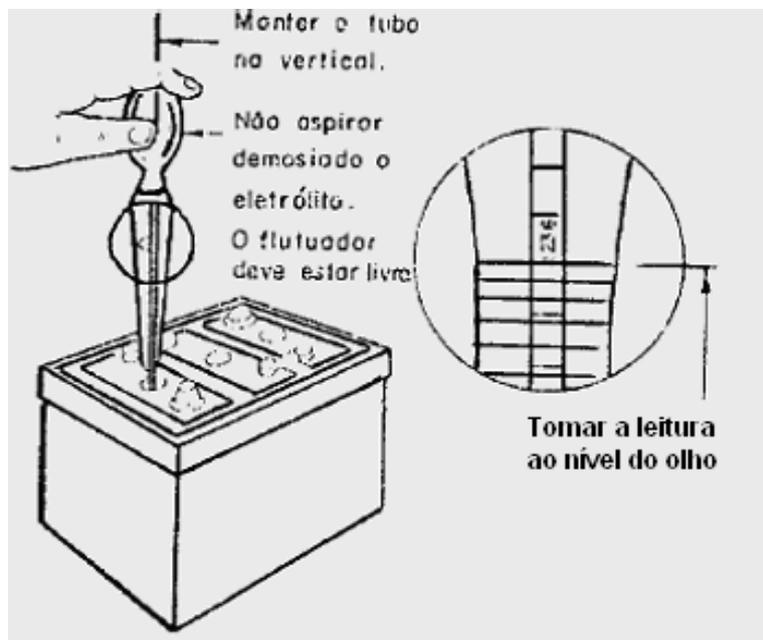


Figura 57 – Utilizando o densímetro

Deste modo, pode-se conhecer aproximadamente o estado da carga da bateria, já que existe uma relação entre a densidade e a carga, segundo a seguinte tabela:

Densidade em graus Baumé	Estado da Carga
1265 a 1300	Carga completa
1235 a 1260	3/4 de carga
1205 a 1230	1/2 de carga
1170 a 1200	1/4 de carga

1140 a 1165	Apenas utilizável
1130 ou menos	Totalmente descarregada

Esses valores variam, ligeiramente, de acordo com a temperatura do eletrólito, motivo pelo qual alguns densímetros incluem escalas para diferentes temperaturas.

6.9.2 - Voltímetro de alta descarga

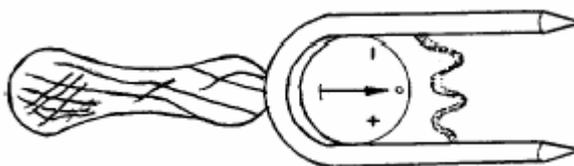


Figura 58 – voltímetro de alta descarga

Permite a determinação da capacidade da carga da bateria, medindo a tensão em cada elemento, enquanto este é submetido a uma descarga relativamente alta.

É constituído por um cabo isolado, duas pontas de prova, um resistor que produz descarga, e um voltímetro, possui escala graduada, com zero ao centro, conectado em paralelo com o resistor (Figura 58).

As pontas de prova devem ferir fortemente os bornes ou pontes de cada elemento da bateria, para assegurar a circulação da corrente no resistor.

A tensão do elemento sob essas condições será medida pelo voltímetro, e o valor dessa tensão permitirá conhecer-se o estado da bateria. Se a leitura for inferior a 1,6 V em algum elemento, isso indica que o mesmo está em mau estado.

Se houver uma diferença maior que 0,2 V entre as leituras dos diversos elementos, a bateria deve ser substituída.

Observação:

1) O voltímetro de alta descarga não deve ser aplicado por mais de 5 segundos em cada elemento, pois descarrega o mesmo.

2) O ponteiro se desvia sempre para a ponta conectada com o borne positivo do elemento.

6.10 - CARREGADORES DE BATERIA

6.10.1 - Introdução

Os carregadores de bateria são equipamentos retificadores que fornecem a energia necessária para submeter a bateria de acumuladores do automóvel a um processo de recuperação de sua carga.

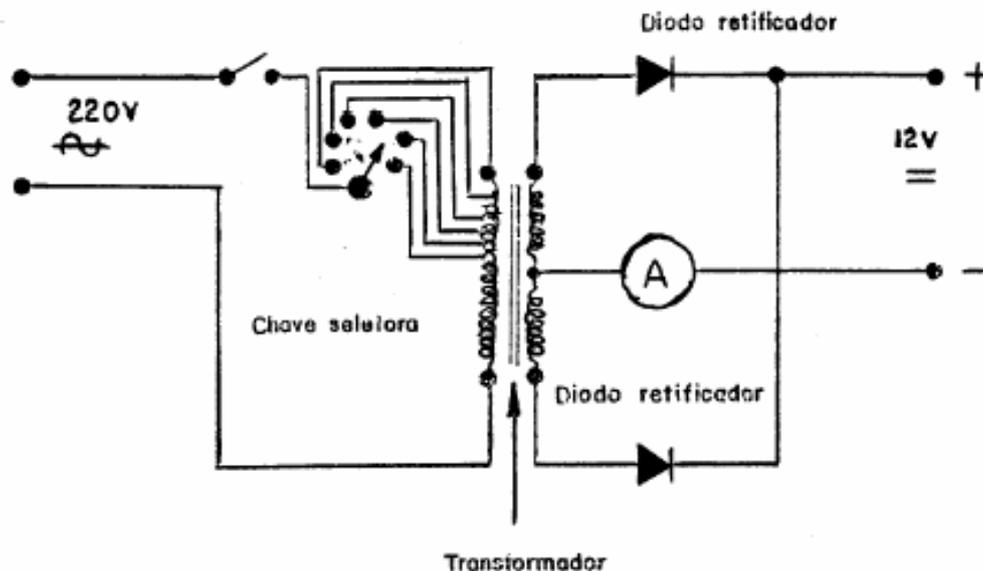


Figura 59 – Representação esquemática do circuito com um carregador de bateria de 12Vdc.

Os carregadores são constituídos, como mostra a Figura 59 acima, de:

Transformador

Aparelho que transforma a tensão da linha para o valor necessário;

Elementos Retificadores

Retificam a tensão alternada fornecida pelo transformador;

Chave Seletora

Seleciona a tensão, de acordo com a bateria conectada ao circuito de carga;

Terminais de Saída

Permitem, por meio de terminais jacaré convenientemente identificados, a conexão entre o carregador e a bateria;

Instrumentos Indicadores

Permitem a leitura da tensão e da corrente de carga.

6.10.2 - Os tipos de carregadores mais usados

Para carga lenta. São fabricados para carregar uma ou mais baterias. Proporcionam uma intensidade de corrente de carga de até 6A. Para carga rápida, são capazes de fornecer intensidade de corrente de carga até 120A (Figura 60).

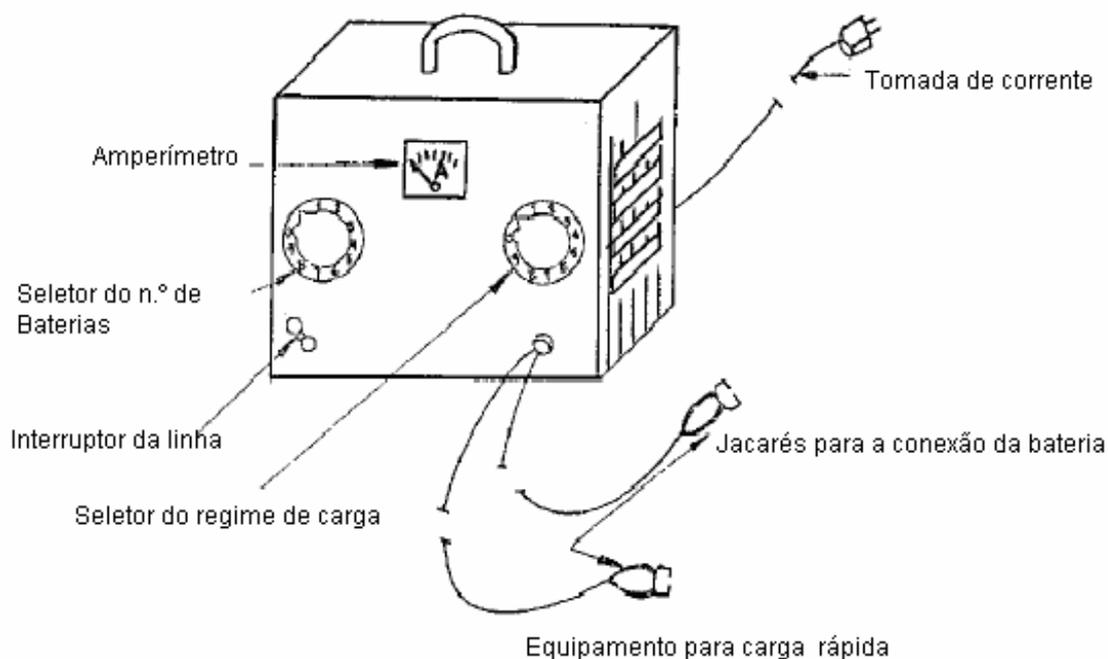


Figura 60 – Carregador de baterias

Utilizam-se para dar carga de reforço e de emergência. Carregadores especiais: além de cumprir as funções dos anteriores, permitem a comprovação do estado da bateria e fornecem uma corrente superior a 120A no momento de partida do automóvel.

6.10.3 - Condições de Uso

Ao conectar-se o carregador na bateria, deve-se observar cuidadosamente a polaridade (Figura 61).

O jacaré assinalado (+), de cor vermelha, conecta-se ao borne positivo da bateria.

O jacaré assinalado (-), de cor verde, conecta-se ao borne negativo da bateria.

Observação: As conexões invertidas danificam o carregador.

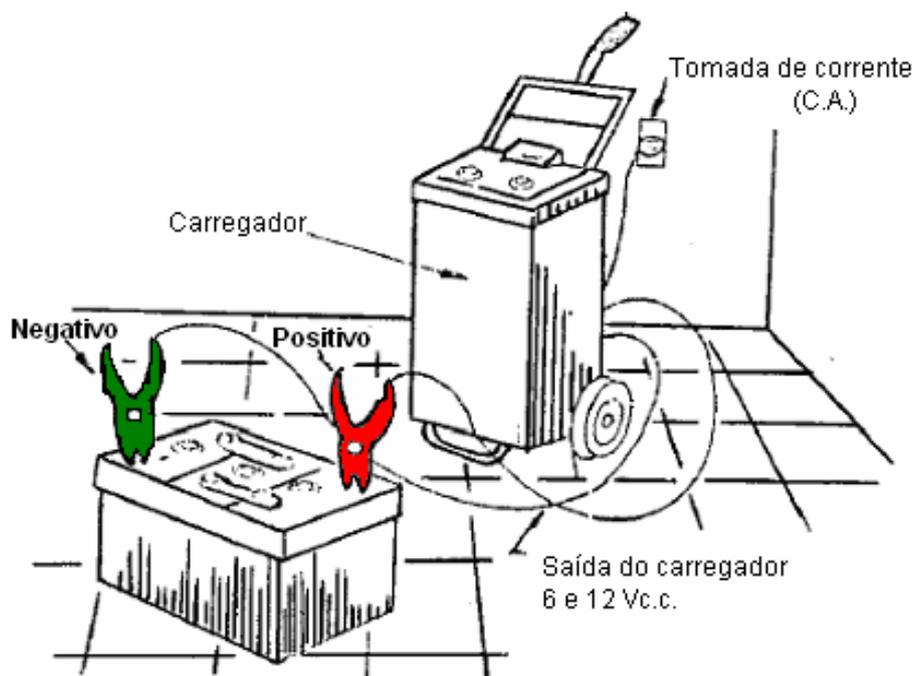


Figura 61 – Uso do carregador de baterias

6.10.4 - Conservação

Cada vez que se acaba de usar um carregador, deve-se lavar seus jacarés de conexão com uma solução de bicarbonato de sódio, para se eliminarem os restos de ácidos e evitar sua corrosão.

Precauções:

1. Antes de se retirar o jacaré da bateria que se acaba descarregar, deve-se desligar o carregador, já que as faíscas que de outro modo se produziriam, poderiam inflamar os gases que se desprendem da bateria.
2. Os carregadores devem ser usados em ambientes ventilados.

6.11 - REGIMES DE CARGA E BATERIAS

Para submeter-se uma bateria descarregada a um processo de recuperação, conecta-se à mesma e uma fonte de corrente contínua que permita regular a tensão e a intensidade da corrente de carga.

Pode-se, então, escolher entre dois métodos:

- carga lenta
- carga rápida

Carga Lenta

É a mais conveniente, sobretudo quando se deve carregar totalmente a bateria. O método recomendado é ajustar a intensidade da corrente, no início da carga, a 1/10 da capacidade da bateria em ampères/hora.

Exemplo: Uma bateria de 75 ampères/hora se submeterá a uma corrente de 7,5 A.

Outro método utilizado é ajustar a intensidade da corrente a 1 A por placa positiva de cada elemento.

Exemplo: Em uma bateria de 15 placas por elemento, 7 delas serão positivas, sendo, portanto, o regime de carga de 7A.

Carga Rápida

Não é aconselhável. Tem como desvantagem diminuir a durabilidade da bateria. Só deve ser realizada em casos de emergência e durante curtos períodos. A intensidade da

corrente de carga pode ser de 75 a 100A para baterias de 6 volts e a metade desses valores para baterias de 12 volts.

Observação: Quanto mais rapidamente se carrega uma bateria, mais freqüente se deve controlar a temperatura do eletrólito e o processo de carga, mediante um termômetro e um densímetro.

6.11.1 - Temperatura Limite de Carga

Climas regularmente abaixo de 27°C		Climas entre 27°C e 30° C	Climas normalmente acima de 38°C
Limite	38°C	43°C	49°C

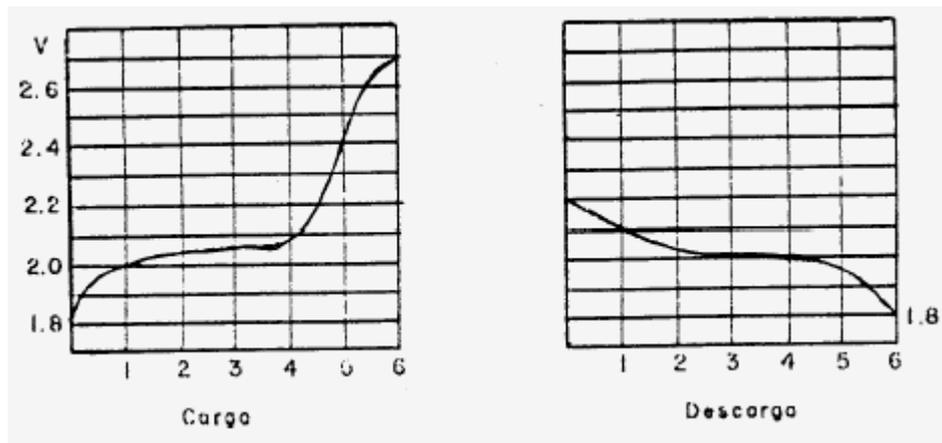
Uma bateria em bom estado suportará qualquer intensidade de carga, enquanto a tensão em cada elemento não for além de 2,3 volts e sua temperatura não ultrapassar 43°C.

Observações:

1. Todas as conexões entre a bateria e a linha de alimentação devem ser firmes, para que se produza um bom contato elétrico.
2. Quando a intensidade da carga é superior à recomendada, o eletrólito borbulha fortemente, desprendendo grande quantidade de hidrogênio.

Precaução - O hidrogênio desprendido, ao misturar-se com o ar, é inflamável.

Gráficos de Carga e Descarga



6.11.2 - Colocar Bateria de Acumuladores em Carga

É a operação pela qual é acumulada energia elétrica na bateria, para se restabelecer seu estado normal de carga. Executa-se conectando a mesma a um carregador de baterias. É realizada quando a bateria se tenha descarregado, em razão de freqüentes ou prolongados arranques, ou grande consumo de energia não restabelecida pelo gerador.

Processo de Execução

1º Passo - Limpe e inspecione visualmente a bateria.

2º Passo - Verifique o nível do eletrólito e adicione água destilada, se for necessário.

Observações:

1. Se o processo de carga vai ser efetuado com a bateria montada no veículo, desconecte os cabos da mesma;

2. Utilize somente água destilada, para complementar o nível dos elementos.

3º Passo - Ponha a bateria em processo de carga.

a) Determine a tensão, o tempo e o regime de carga da bateria, de acordo com as características da mesma.

b) Conecte os terminais do carregador aos bornes da bateria, observando que a polaridade seja: positivo do carregador (+) com o positivo da bateria (+) e negativo do carregador (-) com negativo da bateria (-) (Figura 62).

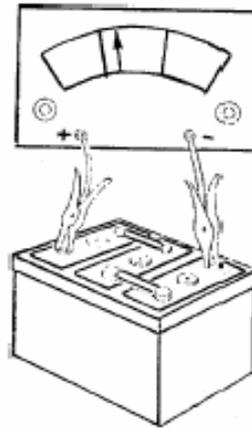


Figura 62 – Conexão dos terminais do carregador aos bornes da bateria

Observação: Assegure-se de que o interruptor do carregador está desligado.

c) Ligue o interruptor do carregador.

Precaução - Durante o processo de carga da bateria, evite centelhas ou chamas em sua proximidade, pois os gases emanados são inflamáveis.

4º Passo - Desconecte a bateria do carregador.

a) Desligue o interruptor do carregador, ao concluir o tempo de carga.

b) Retire da bateria os terminais do carregador.

5º Passo - Meça a densidade do eletrólito da bateria (Figura 63).

a) Retire os bujões e verifique se o eletrólito cobre as placas.

b) Introduza a sonda do densímetro no elemento, pressionando a pêra sem chegar a tocar no eletrólito.

- c) Chegue com a sonda do densímetro até as placas do elemento e aspire lentamente o eletrólito, até que o flutuador flutue.
- d) Observe a que número da coluna graduada do flutuador corresponde o nível do eletrólito.

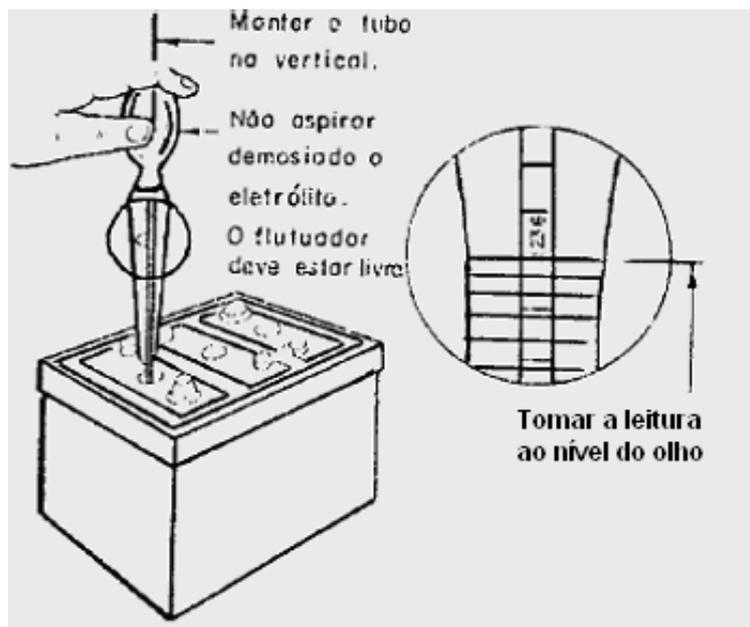


Figura 63 - Meça a densidade do eletrólito da bateria

- e) Repita o processo anterior nos demais elementos e compare as leituras obtidas com as tabelas de densidade do eletrólito.

Observação: *Se o eletrólito não alcançou a densidade indicada, reponha a bateria em processo de carga.*

6º Passo - Coloque os bujões e limpe a parte superior da bateria.

7º Passo - Meça a tensão dos elementos (Figura 64).

- a) Conecte uma ponta do voltímetro de alta descarga ao borne positivo e a outra ponta ao conector do mesmo elemento, pressionando-o pelo cabo do instrumento.

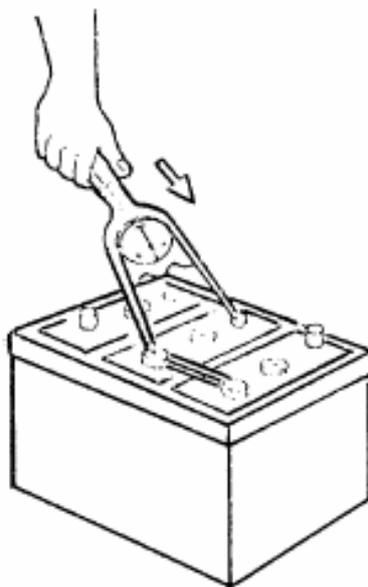


Figura 64 - Meça a tensão dos elementos

- b) Faça a leitura do instrumento, observando o deslocamento da agulha sobre a escala graduada.
- c) Repita a prova nos demais elementos e compare as medidas obtidas nas tabelas correspondentes.

Observação: Realize esta prova rapidamente, para não descarregar o elemento.

7 - SISTEMAS DE ATERRAMENTO

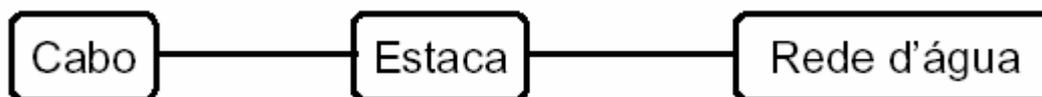
7.1 – INTRODUÇÃO

É fundamental que você aprenda muito bem toda a noção sobre aterramento, uma vez que *aterramento é segurança*.

Segurança no *trabalho* (para o próprio eletricitista); segurança do material (dos equipamentos e instalações) e segurança pessoal (daqueles que utilizam as instalações).

As estruturas, equipamentos e outros elementos condutores precisam ter uma ligação elétrica com a terra. Essa ligação depende do eletrodo de aterramento.

Os eletrodos de aterramento ou dispersores de terra podem ser de diversos tipos:



Vejamos quando se aplica cada um deles:

7.1.1 - Cabo

Para solos cuja umidade se situe (Figura 65), praticamente, na superfície, é recomendável o eletrodo tipo cabo. O cabo é disposto sob a terra, no sentido horizontal, como mostra a figura abaixo. A *umidade* propicia um bom contato do solo com o dispersor.

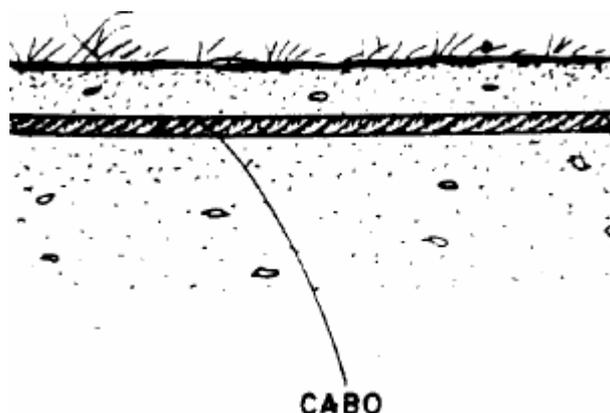


Figura 65 –Eletrodo tipo cabo

O cabo deve ter a seção mínima de $53,48\text{mm}^2$ (1/0 na tabela A.W.G.).

Seu comprimento mínimo deve ser 10m, e deverá ficar sob a camada úmida de terra, com um mínimo de 0,6 m de profundidade.

7.1.2 - Estaca

Esse tipo de dispersor deve ser fincado verticalmente (Figura 66), de modo que a terra o envolva, fazendo pressão em torno do mesmo. Isso propicia melhor contato, baixando consideravelmente a resistência de terra.

Se o eletrodo atingir a camada úmida do solo, serão melhores os resultados. Essa camada úmida é denominada *lençol freático*.

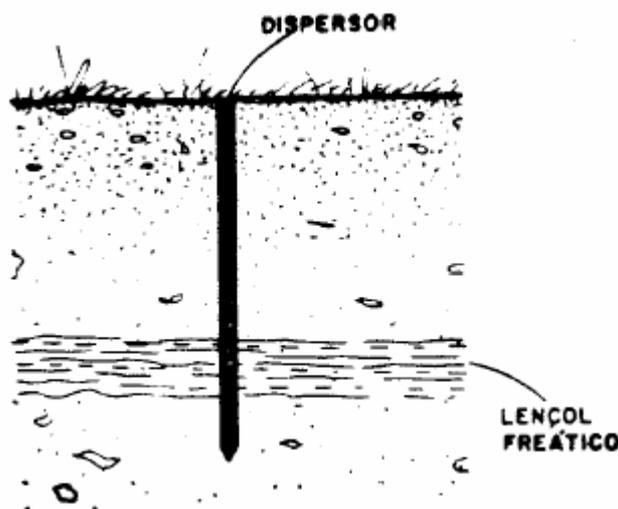


Figura 66 – Eletrodo tipo estaca

O dispersor tipo estaca pode ser de cano galvanizado, cantoneira galvanizada ou barras especiais (Figura 67):

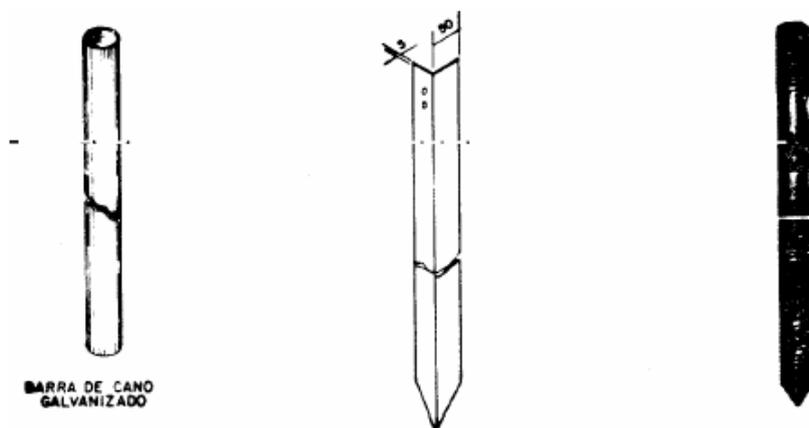


Figura 67 – Modelos de eletrodo tipo estaca

7.1.3 - Rede d'água

A rede d'água urbana (Figura 68), sendo um conjunto de canos enterrados no solo, nada mais é do que um eletrodo de aterramento, sob a terra, quando utilizada para esse fim.

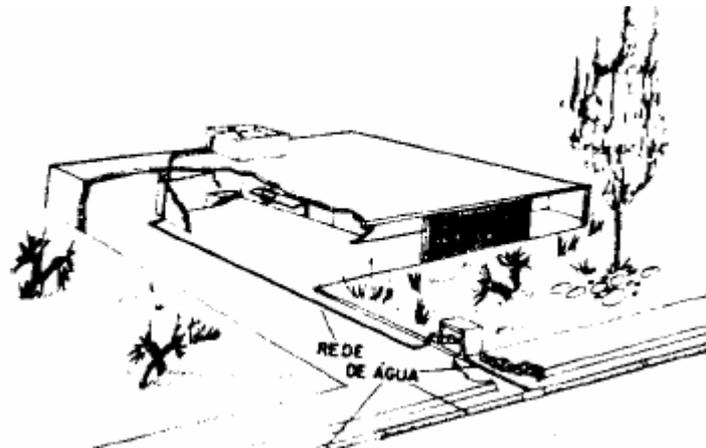


Figura 68 –Eletrodo tipo rede d’água

Para ser usada como dispersor de terra, a rede d’água terá de ser *metálica*.

Os encanamentos de PVC não servem como eletrodos porque o *plástico é isolante*.

A rede metálica de água só pode ser usada como eletrodo de aterramento para tensões de até 220 V.

Para utilizá-la, deve-se consultar o órgão competente para verificar se há ou não proibição a respeito.

Nunca utilize a rede de gás como dispersor de terra! Isso, além de perigoso, é expressamente proibido.

A parte superior do eletrodo ou dispersor, onde se localiza o ponto de conexão com o condutor de terra, deve ser protegida por uma caixa de inspeção, como mostra a Figura 69:

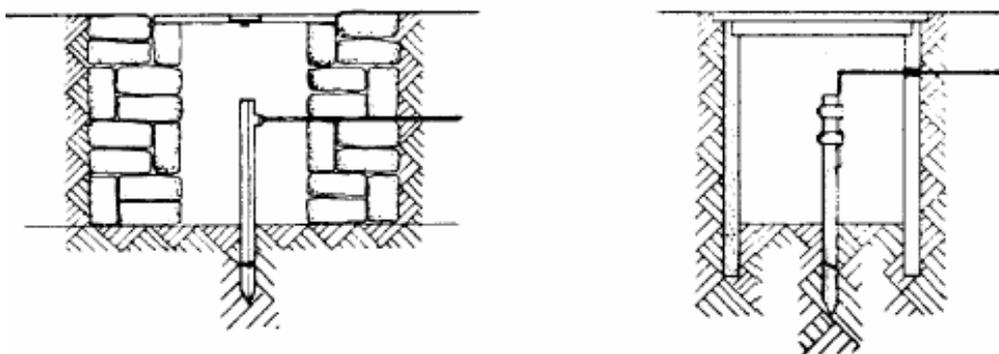


Figura 69 – Poço de Alvenaria e Poço de Concreto

A conexão do cabo de terra com o eletrodo deve ser feita com braçadeira (Figura 70) ou solda exotérmica. No caso de se utilizar braçadeira, preferencialmente usam-se duas, para garantir melhor a qualidade de trabalho.

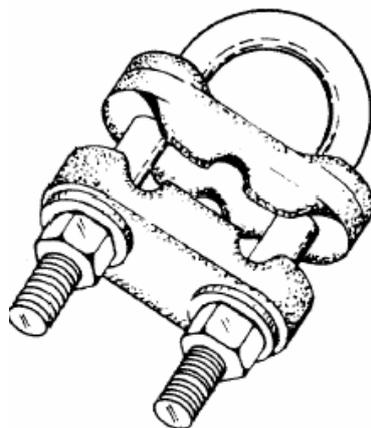


Figura 70 –Braçadeira

Os eletrodos de aterramento devem ser colocados em pontos de livre acesso, que permitam a inspeção periódica.

Em áreas de circulação (corredores, pátios de estacionamento ou descarga, passagem de veículos etc.), não é aconselhável que se cravem eletrodos de aterramento. Nesses locais, eles correm o risco de serem danificados.

Aterros e eletrodos de aterramento também não “se casam”.

Nos aterros, por ter sido sobreposta, a terra fica pouco compacta. Isso dificulta o contato com o eletrodo.

Locais sujeitos à erosão também são contra-indicados. Por isso, não se colocam dispersores em áreas de enxurrada ou local onde possa haver “desgaste” da terra.

Barrancos são perigosos, como locais de eletrodos. Eles podem desmoronar ou sofrer rápida erosão. Assim, as áreas próximas aos barrancos devem ser evitadas.

Não é em qualquer lugar que se podem cravar eletrodos de aterramento.

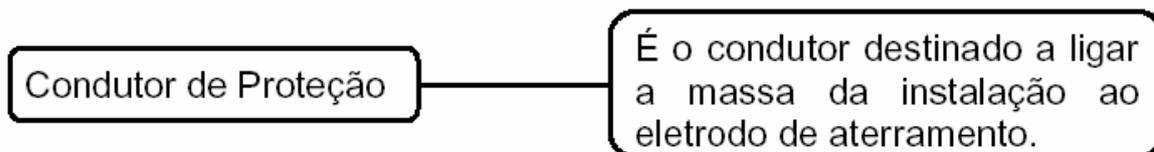
A *escolha do local* adequado é fundamental.

Agora, depois de examinar o eletrodo de aterramento, vamos tratar de sua ligação com a massa.

7.2 - ESCOLHA DO CONDUTOR DE PROTEÇÃO

Como você já aprendeu, a ligação da massa de uma instalação à terra tem por objetivo *proteger* as pessoas, equipamentos e instalações.

Essa ligação, da massa dos diversos elementos da instalação, ao eletrodo de aterramento é feita através de um condutor que, pelo seu objetivo, denomina-se *condutor de proteção*.



O condutor de proteção não deverá ficar exposto a danos, em ponto algum. ele deve estar protegido contra pancadas ou movimentos que possam parti-lo, bruscamente, ou por fadiga do material.

Assim como foram feitas a ligação do condutor de proteção com o dispersor, da mesma forma devem ser feitas a conexão do condutor com a massa dos equipamentos, ou seja, por meio de braçadeiras e conectores adequados, fixados com parafusos.

Veja um exemplo na Figura 71:

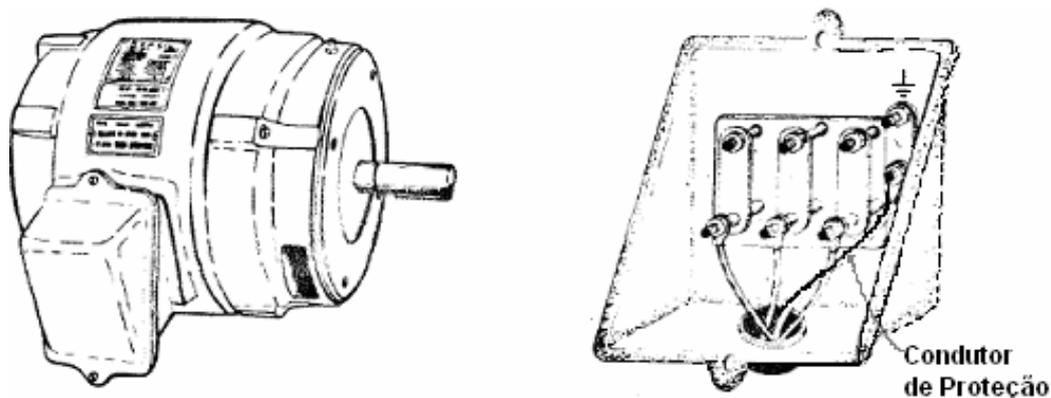


Figura 71 –Condutor de proteção

Mas não é só *bom contato* que precisa ser garantido. É necessário fazer a corrente de fuga circular pelo condutor de proteção, sem problemas.

Condutor de Proteção É o condutor destinado a ligar a massa da instalação ao eletrodo de aterramento.

A bitola do condutor de proteção deve ser adequada à corrente de fuga prevista.

A tabela 4 a seguir, especifica a bitola mínima do condutor de proteção, conforme os condutores da rede de alimentação:

Tabela 4 – Bitola mínima do condutor de proteção

Bitola dos Condutores da Rede de Alimentação	Bitola Mínima do Condutor de Proteção
Até 25 mm ²	6 mm ²
Até 35 mm ²	10 mm ²
Até 70 mm ²	16 mm ²
De 70 a 120 mm ²	25 mm ²
De 120 a 185 mm ²	35 mm ²
De 185 a 400 mm ²	50 mm ²

(Tab. 250 - 94 do NEC)

Veja alguns exemplos na Figura 72:

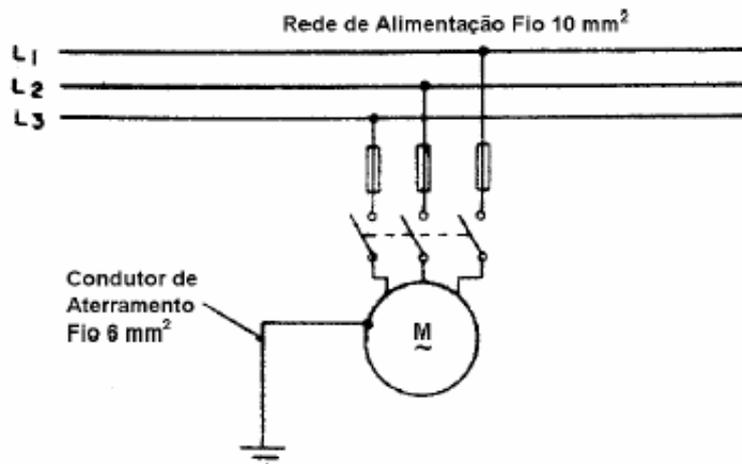


Figura 72 – Condutor de aterramento

Vamos supor que você segure um condutor de proteção que está “*descarregado*”.

Como ele é, praticamente, equipotencial em relação à terra, você não toma choque.

E se você segurar esse mesmo condutor entre os pontos A e B (Figura 73), como mostra a figura, você *também* não toma choque.

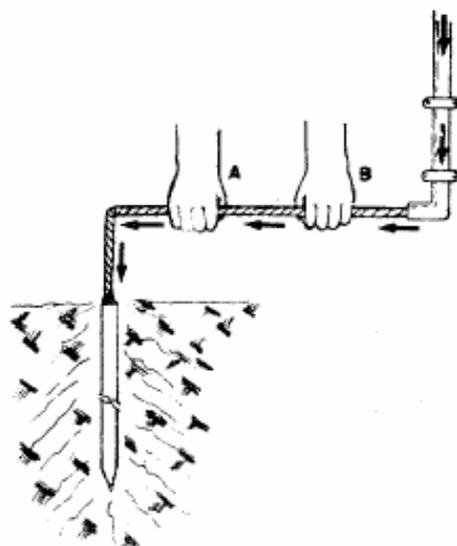


Figura 73 – Pontos equipotenciais

Porque, praticamente, não há resistência entre esses pontos.

Eles são equipotenciais e, por isso, não há tensão entre eles.

Mas, se você seccionar um condutor de proteção, pelo qual esteja passando uma corrente, você poderá ser *eletrocutado* (Figura 74), ao tocar nas duas pontas do cabo.

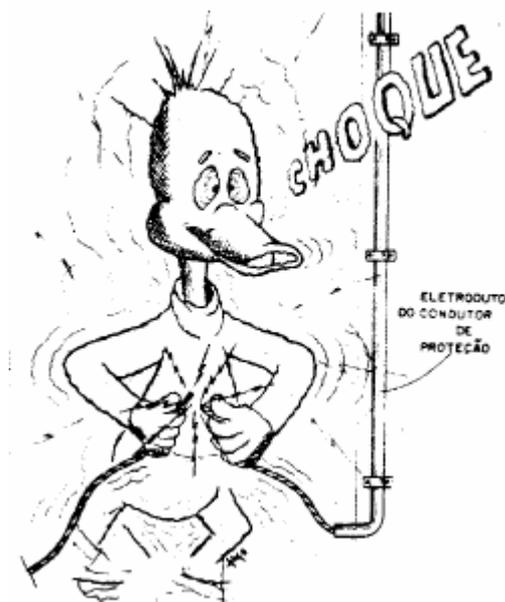


Figura 74 – Diferença de potencial

Nunca interrompa um condutor de proteção, sem primeiro constatar se o mesmo está ou não “descarregado”.

Tenha certeza de que, naquele momento, não está circulando corrente pelo cabo (Figura 75).

Use um amperímetro-licate para comprovar se há ou não corrente.



Figura 75 – Medição de corrente com segurança

Outros detalhes que você precisa conhecer sobre o condutor de proteção.

- O condutor de proteção deve ser tão protegido quanto qualquer outro condutor;

Há concessionárias que fazem respeitar rigorosamente essa recomendação.

Veja, por exemplo, esta instalação na Figura 76:

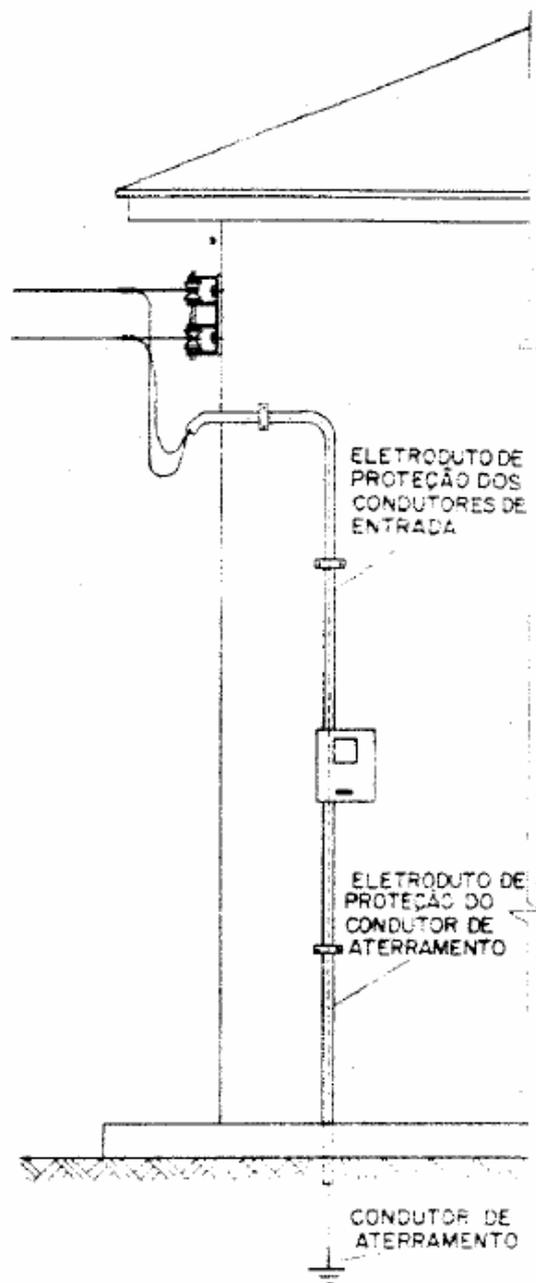


Figura 76 – Proteção do condutor de aterramento

O condutor que liga a caixa do medidor à terra está protegido por um eletroduto.

. As emendas ou derivações *não devem ser feitas com solda fraca*. Se tiverem de ser soldadas, deve-se usar *solda forte*;

. As emendas ou derivações não soldadas devem ser feitas com *conectores a pressão* (Figura 77);

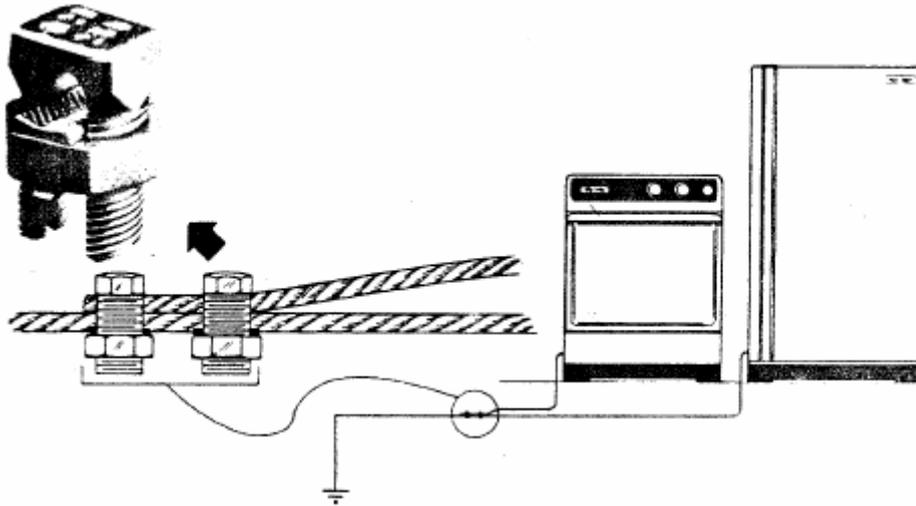


Figura 77 –Conectores a pressão

. A conexão do condutor de proteção ao dispersor e à massa deve ser feita com *braçadeiras e conectores*.

Ao conectar o condutor de proteção ao dispersor de terra, ou a equipamentos que ficam em locais úmidos, é preferível que todos os elementos da conexão (braçadeiras, conectores, parafusos, etc.), sejam do mesmo material.

Em ambientes úmidos, juntando-se materiais diferentes (por exemplo, cobre e zinco), provoca-se uma *reação*. Essa reação gera corrente eletrolítica, que causam a corrosão dos materiais.

Assim sendo, se o dispersor for de ferro zincado, os outros elementos (tais como parafusos, braçadeiras etc.) também deverão sê-lo.

Não use, por exemplo, uma braçadeira zincada em dispersor de cobre ou cobreado (isto é, revestido por uma camada de cobre). Use cobre com cobre.

Se o dispersor for de cobre, use parafusos e braçadeiras de cobre ou cobreados.

Você já está informado dos principais detalhes sobre o condutor de proteção e sobre as conexões com solda, braçadeiras e conectores.

Além dos processos normais de solda forte (solda oxi-acetilênica, solda elétrica), você pode soldar por um novo processo, muito prático e muito usado atualmente.

Você terá oportunidade de ver como se fazem conexões por soldagem, segundo esse novo processo denominado *soldagem exotérmica*.

Atualmente, no aterramento de estruturas metálicas, é muito conveniente usar esse processo moderno de soldagem, para conexões de cabos de aterramento. Ele emprega equipamento leve, portátil, que permite o trabalho no local do ponto de solda.

Esse equipamento propicia uma conexão, por soldagem, de cabos com cabos, ou de cabos com estruturas (Figura 78).

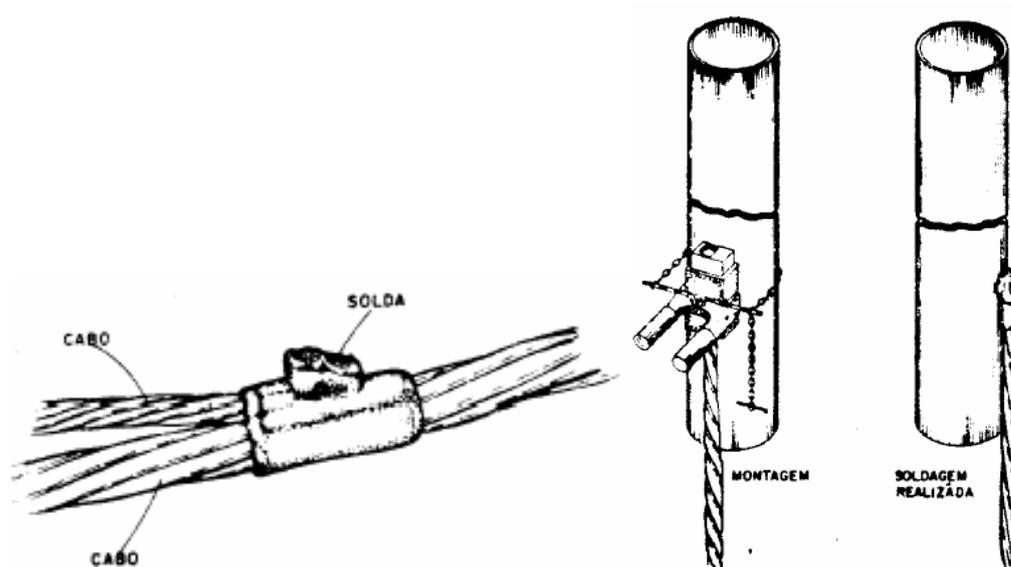


Figura 78 – Soldagem exotérmica

Essa soldagem, extremamente simples, não necessita de nenhuma fonte externa de calor.

Como materiais de solda, são utilizados os óxidos de *alumínio* e de *cobre*, além de *pó de ignição*.

Após a mistura dos óxidos dentro do molde, um acendedor especial inicia um processo de reação entre os óxidos, produzindo calor intenso. O calor provoca a fusão do cobre e a conseqüente soldagem (Figura 79).

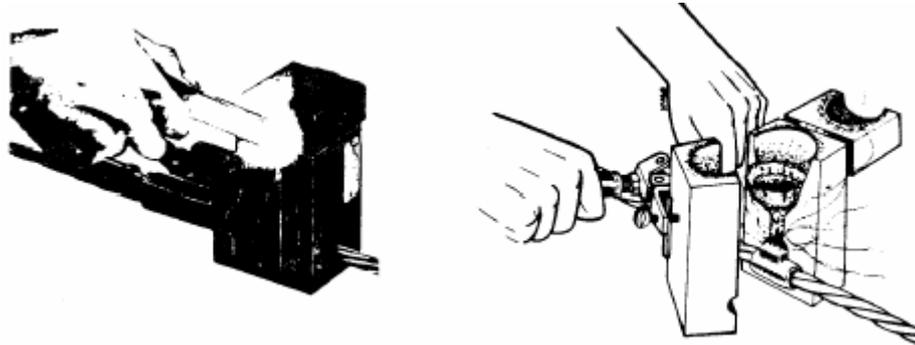


Figura 79 –Processo de soldagem

Existem moldes para muitas situações, possibilitando a soldagem de:

- . Cabo com cabo (em emenda ou derivação);

- . Cabos com estruturas;

- . Cabos com hastes de aterramento.

7.2.1 - Conexão com Terminais

Quando existe a possibilidade de remoção da máquina, usa-se soldar um terminal no final do cabo e outro no local da conexão com a base da máquina (Figura 80).

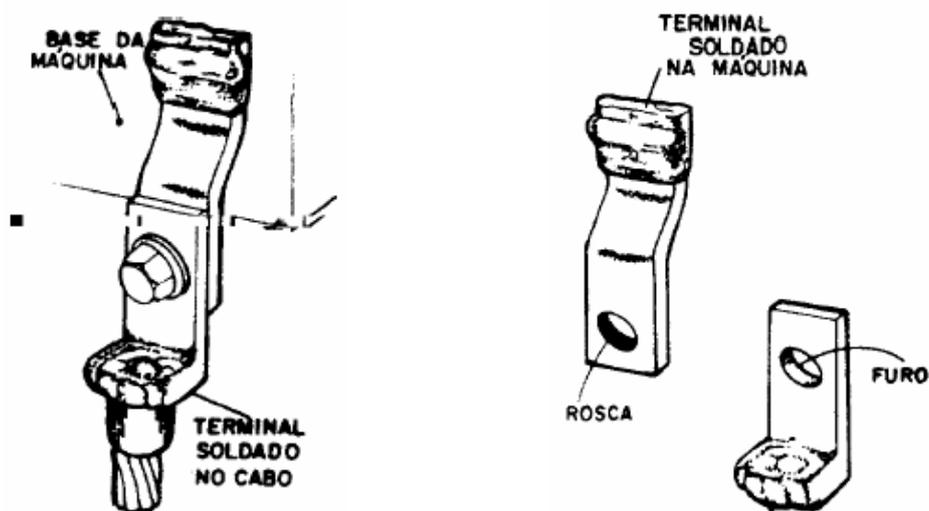


Figura 80 – Conexão com terminais

Nesse caso, a conexão será feita juntando-se os terminais com parafusos. Assim, se a máquina precisar ser removida, será fácil desfazer a conexão.

Pode-se também aparafusar o terminal soldado no cabo, *diretamente na base da máquina*, se houver furos roscados para essa finalidade (Figura 81).



Figura 81 – Conexão direta na máquina

Atenção!

Sempre que você for fixar *um terminal, diretamente na base da máquina* ou de qualquer consumidor, verifique antes se o local onde vai aparafusar o terminal permite furações, sem prejuízo para a estrutura da máquina.

De acordo com a bitola do cabo e para melhor capacidade de corrente, usa-se colocar mais parafusos no ponto de fixação dos terminais. Veja estas figuras (Figura 82):

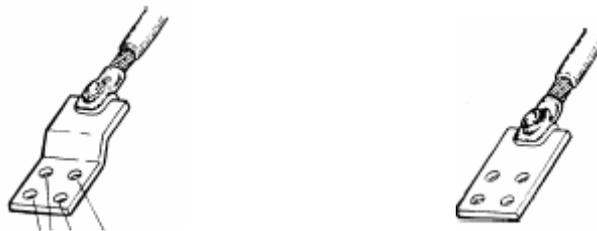
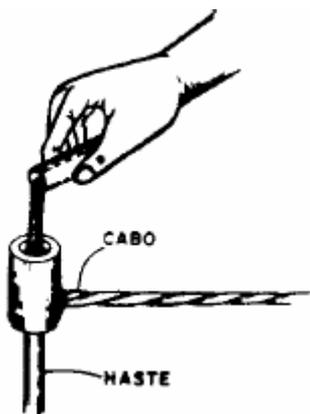


Figura 82 - Furos para a fixação do terminal

7.2.2 - Solda de Cabo à Haste de Aterramento

Vamos ver as etapas do processo de soldagem de cabos às hastes de aterramento. Essas etapas também são válidas para as demais situações, isto é, para a soldagem de cabos às estruturas e a terminais, desde que se empregue o molde próprio.

Acompanhe a seqüência das ilustrações:



Primeiramente, monta-se o molde.

Em seu interior, ficam os extremos do cabo e da haste de aterramento. Em seguida, faz-se o enchimento do molde, com a mistura dos metais, em forma de óxidos.



Com o “ignitor” (acendedor especial), faz-se à ignição. Assim, inicia-se o processo de fusão dos metais.



Após aproximadamente cinco segundos, ficou concluída a soldagem.

Retira-se o molde, e a conexão estará pronta para ser utilizada.

7.3 - DETERMINAÇÃO DO QUE ATERRAR

Como você já sabe, todas as partes que constituem a massa devem ser aterradas.

Por isso, é preciso aterrar:

- Motores;
- Calhas;
- Transformadores;
- Leitões de cabos;
- Caixas de passagem;
- Máquinas operatrizes;
- Quadros de comando;
- Estruturas metálicas;
- Eletrodomésticos;
- Caixas de quadro de distribuição, etc.

Vamos particularizar apenas alguns casos, pois, na realidade, são inúmeros os equipamentos ou elementos que devem ser aterrados.

As máquinas devem ser aterradas, independentemente da ligação de terra da carcaça do seu motor.

Assim, o cabo de terra que é ligado ao motor deve ter uma derivação, para ser ligada à máquina (Figura 83).

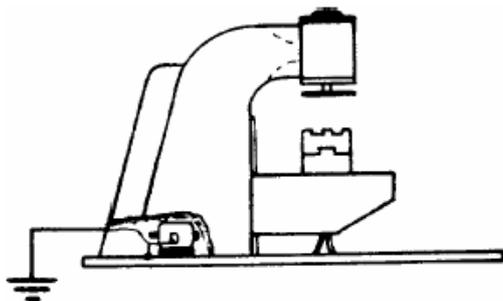


Figura 83 – Aterramento do motor e carcaça

As caixas dos quadros de distribuição também devem ser aterradas, quando forem metálicas. As caixas de boa fabricação têm um parafuso próprio para tal fim (Figura 84).

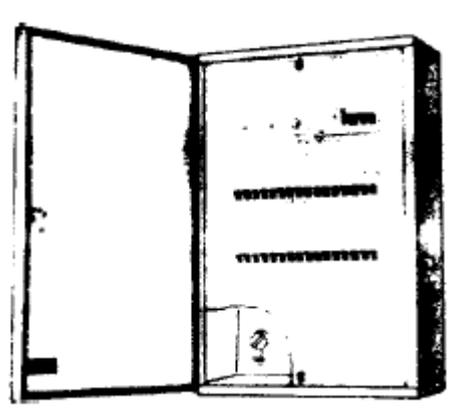


Figura 84 – Aterramento do quadro de distribuição

As caixas de passagem também devem ser aterradas. Assim como as caixas do quadro de distribuição, também devem ter um parafuso próprio, para a ligação do condutor de aterramento (Figura 85).

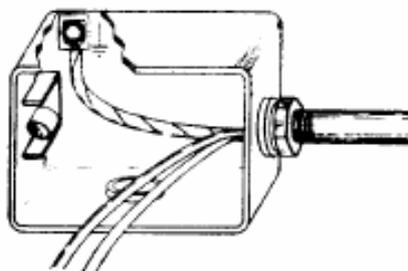


Figura 85 – Aterramento de caixa de passagem

Os quadros de comando têm sempre uma barra de terra; mas também é interessante ligar a porta à terra, através de uma cordoalha ou cabo flexível (Figura 86).

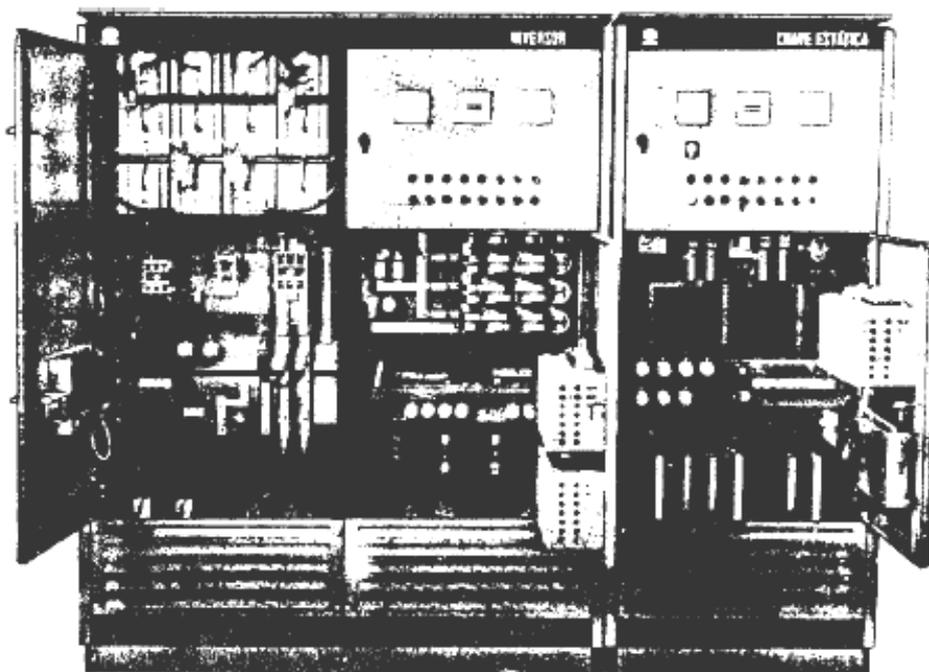


Figura 86 – Aterramento das portas dos painéis de comando

Também se deve garantir que sejam ligados à terra as eletrocalhas, os leitos de cabos e os demais elementos condutores (Figura 87).

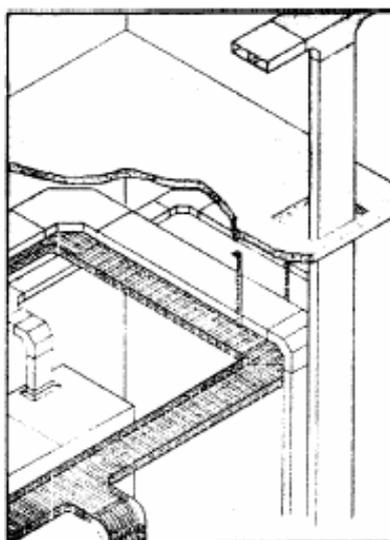


Figura 87 – Aterramento das calhas e leitos de cabos

As estruturas metálicas tem de ser ligadas à terra. Mas, elas não podem ser utilizadas como dispersores nem como condutores de terra (Figura 88).

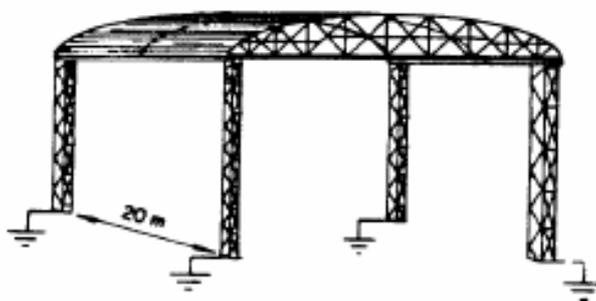


Figura 88 – Aterramento das estruturas metálicas

Nas residências, os eletrodomésticos móveis podem ser aterrados, como é obrigatório em outros países.

Nesse caso, é usado um terceiro pino no plugue, com a tomada correspondente. Essa tomada possibilita a conexão de três condutores: dois para a energia, e um terceiro, para o aterramento.

Os pinos do plugue têm formato ou espaçamento diferente.

Esse detalhe impede qualquer acidente, por troca de ligação do fio fase com o fio “terra” (Figura 89).

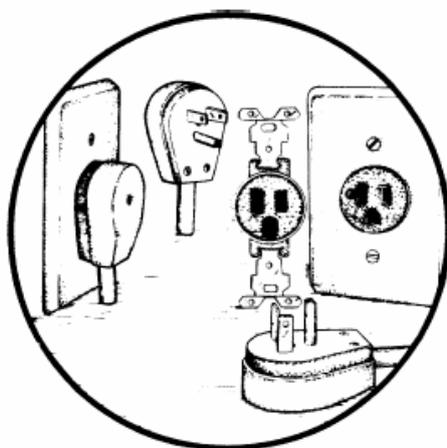


Figura 89 – Plugue com pino para aterramento

Observe a ilustração, que mostra a ligação do terra à massa de uma máquina de furar (Figura 90).

Repare como os condutores de terra e de energia fazem parte do mesmo cabo.

E note o plugue com o terceiro pino.

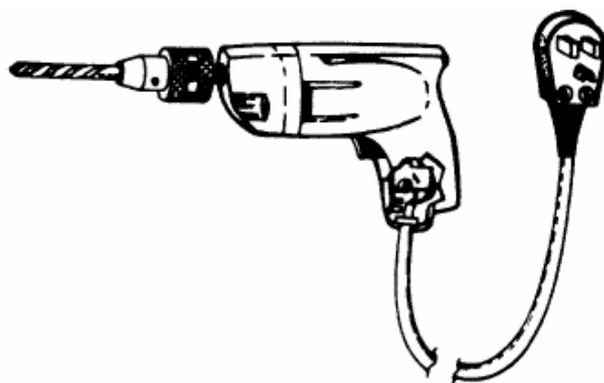


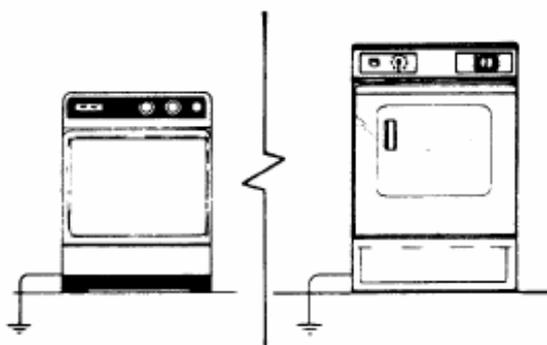
Figura 90 – Plugue com terceiro pino para aterramento

Como você viu, numa instalação, todos os elementos que formam a massa devem ser aterrados.

Assim, esses elementos devem ser *ligados ao condutor* de aterramento, isto é, ao cabo que fará sua conexão com o *eletrodo de aterramento*.

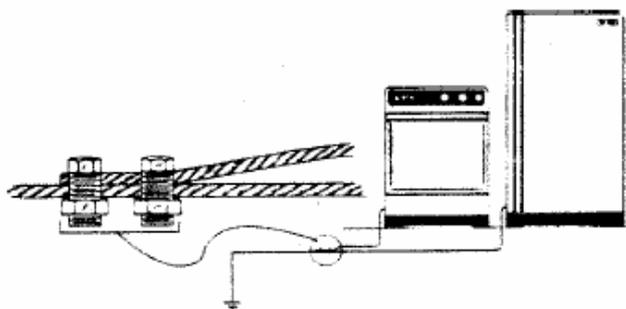
Conseqüentemente, todos esses elementos poderão ser ligados a um mesmo eletrodo de aterramento.

Mas poderá acontecer que dois consumidores (no caso, fogão elétrico e máquina de lavar) sejam instalados distantes um do outro.



Nesse caso, usa-se um eletrodo de aterramento para cada consumidor, se isso convier.

Figura 91 – Eletrodo de aterramento independente



Caso estejam instalados próximos um do outro, poderá ser utilizado o mesmo eletrodo de aterramento; é só usar uma derivação.

Figura 92 – Eletrodo de aterramento compartilhado

A bitola do condutor de proteção deve ser adequada à instalação de maior potência.

7.4 - UTILIZAÇÃO DO NEUTRO COMO CONDUTOR DE PROTEÇÃO

Como você já sabe, dentre os sistemas de distribuição de energia, o mais comum é aquele que utiliza o neutro, como você pode ver no diagrama da Figura 93:

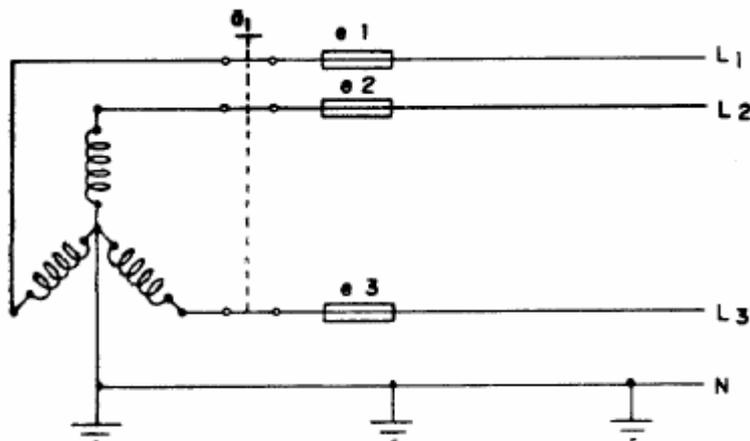


Figura 93 – Neutro como condutor de proteção

Nesse sistema, o neutro é aterrado através de vários eletrodos de aterramento, em intervalos regulares.

Independentemente desses aterramentos espaçados, o neutro será sempre aterrado na entrada dos prédios.

Observe, na ilustração da Figura 94, o ramal de entrada do consumidor. A caixa de medição de consumo foi instalada no poste particular do usuário.

Dela sai a ligação para o eletrodo de aterramento.

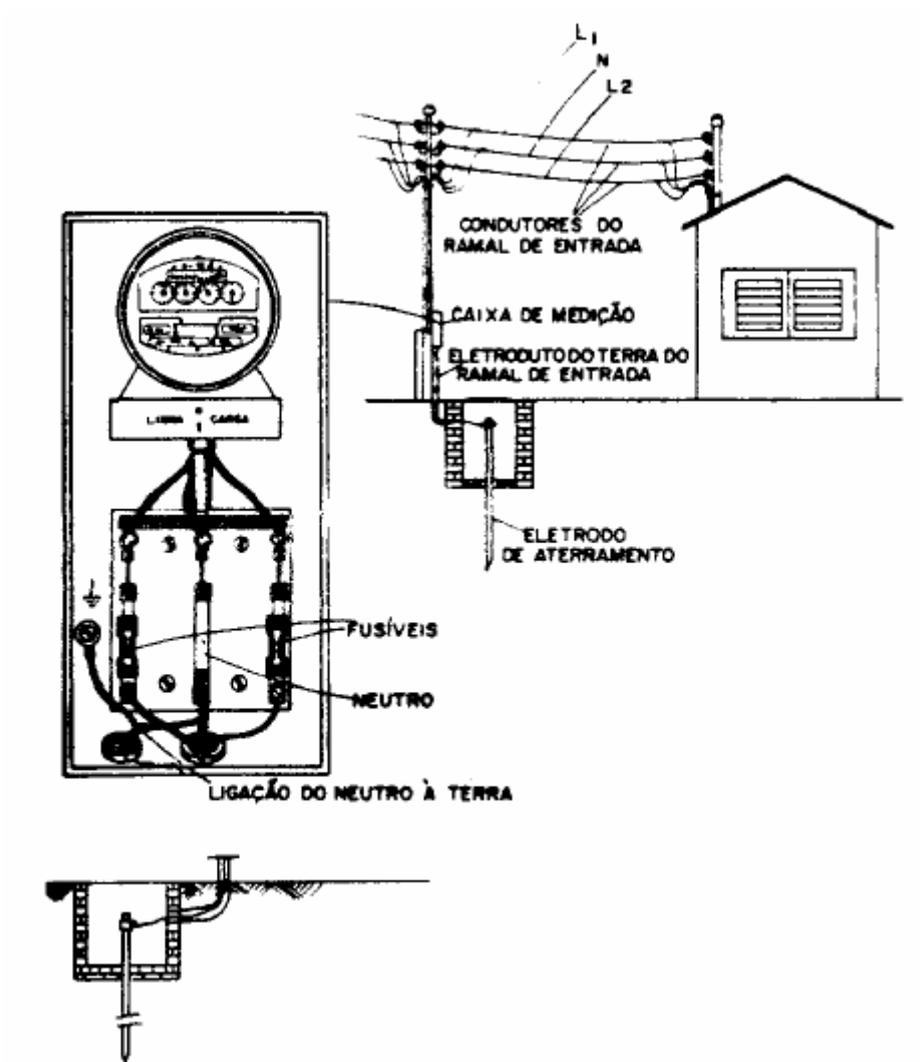


Figura 94 – Ligação do neutro à terra

Nesse caso, a ligação tem três linhas, para atender 110/220 volts; o condutor do centro é o neutro.

Veja, agora, outra situação (Figura 95):

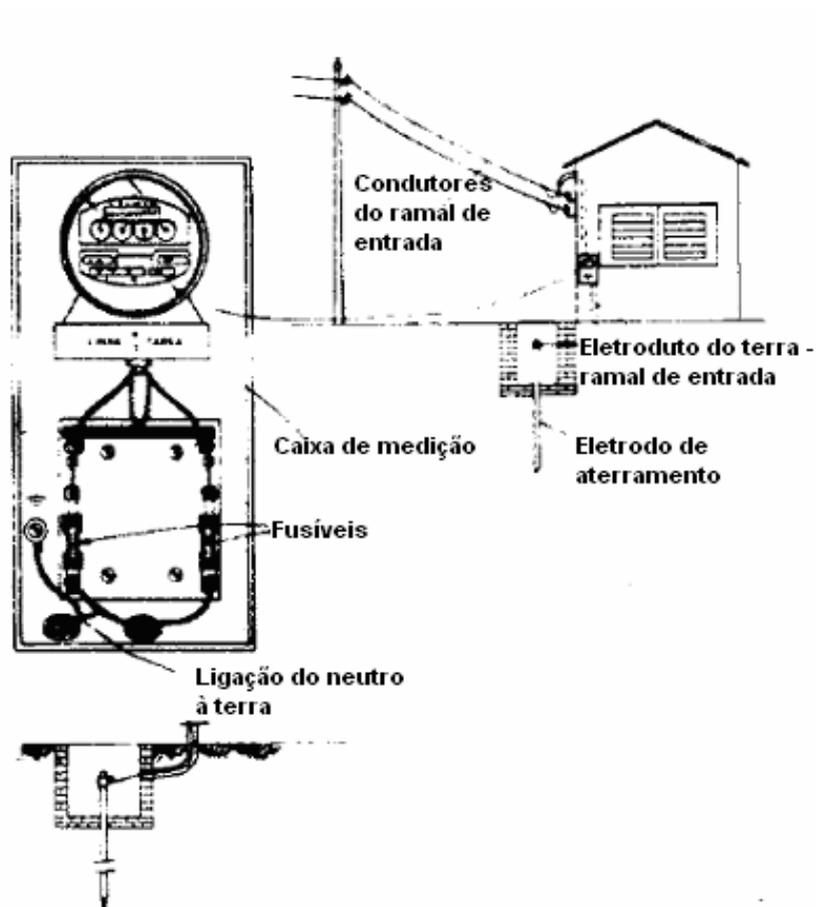


Figura 95 – Caixa de ligação no próprio prédio

A caixa de medição foi instalada no próprio prédio.

Novamente, é dela que sai a ligação do neutro para o eletrodo de aterramento do ramal de entrada.

Nesse exemplo, o tipo de ligação é com duas linhas, para atender 110V. Um dos condutores é o *neutro*.

Então, você conclui que:

O neutro é aterrado nas entradas das instalações:

- Junto ao poste, se aí for instalado o medidor, ou...
- Junto à residência, se aí for instalado o medidor (NBR 5410 312.2.2.).

Você poderá encontrar, também, outras situações, entre elas, uma distribuição trifásica a quatro fios, para 110/220 V, na qual existirão três condutores fase e um neutro. Essa situação, porém, é idêntica às citadas, porque o neutro sempre será aterrado.

Para sistemas de distribuição onde o fio neutro é aterrado, este pode ser usado para aterramento de equipamentos e de elementos de instalação, desde que sejam observadas certas condições.

7.5 - CONDIÇÕES PARA USO DO NEUTRO NO ATERRAMENTO

1. Que essa forma de aterramento, usando-se o *neutro*, seja prevista no projeto da instalação elétrica do prédio, conforme o item 541:2 da NBR 5410;
2. Que a concessionária autorize o uso do *neutro* para aterramento.

Respeitadas as condições, você poderá ligar os equipamentos e usar o neutro para o *aterramento*, visando à *proteção* contra problemas de falta de isolamento.

Nesse caso, o neutro terá duas funções:

- . Ser o *neutro* do sistema;
- . Ser o *condutor de proteção*.

7.6 - CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS

A NB-3 classifica os sistemas elétricos de baixa tensão tendo em vista a situação da alimentação e das massas (e eventuais elementos condutores) em relação à terra.

É utilizada a seguinte simbologia literal para essa classificação:

a) Primeira letra - situação da alimentação em relação à terra

T - 1 ponto diretamente aterrado;

I - isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de uma impedância.

b) Segunda letra - situação das massas em relação à terra

T - massas diretamente aterradas independentemente de aterramento eventual de um ponto da alimentação;

N - massas ligadas diretamente a ponto de alimentação aterrado (em CA o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro).

c) Outras letras (eventuais) - 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 num único condutor [condutor *PEN*].

As instalações devem ser executadas num dos sistemas indicados a seguir:

- . Sistema *TN*, com as variações *TN-S*, *TN-C-S* e *TN-C*;
- . Sistema *TT*;
- . Sistema *IT*.

Quando a alimentação provier de uma rede de distribuição de baixa tensão, o condutor neutro deve sempre ser aterrado na origem da instalação do consumidor.

Passemos agora à análise dos diversos sistemas.

7.7 - SISTEMA DE ATERRAMENTO

Sistema TN

Os sistemas desse tipo têm um ponto diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto através de condutores de proteção. De acordo com a disposição do neutro e do condutor de proteção, podemos definir 3 tipos de sistemas *TN*, que são:

1. sistemas *TN-S* - condutor neutro e condutor de proteção distintos; (Figura 96)
2. sistema *TN-C* - funções de neutro e de proteção num mesmo condutor, condutor *PEN*; (Figura 97)
3. sistema *TN-C-S* - combinação dos dois anteriores. (Figura 98) Sistema *TN-S*

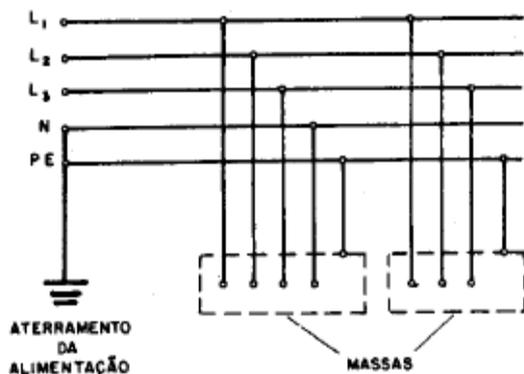


Figura 96 – Sistema TN-S

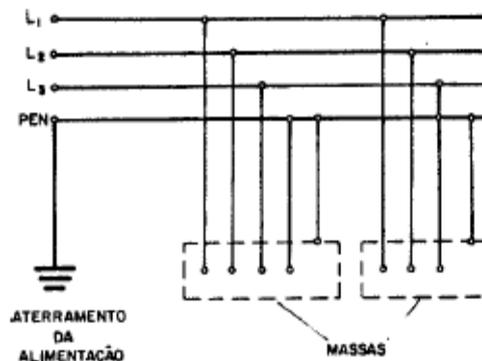


Figura 97 – Sistema TN-C

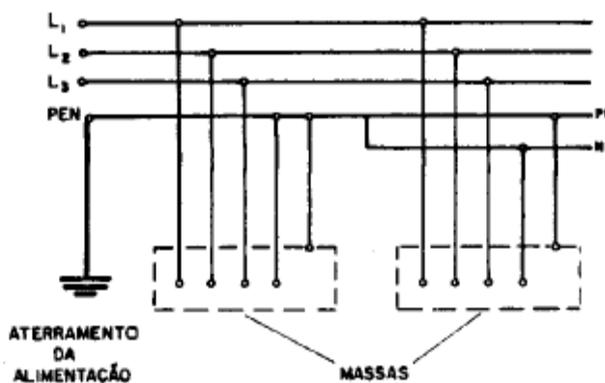
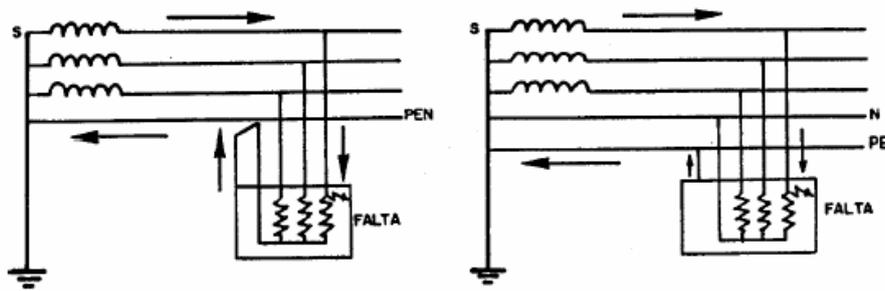


Figura 98 – Sistema TN-C-S

Nos sistemas TN:

a) No caso de uma falta entre fase e massa, o percurso da corrente de falta é constituído exclusivamente de elementos condutores (Figura 99).



Percurso da corrente de falta num sistema *TN-C*

Percurso da corrente de falta num sistema *TN-S*

Figura 99 – Percurso da corrente de falta

- b) as massas estão sempre sujeitas às sobre-tensões do neutro do sistema de alimentação;
- c) a tensão nas massas, em serviço normal, será sempre igual à tensão do ponto de ligação entre o neutro e o condutor de proteção - no sistema *TN-S* - ou entre o neutro e a massa - sistema *TN-C*;
- d) tanto em condições normais, como com correntes de falta, a tensão nas massas será maior no tipo *TN-C* do que no *TN-S*, devido à queda de tensão no neutro da instalação do consumidor.

Sistemas TT

Os sistemas desse tipo têm um ponto diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a eletrodos de aterramento eletricamente independentes do eletrodo da alimentação, como mostra a Figura 100.

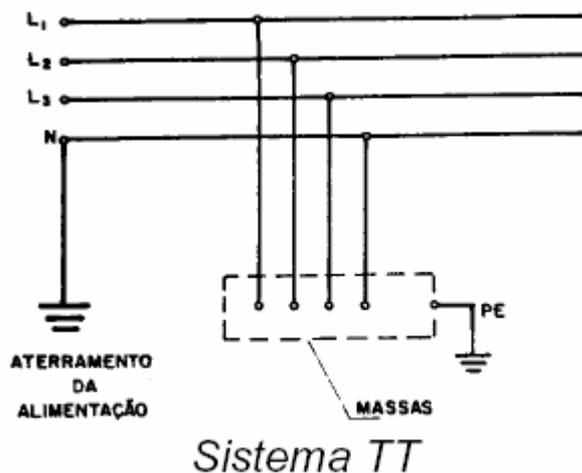


Figura 100 – Massa ligada a eletrodo de aterramento

Nos sistemas TT:

- a) as massas não estão sujeitas às sobre-tensões do sistema de alimentação;
- b) as massas não estão sujeitas às sobre-tensões devidas às quedas de tensão no neutro, tanto para corrente normal, como para corrente de falta;
- c) o percurso das correntes de falta entre fase e massa, mostrado na figura abaixo, corresponde geralmente a terra, o que não exclui a possibilidade de ligações elétricas, voluntárias ou acidentais, entre os eletrodos de aterramento das massas e da alimentação.

Mesmo quando os eletrodos de aterramento das massas e da alimentação estiverem confundidos, o sistema permanecerá do tipo *TT*, para efeito de determinação das condições de proteção, isto é, não são levadas em conta as ligações entre os eletrodos.

Na Figura 101, R_A é a resistência do eletrodo de aterramento das massas e R_B , a do eletrodo de aterramento do ponto neutro; $(R_A + R_B)$ é preponderante diante da impedância dos outros elementos do percurso e é praticamente igual à impedância total.

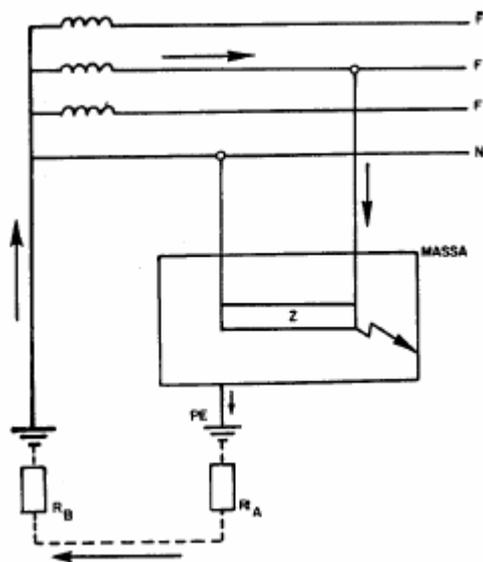


Figura 101 - Percurso da corrente de falta num sistema *TT*

Sistemas IT

Nesse sistema (Figura 102), não há ponto da alimentação diretamente aterrado, estando as massas aterradas.

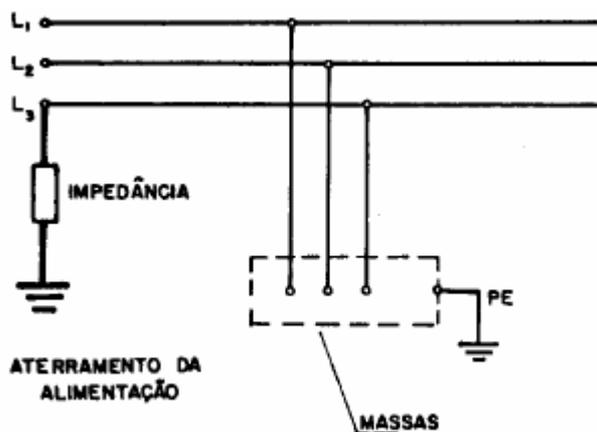


Figura 102 - Sistema *IT*

Num sistema *IT*

a) a corrente resultante de uma só falta entre fase e massa não tem intensidade suficiente para provocar o surgimento de qualquer tensão de contato perigosa;

b) a limitação da intensidade da corrente resultante de uma primeira falta é obtida pela ausência de ligação à terra da alimentação ou pela inserção de uma impedância entre um ponto da alimentação e a terra.

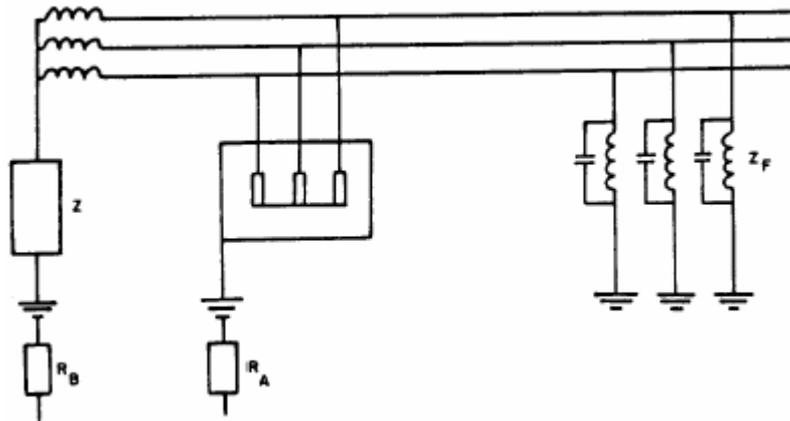


Figura 103 - Impedância num sistema *IT*

A Figura 103 mostra as impedâncias a serem consideradas no percurso da corrente de falta para terra num sistema *IT*. São elas:

RA - resistência de aterramento do eletrodo das massas;

RB - resistência de aterramento do eletrodo do neutro;

Z - impedância de valor elevado;

ZF - impedância das fugas naturais da instalação.

7.8 - VALOR DA TENSÃO EM SISTEMAS DE BAIXA TENSÃO

A tabela 5 abaixo mostra os limites de tensão (CA e CC) usados pela NB-3 para classificar os sistemas aterrados de baixa tensão.

Tabela 5 – Classificação dos sistemas aterrados de baixa tensão

Faixa	Sistemas Diretamente Aterrados				Sistemas não Diretamente Aterrados	
	CA		CC		CA	CC
	Entre Fase e Terra	Entre Fases	Entre Pólo e Terra	Entre Pólos	Entre Fases	Entre Pólos
I	$V \leq 50$	$V \leq 50$	$V \leq 120$	$V \leq 120$	$V \leq 50$	$V \leq 120$
II	$50 < V \leq 600$	$50 < V \leq 1000$	$120 < V \leq 1500$	$120 < V \leq 15000$	$50 < V \leq 1000$	$120 < V \leq 1500$

(V é a tensão da instalação em volts)

Observação:

1. Nos sistemas não diretamente aterrados, se o neutro for distribuído, os equipamentos alimentados entre fase e neutro, ou entre pólo e compensador, devem ser escolhidos de forma a que sua isolação corresponda à tensão entre fases.

2. Esta classificação das tensões não exclui a possibilidade de serem introduzidos limites intermediários para certas prescrições de instalação. Assim, por exemplo, o limite de quais é admitido que se dispensem medidas de proteção contra os contatos diretos.

3. A faixa I corresponde a extra-baixa tensão, quer seja de segurança ou funcional, enquanto a faixa II corresponde às tensões de instalações residenciais, comerciais e industriais.

8 - SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

8.1 - ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA

As nuvens são formadas por uma quantidade muito grande de partículas de água. Em virtude de correntes e turbulências atmosféricas, as partículas se atritam e colidem, comportando-se, então como minúsculas baterias nas quais se acumula uma carga

elétrica, positiva ou negativa. As cargas elétricas negativas, normalmente, acumulam-se na parte baixa das nuvens. Isto significa que estas camadas inferiores das nuvens se

acham com potencial negativo em relação ao solo, cuja carga é positiva. Como as cargas elétricas de mesmo sinal se repelem, a nuvem, com carga negativa, rechaça os elétrons (sinal negativo) existentes na superfície do solo abaixo dela.

Deste modo, a carga positiva induzida na superfície do solo assume o mesmo valor da carga negativa da nuvem. Ao mesmo tempo em que a nuvem se desloca, a zona de carga positiva no solo a acompanha.

Vemos assim, que a nuvem e a superfície da terra se comportam como um capacitor, dotado de carga elétrica muito grande. Como a camada de ar que as separa é quase um isolante perfeito, isto é, possui elevada rigidez dielétrica, pode não ocorrer nenhuma descarga entre ambas.

Quando, porém, a carga total, sob tensão elevada, é muito grande, o excesso de carga na nuvem provoca a emissão de um raio preliminar, denominado raio líder ou descarga-piloto, que se dirige para um pólo de carga oposta, isto é, o solo ou uma outra nuvem. Em seu trajeto sinuoso, essa descarga preliminar ioniza o ar, despojando de elétrons os incontáveis átomos de nitrogênio, oxigênio e argônio, encontrados em seu percurso no ar da atmosfera. Os átomos, que perderam um ou mais de seus elétrons, isto é, os íons, funcionam, então, como constituintes de uma espécie de “condutor”, porque o gás ionizado é bom condutor de eletricidade.

Ao longo deste “condutor”, após a descarga-piloto, vem, em seguida, a chamada descarga-guia, de movimento sincopado, procurando seguir o percurso de maior condutibilidade.

Enquanto isto acontece, de um ponto da terra (eventualmente um pára-raios) desenvolve-se analogamente uma descarga piloto ascendente, a qual após encontrar a

descarga-guia descendente, entra em contato com esta e prossegue em alta velocidade até a nuvem. Por isto denomina-se descarga de retorno.

Portanto, numa primeira etapa, ocorre uma descarga de retorno da terra para a nuvem, onde se iniciou o processo de indução eletrostática. Em seguida, tem lugar uma descarga denominada principal, no sentido da nuvem para a terra.

Quando as cargas nas nuvens são tão elevadas que não podem ser neutralizadas pela descarga principal, esta é acompanhada por outras, denominadas descargas-reflexas, que também têm suas próprias descargas de retorno e aproximadamente a mesma forma da descarga principal (Figura 104).

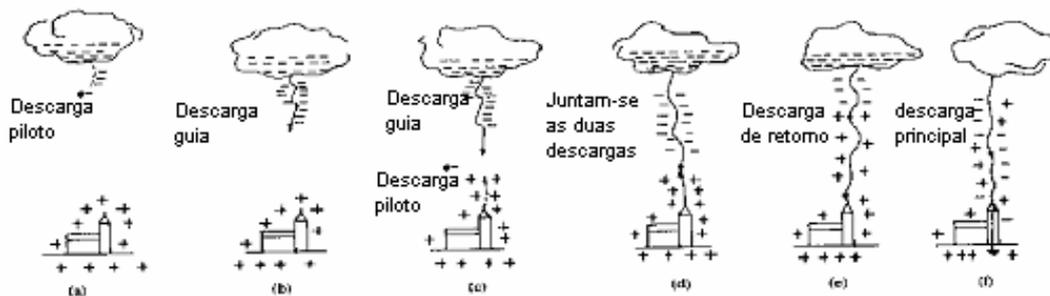


Figura 104 – Princípio das descargas atmosféricas

O campo elétrico, proveniente das cargas acumuladas nas nuvens e no solo, acelera os elétrons que compõem o fluxo energético. O deslocamento dos elétrons entre os pólos constituídos pela terra e a nuvem se faz com velocidades de várias dezenas de quilômetros por segundo. Os gases que se interpõem no percurso dos elétrons entre duas nuvens ou entre a nuvem e a terra tem seus átomos “bombardeados” com tal violência que certo número de seus elétrons são arrastados nesse caudal eletrônico.

Ora, quando um átomo perde elétrons, rompe-se o equilíbrio básico entre as cargas negativas (elétrons) e a carga positiva do núcleo. Basta que seja suprimido um elétron de um átomo para que parte de sua carga positiva deixe de ser neutralizada. O átomo se converte, então, numa partícula de carga positiva, ou íon positivo.

Na descarga elétrica que é o raio, os íons positivos voltam a colidir com elétrons e se a velocidade de ambos o permitir, o elétron voltará a entrar em órbita em torno do núcleo, o equilíbrio de cargas se restabelecerá e o átomo, ao final, se recomporá.

O efeito luminoso ou fulguração do raio decorre das colisões de elétrons com átomos ou íons e da liberação de energia no mencionado processo de recomposição dos átomos.

Os raios têm o aspecto de linhas sinuosas, às vezes com múltiplas ramificações, porque as massas gasosas atravessadas pela corrente não são homogêneas e a corrente elétrica naturalmente procurará seguir o trajeto ao longo das regiões de maior condutibilidade e que se dispõem de maneira irregular.

O raio, como, aliás, qualquer corrente elétrica, gera, em volta de si, um campo eletromagnético, como se fosse um invólucro invisível, de diâmetro variável de alguns centímetros. É por estar assim “canalizado” pelo campo magnético que o raio não se dispersa pelo espaço.

Apesar das numerosas recombinações de íons com elétrons, é muito grande o número de íons positivos remanescentes, dispostos ao longo do trajeto. Forma-se um condutor, estendido entre duas nuvens ou entre uma nuvem e a terra. Ligados, deste modo, por um bom condutor, os dois pólos emitem alternadamente cargas sucessivas de um para outro, até que se restabeleça o equilíbrio entre ambos. Este equilíbrio nem sempre é obtido em uma única descarga porque, em geral, o raio conduz um excesso de carga para o outro pólo. A descarga se processa num vaivém extremamente rápido, o que dá ao observador a impressão de ver o raio “tremar”.

O calor elevadíssimo, desenvolvido na descarga do raio, faz dilatar quase instantaneamente um envoltório de ar ao seu redor, e esta brusca dilatação produz a onda sonora característica que é o trovão, ouvido após o raio.

Os danos mecânicos causados pelo raio são, em geral, provocados pelo calor que gera. O raio tende a se projetar em pontos elevados (copas das árvores, torres, chaminés),

onde se acumulam cargas elétricas do solo, capazes de desencadear o processo que foi analisado. Também as colunas de ar ou gás quente, por conterem numerosos íons, oferecem meio condutor capaz de canalizar o raio, ao longo das mesmas. Por isto, não

se devem considerar como abrigo árvores, construções elevadas, bem como a vizinhança de pontos aquecidos, como chaminés e até rebanhos de animais parados no pasto.

8.2 - O PÁRA-RAIOS E SUA ATUAÇÃO

O pára-raios é um sistema destinado a “captar” os raios e a conduzi-los à terra, sem oferecer riscos à pessoas e evitando danos materiais (Figura 105).

O captor do pára-raios, conforme define a NB-165/70, é constituído por uma “ponta” ou condutor metálico pontiagudo que, por sua situação elevada, facilita as descargas elétricas atmosféricas.

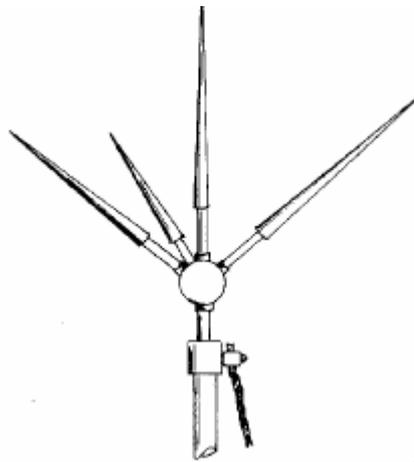


Figura 105 - Captor de pára-raios comum ou Franklin

O captor é ligado a um eletrodo de terra, por meio de um condutor metálico (fio, fita ou cabo).

Os elétrons podem mover-se facilmente pelo pára-raios, escoando para o solo, seguindo ao longo do condutor e deixando, ainda, cargas positivas nas pontas do captor. A concentração desta carga positiva e o poder das pontas do pára-raios fazem com que as

cargas positivas se desloquem até as nuvens, por estas estarem carregadas negativamente.

Estabelece-se um fluxo de carga positiva que pode neutralizar a carga negativa da nuvem, impedindo que se estabeleçam condições para o desencadeamento do raio. Deste modo, o pára-raios desempenha ordinariamente uma função preventiva.

Em geral é enfatizada a função protetora do pára-raios, mas quando ocorre uma tempestade repentina e violenta, não há tempo nem condições para que o pára-raios desempenhe sua função preventiva, e poderá ocorrer a descarga elétrica que, com muita probabilidade, seguirá o caminho para a terra passando pelo pára-raios, e este desempenhará, então, sua função protetora.

8.2.1 - Classificação dos Pára-Raios

Os pára-raios classificam-se, segundo o tipo de captor que utilizam, em:

Pára-raios comuns

Tipo Franklin, em homenagem ao seu inventor, Benjamin Franklin (1706-1790). O captor consta de uma ou mais hastes metálicas pontiagudas, em geral iridiadas, fixadas a uma base, onde é preso o condutor metálico cuja extremidade é ligada à terra. A instalação de pára-raios com captos comuns é apresentada na NB-165/70, da ABNT.

É usado em chaminés, torres e onde as áreas não são maiores do que a base do cone de proteção.

O campo de proteção de um captor de haste vertical é o volume de um cone tendo por vértice o ponto mais alto do pára-raios (Figura 106) e cuja geratriz forma um ângulo de 60° com o eixo vertical.

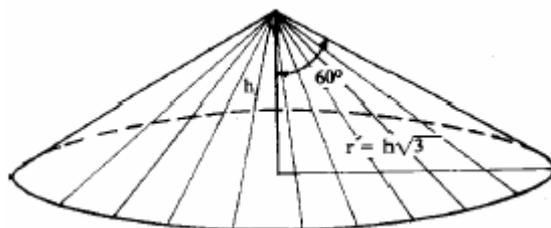


Figura 106 - Cone de proteção com pára-raios comuns

Quando não é prático nem econômico, ou mesmo viável, colocar-se uma torre (ou mais de uma) cuja altura assegure ao pára-raios o campo de proteção que dele se deseja, coloca-se um número adequado de pára-raios na cobertura da edificação a proteger, interligando-se os mesmos por cabos, formando, assim, a malha que é ligada à terra. Esta ligação é feita em vários pontos de aterramento. Ao sistema de proteção realizado deste modo denomina-se “Gaiola de Faraday” (Figura 107).

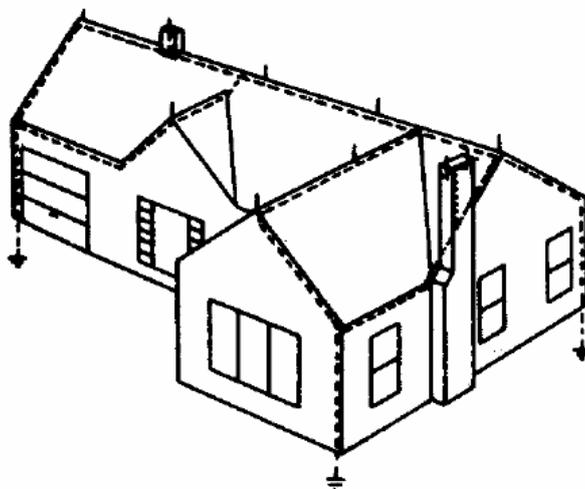


Figura 107 - Gaiola de Faraday

Pára-raios radioativos

O captor de forma especial ou mesmo convencional, recebe uma certa quantidade de material radioativo, com a finalidade de aumentar a ionização do ar, melhorando o desempenho do pára-raios (Figura 108).

A ABNT apresentou em abril de 1983 um primeiro Projeto de Especificação referente a pára-raios radioativos, de cujas principais proposições faremos referência, mais adiante.

Podem ser instalados à pequena altura, 3 a 5 m, do ponto mais alto da edificação a ser protegida.

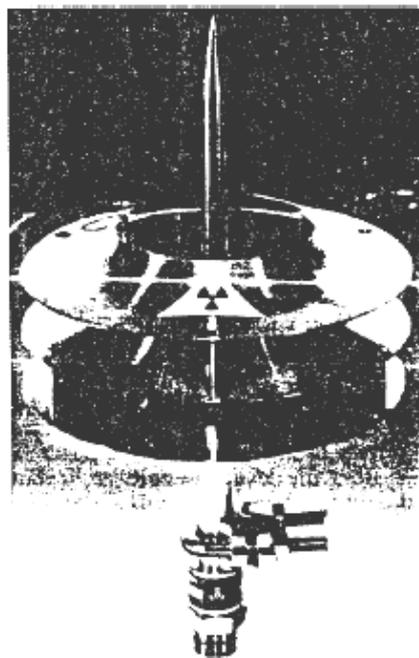


Figura 108 - Pára-raios radioativo ionizante Amerion

8.2.1.1 - Pára-raios comum

O pára-raios comum ou convencional consta essencialmente de um captor, também chamado ponta ou buquê, um condutor de descida e eletrodos de terra. Como acessórios podem ser citados ou isoladores, buchas, braçadeiras, haste, junta móvel para medição e proteção do condutor. Fazemos breves referências aos principais dentre estes elementos.

Captor

Como mencionamos acima, o captor, em essência, é um dispositivo que consta de uma ou mais pontas aguçadas formando um “buquê”, fabricados em cobre ou aço inoxidável, com as pontas iridiadas, o que impede a oxidação das mesmas (Figura 109).

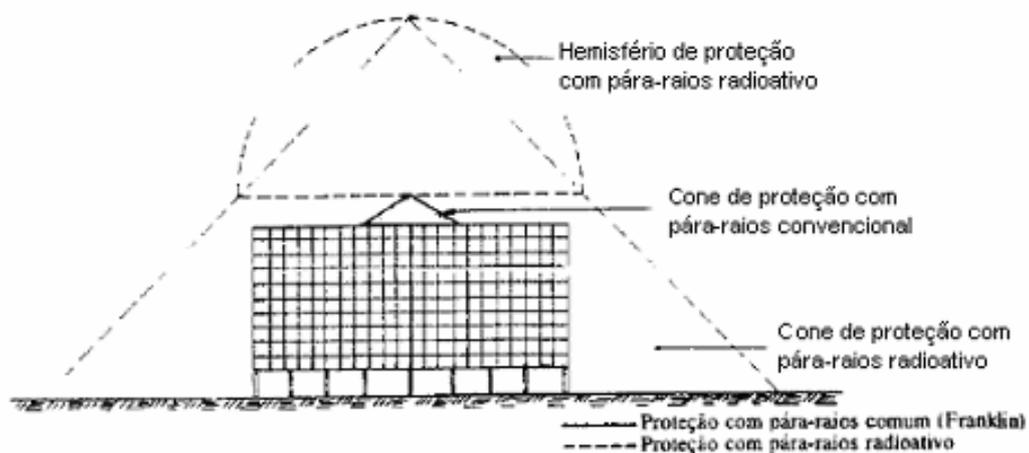


Figura 109 - Comparação entre proteção com pára-raios comum e pára-raios radioativo

A Figura 109 (Captor de pára-raios comum ou Franklin) dá uma idéia de um buquê convencional de pára-raios. Na base do captor deve haver um elemento de fixação do cabo ou cordoalha de descida e uma peça rosqueada para prendê-lo à haste.

Haste para Suporte do Captor

Deve ser de cobre e fixada a um isolador, preso à cobertura.

Recomenda-se o comprimento de 5m, mas, para casas pequenas, o comprimento pode ser reduzido até 2m. Para a haste de 5m, o tubo de cobre terá 55mm de diâmetro, e para

2m, apenas 30mm.

Admite-se usar tubo de ferro galvanizado como haste do captor.

Para hastes com mais de 3 m, devem-se colocar “estais” ou “espias” para assegurar a estabilidade das mesmas.

Braçadeira ou Conector

Destina-se a fixar o cabo de descida à haste. Deve ser de bronze ou cobre.

Isoladores

Podem ser porcelana ou vidro especial para tensão de 10.000 volts. São fixadas a barras ou suportes.

Condutor Metálico ou “Descida”

Para a ligação do buquê do pára-raios a terra, usa-se cordoalhas, fios, cabos ou fitas de cobre, com seção transversal mínima de 30mm² quando as linhas forem aéreas e de 50mm² quando enterradas. As cordoalhas não podem ter mais que 19 fios elementares, e a espessura mínima das fitas deverão ser de 2mm.

Se for usado condutor de alumínio ao invés de cobre, a seção mínima será de 65mm², e o mesmo não poderá ter mais do que 19 fios elementares.

A NB-165 estabelece as seguintes prescrições quanto ao número de descidas.

. Edificações com área coberta superior a 200m², ou perímetro superior a 50m, ou altura superior a 20m , deverão ter, pelo menos, duas descidas;

. Deverá haver:

a) Uma descida para os primeiros 200m² de área coberta e mais uma descida para todo o aumento de 300m² ou fração. O número de descidas pode ser obtido pela fórmula:

$$N = \frac{A + 100}{300}$$

Sendo:

N = o número de descidas.

A = a área coberta da edificação, em metros quadrados.

b) Uma descida para os primeiros 20m de altura e mais uma descida para todo o aumento de 20m ou fração. O número de descidas pode ser obtido pela fórmula:

$$N = \frac{h}{20} \quad h = \text{a altura da edificação, em metros.}$$

c) Uma decida para os primeiros 50m de perímetro e mais uma descida para todo o aumento de 60m ou fração. O número de descidas pode ser obtido pela fórmula:

$$N = \frac{P + 10}{60}$$

P = o perímetro da edificação, em metros. Resultando N um número fracionário, deverá ser arredondado para o número inteiro imediatamente superior.

Dentre os três valores de N calculados, prevalecerá sempre o maior. Se, no cálculo do número de descidas, resultar uma distribuição tal que a distância entre elas, considerado o perímetro da edificação, seja menor do que 15m, será permitida a redução daquelas descidas (até o máximo de duas), de forma a se distanciarem, no máximo, de 15m.

Junta móvel para medição

A fim de se proceder periodicamente à medição da resistência ôhmica do solo onde se acham os eletrodos, coloca-se a 2m de altura ou pouco mais, acima do terreno, uma

junta ou conector que permita desligar o trecho do condutor ao captor e possibilite a ligação de um aparelho *megger* para medição direta da resistência do terreno.

Eletrodo de terra

Na extremidade do condutor são colocados um ou mais eletrodos de cobre, enterrados, de modo a constituírem um aterramento adequado à descarga do raio.

. O tipo de eletrodo, as dimensões e a quantidade dependem das características de condutibilidade do solo;

. A NB-165 fixou em 10 ohms o valor máximo da resistência de terra, em qualquer época do ano. Para edificações situadas em áreas onde existam inflamáveis ou risco de explosão, a resistência não deve ser superior a 1 ohm;

. Os eletrodos de terra devem estar de acordo com a tabela 6 abaixo:

Tabela 6 – Tipos e dimensões dos eletrodos de terra

Tipo de Eletrodo	Material	Dimensões mínimas	Posição	Profundidade mínima
Chapas	Cobre	2 mm x 0,25 m ²	Horizontal	0,60 m
Tubos	Cobre Copperweld	25 mm (int.) x 2,40 13 mm (int.) x 2,40	Vertical	Cravado por percussão
Fitas	Cobre	25 mm x 2 mm x 10,00 m	Horizontal	0,60 m
Cabos e cordoalhas	Cobre	53,48 mm ² , até 19 fios	Horizontal	0,60 m

. A distância mínima entre os eletrodos de terra deve ser de 3 m. As fitas, quando dispostas radialmente, devem formar ângulo de, no mínimo, 60°;

. Os eletrodos e os condutores devem ficar afastados das fundações, no mínimo 50 cm;

. Os eletrodos de terra devem ser localizados em solos úmidos, de preferência junto ao lençol freático, evitando-se, entretanto, áreas onde possa haver substâncias corrosivas;

. Em solo seco, arenoso, calcário ou rochoso, onde houver dificuldade de conseguir resistência ôhmica menor do que 10 ohms, é necessária uma compensação por meio de maior distribuição de eletrodos ou fitas, em disposição radial, todos interligados por meio de condutores que circundem a edificação, formando uma rede;

. Não é permitida a colocação de eletrodos de terra sob revestimentos asfálticos, argamassa ou concreto, e em poços de abastecimento d'água e fossas sépticas.

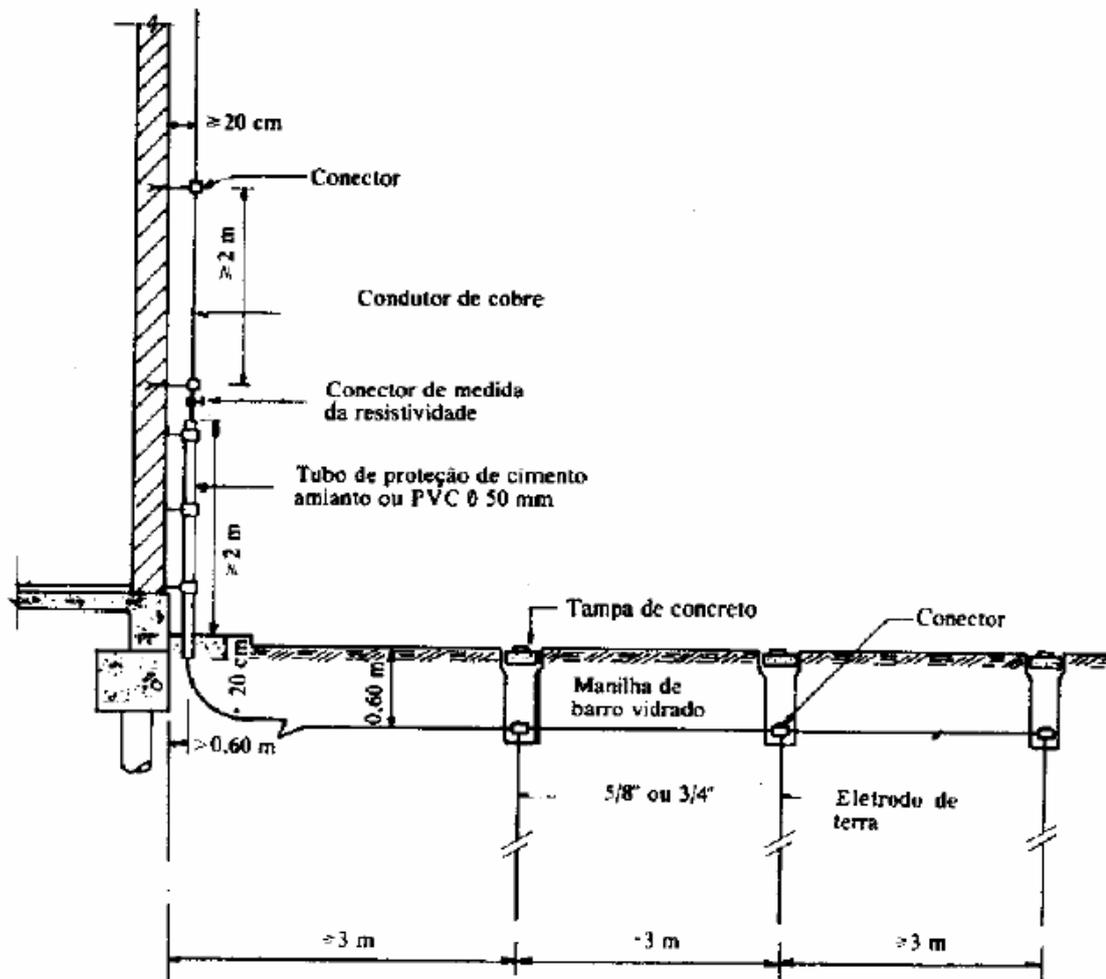


Figura 110 - Aterramento do pára-raios

Se a condutibilidade do solo for suficiente, bastará a colocação de apenas um eletrodo de terra (Figura 110). Em geral, colocam-se três eletrodos com as disposições indicadas na Figura 111. Caso não seja encontrada a resistência ôhmica prevista pela Norma NB-165, com três eletrodos, aumenta-se o número destes até que isto seja conseguido.

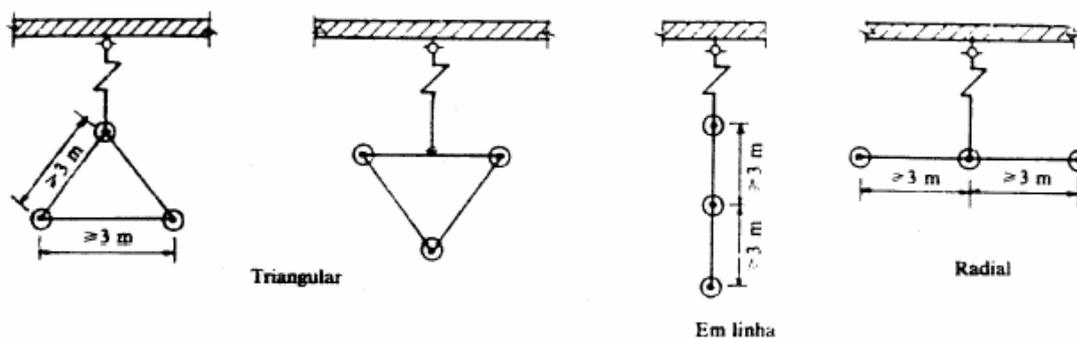


Figura 111 - Disposição de eletrodos de terra

Proteção do condutor de descida

O condutor deve ser protegido por tubulação de fibro-cimento ou de PVC reforçado, até a altura de 2 m acima do nível do terreno.

8.2.1.2 - Pára-raios ionizante

Princípio de Funcionamento

A necessidade de torres elevadas para colocação de pára-raios convencionais Franklin e o inconveniente que isto representava em termos de custo e estética levou os pesquisadores, entre os quais Gustave Capart e seu filho Alphonse Capart, à descoberta de um aparelho captor denominado pára-raios ionizante, ou radioativo, que oferece a vantagem de não exigir torres grandes e de abranger uma área de proteção consideravelmente maior que a dos pára-raios Franklin ou das “gaiolas Faraday”.

Os pára-raios ionizantes têm por base as seguintes realidades:

- a) A descarga elétrica, sob a forma de um raio, segue o percurso no qual a condutibilidade atmosférica entre a base das nuvens e a superfície da terra é menor;

b) Durante uma tempestade, estabelece-se um amplo campo elétrico entre o centro de tempestades nas nuvens e um ponto na superfície da terra;

c) Quando íons ou elétrons se encontram nos referidos campos elétricos, seguem as linhas de força do campo, aumentando a condutibilidade elétrica da atmosfera neste campo. A diminuição da rigidez dielétrica do ar favorece o escoamento de descargas elétricas atmosféricas.

Os pára-raios radioativos representam uma fonte de produção de íons (átomos carregados de eletricidade) que se deslocam para a atmosfera, ionizando o ar nas proximidades. Devido a seu modo de atuar, são denominados pára-raios dinâmicos.

Alguns tipos são constituídos por lâminas com a forma de coroas circulares curvadas, providas de substâncias radioativas (alfa, beta ou gama, conforme o tipo de pára-raios) atinge um átomo, deslocando um elétron, deixando um íon positivo; o elétron, depois, une-se a uma molécula neutra, formando um íon negativo.

Os íons negativos são atraídos pela ponta do pára-raios, por indução. A base das nuvens, tendo carga negativa, também, por indução, atrai as cargas positivas da terra, que se deslocam para a ponta colocada no mastro. Mas as lâminas radioativas produzem íons negativos que neutralizam uma parte dessas cargas positivas e passam pelo condutor de cobre à terra.

Os íons positivos produzidos pelas lâminas do pára-raios são capturados no campo formado pelas nuvens, o pára-raios e a terra, e atraídos para cima, em direção às nuvens. Os íons positivos em presença do intenso campo elétrico que ocorre imediatamente antes ou durante uma descarga de um raio, iniciam reações em cadeia que, por colisão, aumentam a quantidade de íons que ascendem da fonte. O raio segue o percurso onde existe maior condutibilidade. A descarga-piloto do pára-raios prepara o caminho de maior condutibilidade para o raio, que se dirige para o pára-raios, em vez de procurar outro percurso, de menor condutibilidade.

Tipos de Pára-Raios Ionizantes

Os pára-raios ionizantes possuem um material radioativo e classificam-se segundo a natureza deste material. A seguir apresentamos alguns.

Rádio 226. É o caso dos pára-raios Preventor, da British Lightning Preventor Ltda., de Nottingham - Inglaterra, representado no Brasil pela SPGI S.A. Engenharia e Indústria.

O pára-raios Preventor emprega o rádio 226, que é um elemento natural, com máxima regularidade de random (tempo variável entre as desintegrações consecutivas).

O pára-raios consta de uma cabeça e uma haste. A cabeça é feita de chapas de cobre esmaltado a fogo e é provida de aletas destinadas a dirigir as correntes de ar através das fontes de ionização. Para isto, os discos são equipados com lâminas radioativas. As lâminas contêm rádio 226, aliado com ouro. A liga de rádio e ouro está soldada por pressão a uma folha de prata.

Como os dois metais são moles, todas as superfícies são revestidas com paládio, para dar resistência adequada, durabilidade e proteção contra corrosão (Figura 112).

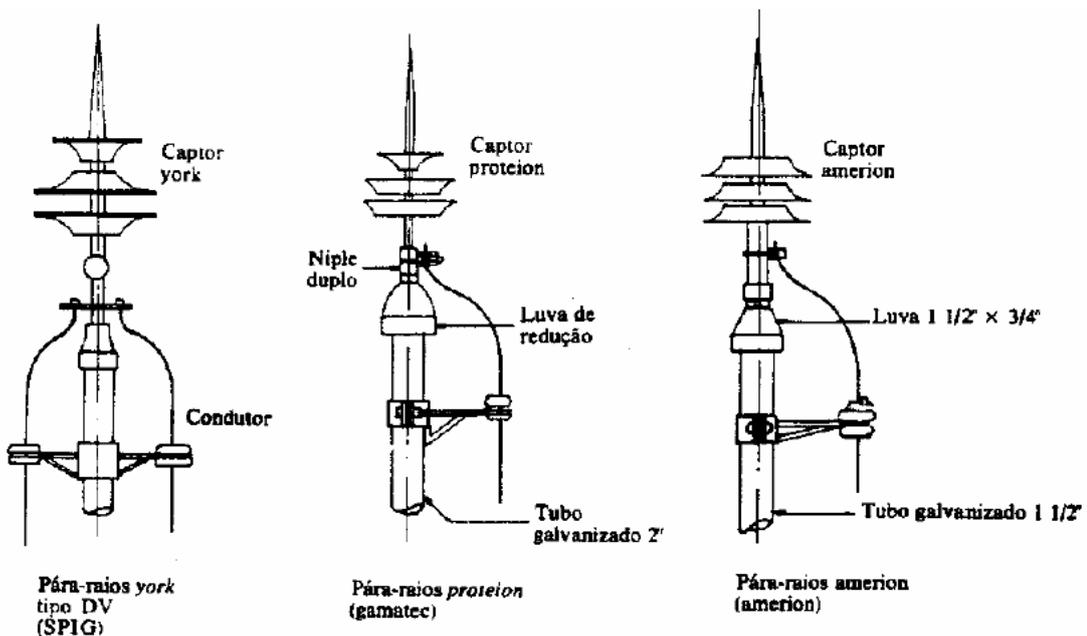


Figura 112 - Captores de pára-raios radioativos

A folha emite radiação alfa, beta e gama, que produzem a zona intensificada de ionização em torno da haste central de cobre, o que faz do pára-raios ionizante. O pára-raios Proventor é um dispositivo de muito maior eficiência que o comum. A cabeça do pára-raio é fixada a uma haste cuja altura deve ser superior a 5 m do ponto mais alto a ser protegido.

Áreas protegidas pelo Preventor

- . Modelo P - A. raio de ação de 10 m. Área de proteção: 314 m²;
- . Modelo P - B. raio de ação de 20 m. Área de proteção: 1.256 m²;
- . Modelo P - 1. raio de ação de 35 m. Área de proteção: 3.880 m² ;
- . Modelo P - 2. raio de ação de 50 m. Área de proteção: 7.850 m² ;

- . Modelo P - 3. raio de ação de 80 m. Área de proteção: 20.313 m² ;
- . Modelo P - 4. raio de ação de 100 m. Área de proteção: 31.440 m².

Os pára-raios radioativos Preventor (Figura 113), como, aliás, os demais tipos radioativos, criam uma zona de influência ou atração em forma de hemisfêra, cujo raio varia conforme o modelo.

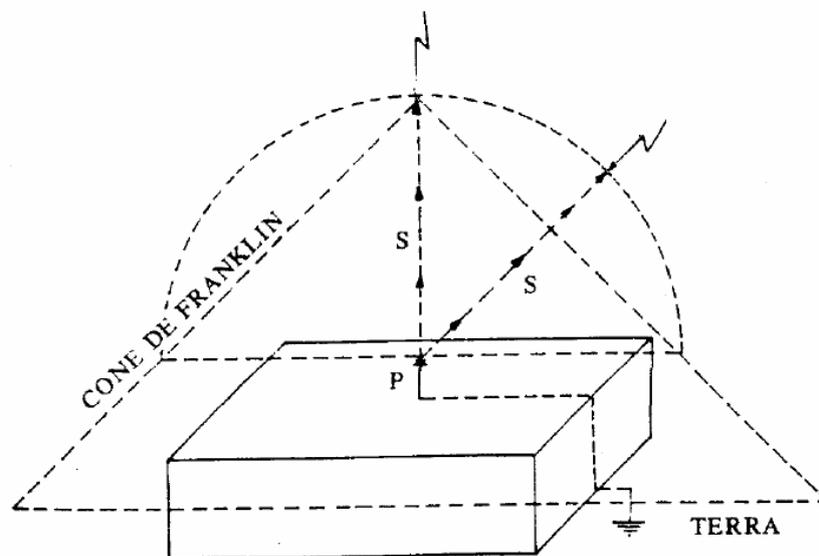


Figura 113 - Fluxo ionizante, pára-raios Preventor (SPIG S.A.)

Americío 241. Trata-se do elemento químico nº 95, radioisótopo trans-urânico de massa atômica 243. Não existe na natureza; foi obtido artificialmente em 1945. É fortemente radioativo, embora emita radiações alfa, de baixa penetração.

Os pára-raios radioativos YORK, com amerício 241 são fabricados pela YORK Nuclear do Brasil e pela Amerion.

A YORK Nuclear do Brasil fabrica três tipos de pára-raios radioativos:

Tipo DV, com três pratos e uma ponta;

Tipo PTD, com uma placa quadrangular, quatro placas triangulares e uma ponta;

Tipo PRY - denominado Potenciador Radioativo YORK (Figura 114).

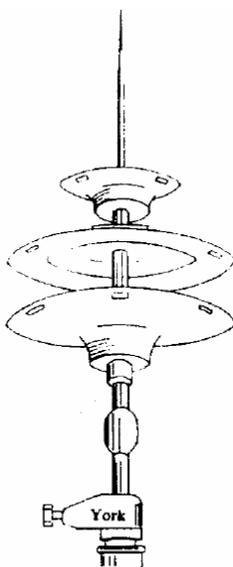


Figura 114 - Pára-raios radioativos YORK - Modelo DV

Possui um potenciador radioativo que é acoplado à base de um pára-raios de Franklin, convertendo-o em um pára-raios radioativo.

A GAMATEC Aplicações de Radioisótopos S.A. fabrica os pára-raios Proteion (Figura 115), que contêm o radioisótopo amerício 241, emissor de partículas alfa, cujo risco de contaminação só existe por contato direto com as plaquetas de material radioativo.

Tabela 7 – Raio de ação do pára-raios radioativo

Modelo DV, PRY e PTD		
Tipo	Raio em ação (m)	Área de proteção (m²)
R-15	15	700
R-2530	25	1.960
R-40	40	5.000
R-50	50	7.850
R-60	60	11.300
R-70	70	15.380
R-80	80	20.000
R-100	100	31.400

A **Amerion** - Indústria e Comércio de Pára-raios Ltda. – fabrica os pára-raios radioativos Amerion, que utilizam também o amerício 241, que, como foi dito, é um emissor de partículas alfa, praticamente puro.

A Promoengi Engenharia, Comércio e Importação Ltda. fabrica os pára-raios Ionocaptor e Produion, que empregam também o amerício 241. Fornece o modelo Ionocaptor PRR-RP, dotado de um sistema de autolimpeza da fonte radioativa contra poeiras.

Possui uma escova que gira impulsionada por um anemômetro dotado de mancal de teflon grafitado, autolubrificado.

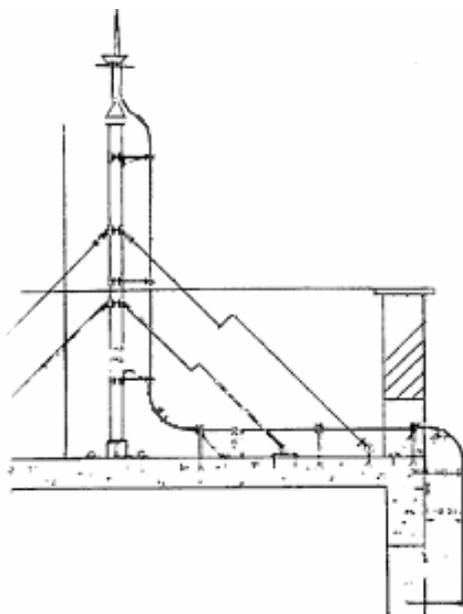


Figura 115 - Instalação de captor radioativo Proteion, da GAMATEC

8.3 - RESISTÊNCIA DE TERRA

Conforme vimos, a Norma NB-165 estabelece o valor máximo para a resistência que o solo pode oferecer à passagem da corrente.

Existem diversos processos para a determinação desta resistência. As firmas que vendem pára-raios normalmente dispõem de um aparelho denominado *megger*, com o qual determinam facilmente a resistividade do solo, antes da instalação do aterramento e após a execução do mesmo.

O *megger* é um medidor de resistência em ohms. Compõe-se de um pequeno dínamo acionado manualmente por uma manivela e duas bobinas: uma de potencial e outra de corrente.

A força de indução resultante da ação do fluxo magnético destas bobinas aciona um dispositivo que faz mover um ponteiro cuja posição indica a resistência do circuito intercalado entre os bornes do aparelho.

A NBR 5410 - Anexo G, ao tratar da Seleção de Eletrodos e Cálculo Aproximado da Resistência de Aterramento, apresenta uma tabela de resistividade para vários tipos de solo, das quais mencionaremos algumas, e indica as fórmulas aplicáveis a alguns casos típicos para cálculo da resistência de aterramento.

Tabela 8 – Resistividade dos solos

Natureza dos solos	Resistividade (ohms-metro)
Solos alagadiços	de algumas unidades a 30
Solos aráveis, aterros compactos úmidos	50
Argila plástica	50
Areia argilosa	50 a 500
Areia silicosa	200 a 3.000
Saibro, aterros grosseiros	500
Rochas impermeáveis	3.000
Calcário mole	100 a 400
Calcário compacto	1.000 a 5.000

Condutor enterrado horizontalmente

Aplica-se quando o solo não permite a cravação de hastes

$$R = \frac{2\rho}{L}$$

ρ - resistividade do solo (ohms-metros);

L - comprimento do condutor (m);

R - resistência de aterramento do condutor (ohms).

Haste de aterramento

$$R = \rho$$

L

L - comprimento da haste (m).

Chapas metálicas

$$R = 0,8 \rho$$

L

L - perímetro da placa (m).

9 - SISTEMA DE DETECÇÃO E ALARME DE INCÊNDIO

9.1 - TIPOS DE PREVENÇÃO E COMBATE AO INCÊNDIO

O conceito de prevenção é mais amplo que a simples idéia do combate. O combate é de fato uma reação após a ocorrência do incêndio. A prevenção parte do princípio de que se deve evitar o início do fogo e evitar a sua propagação. Assim a prevenção se faz desde a concepção arquitetônica e pode ser assim dividida:

1º PROTEÇÃO DE CONCEPÇÃO

- a. Portas corta fogo, paredes e platibandas (abas) de segurança;
- b. Pisos, tetos e paredes incombustíveis;
- c. Vidros resistentes no mínimo 60 minutos ao fogo;
- d. Afastamento entre edificações;
- e. Compartimentação de áreas;
- f. Isolamento vertical.

2º MEIOS DE FUGA

- a. Escada de segurança;
- b. Iluminação de emergência;
- c. Elevador de segurança.

3º MEIOS DE COMBATE DE INCÊNDIO

- a. Extintores manuais e sobre rodas;

- b. Instalações fixas: automáticas, sob-comando:
 - a. Chuveiros;
 - b. Hidrantes;

 - c. Hallon, freon;
 - d. Nebulizadores.

4º MEIOS DE ALERTA

- a. Detectores de fumaça;
- b. Detectores de temperatura;
- c. Alarmes contra incêndio.

A partir deste ponto, trataremos apenas dos Sistemas de detecção e alarme de incêndio, alvo de nossos estudos.

9.2 - INSTALAÇÃO DO ALARME DE INCÊNDIO

- 1- Escolha do Local: O local escolhido para a Central de Alarme (Figura 116), deve ser de fácil visualização por pessoas responsáveis pela segurança da edificação. Deve ser ventilado e longe de combustíveis.



Figura 116 – Central de alarme

- 2- Fixação: O posicionamento do aparelho deve permitir que o responsável tenha acesso fácil a seus controles.
- 3- Baterias: Todas as Centrais de Alarme de Incêndio devem funcionar com baterias próprias. Adquira sempre baterias novas, de boa marca. Interligue as baterias em série aplicando uma pequena camada de vaselina nos terminais e bornes.
- 4- Ligue o Positivo da série de Baterias no Borne escrito “Positivo Bateria” e o Negativo da série de Baterias no Borne escrito “Negativo Bateria”.

NUNCA LIGUE A CENTRAL DE ALARME SEM BATERIA, NEM QUE SEJA PARA TESTE RÁPIDO, POIS ESSE PROCEDIMENTO DANIFICA CERTOS EQUIPAMENTOS.

- 5- Ligue os sensores (detectores ou botoeiras) nos bornes numerados conforme Esquema Geral.
- 6- Ligue as sirenes nos bornes conforme o Esquema Geral.
- 7- Teste todos os sensores, caso algum não seja identificado pela central verifique se a fiação está ligada corretamente sem mau contato e se o sensor está funcionando. Utilize um multímetro para facilitar o serviço.
- 8- Caso deseje nomeie os LED's numerados na frente da central com a localização dos sensores.
- 9- Somente após todos esses procedimentos o aparelho está apto a ser ligado na Força.

9.2.1 – Detectores ópticos de fumaça ou DFO's:

Descrição do funcionamento:

Detectores óticos de fumaça incorporam um LED pulsante (Figura 117), localizado no labirinto dentro da cobertura do detector. O labirinto é desenhado para excluir qualquer luz de origem externa.

No ângulo do LED existe um foto-diodo que normalmente não registra a coluna de Luz emitida pelo LED.

O princípio se baseia no efeito Tyndall. Caso entre fumaça no labirinto, o impulso da luz do LED se dispersa, e sendo registrado pelo foto-diodo, o detector muda para o estado de alarme acendendo o LED indicador e acionando a central de alarme, a qual o detector está conectado.

Os DFO's são mais sensíveis a Fumaças provenientes de produtos orgânicos como Papéis, Tecidos e Madeiras.



Figura 117 – Detector ótico de fumaça com LED pulsante

9.2.2 – Detectores iônicos de fumaça ou DFI's:

Descrição do funcionamento:

Na presença de Fumaça o DFI detecta e manda um sinal para a central que logo em seguida dispara o alarme.

Os DFI's (Figura 118) são mais sensíveis a Fumaças provenientes de produtos derivados do petróleo como combustíveis, plásticos e borracha.



Figura 118 – Detector iônico de fumaça

9.2.3 – Detectores térmicos ou DT's:

Descrição do funcionamento:

Na presença de temperaturas altas (60°C) o DT detecta e manda um sinal para a central que logo em seguida dispara o alarme. Os DT's (Figura 119) são recomendados em ambientes naturalmente enfumaçados que impossibilitam o uso dos DFO e DFI como Cozinhas, Restaurantes e Danceterias.



Figura 119 – Detectores térmicos

9.2.4 – Detectores termo-velocimétricos ou DTV's:

Descrição do funcionamento:

Na presença de rápida elevação de temperatura (8°C em 1 minuto) ou no limite de 60°C o DT detecta e manda um sinal para a central que logo em seguida dispara o alarme.

Os DTV's (Figura 120) são recomendados em ambientes onde seja importante a detecção de rápidas variações de temperatura. Seu uso depende de especificações do projeto de incêndio.



Figura 120 – Detector termo-velocimétrico

9.3 - INSTALAÇÃO DOS DETECTORES:

01- Escolha o local para fixar a base do detector. Consulte a norma da ABNT para saber as distancias limites em que um detector pode ser instalado do outro e a altura máxima que o detector pode ficar do chão e das paredes.

02- Fixe a base usando parafusos, centralize a base deixando o furo dos fios no centro, certifique-se de ter passado a fiação previamente a fim de facilitar a ligação dos fios no detector.

03- Para interligar a Central com os Detectores siga o desenho do “ESQUEMA GERAL”. Cada Borne numerado refere-se a um Detector através de um fio individual,

responsável pelo endereço, e todos os Detectores referem-se ao borne COMUM através de um fio único.

04- Munido dos fios de Endereço e do fio Comum Ligue-os na base do detector conforme o “ESQUEMA DE LIGAÇÃO” que se encontra adiante.

05 - Depois de concluída a ligação dos fios encaixe o detector na base.

06 - Com a Central Ligada (Figura 121) teste o funcionamento do detector com o auxílio de um Spray próprio ou eventualmente aplicando se fumaça. Evite aplicar fumaça diretamente a fim de evitar contaminação do detector.

07 - Para um bom funcionamento recomenda-se revisão anual dos Detectores.

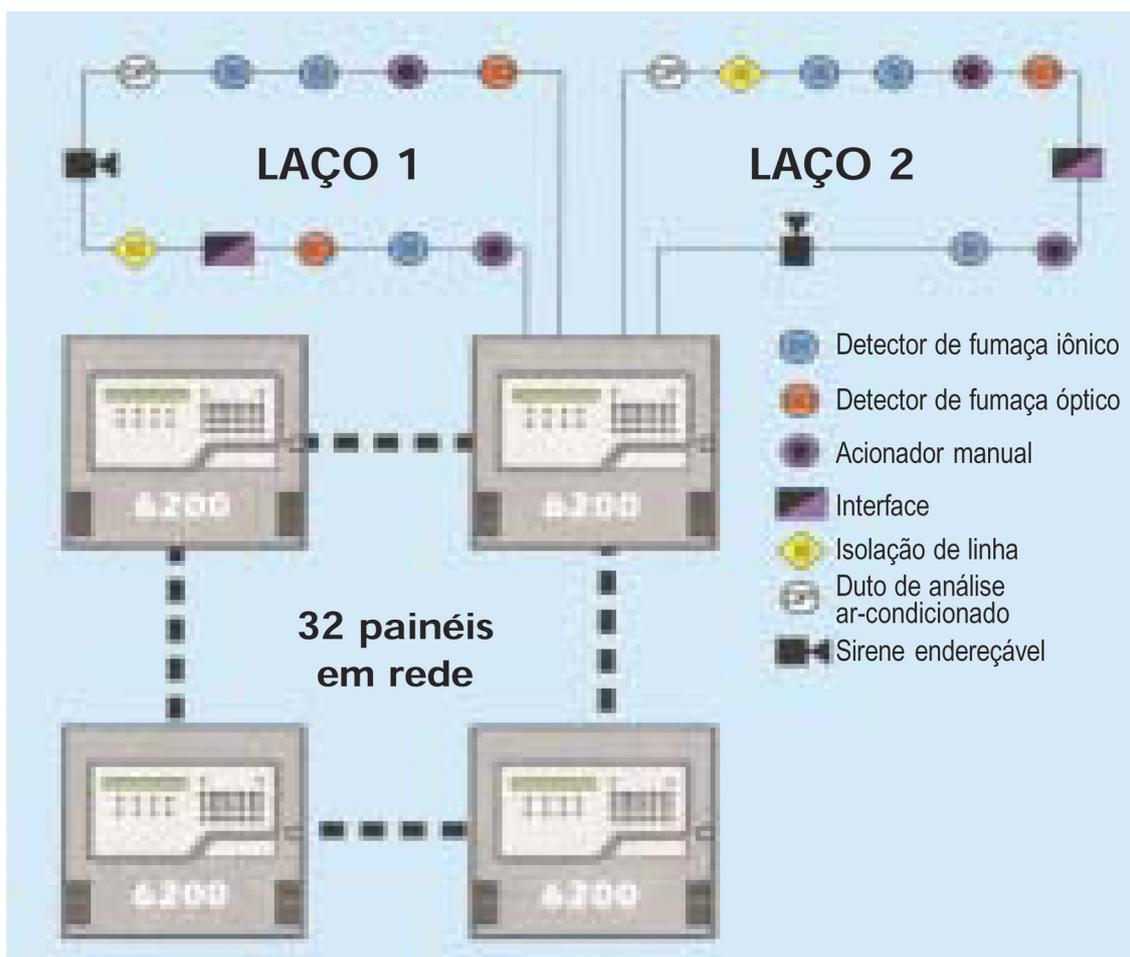


Figura 121 – Painel sinótico

10 - SISTEMAS DE DETECÇÃO DE GASES AMBIENTE

10.1 – INTRODUÇÃO

Em meados do século XIX, nos Estados Unidos, surgiu a necessidade de se determinar gases tóxicos ou asfixiantes nas minas de carvão. O gás metano gerado pela

decomposição da matéria orgânica, bem como o enxofre que origina o gás sulfídrico foram causadores de sérios danos à saúde daqueles que ali trabalhavam chegando em alguns casos à morte.

Os trabalhadores passaram então a portar pequenos animais aprisionados, tais como pássaros, roedores e até mesmo cães. Estes ficavam agitados ao mínimo sinal da presença de gases, indicando assim uma provável contaminação do local.

Devido ao rápido desenvolvimento industrial e a utilização e manuseio cada vez mais freqüente de produtos químicos tóxicos e inflamáveis pela indústria de transformação, bem como a crescente preocupação com a segurança industrial e saúde ocupacional, por parte dos órgãos governamentais, fez surgir no mercado uma série de instrumentos que fazem o trabalho da detecção de gases e vapores, bem como aparelhos para monitoramento em corpos hídricos, alertando-nos imediatamente quando sua concentração ultrapassa parâmetros aceitáveis.

Na determinação de gases ou vapores utilizam-se os analisadores fixos e os portáteis de leitura direta. O uso de analisadores fixos é restrito ao interior de instalações industriais onde o monitoramento contínuo se faz necessário.

Já a utilização dos analisadores portáteis de leitura direta surgiu com a necessidade de realização de análises rápidas obtidas no campo por ocasião de acidentes ambientais ou quando da necessidade de levantamento de valores relativos a saúde ocupacional e sua segurança industrial.

Cabe ressaltar que neste trabalho apenas serão abordadas considerações relativas ao uso de instrumentos portáteis.

10.2 - LEITURA DIRETA DE GASES E VAPORES

10.2.1 - Aplicação

A concentração de gases e vapores no ar pode ser rapidamente determinada pela leitura direta dos instrumentos. Essa leitura pode ser definida em aparelhos nos quais as amostras e análises são tomadas diretamente pelo instrumento, e as informações necessárias podem ser lidas diretamente em um mostrador ou indicador.

Um instrumento de leitura direta ideal deverá ser capaz de amostrar o ar no local de trabalho ou da ocorrência do acidente e deverá dar a concentração da(s) substância(s) que estão sendo amostrada(s).

Os aparelhos colorimétricos de leitura direta usam propriedades químicas de um contaminante para reação da substância com um agente químico que produz coloração. Uma técnica de detecção amplamente utilizada nas indústrias, em áreas de segurança, em estudos para saúde ocupacional e em atendimento a acidentes ambientais tem sido o indicador colorimétrico ou o tubo detector cuja aplicação principal é indicar a concentração dos gases ou vapores através da mudança de coloração. A simplicidade da operação, o baixo custo inicial e a versatilidade referente a detecção de inúmeros contaminantes, tornou popular este instrumento. Todavia como todos os instrumentos este aparelho têm limitações com referência a aplicação, especificação e precisão. Assim o usuário deve estar familiarizado com estas limitações para evitar eventuais erros de interpretação.

Basicamente o sistema de tubo detector colorimétrico é composto de dois elementos: a bomba detectora de gases e os tubos colorimétricos indicadores (tubos reagentes).

As bombas detectoras de fole ou de pistão são projetadas para succionar um volume fixo de ar (geralmente 100 cm³) com apenas uma bombeada. O tubo detector é de vidro hermeticamente selado, contendo materiais sólidos granulados como sílica gel, alumina ou pedra-pomes, que são impregnadas com uma substância química que reage quando o ar contém um contaminante específico ou um grupo de contaminantes que passa através do tubo.

10.2.2 - Princípio de operação

Antes de iniciar uma medição é necessário testar a hermeticidade da bomba detectora de gases. Para tanto deverá ser observada a seguinte seqüência de operações:

- a) comprimir toda a bomba detectora de gases ou bomba de fole (parte sanfonada);

b) tampar com o dedo o local onde será inserido o tubo reagente (cabeça da bomba);

c) sem destampar a cabeça da bomba com o dedo, abrir a mão;

d) se a parte sanfonada retornar é indício que há vazamento de ar na bomba de fole.

10.2.3 - Interpretação de resultados

A leitura nos tubos reagentes é relativamente simples podendo ser observada diretamente através da mudança de coloração indicada na escala graduada impressa no corpo do tubo. De maneira geral a unidade de medida é dada em ppm (parte por milhão).

Alguns tubos reagentes não possuem escala, nesses casos deve-se aspirar um volume tal de amostra, conforme a indicação no guia de instruções de uso, para que a cor da camada reagente atinja a coloração padrão indicada no tubo e o valor da concentração será nesse caso inversamente proporcional ao número de aspirações.

Algumas vezes a mudança de cor não é homogênea. Nestes casos considera-se o valor de leitura como sendo o de maior extensão obtida no tubo.

10.2.4 - Limitações e considerações

Antes da realização da medição é de suma importância a leitura da folha de instruções do tubo reagente que será utilizado na medição para conhecer a coloração final obtida no tubo após a leitura, bem como as possíveis interferências com outras substâncias, temperatura e umidade.

Os tubos detectores têm a desvantagem de apresentar baixa exatidão e precisão. No passado, o Instituto Americano de Saúde e Segurança Ocupacional (NIOSH) testou e

certificou tubos detectores submetidos aos seus ensaios. Os valores relativos à precisão encontrados foram de 35% a 50% do limite de exposição.

A reação química que ocorre no interior do tubo é afetada por baixas e/ou altas temperaturas, retardando e/ou acelerando a reação e conseqüentemente o tempo de resposta, influenciando assim diretamente na veracidade dos resultados. Para reduzir este problema recomenda-se que os tubos sejam mantidos em locais ventilados.

Altas temperaturas aceleram a reação podendo causar um problema de descoloração da camada reagente sem que o contaminante esteja presente. Isto também pode ocorrer para os tubos ainda não utilizados. Dessa forma os tubos devem ser armazenados em temperaturas moderadas ou até mesmo refrigerados, prolongando assim a sua vida útil.

Alguns tubos reagentes possuem uma camada pré-filtrante que objetiva a eliminação de umidade ou outras substâncias que possam interferir na medição. Assim, nas instruções dos fabricantes são fornecidos fatores de correção que serão utilizados quando a umidade interferir nas medições realizadas.

As substâncias químicas utilizadas nos tubos deterioram-se com o tempo. Portanto se faz necessário observar o período de validade indicado em suas embalagens (de 1 a 3 anos).

Cada tubo detector é designado para medir um gás específico como o gás sulfídrico, cloro, vapor de mercúrio, entre outros.

Como nenhum tubo detector é específico para medir uma única substância, deve-se tomar cuidado para que interferências de substâncias não invalidem os resultados das amostras. Muitos vapores e gases comuns reagem com os mesmos produtos químicos ou apresentam propriedades físicas similares; assim o instrumento pode dar falsas leituras, altas ou baixas, para a substância que está sendo amostrada.

Deve-se considerar que os resultados obtidos pelo sistema de tubos colorimétricos não devem sob qualquer circunstância ser utilizado como única evidência da presença ou ausência de um determinado contaminante. Os resultados devem ser utilizados juntamente com outros testes ou informações que confirmem a identidade de uma substância desconhecida na atmosfera.

Além das medições quantitativas, o detector também pode realizar medições de caráter qualitativo.

Existe um tubo reagente, denominado POLYTEST, que indica apenas a presença de certos gases na atmosfera, sem, no entanto, quantificá-los.

O POLYTEST pode indicar a presença de qualquer um dos gases abaixo relacionados.

- Acetileno
- Acetona
- Arsina
- Benzeno
- Dissulfeto de carbono
- Gás sulfídrico
- Gases nitrosos
- Gasolina
- Gás liquefeito de petróleo
- Monoestireno
- Monóxido de carbono
- Percloroetileno
- Tolueno
- Tricloroetileno
- Xileno

Nas operações de emergência onde o gás vazado for desconhecido pode-se, partindo do tubo POLYTEST, programar um plano de amostragem que auxiliará na identificação do produto.

10.3 - INDICADOR DE OXIGÊNIO

10.3.1 - Aplicação

Os indicadores de oxigênio (O₂), também conhecidos como oxímetros, são equipamentos utilizados para medir a concentração de oxigênio na atmosfera normalmente na faixa de 0 - 25% ou de 0 – 100%.

Estes equipamentos são utilizados para monitorar atmosferas onde:

- existe a necessidade de proteção respiratória: normalmente o ar possui 20,8% de oxigênio. Assim, se o oxigênio estiver abaixo de 19,5% no ar considera-se o local com deficiência de oxigênio. Dessa forma é necessária a utilização de proteção respiratória especial (por ex. conjunto autônomo de respiração);
- um aumento da concentração de oxigênio pode causar risco de combustão: geralmente, concentrações acima de 25% de O₂ são consideradas ricas em oxigênio, aumentando assim o risco de combustão;
- outros equipamentos serão utilizados: alguns instrumentos requerem suficiência de oxigênio para sua operação. Por exemplo, os indicadores de gás combustível não apresentam resultados quando a concentração de oxigênio estiver abaixo de 14%. Também, a aprovação da segurança intrínseca para os instrumentos é para atmosfera normal e não em atmosferas ricas em oxigênio;
- há presença de contaminantes: um decréscimo na concentração de oxigênio pode ser devido ao seu consumo (pela reação de combustão ou oxidação) ou pelo deslocamento de ar por uma substância química.

10.3.2 - Princípio de operação

O indicador de oxigênio possui 2 componentes principais para sua operação. O sensor de oxigênio e o mostrador da medição.

Em algumas unidades o ar é aspirado para o detector de oxigênio com a utilização de uma bomba aspiradora, em outras unidades o ar ambiente é aspirado por difusão até o sensor. O detector de oxigênio utiliza um sensor eletroquímico para se determinar a concentração de oxigênio no ar. O sensor é uma célula galvânica composta de dois eletrodos sendo o cátodo de ouro e o anodo de chumbo, ambos imersos em base eletrolítica.

As moléculas de oxigênio circulam através da membrana para a solução. Reações entre oxigênio, soluções e os eletrodos produzem uma corrente elétrica proporcional à concentração de oxigênio.

A corrente passa através do circuito elétrico e o sinal resultante amplificado é mostrado como uma deflexão do ponteiro medidor ou na leitura digital, fornecendo resultado em porcentagem em volume de oxigênio.

10.3.3 - Interpretação de resultados

Este equipamento é de leitura direta, devendo apenas ser calibrado na altitude onde o mesmo será utilizado. O resultado aparecerá diretamente no mostrador do instrumento.

10.3.4 - Limitações e considerações

Altas concentrações de dióxido de carbono (CO₂) diminuem a vida útil do sensor de oxigênio. Como regra geral, o equipamento pode ser utilizado em atmosferas maiores do que 0,5% de CO₂ somente com substituição freqüente do sensor. A vida útil em uma atmosfera normal (0,04% de CO₂) pode variar de uma semana até um ano dependendo do projeto do fabricante.

Agentes químicos oxidantes como ozônio e cloro, podem causar aumento na leitura e indicar alta concentração de oxigênio, ou então, concentração normal, em situações em que a concentração real de oxigênio seja igual ou menor.

Temperaturas altas podem afetar a resposta do indicador de oxigênio. A faixa normal para operação do equipamento varia entre 0oC e 49oC. Entre -32oC e 0oC a resposta do equipamento é lenta. Abaixo de -32oC o sensor pode ser danificado pelo congelamento da solução. O equipamento deverá ser calibrado na temperatura na qual será utilizado.

A operação com os medidores de oxigênio depende da pressão atmosférica absoluta. A concentração natural de oxigênio é uma função da pressão atmosférica em uma dada altitude. Considerando que a porcentagem de oxigênio não varia com a altitude, ao nível do mar o peso da atmosfera é maior, e portanto mais moléculas de oxigênio e de outros componentes do ar são comprimidas dentro de um dado volume quando comparado com altitudes maiores.

A medida que a altitude aumenta, esta compressão diminui, resultando em um número menor de moléculas de ar que são comprimidas em um dado volume. Dessa forma um indicador de oxigênio calibrado ao nível do mar e operado em uma altitude de alguns milhares de pés fornecerá medidas incorretas indicando deficiência de oxigênio na atmosfera devido a uma menor quantidade dessas moléculas que são "empurradas" para o sensor. Portanto se faz necessário a calibração do equipamento na altitude em que este esteja sendo utilizado.

10.3.5 – Calibração

Normalmente a célula sensora é acondicionada em embalagem especial contendo uma atmosfera inerte. Assim o sensor deverá ser removido dessa embalagem antes que o instrumento seja calibrado e utilizado.

A calibração deve ser realizada em local ventilado, não contaminado, com 20,8% de oxigênio, quando ao nível do mar.

Portanto para a calibração do equipamento indicador de oxigênio - marca MSA modelo 245 deverão ser seguidas as seguintes etapas:

- a) remover o sensor da embalagem com atmosfera inerte;
- b) conectar o plug do sensor no receptáculo localizado na lateral do instrumento;
- c) comprimir o botão localizado na lateral do instrumento;
- d) verificar o valor registrado no visor.

Obs:

1) Caso a leitura indicar "zero", verificar:

- A validade da vida útil do sensor. Se necessário efetuar a sua troca;
- A carga da bateria alcalina de 9 volts. Se necessário efetuar a sua troca.

2) Caso o valor indicado for diferente de zero, a calibração será efetuada com a utilização de chave-de-fenda, fornecida no conjunto, que deverá ser conectada na fenda do parafuso localizado na parte superior do equipamento.

- Girar o parafuso até alcançar o valor de 20,8% de oxigênio, indicado no mostrador;
- Realizar as medições necessárias.

10.3.6 - Especificações técnicas (modelo 245 - MSA)

Escala de leitura: 0 - 25%.

Resposta 90% em menos de 20 segundos

Calibração linear: $\pm 1\%$ do fundo de escala a temperatura constante.

Erro de compensação devido a influência de temperatura: máximo $\pm 5\%$ do fundo de escala na faixa de 0°C a influência de temperatura de 0°C a 40°C quando calibrado a 20°C .

Limite mínimo de temperatura: -18°C

Limite máximo de temperatura: 52°C

10.3.7 – Acessórios

Cabos com 15 metros de extensão podem ser conectados com o sensor para medições em distâncias maiores.

10.4 - INDICADOR DE GÁS COMBUSTÍVEL (EXPLOSÍMETROS)

10.4.1 – Aplicação

Explosímetros são aparelhos especialmente fabricados para medir as concentrações de gases e vapores inflamáveis.

Quando certas proporções de vapores combustíveis são misturadas com o ar e uma fonte de ignição está presente, poderá ocorrer uma explosão. Os limites de concentrações sobre as quais isto ocorre, é chamado de limite de explosividade, o que inclui todas as concentrações nas quais ocorre um flash ou fogo, se a mistura entrar em ignição. A menor concentração é conhecida como limite inferior de inflamabilidade (L.I.I) e a maior concentração é o limite superior de inflamabilidade (L.S.I).

As misturas abaixo do L.I.I são muito pobres para serem ignizadas, e misturas acima do L.S.I são muito ricas. Nos tipos mais simples de instrumentos (explosímetros), somente uma escala é fornecida, geralmente com leituras de 0 - 100% em volume do L.I.I.

Para gases combustíveis, ou para exprimirmos grandes concentrações de gases usamos o percentual em volume, ou seja, 1% em volume corresponde a 10000 ppm.

Esses equipamentos não detectam a presença de neblinas explosivas, combustíveis ou atomizadas, tal como óleos lubrificantes e poeiras explosivas, pois essas misturas são retidas em um filtro de algodão. Se essas misturas entrassem no explosímetro poderiam contaminar o catalisador de Platina.

Através do uso dos explosímetros obtém-se resultados quantitativos e não qualitativos. Isso significa que é possível detectar a presença e a concentração de um gás ou vapor

combustível em uma composição de gases presentes. Não é possível, porém diferenciar entre as várias substâncias presentes.

10.4.2 - Princípio de operação

Os indicadores de gás combustível utilizam uma câmara interna contendo um filamento que sofre combustão na presença de gás inflamável. Para facilitar a combustão, o filamento é aquecido ou revestido com um agente catalítico (como Platina ou Paládio), ou ambos. O filamento é parte de um circuito resistor balanceado denominado Ponte de Wheatstone (Figura 122).

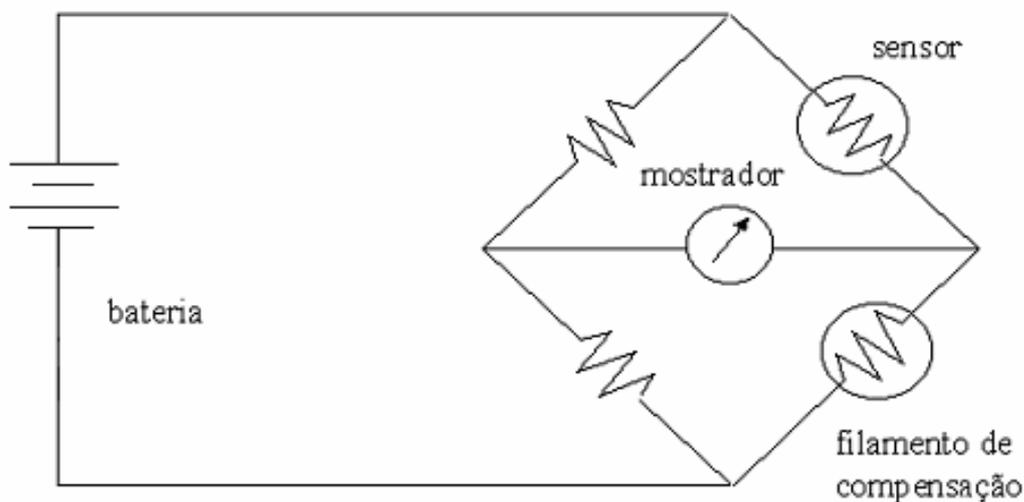


Figura 122 – Circuito da ponte Wheatstone

Circuito da Ponte de Wheatstone:

Em um dos lados da Ponte, o ar a ser amostrado passa sobre um filamento aquecido a uma alta temperatura. Se o ar contém um gás ou vapor combustível, o filamento aquecido causa combustão, e um calor adicional é liberado aumentando a resistência elétrica do filamento. O outro lado da Ponte contém filamento selado semelhante, aquecido de forma idêntica, mas não corrente elétrica. Este filamento selado anula todas as mudanças na corrente elétrica e a resistência devido às variações da temperatura ambiente. A mudança que ocorre na variação da resistência da corrente elétrica nos filamentos, quando da passagem do fluxo de amostra, é devido a presença de gases

combustíveis. Estas mudanças na corrente elétrica são registradas como porcentagens do L.I.I (Limite Inferior de Inflamabilidade) no mostrador do instrumento.

10.4.3 - Limitações e considerações

A sensibilidade e precisão dos indicadores de gás combustível são afetadas por vários fatores. Estes incluem a presença de poeira, alta umidade e temperaturas extremas. Por essas razões a sonda de amostragem de muitos modelos deve ser equipada com filtro de poeira e um agente secante. O equipamento não deve ser utilizado em ambientes extremamente frios ou quentes sem o conhecimento de que tais temperaturas interferem na resposta do instrumento.

A presença de silicones, silicatos e outros compostos contendo silicone, podem prejudicar seriamente a resposta do instrumento. Alguns destes materiais contaminam rapidamente o filamento, fazendo com que o mesmo deixe de funcionar corretamente.

O chumbo tetraetila, presente em alguns tipos de gasolina, produz um sólido de combustão, que irá depositar-se sobre o filamento, causando perda de sensibilidade deste. Na suspeita de gasolina no local a ser monitorado, o instrumento deverá ser aferido após cada uso.

Um método adicional para prevenir a contaminação pelo chumbo é o filtro inibidor que é colocado na cavidade do filtro do instrumento padrão. Este filtro produz uma reação química com os vapores de chumbo tetraetila para produzir um produto de chumbo mais volátil para combustão, prevenindo a contaminação do filamento catalítico de platina.

O uso dos indicadores de gás combustível deve estar associado a atmosferas normais de oxigênio. A concentração mínima de oxigênio para o perfeito funcionamento do explosímetro é da ordem de 14%.

Gases ácidos, como cloreto de hidrogênio e fluoreto de hidrogênio bem como o dióxido de enxofre, podem corroer o filamento provocando baixas leituras no medidor mesmo na presença de altas concentrações de combustíveis. Os vestígios destas interferências

podem não afetar as leituras diretamente, mas podem destruir a sensibilidade dos elementos detectores.

10.4.4 - Interpretação de resultados

O usuário do indicador de gás combustível MSA modelo 100 poderá encontrar, como resultado de medições em ambientes contaminados com vapores inflamáveis, as seguintes situações (Figura 123):



Figura 123 – Interpretação dos resultados

Vale ressaltar que os resultados obtidos acima se referem a uma dada substância igualmente utilizada para a calibração do equipamento.

Entretanto, em muitas situações o ambiente a ser monitorado possui substâncias diferentes daquelas utilizadas na calibração do equipamento. Assim sendo, faz-se

necessário a utilização de curvas de conversão fornecidas pelo fabricante do equipamento para encontrar o valor real da substância a ser monitorada, conforme o exemplo apresentado abaixo.

Substância a ser monitorada: Metano

Equipamento: Indicador de Gás Combustível

Marca: MSA modelo: 100 calibrado para Pentano

Para a obtenção do valor real do índice de explosividade relativo ao gás metano, deverão ser seguidas as seguintes etapas:

1. Anotar o valor encontrado no mostrador do equipamento;
2. Encontrar na tabela abaixo, a curva de conversão referente ao produto a ser monitorado (Ex. metano);
3. Entrar com o valor obtido item 1, no eixo indicado na tabela como "Leitura do Medidor" e a partir desse ponto seguir até a curva do referido produto, onde obtém-se o valor real no eixo equivalente a % do L.I.I.

Vale ressaltar que os resultados obtidos acima se referem a uma dada substância igualmente utilizada para a calibração do equipamento.

Entretanto, em muitas situações o ambiente a ser monitorado possui substâncias diferentes daquelas utilizadas na calibração do equipamento. Assim sendo, faz-se necessário a utilização de curvas de conversão fornecidas pelo fabricante do equipamento para encontrar o valor real da substância a ser monitorada, conforme o exemplo apresentado abaixo.

Substância a ser monitorada: Metano

Equipamento: Indicador de Gás Combustível

Marca: MSA modelo: 100 calibrado para Pentano

Para a obtenção do valor real do índice de explosividade relativo ao gás metano, deverá ser seguido as seguintes etapas:

1. Anotar o valor encontrado no mostrador do equipamento;
2. Encontrar na tabela abaixo, a curva de conversão referente ao produto a ser monitorado (Ex. metano);

3. Entrar com o valor obtido item 1, no eixo indicado na tabela como "Leitura do Medidor" e a partir desse ponto seguir até a curva do referido produto, onde obtém-se o valor real no eixo equivalente a % do L.I.I. (Figura 124).

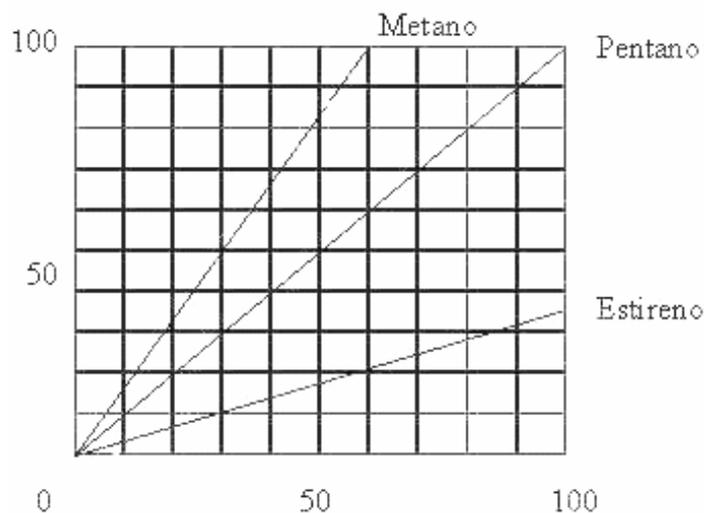


Figura 124 – Leitura do medidor em percentual do L.I.I.

Exemplo: Para uma leitura obtida com este equipamento, em uma atmosfera contendo vapores de estireno, obteve-se o valor no mostrador do aparelho correspondente a 10% do L.I.I o que equivale a 30% do L.I.I do estireno, após correção na curva relativa do estireno.

Lembrando que 1% em volume de um gás corresponde a 10000 ppm e que:

L.I.I do estireno = 1,1%

Obtém-se:

100% = 1,1 % (11000 ppm)

30% = 0,33% (3300 ppm)

10.4.5 - Calibração do equipamento

Normalmente os fabricantes aconselham que a calibração seja efetuada periodicamente.

Esse período não deve exceder a 1 mês. Esse procedimento consiste em submeter o

instrumento a uma concentração de gás conhecida fornecida pelo kit de calibração do fabricante.

Para a realização da calibração devem ser observados os seguintes procedimentos:

1. Ligar o instrumento e aguarde o tempo necessário para o aquecimento do filamento;
2. Zerar o instrumento em uma atmosfera livre de gases ou vapores combustíveis;
3. Pressionar o botão de teste a fim de verificar o estado das baterias;
4. Retirar a alça metálica do instrumento;
5. Retirar a tampa lateral esquerda que é presa por quatro parafusos e puxe o circuito eletrônico para fora o suficiente para permitir ajuste nos potenciômetros;
6. Ajustar o botão de zero no Painel do instrumento até que a indicação do ponteiro do mostrador seja 50% do L.I.I.;
7. Ajustar o potenciômetro de controle de zero no circuito até que o ponteiro do medidor indique 0% do L.I.I.;

8. Aplicar o gás de calibração no sensor até que o ponteiro do medidor atinja a leitura correta. Caso isto não ocorra ajuste o potenciômetro de Span até corrigir a indicação desejada.

Obs.: Todos estes procedimentos, referem-se ao modelo 100 – MAS

10.4.6 - Considerações gerais

Cabe ressaltar que existe atualmente no mercado, diversos modelos de indicadores de gás combustível, que apresentam muitas modificações construtivas especialmente no que se refere a forma de captação da amostra a ser analisada. Por exemplo o modelo 2A

- MSA, utiliza-se de um bulbo aspirador para succionar a amostra, diferentemente do que ocorre com outros equipamentos que operam através do processo de difusão.

Alguns equipamentos portáteis, oferecem a possibilidade de reunir em um só aparelho gases combustíveis, oxigênio e gases tóxicos (monóxido de carbono, cloro, gás sulfídrico, etc.).

10.5 - FOTOIONIZADOR

10.5.1 – Aplicação

Em função de sua capacidade de detectar uma grande quantidade de produtos químicos, os instrumentos de análise de vapores totais são utilizados na caracterização e reconhecimento das substâncias presentes na área monitorada.

Embora esses instrumentos não identifiquem quais as substâncias químicas que estão presentes no local, eles indicam quais áreas que apresentam concentrações mais elevadas em relação às demais, delineando dessa forma, áreas de trabalho baseado nos níveis de concentração.

Se os contaminantes forem conhecidos, estes instrumentos podem ser utilizados na avaliação do nível de exposição. Os resultados obtidos podem fornecer uma

concentração aproximada, sendo esta informação utilizada na escolha do nível de proteção.

10.5.2 - Princípio de operação

Esses instrumentos detectam concentrações de gases e vapores através da utilização de uma fonte de luz ultravioleta ionizando o contaminante no ar.

O processo de fotoionização pode ser mostrado como na equação química abaixo:



Onde:

R = uma molécula orgânica ou inorgânica

hv = representa um fóton de luz ultravioleta

R+= molécula da substância ionizada

Quando um fóton de radiação ultravioleta atinge um composto químico, este ioniza sua molécula, se a energia de radiação for igual ou maior do que o potencial de ionização do referido composto.

Em função dos íons serem partículas carregadas, estes podem ser coletados em uma placa carregada e produzir corrente elétrica. A corrente medida será diretamente proporcional ao número de moléculas ionizadas.

A molécula química (R) mencionada na equação acima, indica que a fotoionização é um processo não destrutível, isto é, a molécula é liberada do instrumento sem sofrer modificações na sua estrutura.

O fotoionizador utiliza uma bomba para captar a amostra para o interior do instrumento. Ali os contaminantes são expostos a uma luz ultravioleta resultando partículas carregadas negativamente (íons) que são coletadas e mensuradas.

A Figura 125 abaixo representa um diagrama da lâmpada detectora de fotoionização e união de eletrodos.

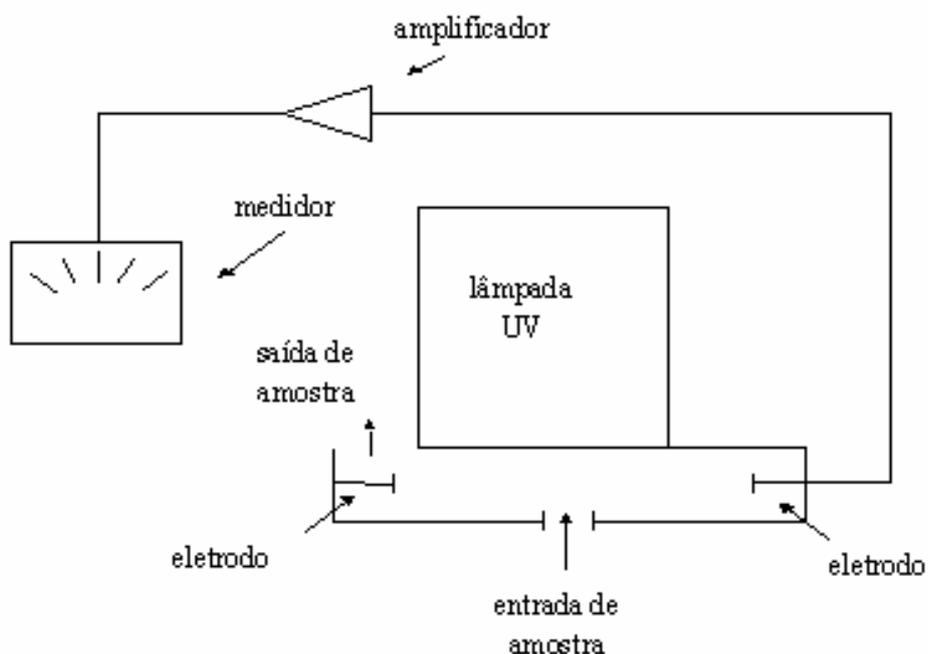


Figura 125 – Diagrama da lâmpada detectora de fotoionização

A energia necessária para remover o elétron mais externo de uma molécula é denominada de potencial de ionização (PI) e é específico para cada substância química.

A luz ultravioleta utilizada para ionizar as substâncias químicas é emitida por uma lâmpada de descarga gasosa. As lâmpadas contêm gás a baixa pressão que permitem a passagem de corrente de alta intensidade.

Uma grande variedade de lâmpadas com diferentes energias de ionização são produzidas modificando-se a composição dos gases contidos em seu interior. Normalmente a energia de ionização das lâmpadas estão disponíveis nos valores de 8,4; 9,5; 10,0; 10,2; 10,6 e 11,7 eV (elétron-Volt).

Tabela 9 – Potencial de ionização para algumas substâncias

Substância Química	Potencial de Ionização (eV)
Acetona	9.7
Água	12.6
Amônia	10.1
Benzeno	9.2
Cianeto de Hidrogênio	13.9
Cloreto de Hidrogênio	12.7
Cloro	11.5
Hexano	10.2
Metano	13.0
Monóxido de Carbono	14.0
Oxigênio	12.1
Propano	11.1

Sulfeto de Hidrogênio	10.5
Tricloroetileno	9.45
Trietilamina	8.0

Fonte: Apostila do curso “Air Monitoring for Hazardous Materials” da EPA .

10.5.3 - Interpretação dos resultados

Em alguns casos, concentrações elevadas de certos produtos apresentam distorções nos resultados (baixos valores), devido a não linearidade a partir de certas concentrações, como exemplo pode ser observado na Figura 126 abaixo que a partir de 900 ppm de benzeno, não se estabelece uma resposta linear.

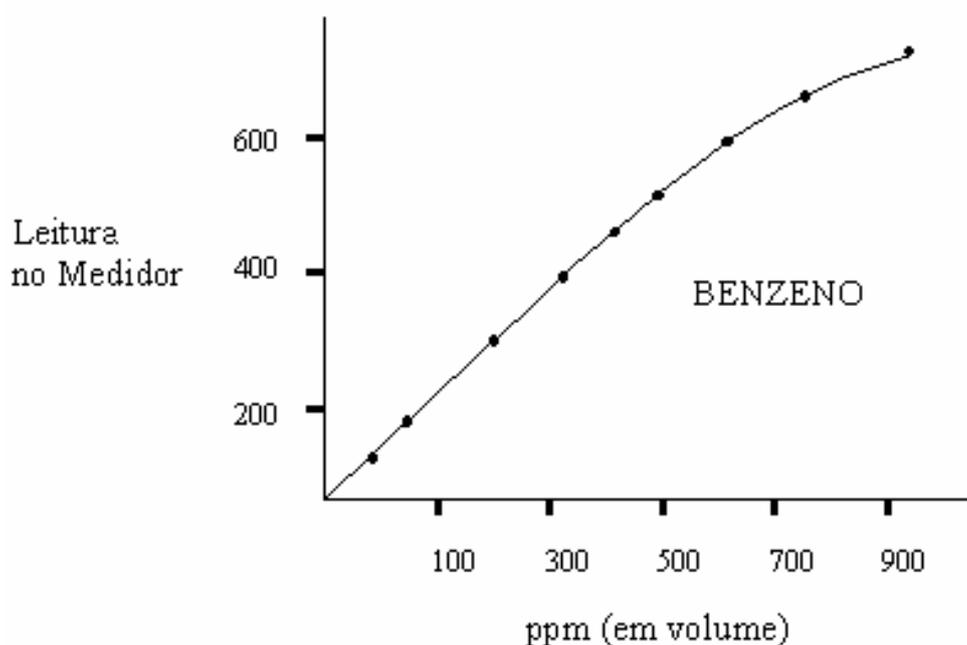


Figura 126 - Curva de calibração para fotoionizador.

A curva de calibração é linear até o valor de 500 ppm em volume. Para concentrações maiores, é interessante utilizar amostras diluídas, a fim de se obter melhor precisão. Como os fotoionizadores são calibrados para um produto químico específico, a leitura no instrumento para outros produtos que não seja o mesmo utilizado na calibração, deverá ser corrigida através do uso de tabelas que apresentem respostas relativas, conforme exemplificado na tabela 10 a seguir.

Tabela 10 – Resposta relativa para substâncias químicas utilizando-se o modelo HNU P1 101 com uma lâmpada de 10,2[eV] e calibrado para Benzeno

Substância Química	Resposta Relativa
Acetona	0.63
Amônia	0.03
Benzeno	1.00
Cloreto de Vinila	0.50
Fosfina	0.20
Hexano	0.22

Isobutileno	0.55
m-Xileno	1.12

Fonte: Apostila do curso " Air Monitoring For Hazardous Materials "

Para se obter a concentração real da substância em estudo utiliza-se a relação abaixo:

$$\text{Concentração Real} = \frac{\text{Leitura do Instrumento}}{\text{Resposta Relativa}}$$

10.5.4 - Limitações e considerações

Gases com potencial de ionização menor ou igual do que o da lâmpada utilizada serão ionizados. O potencial de ionização dos principais componentes do ar atmosférico (oxigênio, nitrogênio e gás carbônico) variam entre 12,0 eV a 15,6 eV, não sendo ionizados pelas lâmpadas disponíveis, pois não são de interesse durante o monitoramento de contaminantes gasosos. Sendo assim, a lâmpada com maior potencial de ionização normalmente utilizada é a de 11,7 eV.

As lâmpadas empregadas no fotoionizador utilizam fluoreto de magnésio e fluoreto de lítio. O fluoreto de magnésio é empregado nas lâmpadas de energia mais baixa e o fluoreto de lítio para lâmpadas de energia mais alta (11,7 eV). O fluoreto de lítio é utilizado para permitir a emissão de fótons com alta energia. Entretanto o fluoreto de lítio sofre interferência da umidade do ar, reduzindo assim a vida útil da lâmpada de 11,7 eV. Na prática a lâmpada de 11,7 eV tem em média um décimo da vida útil de uma lâmpada de 10,6 eV.

O gás metano pode agir como interferente, devido a absorção de energia de ultra violeta, sem sofrer ionização. Isso reduz a ionização de outras substâncias químicas, que eventualmente, estejam presentes no local da medição.

A umidade pode causar alguns problemas, ou seja, quando o instrumento ainda não estiver aquecido e for levado a uma atmosfera quente e úmida, essa umidade pode condensar-se na lâmpada, reduzindo assim a luz emitida. A umidade do ar também reduz a ionização das substâncias a serem monitoradas provocando uma redução na medição.

O fotoionizador não responde a determinados hidrocarbonetos de baixo peso molecular, tais como metano e etano e para certos gases e vapores tóxicos como tetracloreto de carbono e gás cianídrico que também não podem ser detectados por apresentarem alto potencial de ionização.

Alguns modelos de fotoionizador não são intrinsecamente seguros, portanto para serem utilizados em atmosferas potencialmente inflamáveis ou combustíveis faz-se necessário que o seu uso esteja associado a um indicador de gás combustível. Atualmente encontram-se disponíveis no mercado modelos intrinsecamente seguros.

Linhas de alta tensão, transformadores de força além de eletricidade estática podem interferir durante as medições.

A rádio frequência de rádios de comunicação pode interferir nas leituras obtidas no fotoionizador.

Com a utilização da lâmpada, a intensidade da luz diminuirá. Ela ainda terá a mesma energia de ionização, mas a resposta será mais lenta. Isto poderá ser detectado durante a calibração e ajustes do instrumento.

Alguns equipamentos possuem conexões para interface com um computador pessoal (PC). Apresenta também um registrador de dados para armazenar leituras em diversos pontos de amostragem de modo que as leituras possam ser transferidas para um computador.

10.5.5 - Calibração

Os fotoionizadores são calibrados para um produto químico específico. A resposta do instrumento para outras substâncias químicas poderá ser obtida a partir de informações fornecidas pelos fabricantes, através da utilização de tabelas e curvas de correção.

10.6 - MONITORES QUÍMICOS ESPECÍFICOS

10.6.1 - Aplicação

Além da indicação contínua e monitoramento pessoal, esta linha de instrumentos foi idealizada para controle e higiene do trabalho, bem como durante acidentes envolvendo a liberação de gases e vapores tóxicos.

Alguns modelos possuem uma interface e um "software" apropriado que dão acesso ao armazenamento de dados em longos períodos e apresentação gráfica dos resultados em computador.

Os monitores mais comuns são usados para detectar monóxido de carbono e gás sulfídrico, mas estão também disponíveis monitores para cianeto de hidrogênio, amônia e cloro.

Esses equipamentos são de alta precisão durante o monitoramento, graças a compensações controladas por microprocessador interno. São também dotados de alarme sonoro e visual, sendo alimentados por baterias. Os alarmes disparam sempre que a concentração do gás que estiver sob monitoramento na atmosfera, exceder o nível pré-estabelecido.

10.6.2 - Princípio de operação

As moléculas da amostra são adsorvidas em uma célula eletroquímica, contendo uma solução química e dois ou mais eletrodos. A substância em análise reage com a solução ou os eletrodos. A reação que ocorre no interior da célula pode gerar uma corrente elétrica ou uma mudança na condutividade da solução.

Essas alterações serão diretamente proporcionais à concentração do gás. A mudança no sinal é expressa através de um movimento na agulha ou uma resposta digital no medidor. A seletividade do sensor depende da escolha da solução química e dos eletrodos.

10.6.3 - Interpretação dos resultados

Esses equipamentos oferecem leituras diretas, a serem observadas em medidores digitais ou analógicos. Os resultados obtidos a partir do uso desses instrumentos apresentam leituras expressas em partes por milhão (ppm) ou porcentagem em volume (% em volume).

10.6.4 - Limitações e considerações

Assim como os sensores de oxigênio, esses sensores eletroquímicos se desgastam com o tempo, principalmente, quando expostos a alta umidade e temperaturas extremas. Atualmente esses monitores específicos estão limitados apenas a alguns gases. As células eletroquímicas sofrem algumas interferências. Por exemplo, os sensores de monóxido de carbono também respondem a gás sulfídrico.

10.6.5 - Calibração

Duas verificações devem ser feitas antes da utilização destes instrumentos, ou seja, a verificação do zero e a calibração do span (valor de referência).

É importante frisar que estas verificações devem ser feitas na mesma altitude em que será utilizado o instrumento. Se isto não for feito poderá ocorrer erro na leitura.

Vale lembrar também que os instrumentos devem ser calibrados com a utilização de kits de calibração fornecidos pelos fabricantes.

10.7 - MEDIDORES DE PH (PH-METROS)

10.7.1 - Aplicação

Para medir a acidez ou alcalinidade de uma solução, usamos uma escala denominada escala de pH. Essa escala possui valores compreendidos entre 0 e 14. Soluções ácidas apresentam valores menores do que 7, enquanto que as soluções alcalinas apresentam valores superiores a 7. O valor $\text{pH} = 7$, indica um meio neutro.

O caráter "ácido ou básico" é conferido a uma solução pela presença de íons H^+ ou OH^- .

As águas naturais em geral têm pH compreendido entre 4,0 e 9,0 e, na maioria das vezes, são ligeiramente alcalinas, devido à presença de carbonatos e bicarbonatos. Valores diferentes podem ser atribuídos à presença de despejos industriais ácidos ou alcalinos.

O pH pode ser determinado colorimetricamente ou eletrometricamente. O método colorimétrico requer menos equipamentos, porém é sujeito a muitas interferências prestando-se por isso apenas para estimativas grosseiras. O método eletrométrico é considerado padrão.

10.7.2 - Princípio de operação

O princípio básico da medida eletrométrica de pH é a determinação da atividade de íons de hidrogênio pela verificação potenciométrica utilizando-se um eletrodo padrão de hidrogênio e um eletrodo de referência.

A membrana do eletrodo de vidro separa dois líquidos de diferentes concentrações de íons H^+ ; desenvolve-se entre os lados da membrana um potencial proporcional à diferença de pH entre os dois líquidos, que é medido em relação a um potencial de referência (dado por um eletrodo de calomelano saturado). O eletrodo de vidro e o eletrodo de referência podem ser combinados num só eletrodo. A Figura 127 indica os componentes do eletrodo de vidro.

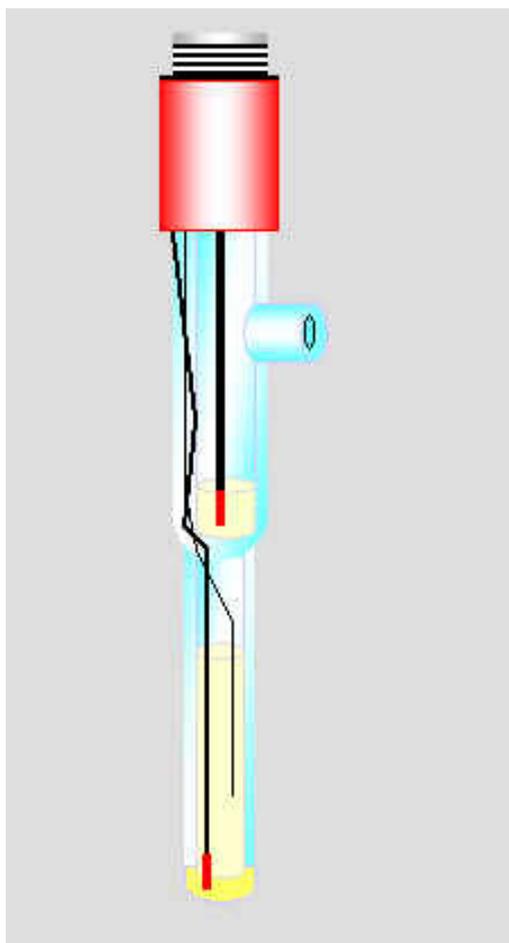


Figura 127 - Componentes do eletrodo de vidro

Uma fina camada de vidro especial, sensível aos íons H^+ , está na extremidade do tubo de vidro. O tubo é preenchido com uma solução de pH constante e é imerso um condutor na solução interna.

Se a atividade do íon hidrogênio for maior ou menor na solução processada do que dentro do eletrodo, uma d.d.p. (diferencial de potencial) maior ou menor existirá na extremidade do vidro.

10.7.3 - Interpretação dos resultados

Os resultados são expressos diretamente no aparelho, com uma ou duas casas decimais de forma analógica ou digital.

10.7.4 - Limitações e considerações

O método eletrométrico é praticamente isento de interferentes, tais como cor, turbidez, materiais coloidais, cloro livre, oxidantes, redutores ou alto conteúdo de gás. Óleos e graxas podem interferir, causando resposta lenta. A influência da temperatura da amostra no potencial do eletrodo é compensada no próprio aparelho. O "erro alcalino" que é o erro negativo de determinação de pH que aparece quando a concentração de íons H^+ é muito pequena em relação às concentrações dos outros cátions da amostra, principalmente do cátion sódio. Esses cátions se difundem através da membrana do eletrodo, dificultando a migração dos ânions. Resultando assim um acúmulo de um potencial mais elevado, indicando pH mais baixo. O erro alcalino também é conhecido como erro do sódio. Esse erro que ocorre em pH superiores a 10 pode ser corrigido, consultando tabela ou curva fornecida pelo fabricante para o dado tipo de eletrodo, ou pode ser um eletrodo chamado "de baixo erro alcalino".

10.7.5 - Calibração

A calibração do aparelho consiste basicamente em imergir os eletrodos em solução-tampão de pH 6,86 e colocar o compensador na temperatura do tampão (em geral a temperatura ambiente). Agitar ligeiramente o tampão, cessar a agitação, aguardar a estabilização e então colocar o ponteiro em pH 6,86, se for o caso. Remover os eletrodos da solução-tampão e descartar a porção utilizada.

Repetir essa operação com outra solução-tampão apropriada (pH 4,01), para que o pH da amostra a ser analisada seja intermediário entre o pH dos tampões.

Quando são feitas determinações de pH ocasionalmente, calibrar o aparelho antes de cada medida. Recomenda-se efetuar a calibração a cada duas horas, quando são feitas várias medidas continuamente.

Para o perfeito funcionamento dos medidores de pH portáteis, é fundamental que sejam observadas algumas recomendações:

- verificar sempre se há alguma trinca ou problema mecânico na parte inferior do tubo de vidro (eletrodo). Se for constatado, o eletrodo não terá mais recuperação, devendo-se efetuar a sua troca imediata;

- observar se há possíveis bolhas de ar na solução padrão de cloreto de potássio contido no interior do eletrodo, eliminando-as com a agitação em sentido vertical.

Para limpeza de depósitos de contaminantes formados nas membranas, mergulhar o eletrodo por 20 segundos em ácido clorídrico a 50% com água destilada e deixar em repouso por 24 horas em solução de 3,5 M (Molar) de cloreto de potássio.

Contaminação de óleos e graxas que se aderem a superfície do eletrodo serão removidas através do uso de solventes próprios fornecido pelo fabricante ou com acetona.

10.8 - CROMATOGRAFIA A GÁS

10.8.1 - Aplicação

Os Cromatógrafos a Gás Portáteis permitem uma análise qualitativa e quantitativa em determinadas situações no campo. Embora os resultados obtidos em campo possam não ser tão precisos como aqueles obtidos em análises de cromatografia a gás em laboratório, eles podem ser úteis para o processo de seleção de áreas contaminadas, reduzindo assim o número de amostras necessárias para uma análise a ser realizado em laboratório.

Alguns cromatógrafos portáteis podem ser programados para realizar amostragens periódicas e armazenar os cromatogramas e recuperá-los posteriormente. Algumas unidades mais recentes podem ser programadas para desenvolver amostragens periódicas da concentração de vapores orgânicos totais, e caso a concentração ultrapassar determinados limites (pré-fixados), o equipamento identifica o contaminante no modo cromatógrafo.

10.8.2 - Princípio de operação

A Cromatografia a Gás é uma técnica analítica, utilizada para promover a separação de substâncias voláteis de uma amostra (mistura), através de seu arraste por meio de um gás (fase móvel) sobre uma coluna cromatográfica (fase estacionária).

Após a separação dos componentes da mistura na coluna, e após a sua eluição estes são conduzidos para o detector onde são identificados e quantificados. O sinal transmitido pelo detector é enviado para um integrador, onde são processados os dados e obtido o resultado na forma de um cromatograma.

O método de separação cromatográfica em fase gasosa consiste no seguinte: a amostra é injetada num bloco de aquecimento, onde imediatamente se vaporiza e é arrastada pela corrente do gás de transporte para a coluna. O gás de arraste deve apresentar alto grau de pureza e não interferir na amostra. Os componentes da amostra são adsorvidos ao nível da cabeça da coluna, pela fase estacionária, e, depois, desorvidos por nova porção do gás de arraste. Este processo repete-se sucessivas vezes, à medida que a amostra vai sendo deslocada, pelo gás de arraste, para a saída da coluna, a uma velocidade própria, pelo que se forma, conseqüentemente, uma banda correspondente a cada uma dessas substâncias. Os componentes são eluídos um após outro, por ordem crescente dos respectivos coeficientes de partilha e penetram num detector.

Basicamente o cromatógrafo de gás é constituído por 5 elementos: (1) a fonte do gás de transporte, num cilindro a alta pressão, munido de reguladores da pressão, (2) os sistema de injeção da amostra, (3) a coluna de separação, (4) o detector, e o (5) registrador. (Figura 128)

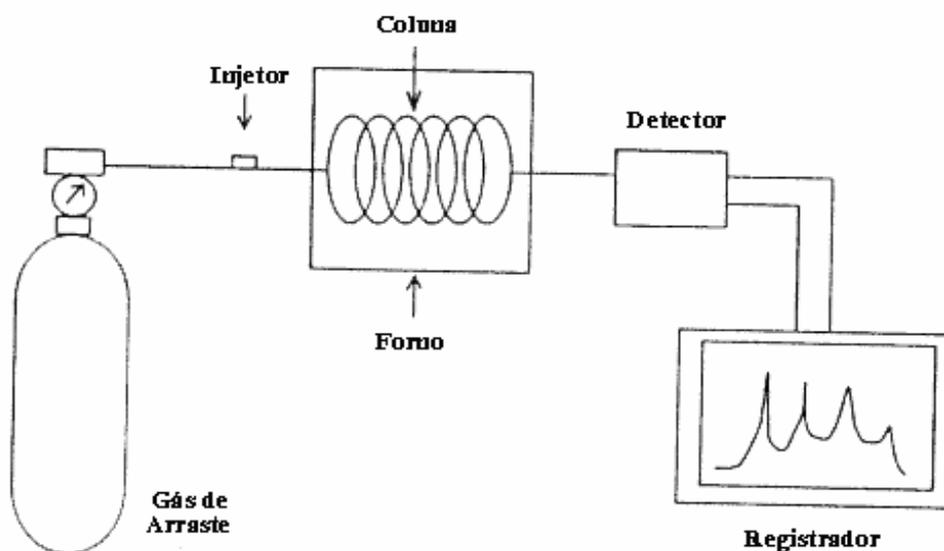


Figura 128 – Componentes de um Cromatógrafo a gás

1. Os gases (contidos em cilindros) são distribuídos ao sistema via " manifolds" , passam pelo filtro instalado na linha e em seguida entra no cromatógrafo a gás.
2. A amostra tem de ser introduzida sob a forma de vapor, no menor volume possível e no tempo mínimo, sem qualquer decomposição ou fracionamento e sem alteração das condições de equilíbrio da coluna. As amostras líquidas são, geralmente, injetadas com uma micro-seringa, através de um septo de borracha autovedável, para um bloco metálico que é aquecido por um resistor controlado. A amostra é então vaporizada e levada para a coluna pela corrente do gás de arraste.
3. Empregam-se, em geral, dois tipos básicos de colunas cromatográficas: colunas de enchimento (empacotadas) e colunas tubulares (capilares).

As colunas empacotadas são constituídas por tubos (aço inox, Cu, Ni ou vidro) de 1/8" a 1/4" de diâmetro interno e comprimento que variam de 1 a 5 metros. As colunas de vidro são usadas para análises de produtos farmacêuticos ou biológicos e as de aço para fins genéricos. As colunas são preenchidas por uma fase líquida, não volátil, para a cromatografia gás-líquido; no caso da

cromatografia gás-sólido, o material de enchimento é um adsorvente (sólido) como a sílica, alumina, carvão ativo, zeólitos sintéticos (Chromosorb), etc.

As colunas capilares são constituídas de tubos finíssimos de sílica fundida, com comprimento que varia de 10 a 100 metros e diâmetro interno variando de 0,05 e 0,32 mm (narrow bore) e 0,45 a 0,53 mm (wide bore). São revestidas internamente por uma camada rugosa (celite), impregnadas de uma fase líquida oleosa (orgânica) de alto ponto de ebulição.

As colunas capilares fornecem resultados com melhor resolução em comparação com as colunas empacotadas. Entretanto o volume de amostra utilizado em colunas capilares é menor do que quando se utilizam colunas empacotadas.

4. Localizado na saída da coluna separadora, o detector reage à chegada dos componentes separados, à medida que estes saem da coluna, fornecendo um sinal elétrico correspondente. A temperatura do compartimento do detector deve ser suficientemente elevada para evitar a condensação dos vapores da amostra, sem provocar a decomposição desta. Existem diversos tipos, para as diferentes análises e compostos pesquisados. Os principais detectores utilizados em cromatógrafos a Gás portátil estão abaixo relacionados:

- FID – Detector de Ionização de Chama. Constitui um dos tipos mais utilizados de detector, devido a sua alta sensibilidade, larga banda linear. Neste dispositivo, existe uma pequena chama de hidrogênio em presença de um excesso de ar e rodeada por um campo eletrostático. Os compostos orgânicos eluídos da coluna são submetidos à combustão, durante a qual se formam fragmentos iônicos e elétrons livres. Estes são

recolhidos e produzem uma corrente elétrica proporcional à velocidade com que os componentes da amostra penetram na chama. O FID responde muito bem aos compostos orgânicos (níveis de ppm). O FID não responde aos compostos inorgânicos, com exceção dos que sejam facilmente ionizáveis. A insensibilidade à água, gases permanentes, monóxido e dióxido de carbono constitui uma vantagem na análise de extratos aquosos e em estudos sobre poluição atmosférica.

- PID – Detector de Fotoionização. Os eluentes da coluna são fotoionizados por uma luz ultravioleta emitida pela lâmpada de UV (Ultravioleta) de 10,6 eV. A corrente é produzida pelos íons é medida pelo detector e é proporcional a concentração e resposta do material ionizado. É utilizado principalmente para análises de compostos orgânicos (Hidrocarbonetos aromáticos, insaturados, etc).
- ECD – Detector de Captura de Elétrons. É um detector seletivo, específico para análises de compostos eletrofílicos (compostos organoclorados, pesticidas e nitrocompostos). Uma fonte de Níquel-63 ioniza as moléculas do gás de arraste. As partículas Beta emitidas pelo isótopo ionizam o gás de arraste e os íons e elétrons resultantes migram para o anodo coletor por influência de uma voltagem polarizada pulsante aplicada entre a fonte e o coletor. A frequência de pulsação é controlada

para manter a corrente constante e é a geradora do sinal analítico. A aplicação mais importante do detector por captura de elétrons reside na determinação dos pesticidas clorados e compostos polinucleares.

5. Em geral, o cromatograma é traçado pelo registrador de tira de papel, ligado ao sinal de saída do sistema detector-amplificador. O sinal de saída do sistema detector-registrador tem de ser linear com a concentração. Esta condição define a banda utilizável do detector, e associada à sensibilidade, fornece os limites de concentração.

10.8.3 - Interpretação dos resultados

10.8.3.1 - Análise Qualitativa

Se a temperatura da coluna e a taxa de fluxo do gás de arraste forem constantes, os compostos serão eluídos da coluna num tempo característico (Tempo de Retenção). O tempo de retenção é característico do composto e o tipo de coluna utilizada. O tempo de retenção é a distância, sobre os eixos dos tempos, desde o ponto de injeção da amostra até ao pico de um componente eluído. (Figura 129).

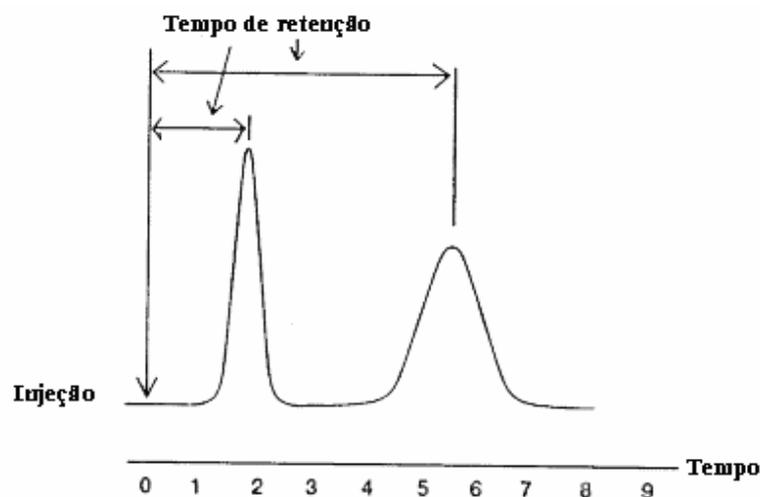


Figura 129 – Cromatograma ilustrando tempo de retenção

Análises qualitativas podem ser feitas por comparação com os tempos de retenção de compostos de uma amostra desconhecida com os tempos de retenção de compostos conhecidos sobre condições analíticas padrão idênticas.

O tempo de retenção depende basicamente de alguns fatores, tais como:

- O tipo de coluna utilizada. Diferentes substâncias de enchimento adsorventes e líquidos oleosos de revestimento, modificam o tempo de retenção.
- A temperatura da coluna. À medida que a temperatura da coluna aumenta, o tempo de retenção diminui.
- O comprimento da coluna. Aumenta o comprimento da coluna, aumenta-se o tempo de retenção.
- O escoamento do gás de arraste. Dobrando-se a taxa de escoamento do gás de arraste, reduz-se o tempo de retenção pela metade. (Figura 130).

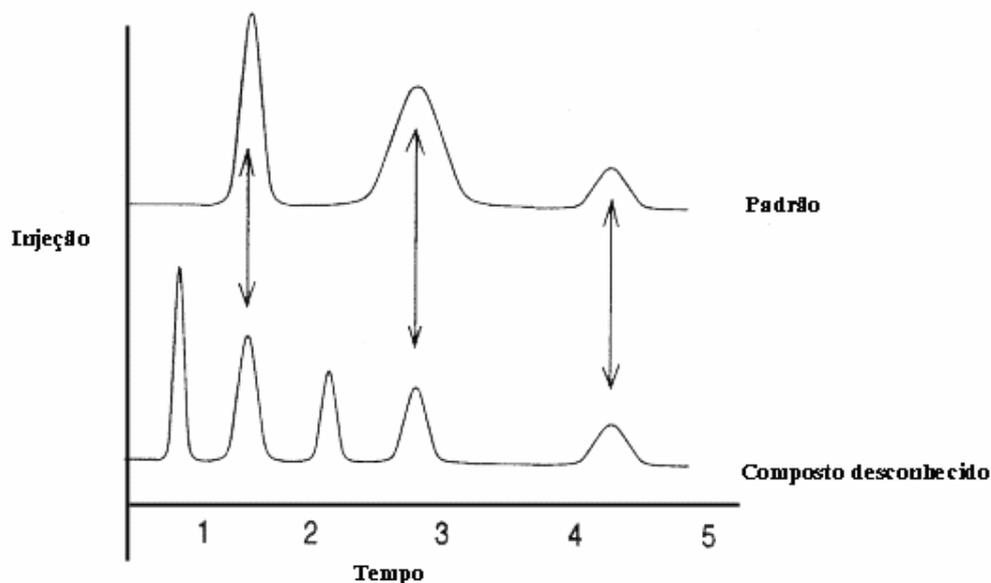


Figura 130 – Exemplo de um cromatograma e o uso do tempo de retenção para identificar compostos

10.8.3.2 - Análise Quantitativa

A área correspondente ao pico do cromatograma de um determinado composto é proporcional a concentração deste no detector. A análise quantitativa é feita pela comparação da área do pico do composto presente na amostra com a área equivalente ao

pico de uma substância padrão conhecida. A área do pico pode ser quantificada de diferentes maneiras.

- Triangulação. A triangulação (Figura 131) transforma o pico em um triângulo utilizando os lados do pico para formar o triângulo e linha base para formar a base do triângulo. A área do pico é calculada utilizando-se a fórmula $\text{Área} = \frac{1}{2} \text{Base} \times \text{Altura}$.

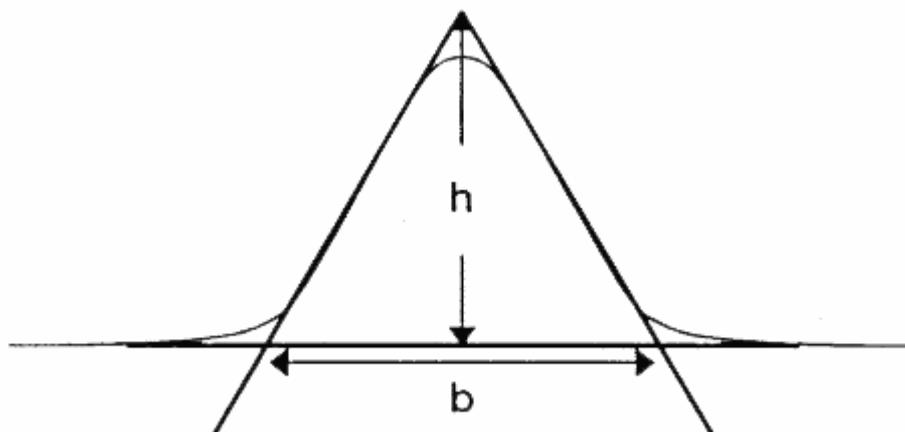


Figura 131 – Cálculo da área pela triangulação

- Integradores. Os integradores calculam a área do pico eletronicamente e registram a saída. Em função da facilidade de operação, os integradores são muito utilizados em cromatógrafos portáteis.

Quando um microprocessador é utilizado, os tempos de retenção dos compostos em uma amostra são comparados aos compostos utilizados como padrão e a leitura identifica os compostos na amostra. Se um composto é identificado, a área equivalente ao pico deste é comparado com a área do pico de um padrão e a concentração da amostra é fornecida. Portanto, a amostra é avaliada tanto qualitativamente como quantitativamente.

10.8.4 - Limitações e Considerações

Os Cromatógrafos a Gás Portáteis permitem uma análise qualitativa e quantitativa em determinadas situações no campo. Embora os resultados obtidos em campo possam não ser tão precisos como aqueles obtidos em análises de cromatografia a gás em laboratório, eles podem ser úteis para o processo de seleção de áreas contaminadas, reduzindo assim o número de amostras necessárias para uma análise a ser realizado em laboratório.

Alguns cromatógrafos portáteis podem ser programados para realizar amostragens periódicas e armazenar os cromatogramas e recuperá-los posteriormente. Algumas unidades mais recentes podem ser programadas para desenvolver amostragens periódicas da concentração de vapores orgânicos totais, e caso a concentração ultrapassar determinados limites (pré fixados), o equipamento identifica o contaminante no modo cromatógrafo.

Amostras de solo e água podem ser analisadas por meio de uma amostragem utilizando a técnica "Headspace". O Headspace é um equipamento apropriado para a determinação de compostos voláteis em amostras líquidas ou sólidas, que em geral não teria condições analíticas. Uma porção da amostra é colocada num frasco e em seguida recrava-se a tampa. O frasco é aquecido (normalmente 80° num período de 30 min), por um determinado período. Em seguida ocorre a partição das moléculas, ou seja, parte dessas atingem a parte superior do frasco. O próprio frasco é adaptado diretamente no

cromatógrafo, e o gás de arraste penetra no frasco para o transporte da massa gasosa da amostra, ocorrendo normalmente a cromatografia.

A sensibilidade obtida nos cromatógrafos portáteis dependerá dos compostos a serem determinados, do método de amostragem e do detector escolhido para a análise.

10.9 - MEDIDOR DE INTERFACE

10.9.1 - Aplicação

Os medidores de interface são empregados para determinação do nível d'água ou de lâmina de produto imiscível em fase livre, menos/mais denso do que a água.

O medidor de interface possui amplo emprego em área ambiental, em estudos hidrogeológicos em especial na determinação de poluentes orgânicos em poços de monitoramento, poços freáticos, caixas de rebaixamento de lençol freático de prédios multifamiliares, etc.

10.9.2 - Princípio de operação

Os equipamentos destinados a medição do nível d'água e da espessura de hidrocarbonetos são normalmente montados em carretel plástico e suporte metálico. No carretel encontra-se uma fita de polietileno de alta densidade milimetrada, marcada a cada meio centímetro. A fita possui dois condutores de aço inox.

Na determinação do nível de líquidos o medidor de interface utiliza um emissor e um coletor de infravermelho. Quando a sonda entra em contato com um líquido o infravermelho é desviado do coletor o que faz ativar os sinais sonoro e luminoso. Caso a amostra em análise seja produto com baixa condutividade (produto) o sinal é contínuo. Caso o líquido seja a água, a condutividade fecha o circuito que nesse caso se sobrepõe ao circuito infravermelho e o sinal é intermitente.

A Figura 132 ilustra o equipamento medidor eletrônico de interface, marca HS Hidrosuprimentos. Modelo HSIF-30.

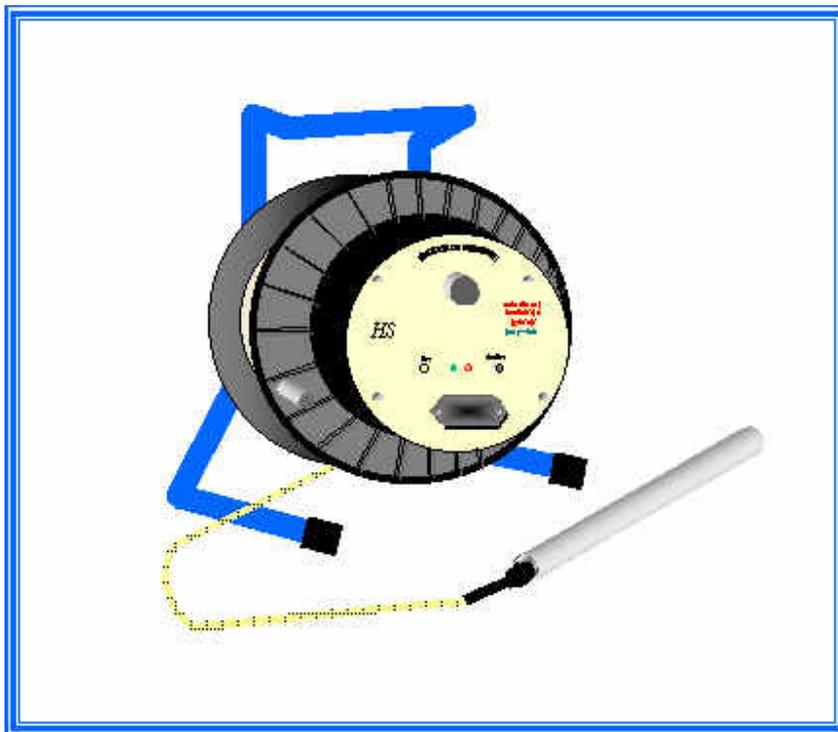


Figura 132 – Ilustração do medidor interface HSIF-30 da HS Hidrosuprimentos

10.9.3 - Interpretação de resultados

Na determinação de medidas de fase livre, procede-se da seguinte maneira:

Se não há produto em fase sobrenadante, um som intermitente indicará a presença de água.

Para medir a espessura de um produto em fase livre, desça lentamente a sonda dentro do local a ser monitorado até que os sinais sejam ativados. Se houver produto em fase livre sobrenadante, o sinal será contínuo, indicando uma interface ar/produto. Nesse caso faça a anotação da leitura da fita (profundidade do cabo). Continue descendo a sonda dentro do local de monitoramento e quando o sinal mudar para intermitente faça a leitura da profundidade da interface produto/água.

A espessura da fase livre é obtida subtraindo-se a segunda leitura da primeira.

Para determinar a presença ou não de fase livre densa a sonda do medidor interface deve ser descida até o fundo do local a ser monitorado. Se o sinal mudar de intermitente para contínuo durante a descida é indicação da presença de produto. Faça a leitura da profundidade no cabo e continue descendo a sonda até atingir o fundo do poço, a espessura da fase livre densa é obtida subtraindo-se a segunda leitura da primeira.

10.9.4 - Limitações e considerações

Uma vez que as medições realizadas envolvem produtos inflamáveis como gasolina, diesel e outros solventes é conveniente por questões de segurança aterrar o equipamento antes de seu uso.

A utilização do interface deverá ser feita sempre com aterramento, ou seja, a presilha ligada a um cabo espiralado deverá ser fixado preferencialmente em ponto metálico ligado ao solo, para que ocorra a transferência de elétrons, equalizando assim uma eventual diferença de potencial.

O equipamento de marca HS –Hidrosuprimentos, modelo HSIF-30 apresenta uma precisão de 2 milímetros de espessura.

O equipamento deve ser mantido sempre limpo e protegido. O prisma óptico da sonda deve ser limpo após cada leitura bem como a parte do cabo que for submersa. Não devem ser utilizados solventes para limpeza, apenas água limpa, sabão neutro e uma escova macia.

10.10 - Considerações finais

A concentração de gases e vapores no ar, bem como a presença de contaminantes em corpos hídricos ou no solo, podem afetar significativamente a composição desses meios. A leitura direta através de instrumentos, realizadas em campo, podem fornecer na maioria dos casos, resultados que estarão identificando e quantificando substâncias químicas que serão objeto para:

- Avaliar os riscos à saúde pública e as equipes de atendimento;
- Escolher o equipamento de proteção pessoal adequado;
- Delinear áreas de proteção;
- Determinar os efeitos potenciais ao meio ambiente;
- Escolher ações para combater os riscos com segurança e eficácia.

Os instrumentos de leitura direta foram inicialmente desenvolvidos para serem dispositivos de alarmes em instalações industriais onde houvesse vazamentos ou quando em casos de acidentes pudessem liberar uma alta concentração de uma substância química conhecida. Atualmente esses instrumentos podem detectar baixas concentrações de algumas classes específicas de produtos químicos, fornecendo informações no momento da amostragem, permitindo assim uma tomada rápida de decisão para as ações subseqüentes ao acidente.

Entretanto cabe ressaltar que as análises realizadas em laboratório fornecem resultados mais precisos do que aqueles realizados no campo. Quando se realiza análise em laboratório, faz-se necessário a coleta e preservação adequada, evitando assim qualquer alteração nas características originais da amostra, gerando, portanto um custo adicional. Devido ao grande número de substâncias químicas sempre presentes nas mais diversas situações envolvendo acidentes ambientais, é comum haver a necessidade de se coletar uma substância química desconhecida para analisá-la em laboratório, em função das

limitações relativas aos equipamentos de monitoramento ou da impossibilidade de se identificar exatamente o produto envolvido.

Na escolha dos equipamentos de monitoramento alguns pontos devem ser considerados, dentre os quais:

- Resistência do material;
- Facilidade na operação;
- Serem portáteis;
- Intrinsecamente seguros;
- Capacidade de fornecer resultados confiáveis.

Assim como os equipamentos de monitoramento de leitura direta existem no mercado testes semiquantitativos de análise rápida, utilizados para aplicações de monitoramento ambiental, em corpos hídricos, com destaque a parâmetros físicos e químicos (cloro, cianeto, amônia, etc.), metais pesados e espécies orgânicas. A grande vantagem desses testes rápidos, é a simplicidade em sua execução, não requerendo treinamento específico para o seu uso assim como elimina a coleta e envio de amostra para laboratório. Entretanto as condições da amostra, ou seja, a presença de cor e turbidez interferem consideravelmente na análise, uma vez que estes testes baseiam-se no desenvolvimento de uma coloração quando se adiciona um reagente específico a uma porção da amostra.

É importante destacar que, durante o atendimento a acidentes ambientais com produtos perigosos, faz-se necessário o monitoramento constante, a fim de se avaliar os possíveis danos ao meio ambiente como também fornecer a concentração dos contaminantes presentes permitindo assim que as equipes de atendimento possam desempenhar suas atividades com segurança.

II – INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM ATMOSFERAS EXPLOSIVAS

1 - CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS

1.1 – INTRODUÇÃO

Após a II Guerra Mundial, o uso de derivados de petróleo estimulou o aparecimento de plantas para extração, transformação e refino de substâncias químicas necessárias para o desenvolvimento tecnológico e industrial.

Nos processos industriais, surgiram áreas consideradas de risco, devido à presença de substâncias potencialmente explosivas, que confinavam a instrumentação à técnica pneumática, pois os instrumentos eletrônicos baseados na época em válvulas elétricas e grandes resistores de potência, propiciavam o risco de incêndio devido à possibilidade de faíscas elétricas e temperaturas elevada destes componentes.

Somente com o advento dos semicondutores (transistores e circuitos integrados), pode-se reduzir as potências dissipadas e tensões nos circuitos eletrônicos e viabilizar-se a aplicação de técnicas de limitação de energia, que simplificadaamente podem ser implantadas nos equipamentos de instrumentação, dando origem assim à Segurança Intrínseca.

O objetivo deste capítulo é explicar os princípios da técnica de proteção, baseada no controle de energia, presentes nos equipamentos com Segurança Intrínseca. Faremos um breve resumo da classificação de áreas de risco segundo Normas Técnicas Européias e Americanas, além dos princípios das diversas formas de proteção para equipamentos elétricos. Ressaltamos que a identificação e a classificação das áreas de risco dentro das

instalações são normalmente executadas por profissionais altamente especializados nas áreas.

1.2 – DEFINIÇÕES

A seguir estão alguns termos utilizados na identificação e classificação das áreas de risco, potencialmente explosivas:

1.2.1 - Atmosfera Explosiva

Em processos industriais, especialmente em petroquímicas e indústrias químicas, onde se manipulam substâncias inflamáveis, podem ocorrer em determinadas áreas a mistura de gases, vapores ou poeiras inflamáveis com o ar que, em proporções adequadas, formam a atmosfera potencialmente explosiva.

1.2.2 - Área Classificada

Pode-se entender como um local aberto ou fechado, onde existe a possibilidade de formação de uma atmosfera explosiva, podendo ser dividido em zonas de diferentes riscos, sem que haja nenhuma barreira física.

1.2.3 - Explosão

Do ponto de vista da química, a oxidação, a combustão e a explosão são reações exotérmicas de diferentes velocidades de reação, sendo iniciadas por uma detonação ou ignição.

1.2.4 - Ignição

É a chamada ocasionada por uma onda de choque, que tem sua origem em uma faísca ou arco elétrico ou por efeito térmico.

1.3 - CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO AS NORMAS EUROPÉIAS (IEC)

A idéia de classificação das áreas de risco visa agrupar as diversas áreas que possuem graus de riscos semelhantes, tornando possível utilizar equipamentos elétricos projetados especialmente para cada área.

A classificação baseia-se no grau de periculosidade da substância combustível manipulada e na frequência de formação da atmosfera potencialmente explosiva.

Visando a padronização dos procedimentos de classificação das áreas de risco, cada País adota as recomendações de Normas Técnicas. No Brasil a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) utiliza a coletânea de Normas Técnicas da IEC (International Electrical Commicion), que trata da classificação das áreas no volume IEC-79-10.

1.3.1 - Classificação em Zonas

A classificação em ZONAS baseia-se na frequência e duração com que ocorre a atmosfera explosiva.

Tabela 11 – Classificação IEC em Zonas

CLASSIFICAÇÃO EM ZONAS	DESCRIÇÃO
ZONA 0	Área onde a atmosfera explosiva, formada por gases combustíveis, ocorre permanentemente ou por longos períodos.
ZONA 1	Área onde a atmosfera explosiva, formada por gases combustíveis, provavelmente ocorra em operação normal dos equipamentos.
ZONA 2	Área onde não é provável o aparecimento da atmosfera explosiva, formada por gases combustíveis, em condições normais de operação, e se ocorrer é por curto período de tempo.
ZONA 10	Área onde a atmosfera explosiva, formada por poeiras combustíveis, ocorre permanentemente ou por longos períodos.
ZONA 11	Área onde não é provável o aparecimento da atmosfera explosiva, formada por poeiras combustíveis, em condições normais de operação, e se ocorrer é por curto período de tempo.

ZONA G	Área onde a atmosfera explosiva, formada por substâncias analgésicas ou anticépticas em centros cirúrgicos, ocorre permanentemente ou por longos períodos.
ZONA M	Área onde não é provável o aparecimento da atmosfera explosiva, formada por substâncias analgésicas ou anticépticas e centros cirúrgicos, em condições normais de operação, e se ocorre é por curto período de tempo.

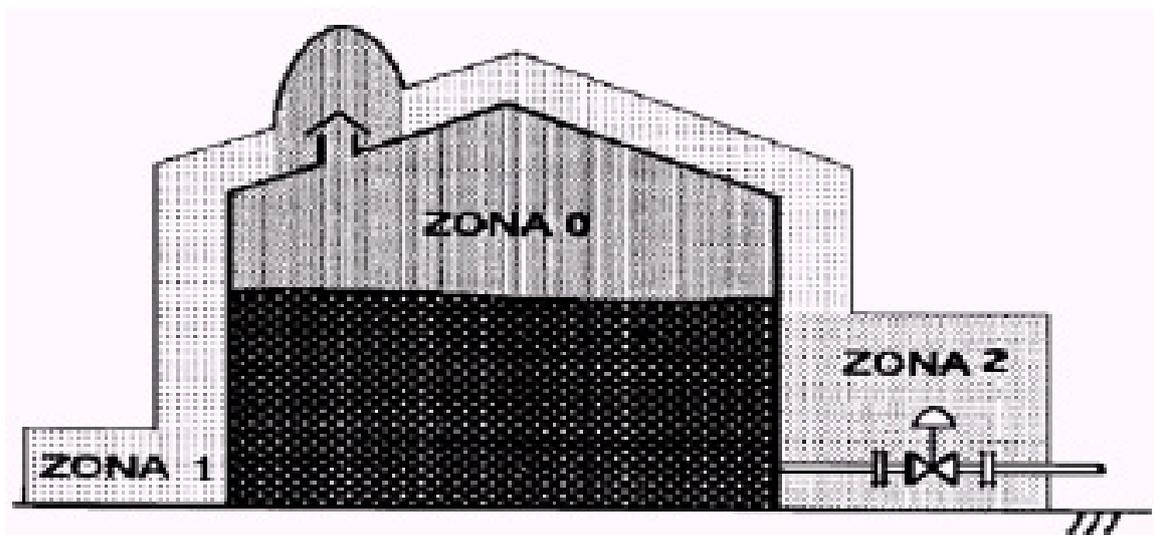


Figura 133 – Exemplo de Classificação por Zonas

1.3.2- Classificação em Grupos

Na classificação em GRUPOS os diversos materiais são agrupados pelo grau de periculosidade que proporcionam, conforme ilustra a tabela 12 a seguir:

Tabela 12 – Classificação IEC em Grupos

GRUPOS	DESCRIÇÃO
GRUPO I	Ocorre em minas onde prevalece os gases da família do metano.
GRUPO II	Ocorre em indústrias de superfície (químicas, petroquímicas, farmacêuticas, etc), subdividindo-se em IIA, IIB e IIC.

GRUPO IIA	Ocorre em atmosferas explosivas, onde prevalece os gases da família do propeno.
GRUPO IIB	Ocorre em atmosferas explosivas, onde prevalece os gases da família do etileno.
GRUPO IIC	Ocorre em atmosferas explosivas, onde prevalece os gases da família do hidrogênio (incluindo-se o acetileno).

Os gases representativos são utilizados para ensaios de equipamentos em laboratório, pois são mais perigosos que as outras substâncias que representam.

1.4- CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO AS NORMAS AMERICANAS (NEC)

A classificação de áreas de risco nos EUA é diferente da usada na Europa, pois seguem as normas técnicas americanas National Fire Protection Association NFPA 70 Artigo 500 do Nacional Electrical Code.

1.4.1- Classificação em Divisão

A classificação em **divisão** baseia-se na frequência de formação da atmosfera.

Tabela 13 – Classificação NEC em Divisão

DIVISÃO	DESCRIÇÃO
DIVISÃO 1	Área onde a atmosfera explosiva, ocorre durante a operação normal dos equipamentos.
DIVISÃO 2	Área onde a atmosfera explosiva, somente ocorre em condições anormais de operação dos equipamentos.

1.4.2- Classificação em Classes

A classificação das atmosferas explosivas em **classes** determina o agrupamento dos materiais dependendo da natureza das substâncias.

Tabela 14 – Classificação NEC em Classes

CLASSES	DESCRIÇÃO
CLASSE I	Mistura de gases ou vapores inflamáveis com o ar
CLASSE II	Mistura de poeiras combustíveis com o ar
CLASSE III	Fibras combustíveis em suspensão no ar

1.4.3- Classificação em Grupos

As classes I e II podem ser subdivididas em grupos:

Tabela 15 – Classificação NEC em Grupos

CLASSE	GRUPOS	DESCRIÇÃO
CLASSE I	GRUPO A	Atmosfera de gases da família o Acetileno.
	GRUPO B	Atmosfera de gases da família do Hidrogênio.
	GRUPO C	Atmosfera de gases da família do Etileno.
	GRUPO D	Atmosfera de gases da família do Propano.
CLASSE II	GRUPO E	Atmosfera de Poeiras Metálicas (Ex: Alumínio, Magnésio, etc).
	GRUPO F	Atmosfera de Poeira de Carvão.
	GRUPO G	Atmosfera de Poeira de Grãos (Ex: trigo, farinhas, soja, etc).
CLASSE III	---	Atmosfera de Fibras Combustíveis (Ex: fibra de tecido, lã de vidro).

1.5- COMPARAÇÃO ENTRE AS NORMAS EUROPÉIA E AMERICANA

1.5.1- Quanto aos Materiais

A tabela abaixo ilustra comparativamente a classificação dos elementos representativos de cada família segundo as normas IEC e NEC. Apresentamos ainda a mínima energia necessária para provocar a detonação de uma atmosfera explosiva formada por estas substâncias.

Tabela 16 – Comparação IEC / NEC – Substâncias

MATERIAL	IEC/Europa	NEC/Americana	ENERGIA DE IGNIÇÃO
Metano	GRUPO I	Não Classificado -	
Acetileno	GRUPO IIC	CLASSE I – GRUPO A	
Hidrogênio		CLASSE I – GRUPO B	> 20 μ Joules
Etileno	GRUPO IIB	CLASSE I – GRUPO C	> 60 μ Joules
Propano	GRUPO IIA	CLASSE I – GRUPO D	> 180 μ Joules
Poeiras Metálicas		CLASSE II – GRUPO E	
Poeiras de Carvão		CLASSE II – GRUPO F	
Poeiras de Grãos		CLASSE II – GRUPO G	
Fibras Combustíveis		CLASSE III	

* Nota: Para verificação da equivalência deve-se recorrer as listagens de gases por família segundo as duas normas.

1.5.2- Quanto a Periodicidade

Pode-se notar, na tabela a seguir, que a Zona 2 é praticamente igual a Divisão 2, e que a Divisão 1, corresponde a Zona 1 e 0, ou seja um instrumento projetado para a Zona 1 não pode ser aplicado na Divisão 1.

Já um instrumento projetado para a Zona 0, não possui e nem armazena energia suficiente para causar a ignição de qualquer mistura explosiva.

Tabela 17 – Comparação IEC / NEC – Periodicidade

FREQUÊNCIA	ATMOSFERA CONTÍNUA	ATMOSFERA INTERMITENTE	CONDIÇÕES NORMAIS
IEC / Europa	Zona 0	Zona 1	Zona 2
NEC / Americana	Divisão 1		Divisão 2

1.6- TEMPERATURA DE IGNIÇÃO ESPONTÂNEA

A temperatura de ignição de um gás, é a temperatura em que a mistura alto detona-se, sem que seja necessário adicionar energia.

Este parâmetro é muito importante, pois limita a máxima temperatura de superfície que pode ser desenvolvida por um equipamento que deve ser instalado em uma atmosfera potencialmente explosiva.

1.6.1- Temperatura de Superfície

Todo equipamento para instalação em áreas classificadas, independe do tipo de proteção, deve ser projetado e certificado por uma determinada categoria de temperatura de superfície, analisando-se sob condições normais ou não de operação, e não deve ser menor que a temperatura de ignição espontânea do gás.

É importante notar que não existe correlação entre a energia de ignição do gás (grau de periculosidade) e a temperatura de ignição espontânea, exemplo dito é o Hidrogênio que necessita de 20 μ Joule ou 560°C, enquanto o Acetaldeido requer mais de 180 μ Joule mas detona-se espontaneamente com 140°C.

É evidente que um equipamento classificado para uma determinada Categoria de Temperatura de Superfície, pode ser usado na presença de qualquer gás (de qualquer Grupo ou Classe) desde que tenha a temperatura de ignição espontânea maior que a categoria do instrumento.

Tabela 18 – Categorias de Temperatura de Superfície

<i>TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE</i>	<i>Categoria IEC/ Europa</i>	<i>Categoria NEC/ Americana</i>
85° C	T6	T6
100°C	T5	T5
120°C		T4A
135°C	T4	T4
160°C		T3C
165°C		T3B
180°C		T3A
200°C	T3	T3
215°C		T2D
230°C		T2C
260°C		T2B
280°C		T2A
300°C	T2	T2
450°C	T1	T1

2 - TIPOS DE PROTEÇÃO PARA EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

2.1- POSSIBILIDADE DE EXPLOSÃO

O risco de ignição de uma atmosfera existe se ocorrer simultaneamente:

- A presença de um material inflamável, em condições de operação normal ou anormal.
- O material inflamável encontra-se em um estado tal e em quantidade suficiente para formar uma atmosfera explosiva.
- Existe uma fonte de ignição com energia elétrica ou térmica suficiente para causar a ignição da atmosfera explosiva.
- Existe a possibilidade da atmosfera alcançar a fonte de ignição.



Figura 134 – Triângulo de Ignição

2.1.1- Métodos de Prevenção

Existem vários métodos de prevenção, que permitem a instalação de equipamentos elétricos geradores de faíscas elétricas e temperaturas de superfícies capazes de detonar a atmosfera potencialmente explosiva.

Estes métodos de proteção baseiam-se em um dos princípios:

Confinamento: este método evita a detonação da atmosfera, confinando a explosão em um compartimento capaz de resistir a pressão desenvolvida durante uma possível explosão, não permitindo a propagação para as áreas vizinhas. (exemplo: equipamentos à prova de explosão).

Segregação: é a técnica que visa separar fisicamente a atmosfera potencialmente explosiva da fonte de ignição. (exemplo: equipamentos pressurizados, imersos e encapsulados).

Supressão: neste método controla-se a fonte de ignição de forma a não possuir energia elétrica e térmica suficiente para detonar a atmosfera explosiva. (exemplo: equipamentos intrinsecamente seguros).

2.2- À PROVA DE EXPLOSÃO (Ex d)

Este método de proteção baseia-se totalmente no conceito de confinamento. A fonte de ignição pode permanecer em contato com a atmosfera explosiva, conseqüentemente pode ocorrer uma explosão interna ao equipamento.

Um invólucro à prova de explosão deve suportar a pressão interna desenvolvida durante a explosão, impedindo a propagação das chamas, gases quentes ou temperaturas de superfície.

Desta forma o invólucro à prova de explosão deve ser construído com um material muito resistente, normalmente alumínio ou ferro fundido, e deve possuir um interstício estreito e longo para que os gases quentes desenvolvidos durante uma possível explosão, possam ser resfriados, garantindo a integridade da atmosfera ao redor (Figura 135).

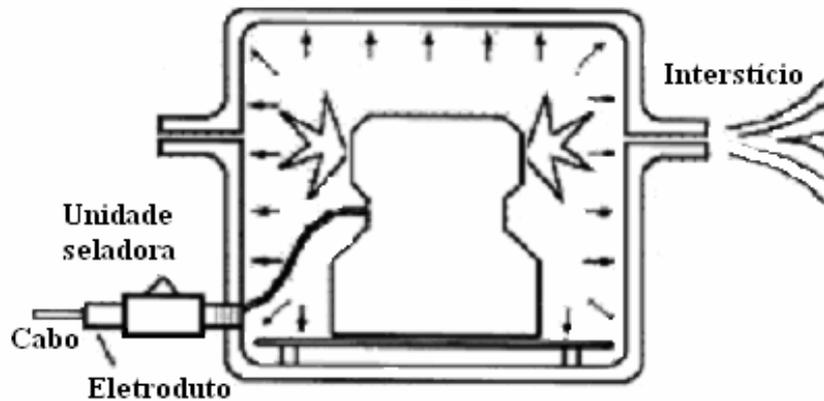


Figura 135 – Diagrama esquemático de um invólucro à prova de explosão

Os cabos elétricos que entram e saem do invólucro devem ser conduzidos por eletrodutos metálicos, pois também são considerados como uma fonte de ignição. Para evitar a propagação de uma explosão interna, através das entradas e saídas de cabo do invólucro, devem ser instaladas Unidades Seladoras, que consistem de um tubo roscado

para união do eletroduto com o invólucro, sendo preenchida com uma massa especial que impede a propagação das chamas através dos cabos.

2.2.1- Características

Os invólucros À Prova de Explosão não são permitidos, em zonas de alto risco (Zona 0), pois a integridade do grau de proteção depende de uma correta instalação e manutenção (Figura 136). Abaixo indicamos alguns desses problemas:

- A segurança do invólucro à prova de explosão depende da integridade mecânica, tornando necessário uma inspeção de controle periódica.
- Não é possível ajustar ou substituir componentes com o equipamento energizado, dificultando os processos de manutenção.

- Normalmente também se encontram dificuldades de se remover a tampa frontal, pois necessita da ferramenta especial para retirar e colocar vários parafusos, sem contar o risco na integridade da junta (interstício).
- A umidade atmosférica e a condensação podem causar corrosões nos invólucros e seus eletrodutos, obrigando em casos especiais a construção do invólucro e metais nobres como o aço inoxidável, bronze, etc; tornando ainda mais caro os invólucros devido ao seu peso.

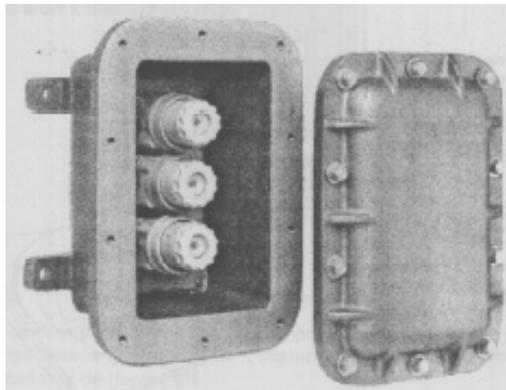


Figura 136 – Invólucro à Prova de Explosão

2.2.2- Aplicações

Este tipo de proteção é indispensável nas instalações elétricas em atmosferas explosivas, principalmente nos equipamentos de potência, tais como: painéis de controle de motores, luminárias, chaves de comando, etc. (Figuras 137 a 140).

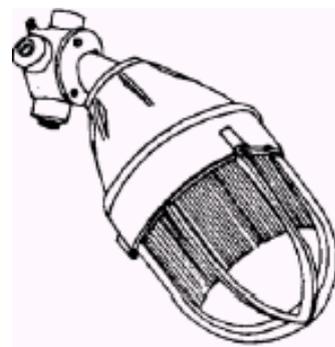
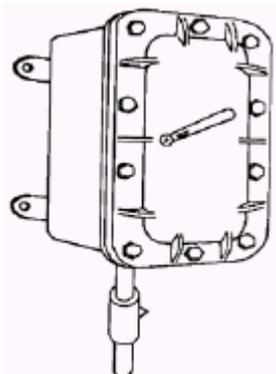


Figura 137 – Invólucro à prova de explosão

com eletroduto e unidade seladora

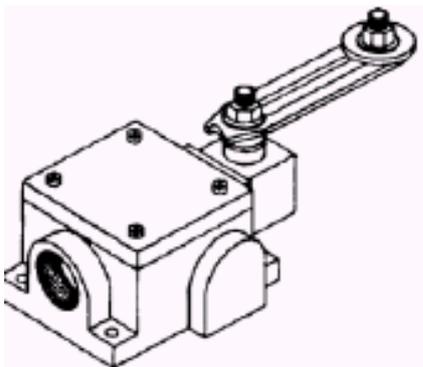


Figura 139 – Micro switch à prova de explosão

Figura 138 – Luminária à prova de explosão

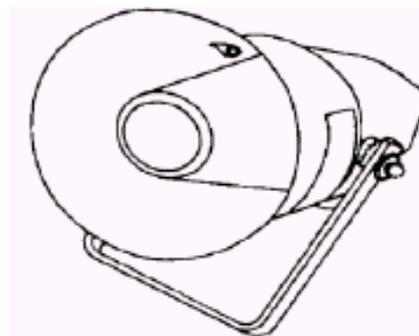


Figura 140 – Sirene Elétrica à prova de explosão

2.3- PRESSURIZADO (Ex p)

A técnica de pressurização é baseada nos conceitos de segregação, onde o equipamento é construído de forma a não permitir que a atmosfera potencialmente explosiva penetre no equipamento que contém elementos faiscantes ou de superfícies quentes, que poderiam detonar a atmosfera.

A atmosfera explosiva é impedida de penetrar no invólucro devido ao gás de proteção (ar ou gás inerte) que é mantido com uma pressão levemente maior que a da atmosfera externa.

A sobre-pressão interna (Figura 141) pode ser mantida com ou sem fluxo contínuo, e não requer nenhuma característica adicional de resistência do invólucro, mas recomenda-se a utilização de dispositivos de alarme que detectam alguma anormalidade da pressão interna do invólucro e desenergizam os equipamentos imediatamente após detectada a falha.

Esta técnica pode ser aplicada a painéis elétricos de modo geral e principalmente como uma solução para salas de controle, que podem ser montadas próximas às áreas de risco.

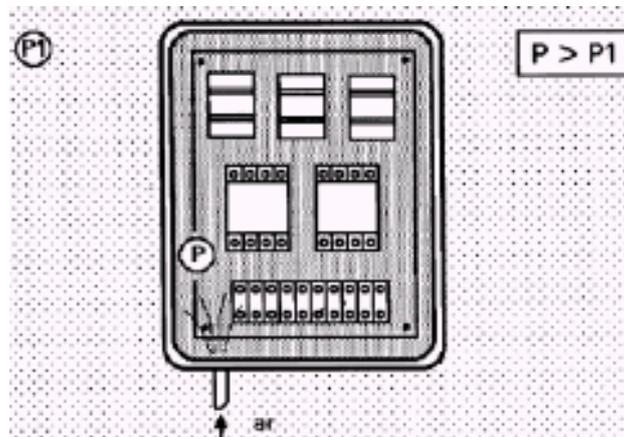


Figura 141 – Esquema de Equipamento Pressurizado

O processo de diluição contínua deve ser empregado, quando a sala pressurizada possuir equipamentos que produzam a mistura explosiva, tais como: salas cirúrgicas, analisadores de gases, etc.

Desta forma o gás inerte deve ser mantido em quantidade tal que a concentração da mistura nunca alcance 25% do limite inferior da explosividade do gás gerado. O sistema de alarme neste caso deve ser baseado na quantidade relativa do gás de proteção na atmosfera, atuando também na desenergização da alimentação.

2.4- ENCAPSULADO (Ex m)

Este tipo de proteção, também é baseado no princípio da segregação, prevendo que os componentes elétricos dos equipamentos sejam envolvidos por uma resina, de tal forma que a atmosfera explosiva externa não seja inflamada durante a operação.

Normalmente esse tipo de proteção é complementar em outros métodos, e visa evitar o curto circuito acidental.

Este método pode ser aplicado a relés, botoeiras com cúpula do contato encapsulado, sensores de proximidade e obrigatoriamente nas barreiras zener.

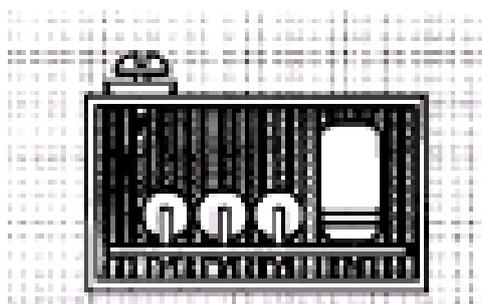


Figura 142 – Circuito Eletrônico Encapsulado

2.5- IMERSO EM ÓLEO (Ex o)

Também neste tipo de proteção, o princípio baseia-se na segregação, evitando que a atmosfera potencialmente explosiva atinja as partes do equipamento elétrico que possam provocar a detonação.

A segregação é obtida emergindo as partes “vivas” (que podem provocar faíscas ou as superfícies quentes) em um invólucro com óleo. Normalmente é utilizado em grandes transformadores, disjuntores e similares com peças móveis, aconselhados para equipamentos que não requerem manutenção freqüente (Figura 143).



Figura 143 – Transformador Imerso em Óleo

2.6- ENCHIMENTO DE AREIA (Ex q)

Similar ao anterior, sendo que a segregação é obtida com o preenchimento do invólucro com pó, normalmente pó de quartzo ou areia, evitando desta forma inflamar da chama, quer pela temperatura excessiva das paredes do invólucro ou da superfície. Encontrado como forma de proteção para leito de cabos no piso (Figura 144).

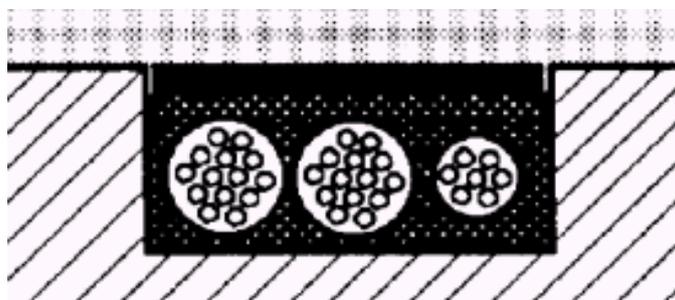


Figura 144 – Leito de cabos imersos em areia

2.7- SEGURANÇA INTRÍNSECA (Ex i)

A Segurança Intrínseca é o método representativo do conceito de supressão da ignição, através da limitação da energia elétrica.

O princípio de funcionamento baseia-se em manipular e estocar baixa energia elétrica, que deve ser incapaz de provocar a detonação da atmosfera explosiva quer por efeito térmico ou por faíscas elétricas.

Em geral pode ser aplicado a vários equipamentos e sistemas de instrumentação, pois a energia elétrica só pode ser controlada a baixos níveis em instrumentos, tais como: transmissores eletrônicos de corrente, conversores eletropneumáticos, chaves-fim-de-curso, sinaleiros luminosos, etc.

2.8- SEGURANÇA AUMENTADA (Ex e)

Este método de proteção nos conceitos de supressão da fonte de ignição, aplicável que em condições normais de operação, não produza arcos, faíscas ou superfícies quentes que podem causar a ignição da atmosfera explosiva para a qual ele foi projetado. São tomadas ainda medidas adicionais durante a construção, com elevados fatores de segurança, visando a proteção sob condições de sobrecargas previsíveis.

Esta técnica pode ser aplicada a motores de indução, luminárias, solenóides, botões de comando, terminais e blocos de conexão e principalmente em conjunto com outros tipos de proteção.

As normas técnicas prevêm grande flexibilidade para os equipamentos de Segurança Aumentada, pois permitem sua instalação em Zonas 1 e 2, onde todos os cabos podem ser conectados aos equipamentos através de pensa-cabos, não necessitando mais dos eletrodutos metálicos e suas unidades seladoras (Figuras 145 e 146).

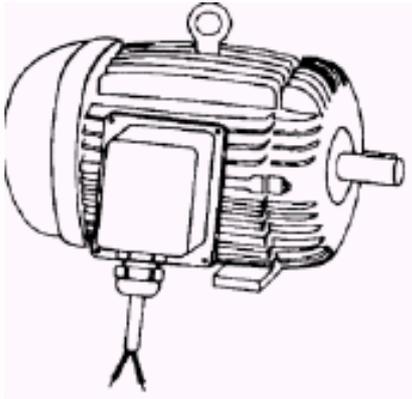


Figura 145 – Motor de segurança aumentada

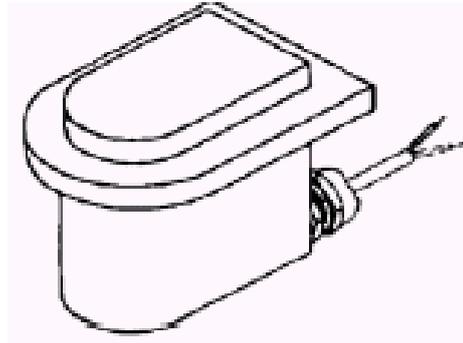


Figura 146 – Solenóide de segurança aumentada

2.9- NÃO ASCENDÍVEL (Ex n)

Também baseados nos conceitos de supressão da fonte de ignição, os equipamentos tipo não ascendível são similares aos de segurança aumentada.

Neste método os equipamentos não possuem energia suficiente para provocar a detonação da atmosfera explosiva como os de segurança intrínseca, mas não prevêm nenhuma condição de falha ou defeito.

Sua utilização será restrita à Zona 2, onde existe pouca probabilidade de formação da atmosfera potencialmente explosiva, o que pode parecer um fator limitante, mas se observarmos que a maior parte dos equipamentos elétricos estão localizados nesta zona, pode-se tornar muito interessante.

Um exemplo importante dos equipamentos do tipo não ascendível são os multiplex, instalados na Zona 2, que manipulam sinais das Zonas 1 e os transmite para a sala de controle, com uma combinação perfeita para a segurança intrínseca, tornando a solução mais simples e econômica (Figura 147).

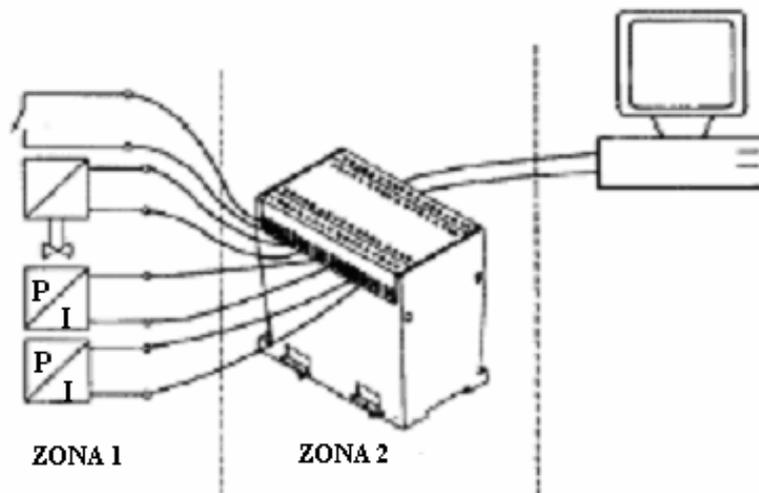


Figura 147 – Multiplex Não Ascendível

2.10- PROTEÇÃO ESPECIAL (Ex s)

Este método de proteção, de origem alemã, não está coberto por nenhuma norma técnica e foi desenvolvido para permitir a certificação de equipamentos que não sigam nenhum método de proteção, e possam ser considerados seguros para a instalação em áreas classificadas, por meios de testes e análises do projeto, visando não limitar a inventividade humana.

2.11- COMBINAÇÕES DAS PROTEÇÕES

O uso de mais um tipo de proteção aplicado a um mesmo equipamento é uma prática comum. Como exemplo, temos: os motores à prova de explosão com caixa de terminais segurança aumentada; os botões de comando com cúpula dos contatos separados por invólucro encapsulado; os circuitos intrinsecamente seguros onde a barreira limitadora de energia é montada em um painel pressurizado ou em um invólucro à prova de explosão.

2.12- APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE PROTEÇÃO

A aplicação dos métodos de proteção está prevista nas normas técnicas, e regulamenta as áreas de risco onde os diversos métodos de proteção podem ser utilizados, pois o fator e risco de cada área foram levados em conta na elaboração das respectivas normas.

Tabela 19 – Aplicação dos Métodos de Proteção

<i>MÉTODO DE PROTEÇÃO</i>	<i>CÓDIGO</i>	<i>ZONAS</i>	<i>PRINCÍPIOS</i>
À PROVA DE EXPLOSÃO	Ex d	1 e 2	Confinamento
PRESSURIZADO	Ex p	1 e 2	Segregação
ENCAPSULADO	Ex m	1 e 2	
IMERSÃO EM ÓLEO	Ex o	1 e 2	
IMERSO EM AREIA	Ex q	1 e 2	
INTRINSICAMENTE SEGURO	Ex ia	0, 1 e 2	
	Ex ib	1 e 2	Supressão
SEGURANÇA AUMENTADA	Ex e	1 e 2	
NÃO ASCENDÍVEL	Ex n	2	
ESPECIAL	Ex s	1 e 2	

Nota: os equipamentos projetados para a Zona 0 podem ser instalados na Zona 1 e 2, bem como os da Zona 1 podem também ser instalados na Zona 2

3 - CERTIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

3.1- PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO

Como as instalações elétricas em atmosferas potencialmente explosivas envolvem risco de vidas humanas e patrimônios, cada País fica obrigado a elaborar legislações regulamentando a fabricação a utilização de equipamentos destinados a esta finalidade.

No Brasil o órgão legislador é o Conmetro (Conselho Nacional de Metrologia e Normalização Industrial), órgão subordinado ao Ministério da Justiça.

A legislação atual determinou que todos os equipamentos devem ser certificados para utilização em áreas classificadas, independentemente de serem ou não fabricadas no País.

O processo de certificação é coordenado pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia e Normalização Industrial) que utiliza a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), para a elaboração de normas técnicas para os diversos tipos de proteção.

O Inmetro também credencia laboratórios que baseados nas normas técnicas verificam através de ensaios e análises, se os equipamentos atendem as normas e realmente podem ser instalados em atmosferas potencialmente explosivas.

Para a segurança intrínseca o único laboratório credenciado até o momento, é o Labex no centro de laboratórios do Cepel no Rio de Janeiro, onde existem instalações e técnicos especializados para executar os diversos procedimentos solicitados pelas normas, até mesmo realizar explosões controladas com os gases representativos de cada família.

O processo de certificação utilizado é conhecido como Certificado de Protótipo, onde o fabricante encaminha uma amostra do equipamento ao laboratório, que analisa o projeto, realiza os ensaios e se aprovado, emite um Relatório de Inspeção e Ensaio com os resultados obtidos encaminhando ao Inmetro para a emissão do certificado, conforme ilustra a próxima página.

No momento estamos em um processo de transição visando certificar a linha de produção, onde o Certificado teria um prazo de validade e durante este período o Inmetro com o Cepel realizam uma inspeção na linha de fabricação verificando se os processos e os componentes utilizados permanecem os mesmos do protótipo aprovado, inclusive devem ser recolhidas amostras para análises mais detalhadas no laboratório.

Este processo de certificação é aplicado a todos os tipos de proteção, ou seja, todos os produtos fabricados no Brasil deverão possuir seu Certificado com inspeção da fabricação.

3.1.1- Certificado de Conformidade

A Figura 148 ilustra um certificado de conformidade emitido pelo Inmetro, após os testes e ensaios realizados no laboratório Cepel / Labex:

3.1.2- Marcação

A marcação (Figura 149) é a identificação do equipamento, que visa informar o tipo de proteção e as condições que deve ser utilizado, apresentado de uma forma simples para fácil memorização e identificação dos instrumentos.

	MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL
	<h3 style="text-align: center;">Certificado de Conformidade</h3> <p style="text-align: center;"><i>Certificate of Conformity / Certificado de Conformidade</i></p>
Número: CE.EX-004/88 <small>Number/Numero</small>	Emissão: 20/05/91 Validade: XX.XX.XX <small>Issue/Expedição</small> <small>Validity/Validade</small>
<h2>CONFORME</h2>	
Produto: MÓDULO DE ISOLAÇÃO GALVÂNICA, equipamento intrinsecamente seguro associado. <small>Product/Produto</small>	
Tipo/Modelo: Ex-MZ/01 <small>Type - Model / Tipo - Modelo</small>	Nº de Série: Não Aplicável <small>Serial number / Número de Série</small>
Nº do Lote: Não Aplicável <small>Batch number / Número do lote</small>	
Solicitante/Endereço: <small>Requester - Address / Solicitante - Endereço</small>	SENSE ELETRÔNICA, TELEFONIA E TELEPROCESSAMENTO LTDA. Rua Teixeira de Melo, 295 03067 - Tatuapé - São Paulo
Fabricante/Endereço: <small>Manufacturer Address / Fabricante/Endereço</small>	O mesmo.
Norma Aplicável: <small>Excludes Standard / Norma de Aplicação</small>	Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas NBR 9518/86 - Requisitos Gerais - Especificação NBR 8447/84 - Construção e Ensaio de Equipamentos Elétricos de Segurança Intrínseca e de Equipamento Associado - Especificação.
Laboratório de Ensaio: <small>Testing Laboratory / Laboratório de Ensaio</small>	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL Laboratório de Equipamentos para Atmosferas Explosivas - LABEX
Nº do Relatório de Ensaio: <small>Test Report Number / Num do Relatório de Ensaio</small>	CRL-024/CA.EX-200/004/87 - Revisão 1 CRL-024/CA.EX-252/165/91 Marcações Básicas BR-Ex Ia IIC/IIB/IIA BR-Ex Ib IIC/IIB/IIA
Condições em que este Certificado é emitido: <small>Conditions of Issue / Condições de Expedição</small>	
Com base no Modelo de Certificação nº 1 da Organização Internacional de Normalização - ISO - ENSAIO DE TIPO.	
Observações: <small>Remarks / Observações</small>	
1) Este Certificado só é válido com seu respectivo anexo. 2) As marcações completas dos equipamentos são apresentadas no anexo.	

Figura 148 – Certificado de Conformidade

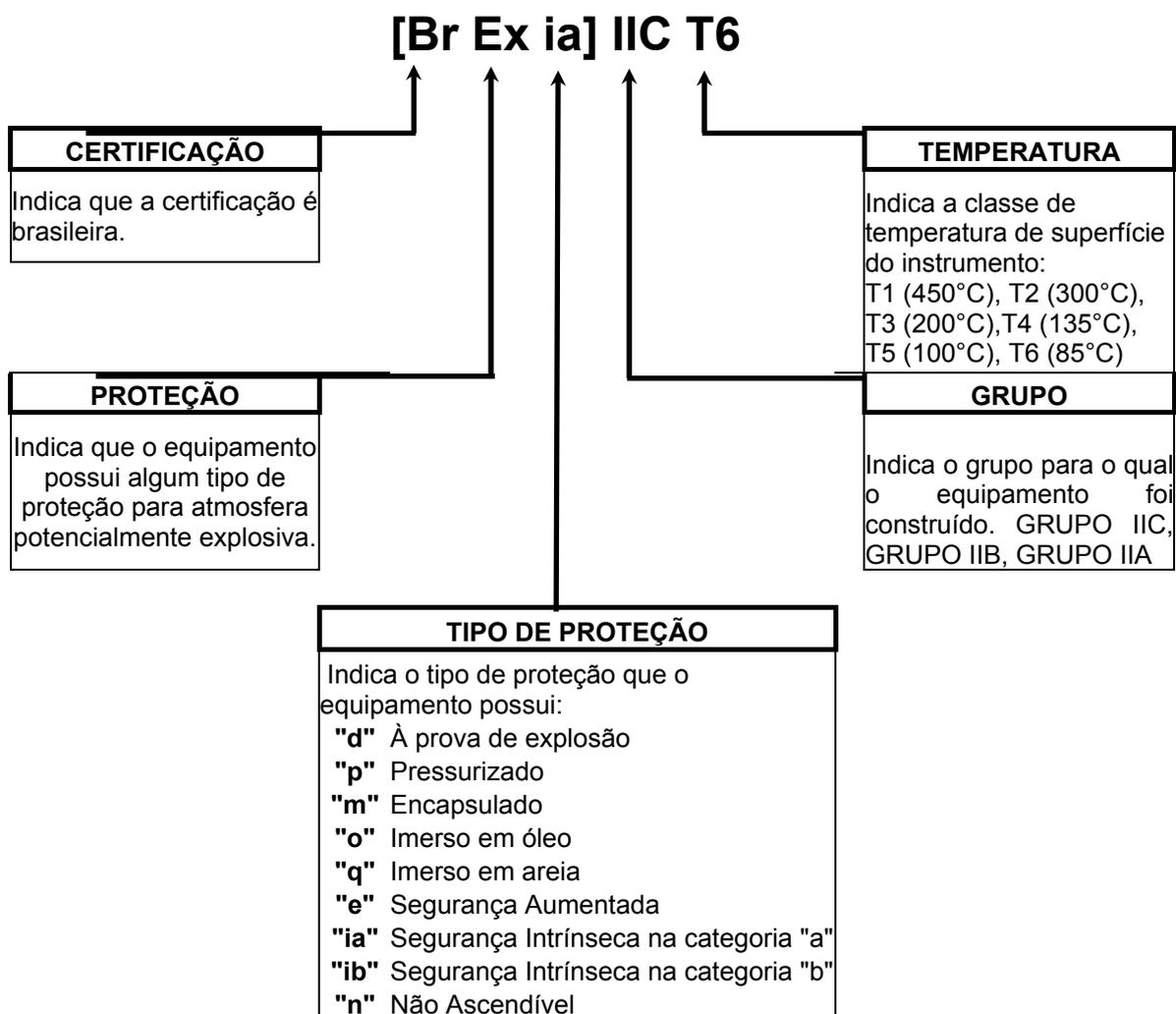


Figura 149 – Marcação

3.3- A CERTIFICAÇÃO DA SEGURANÇA INTRÍNSECA

A certificação da segurança intrínseca depende do tipo de equipamento, pois eles se subdividem em:

3.3.1- Equipamentos Simples

Neste grupo estão enquadrados os equipamentos e componentes simples que manipulam e armazenam energia abaixo de $20\mu\text{Joules}$, ou seja, não pode exceder nenhuma das grandezas: 1,2V, 0,1A ou 25mW.

Como estes equipamentos não possuem energia suficiente para provocar a ignição da atmosfera, não é necessária a sua certificação, como exemplo, podemos citar os sensores passivos (termopares, termo-resistências, potenciômetros, etc.)

3.3.2- Equipamentos Intrinsecamente Seguros

São os equipamentos que possuem todos os equipamentos de campo: transmissores de corrente, posicionadores, válvulas solenóides, sensores de proximidade, etc).

Estes equipamentos devem ser certificados para verificar os requisitos das normas, visando confirmar a quantidade máxima de energia que seguramente se podem manipular, além de quantificar o armazenamento de energia nos circuitos internos, o que permite sua instalação dentro da atmosfera explosiva.

3.3.3- Equipamentos Intrinsecamente Seguros Associados

São os circuitos de interfaceamento dos equipamentos SI (Intrinsecamente Seguros) com os equipamentos comuns NSI (não intrinsecamente seguros), ou seja, o equipamentos que contém o circuito limitador de energia, como por exemplo as barreiras zener, os isoladores galvânicos com entradas e saídas intrinsecamente seguras.

No processo de certificação destes equipamentos são verificadas a conformidade do projeto com as normas, visando determinar a máxima energia enviada para o

equipamento de campo, baseado nas máximas energias que podem ser manipuladas em cada grupo, cuja fonte deve ser instalada fora da área classificada.

3.4- PARAMETRIZAÇÃO

A parametrização é um sistema de certificação próprio para a Segurança intrínseca, que informa parâmetros para o equipamento intrinsecamente seguro, elemento de campo, e para os equipamentos intrinsecamente seguros associados, limitador de energia, de forma a tornar fácil a verificação de compatibilidade entre eles, visando eliminar a certificação conjunta dos equipamentos permitindo ao usuário livre escolha entre os modelos e fabricantes.

3.4.1- Intrinsecamente Seguro

Ui - tensão máxima de entrada

Máxima tensão que pode ser aplicada aos terminais intrinsecamente seguros, sem afetar o tipo de proteção.

Ii - corrente máxima de entrada

Máxima corrente que pode ser aplicada aos terminais intrinsecamente seguros, sem afetar o tipo de proteção.

Pi - potência de entrada

Máxima potência de entrada que pode ser seguramente dissipada internamente no equipamento intrinsecamente seguro de entrada.

Ci - capacitância interna máxima

Capacitância interna máxima vista através dos terminais intrinsecamente seguro de entrada.

Li - indutância interna máxima

Indutância interna máxima vista através dos terminais intrinsecamente seguros de entrada.

Um - tensão máxima

Máxima tensão RMS ou CC que pode ser aplicada aos terminais não intrinsecamente seguros de um equipamento associado, sem afetar o tipo de proteção.

3.4.2- Intrinsecamente Seguro Associado

Uo - tensão máxima de circuito aberto

Máxima tensão (Pico ou CC) que aparece nos terminais intrinsecamente seguros de saída, em circuito aberto.

Io - corrente máxima de curto-circuito

Máxima corrente (Pico ou CC) que pode ser obtida nos terminais intrinsecamente seguros de saída, quando em curto-circuito.

Po - potência máxima de saída

Máxima potência que pode ser obtida nos terminais intrinsecamente seguros de um equipamento elétrico.

Co - capacitância externa máxima

Máxima capacitância que pode ser conectado aos terminais intrinsecamente seguros, sem afetar o tipo de proteção.

Lo - indutância externa máxima

Máxima indutância que pode ser conectada aos terminais intrinsecamente seguros, sem afetar o tipo de proteção.

3.5- CONCEITO DE ENTIDADE

O conceito de entidade é quem permite a conexão de equipamentos intrinsecamente seguros com seus respectivos equipamentos associados.

- “A tensão (ou corrente) que o equipamento intrinsecamente seguro pode receber e manter-se ainda intrinsecamente seguro deve ser maior ou igual à tensão (ou corrente) máxima fornecido pelo equipamento associado”.
- “Adicionalmente, a máxima capacitância, (e indutância) do equipamento intrinsecamente seguro, incluindo-se os parâmetros dos cabos de conexão, deve ser maior ou igual a máxima capacitância (e indutância) que pode ser conectada com segurança ao equipamento associado”.

Se estes critérios forem empregados, então a conexão pode ser implantada com total segurança, independentemente do modelo e do fabricante dos equipamentos.

$$\begin{aligned}U_o &\leq U_i \\I_o &\leq I_i \\P_o &\leq P_i \\L_o &\geq L_i + L_{cabo} \\C_o &\geq C_i + C_{cabo}\end{aligned}$$

3.5.1- Aplicação da Entidade

Para exemplificar o conceito da entidade, vamos supor o exemplo da Figura II-18, abaixo, onde temos um transmissor de pressão Exi conectado a um repetidor analógico com entrada Exi.

Os dados paramétricos dos equipamentos foram retirados dos respectivos certificados de conformidade do Inmetro / Cepel, e para o cabo o fabricante informou a capacitância e indutância por unidade de comprimento.

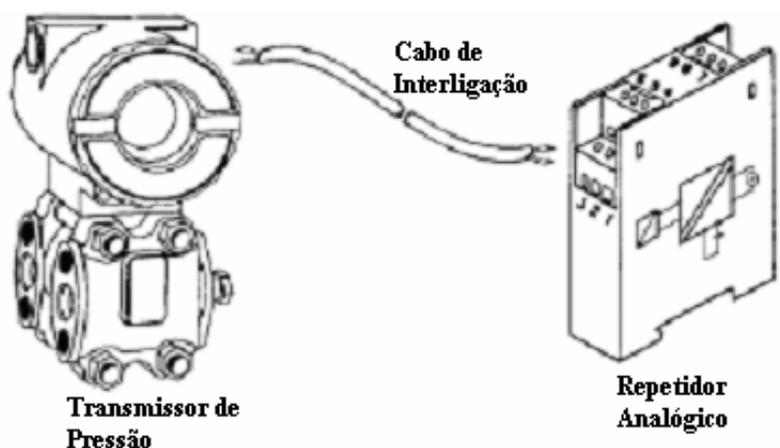


Figura 150 – Exemplo de Interconexão

Transmissor de Pressão Br Exia IIC T6

$$U_i = 38 \text{ V}$$

$$I_i = 103 \text{ mA}$$

$$P_i = 0,98 \text{ W}$$

$$L_i = 0 \text{ mH}$$

$$C_i = 30 \text{ nF}$$

Repetidor Analógico Br Exib IIC

$$U_0 = 28,7 \text{ V}$$

$$I_0 = 98 \text{ mA}$$

$$P_0 = 703 \text{ mW}$$

$$L_0 = 3 \text{ mH}$$

$$C_0 = 65 \text{ nF}$$

Cabo de Interconexão

Comprimento 500 m

Indutância de 2 mH/Km

$$L_{\text{cabo}} = 1 \text{ mH}$$

Capacitância 20 nF/Km

$$C_{\text{cabo}} = 10 \text{ nF}$$

CÁLCULO DA INTERCONEXÃO:

Energia Manipulada

$$U_i = 38 \text{ V} \geq U_o = 28,7 \text{ V}$$

$$I_i = 103 \text{ mA} \geq I_o = 98 \text{ mA}$$

$$P_i = 980 \text{ mW} \geq P_o = 703 \text{ mW}$$

Energia Armazenada

$$L_i + L_{cab0} = 0 + 1 \text{ mH} = 1 \text{ mH} \leq L_o = 3 \text{ mH}$$

$$C_i + C_{cab0} = 30 \text{ nF} + 10 \text{ nF} = 40 \text{ nF} \leq C_o = 65 \text{ nF}$$

Como todas as inequações foram satisfeitas, concluímos que é perfeitamente segura a interconexão dos instrumentos.

3.5.2- Análise das Marcações

Um limitador de energia pode ser certificado para as duas categorias e para os três grupos de gases, sendo que quanto menor o grau de risco maior serão os elementos armazenadores de energia que poderão ser conectados, conforme ilustra a tabela 20 a seguir:

Tabela 20 – Parâmetros e Entidades

CATEGORIA	ia			ib		
	IIC	IIB	IIA	IIC	IIB	IIA
Lo	2,5 mH	5 mH	10 mH	38 mH	155mH	460 mH
Co	514 nF	1,9 µF	5,5 µF	1,1 µF	6 µF	30 µF

Equipamentos de marcadores diferentes podem ser seguramente interconectados, desde que a favor da segurança, ou seja:

- ✓ Um instrumento de campo “ia” pode ser conectado com um limitador de energia “ib”, desde que a associação seja instalada em uma Zona 1 ou 2.

- ✓ Pode-se utilizar os dados de armazenamento de energia de um instrumento para o grupo IIB e efetuar os cálculos com um limitador de energia IIC, desde que utilizados apenas em grupo IIB e IIA.

- ✓ Também se pode utilizar os dados de um limitador de energia “ib” IIA, para o cálculo com um instrumento de campo “ib” IIC, desde que utilizamos apenas nas Zonas 1 e 2 e no grupo IIA.

3.6- TEMPERATURA DE IGNIÇÃO ESPONTÂNEA

Lembramos que todo equipamento para atmosferas explosivas possui uma classificação segundo a temperatura de superfície que pode ser desenvolvida, conforme apresentado no item 1.6.1.

A classificação por temperatura é independente da classificação por grupos e zonas, como, por exemplo, o etileno do grupo IIB que possui temperatura de ignição espontânea de 425°C, que é menor que a do Hidrogênio do grupo IIC (mais perigoso) que é da ordem de 560°C.

III – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CIPELLI, A.M.V. **Teoria e Desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos**. 13. ed.: Ed. Érica, 1986.
- MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill, 1.986.
- MSA. **Catálogo - Equipamentos de proteção e instrumentos de detecção de gases**. São Paulo: MSA, 1992.
- MSA. **Mini-guia de produtos de segurança e proteção**. São Paulo: MSA, 1993.
- SPEX. **Analisador portátil de ar ambiente**. São Paulo: Spex, 1988.
- MSA. **Catálogo - Alarme de gás combustível**. São Paulo: MSA, 1988.
- EPA. **Apostila do curso Air monitoring for hazardous materials**.1993.
- POSSEBOM, José. **Apostila: Curso de gases e vapores orgânicos**. São Paulo: Fundação Armando Alves Penteado, 1984.
- DOMINGUES, Elenilton. **Apostila - Proteção de sistemas elétricos: Capítulo 3 - Princípios fundamentais dos relés**. Faculdade Pio Décimo, 2002.
- SCHNEIDER, Eletric. **Apostila - Programa de formação técnica continuada: Seletividade e continuidade de serviço**. Schneider Eletric, 1999.
- ENGESUL. **Manual técnico de instalação – Manutenção: Central de iluminação de emergência**. Blumenau. Otte industria eletrônica Ltda, 1999.

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10898:** Item 3.11 - Iluminação de Emergência. Rio de Janeiro, 1999.
- SENAI – ES. **Apostila – Elétrica:** Materiais e Equipamentos em Sistemas de Baixa Tensão II. SENAI / ES, 1996.
- SENAI – ES. **Apostila – Elétrica:** Materiais e Equipamentos em Sistemas de Baixa Tensão I. SENAI / ES, 1997.
- CONAUT. **Catálogo - Sistemas de Detecção e Alarme de Incêndio.** São Paulo: Ed. CONAUT Controles Automáticos Ltda, 2002.
- SENAI – ES. **Apostila – Instrumentação:** Fundamentos e Princípios de Segurança Intrínseca. SENAI / ES, 1999.