

NUCLEBRÁS
Empresas Nucleares Brasileiras SA



CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR

CAIXA POSTAL, 1941 - 30.000 - BELO HORIZONTE - BRASIL

EMPRESAS NUCLEARES BRASILEIRAS S.A. - NUCLEBRÁS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR
DEPARTAMENTO DE RADIOPROTEÇÃO E APOIO AO LICEN-
CIAMENTO

INSTRUMENTAÇÃO METEOROLÓGICA PARA
INSTALAÇÕES NUCLEARES
Antonio Carlos Lopes da Costa
NUCLEBRÁS/CDTN-456

Belo Horizonte
1983

**INSTRUMENTAÇÃO METEOROLÓGICA PARA
INSTALAÇÕES NUCLEARES**

AUTOR: Antônio Carlos Lopes da Costa

ORIENTADOR: Flávio Soares de Menezes

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

"INSTRUMENTAÇÃO METEOROLÓGICA PARA INSTALAÇÕES NUCLEARES"

Autor: ANTÔNIO CARLOS LOPES DA COSTA

Orientador: FLÁVIO SOARES DE MENEZES

Dissertação apresentada ao Corpo Docente do Curso de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da UFMG, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

Belo Horizonte - Março/1983

Este trabalho foi realizado nas dependências do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, da NUCLEBRÁS, em Belo Horizonte.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:

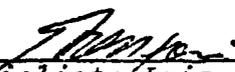
Instrumentação Meteorológica para Instalações Nucleares.

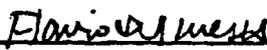
NOME DO AUTOR

Antônio Carlos Lopes da Costa

Dissertação defendida e aprovada pela
banca examinadora, constituída dos Senhores:


Mestre José Maria Gomes


Especialista Luiz Fontoura Lorenzoni

Orientador: 
Mestre Flávio Soares de Menezes

Relo Horizonte, 15 de junho de 1983
(Data defesa dissertação)

AGRADECIMENTOS

Aos Srs. Virgílio Mattos de Andrade e Silva, José Olympio Nardelli M. de Castro e Luiz Augusto de Q. e Oliveira, por haverem permitido a realização deste trabalho.

Ao Sr. Flávio Soares de Menezes, meu orientador, pela contribuição técnica na execução deste trabalho.

Ao Sr. Arivaldo Moraes do Sacramento pela colaboração técnica e bibliográfica, prestadas na execução deste trabalho.

À Seção de Documentação Técnica do CDTN/NUCLEBRÁS, pelo pronto atendimento às minhas solicitações.

Aos colegas Vanderley de Vasconcelos, Roberto F.T. Filho, Olímpio César dos Santos, Maurício Vieira de Carvalho, Márcia Valéria L. Sandinha Fagundes, Terezinha Birchall, pela colaboração prestada.

Aos meus pais, meus tios Edson e Carmelita e minha esposa, pelo incentivo e orientação recebidos.

Finalmente, o reconhecimento a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O trabalho começa com uma discussão das principais exigências dos órgãos regulamentadores, referentes à instrumentação meteorológica necessária ao licenciamento de instalações nucleares. São descritos os princípios de operação dos sensores dos diversos parâmetros meteorológicos e os sistemas eletrônicos associados. Finalmente, é analisado o problema de aterramento dos componentes de uma estação meteorológica típica.

ABSTRACT

The work starts with a discussion of the main requirements of regulatory agencies, concerning the meteorological instrumentation needed for the licensing of nuclear facilities. A description is made of the operational principles of sensors for the various meteorological parameters and associated electronic systems. Finally, it is presented an analysis of the problems associated with grounding of a typical meteorological station.

SUMÁRIO

	Pág.
1.	INTRODUÇÃO 1
2.	METEOROLOGIA PARA INSTALAÇÕES NUCLEARES 2
2.1	A Meteorologia nas Diferentes Fases de Uma Instalação Nuclear 3
2.2	Parâmetros Meteorológicos Importantes 7
2.2.1	Ventos 7
2.2.2	Temperatura e Gradiente Térmico 9
2.2.3	Nebulosidade 11
2.2.4	Precipitação 11
2.2.5	Umidade do Ar 11
2.2.6	Radiação na Atmosfera 12
2.3	Exigências dos Órgãos Regulamentadores 12
2.3.1	Medições Meteorológicas Consideradas 12
2.3.2	Exatidão do Sistema de Medição 15
3.	SENSORES PARA INSTRUMENTAÇÃO METEOROLÓGICA ... 18
3.1	Sensores de Vento 19
3.1.1	Sensores de Velocidade de Vento 19
3.1.1.1	Anemômetro de Hélice 19
3.1.1.2	Anemômetro de Conchas 20
3.1.2	Sensor de Direção de Vento 28
3.2	Sensores de Temperatura do Ar 35
3.2.1	Termômetro de Líquido 35
3.2.2	Termômetro de Resistência 37
3.2.3	Termopares 40
3.2.4	Termógrafos 42
3.3	Sensores de Radiação na Atmosfera 44
3.3.1	Radiômetro 45
3.3.2	Piranômetro Estrela 46
3.4	Sensores de Umidade Atmosférica 48
3.4.1	Higrômetro de Cabelo 48
3.4.2	Psicrômetros 50
3.4.3	Higrômetro de Cloreto de Lítio (Resistivo) ... 53

		Pág.
./.		
3.5	Sensores de Precipitação	56
3.5.1	Pluviômetro "Ville de Paris"	57
3.5.2	Pluviômetro de Cuba Basculante "Tipping-Bucket"	58
3.5.3	Pluviógrafo de Flutuador com Sifão	59
3.6	Exposição e Calibração dos Sensores Meteorológicos	61
3.6.1	Exposição dos Sensores de Vento	62
3.6.2	Exposição dos Sensores de Temperatura do Ar ..	63
3.6.3	Exposição dos Sensores de Umidade do Ar	64
3.6.4	Exposição dos Sensores de Precipitação	64
3.6.5	Exposição dos Sensores de Radiação na Atmosfera	65
3.6.6	Calibração dos Sensores Meteorológicos	65
4.	SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS	67
4.1	Sensores Meteorológicos	67
4.2	Condicionadores de Sinal	69
4.3	Processamento e Registro de Dados Meteorológicos	70
4.4	Estações Meteorológicas	73
4.4.1	Descrição de Uma Estação Meteorológica Automática	74
4.4.2	Estação Meteorológica Automática Controlada por Microcomputador	75
5.	SISTEMAS AUXILIARES	77
5.1	Sistema de Suprimento Ininterrupto de Energia Elétrica	77
5.2	Proteção da Estação Meteorológica Contra Descargas Elétricas Atmosféricas	79
5.2.1	Descargas Elétricas Atmosféricas em Estações Meteorológicas	80
5.2.2	Considerações no Projeto do Sistema de Aterramento	82
5.2.3	Pontos que Necessitam de Proteção Especial ...	84
6.	CONCLUSÃO	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
	TABELA E FIGURAS	

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta inicialmente uma dissertação sobre a importância da meteorologia na segurança de instalações nucleares, relacionando as exigências principais dos órgãos regulamentadores, associadas com a instrumentação meteorológica necessária. São descritos a seguir os componentes de um sistema de instrumentação meteorológica, visando atender às necessidades das instalações nucleares em relação ao licenciamento e operação das mesmas. Finalmente, é apresentada uma análise do problema de descargas elétricas atmosféricas, responsáveis pela maioria das falhas ocorridas com a instrumentação meteorológica, objetivando uma recuperação elevada de dados.

Os dados meteorológicos obtidos pela instrumentação descrita são usados pelos meteorologistas na determinação dos fatores de difusão atmosférica, que são empregados nos cálculos das doses de radiação para a população, resultantes de liberações normais ou acidentais, de efluentes radioativos gasosos produzidos pelas instalações nucleares.

2. METEOROLOGIA PARA INSTALAÇÕES NUCLEARES

A operação de uma instalação nuclear produz efluentes radioativos e não radioativos que são liberados para o meio ambiente e, em particular, quando na forma de gases ou aerossóis, a atmosfera constitui um importante caminho para liberação dos mesmos.

Em termos simples, o trabalho de meteorologia consiste em avaliar os efeitos das condições atmosféricas na concentração dos efluentes, quando estes se deslocam da fonte para o receptor. Partindo do princípio que os limites destas concentrações foram estabelecidos para as diversas espécies de liberação, o meteorologista deve determinar, pelas condições reinantes, se a atmosfera pode ser efetivamente utilizada para dispersar estes poluentes e qual o fator de segurança que dela pode ser obtido no caso de um acidente.

A ciência da meteorologia interage com o campo da energia nuclear em três fases distintas da vida de qualquer instalação nuclear:

- a) durante a escolha do local para a instalação;
- b) durante projeto/construção da instalação - adaptação de projetos e procedimentos operacionais, dependendo das características da instalação;
- c) durante operação normal e na hipótese de um acidente.

Das três fases a primeira é a mais importante, devido aos requisitos legais exigidos pelos órgãos regulamentadores.

Os dados medidos e documentados da meteorologia local e regional são usados como entrada para determinação dos parâmetros de difusão atmosférica, os quais serão aplicados juntamente com informações sobre a constituição e quantidade dos efluentes liberados, em modelos matemáticos de dispersão atmosférica, possibilitando avaliar as doses de radiação para o público de correntes de liberações normais e acidentais em instalações nucleares. As informações meteorológicas possibilitarão, ainda, que liberações planejadas sejam efetuadas somente durante condições de tempo favoráveis, minimizando suas conseqüências.

2.1 A Meteorologia nas Diferentes Fases de Uma Instalação Nuclear

a) Escolha do Local para a Instalação

A meteorologia é um dos fatores básicos que devem ser considerados durante a fase de estudos para seleção do local. As características meteorológicas de um local específico, quando consideradas com outros fatores, tais como, densidade de população e o uso da terra e da água na região, constituem em muitos casos um elemento importante na avaliação e escolha de um determinado local.

A meteorologia fornecerá informações que permiti

rão avaliar e comparar os diversos locais possíveis, devendo a comparação ser baseada principalmente na análise de direção predominante e velocidade de vento, perfil de temperatura para as camadas inferiores da atmosfera, frequência de intensidade de precipitação e estabilidade atmosférica, fatores estes que determinarão os locais e regiões de melhores características meteorológicas.

No estabelecimento de um programa para levantamento da meteorologia do local, dever-se-á tomar cuidado com a localização dos pontos de medição, para que haja representatividade das condições existentes, e com a determinação do número de pontos (estações) onde as medições meteorológicas serão necessárias, o que é largamente dependente da complexidade do terreno (características topográficas e construções) nas imediações do local.

O sistema para levantamento de dados a ser instalado nesta fase, deverá fornecer as informações necessárias para a elaboração da análise de segurança, conforme requerida pelos órgãos regulamentadores, e para o cálculo dos parâmetros de projeto para avaliação do local. A determinação da dispersão do material radioativo liberado pela instalação nuclear e das consequências radiológicas, devido aos acidentes básicos de projeto*, permitirão avaliações para a escolha do local e para a definição dos dispositivos técnicos de segurança exigidos.

* - Acidentes hipotéticos resultantes de circunstâncias altamente improváveis que são considerados nas avaliações de segurança de uma instalação nuclear durante seu projeto.

b) Projeto/Construção da Instalação

Durante o projeto e construção de uma instalação nuclear, os parâmetros meteorológicos significativos do local de verão ser determinados para entrada nos modelos de dispersão e para avaliação das concentrações dos efluentes que possam ser liberados pela instalação, durante operação normal e condições de acidentes.

Os dados meteorológicos obtidos antes da construção de uma instalação nuclear serão usados no projeto da mesma para minimizar os efeitos decorrentes dos efluentes liberados para a atmosfera, assegurando que todas as operações normais da instalação terão efeito mínimo sobre o meio ambiente. Os aspectos do projeto da instalação que são influenciados pela meteorologia são: localização relativa dos prédios, sistema de contenção, dimensões da área de exclusão características dos pontos de liberação e duração esperada das mesmas e carga de vento sobre estruturas. Os dados meteorológicos, obtidos nesta fase, servirão ainda como informação básica para o projeto de equipamentos da instalação, tais como: torre de refrigeração, reservatórios, condensadores, sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado e outros.

As informações obtidas nesta fase deverão apresentar um refinamento em relação àquelas obtidas durante a primeira fase.

c) Operação Normal e na Hipótese de Um Acidente

Quando uma instalação nuclear alcança sua fase operacional, as características meteorológicas do local e da região deverão estar bem determinadas como resultado dos levantamentos conduzidos nas fases anteriores. A informação meteorológica na fase operacional é necessária para determinação do impacto real das liberações ocorridas sobre o meio ambiente. Além disso, o conhecimento das condições meteorológicas efetivas possibilitará que os responsáveis tomem as providências apropriadas durante e após uma liberação acidental, tornando pois necessário a existência de um programa de medições meteorológicas adequado, como componente essencial no planejamento e implementação das ações de emergência.

Se uma liberação acidental ocorrer, será necessário conhecer, imediatamente, a trajetória esperada para os efluentes nas imediações da instalação, assim como uma estimativa das concentrações esperadas e os níveis de radiação na direção predominante de vento.

Para tal, os instrumentos instalados no local deverão fornecer, imediatamente, uma primeira indicação dos parâmetros meteorológicos especificados para condições de emergência.

2.2 Parâmetros Meteorológicos Importantes

A dispersão dos efluentes liberados para a atmosfera (gases e aerossóis) por uma instalação nuclear depende do grau de turbulência do local de liberação, num período de tempo determinado. A turbulência transfere ou dilue os contaminantes pela atmosfera, dependendo de parâmetros meteorológicos tais como: vento, temperatura, precipitação, nebulosidade, etc.. Os meios pelos quais estes parâmetros afetam a difusão e o transporte, na atmosfera, são analisados a seguir.

2.2.1 Ventos

As variações de pressão de larga escala, sobre a terra, produzem os fluxos de ar denominados de ventos. A distribuição de vento numa região é determinada pela intensidade destas variações de pressão.

A velocidade e a direção de vento variam com a altura, sendo que os efeitos de atrito nas proximidades do solo diminuem a velocidade do vento e alteram a direção do mesmo. A variação angular do vento com a altura depende de diversos fatores, dos quais os mais importantes são as alterações da estabilidade térmica da atmosfera e topografia subjacente.

A velocidade e a direção do vento afetam o transporte dos contaminantes através da atmosfera, uma vez que o volume de ar passando em uma fonte estacionária, afeta diretamente a diluição dos contaminantes. A variabilidade de direção deter

mina a área sobre a qual o contaminante será espalhado.

a) Velocidade de Vento

A velocidade do vento é uma medida da capacidade da atmosfera para diluição de contaminantes, pois velocidades de vento mais elevadas produzirão maior diluição dos contaminantes, pelo espalhamento dos mesmos em um volume maior de ar. A concentração de contaminantes no ar devido a uma fonte constante é inversamente proporcional à velocidade do vento na área da fonte.

b) Direção do Vento

A direção da qual o vento está soprando naturalmente determinará a direção na qual o contaminante se deslocará, sendo que dois aspectos de direção de vento desempenham funções importantes no transporte de contaminantes através da atmosfera, a persistência e a variabilidade.

- Persistência de Vento

É o tempo em que o vento sopra em uma determinada direção. A persistência sobre uma direção especificada pode variar de minutos a dias. Dependendo da persistência do vento, os efluentes liberados por uma instalação poderão deslocar-se por um longo ou um curto tempo, provocando exposições elevadas

ou reduzidas, respectivamente, naquela direção.

- Variabilidade de Vento

Dependendo de diversos fatores, a direção de vento pode flutuar em um curto espaço de tempo em torno de uma direção de vento média. A variabilidade é função de turbulência, estabilidade atmosférica e outros fatores, podendo estas flutuações variar de quase 0° para 180° , ou mais.

2.2.2 Temperatura e Gradiente Térmico

Gradiente Térmico é definido pela relação entre a variação da temperatura do ar com a altura e é um dos indicadores da estabilidade atmosférica. Ele pode ser positivo ou negativo, conforme a temperatura diminua ou aumente com a altura.

Estabilidade atmosférica é a capacidade da atmosfera de resistir ou favorecer ao movimento vertical de ar ou, alternativamente, de acrescentar ou suprimir turbulência existente. A estabilidade atmosférica é de importância vital em qualquer estudo de contaminação do ar.

Quanto à estabilidade, a atmosfera pode apresentar os seguintes estados:

a) Atmosfera Estável

A turbulência é quase desprezível e o contaminante

é dispersado* de modo lento.

b) Atmosfera Neutra

A turbulência é causada principalmente por obstáculos físicos (edificações, montanhas, etc.) que deformam o campo de vento, resultando em uma dispersão moderada dos contaminantes.

c) Atmosfera Instável

A turbulência é causada pelo aquecimento desigual da terra pelo sol e também por obstáculos físicos. O primeiro fator prevalece e a dispersão dos contaminantes é rápida.

A estabilidade atmosférica admite ainda o fenômeno chamado de inversão. Neste caso, o gradiente térmico é negativo e os contaminantes tendem a ficar confinados pela camada de inversão.

* - Considera-se, em meteorologia, a dispersão atmosférica como sendo constituída de duas componentes: transporte atmosférico, devido ao fluxo uniforme de ar na atmosfera e difusão atmosférica, devido aos movimentos aleatórios do ar.

2.2.3 Nebulosidade

A cobertura por nuvem afeta diretamente a quantidade de radiação que entra e sai na atmosfera terrestre, afetando desse modo, a estabilidade atmosférica.

2.2.4 Precipitação

A precipitação tem como consequência o carreamento dos contaminantes espalhados pela atmosfera, depositando-os na superfície. A eficiência deste carreamento pode ser elevada, dependendo do tipo, duração e intensidade da precipitação.

2.2.5 Umidade do Ar

A umidade do ar influencia determinadas reações químicas na atmosfera e exerce, ainda, influência sobre a visibilidade. Os poluentes atmosféricos afetam os receptores de maneiras diversas, de acordo com diferentes índices de umidade. Além disso, o vapor d'água presente no ar influencia as concentrações de contaminantes na atmosfera através da nebulosidade e precipitação.

2.2.6 Radiação na Atmosfera

A intensidade de radiação solar incidente é diretamente relacionada com a estabilidade atmosférica de um local, podendo proporcionar uma indicação da capacidade de difusão para os efluentes atmosféricos liberados por uma instalação nuclear.

2.3 Exigências dos Órgãos Regulamentadores*

As exigências dos órgãos regulamentadores relacionadas com as condições meteorológicas de um local, impõem a instalação e operação de um sistema de instrumentação para aquisição e processamento de dados meteorológicos, bem antes que uma solicitação de licença para construção seja emitida, e que o mesmo continue a operar durante toda a existência da instalação [11]. Para atendimento destas exigências, é necessário ainda a instalação de um sistema de instrumentação meteorológica de apoio e que ambos os sistemas sejam capazes de proporcionar dados, imediatamente, para os centros de coordenação de emergência e órgãos de apoio técnico, em condições de emergência.

2.3.1 Medições Meteorológicas Consideradas

As estimativas de transporte e difusão do material radioativo liberado por uma instalação nuclear exigirão que parâmetros meteorológicos sejam medidos segundo o modelo teórico em

* - Comissão Nacional de Energia Nuclear (C.N.E.N.), U.S. Nuclear Regulatory Commission (U.S.N.R.C.).

pregado. A Tabela 2.1 apresenta os modelos de difusão atmosférica mais usuais, os parâmetros envolvidos e a instrumentação necessária, sendo que este item apresenta os parâmetros mais usuais.

a) Fluxo de Vento

Medições de direção e velocidade de vento em um mínimo de dois níveis deverão ser realizadas, possibilitando informações sobre variações diárias, médias, extremos e persistência (duração). Os valores médios horários deverão ser determinados sobre um período mínimo de 15 minutos consecutivos de dados contínuos, durante cada hora.

O desvio padrão (σ_θ), da flutuação de direção horizontal de vento, deverá também ser determinado em todos os níveis de medição, a partir do acúmulo de não menos que 180 valores instantâneos de direção de vento, durante cada período de registro.

b) Medições de Temperatura Ambiente

Temperatura do ar e estratificação térmica (diferença de temperatura) deverão ser medidas, obtendo-se valores médios, extremos e variação diária. A média horária deverá ser calculada sobre um período mínimo de 15 minutos de acumulação contínua de dados, para cada hora.

O gradiente de temperatura vertical, pode ser utilizado juntamente com o desvio padrão das flutuações de direção horizontal de vento, em um modelo apropriado para determinação da categoria de estabilidade atmosférica. Medições de diferença de temperatura em um mínimo de dois níveis e medição de temperatura sobre pelo menos um nível, são exigidas.

c) Medição de Precipitação

Medições de precipitação deverão ser realizadas nas proximidades da torre meteorológica, para períodos de acumulação de uma hora, obtendo-se valores médios e extremos da intensidade de precipitação (ver item 3.5), em um dado período de tempo.

d) Medição da Umidade do Ar

Medições da umidade do ambiente (umidade relativa, ponto de orvalho ou temperatura de bulbo úmido) deverão ser realizadas sobre pelo menos um nível da torre meteorológica. Valores médios, extremos e variação diária deverão ser levantados, sendo a média horária calculada a partir de um período mínimo de 15 minutos de dados consecutivos, durante cada hora.

e) Medições de Radiação na Atmosfera

Medições de radiação na atmosfera podem ser necessá

rias dependendo do modelo de estimativa da categoria de estabilidade empregado. A determinação deste parâmetro deverá ser realizada a nível do solo, próximo da torre meteorológica.

2.3.2 Exatidão* do Sistema de Medição

A exatidão com que as medições meteorológicas devem ser realizadas é definida pelos órgãos regulamentadores /11/, tendo em vista a credibilidade nos cálculos e a troca de dados entre estações meteorológicas diferentes. A exatidão de um sistema de instrumentação meteorológica será dependente dos erros introduzidos pelo sensor, cabo, condicionador de sinal, registradores, método de processamento dos dados e condições ambientais (temperatura, umidade). Os sensores deverão apresentar individualmente as exatidões definidas abaixo, sobre toda a faixa de condições ambientais esperadas de ocorrer durante a vida útil da instalação nuclear.

A seguir, serão apresentadas características mínimas dos sensores, segundo órgãos regulatórios, sendo as exatidões referentes a valores médios no tempo.

a) Velocidade de Vento

Exatidão mínima das medidas = $\pm 0,22$ m/s (0,5 mph),
para velocidades menores que 11,13 m/s (25 mph);

* - diferença entre o valor verdadeiro e o valor medido de uma grandeza.

Velocidade de partida* < 0,45 m/s (1 mph).

b) Direção de Vento

Exatidão mínima das medidas = $\pm 5^\circ$;

Velocidade de partida < 0,45 m/s (1 mph).

Se o sensor de direção de vento for usado para obtenção do desvio padrão de flutuação da direção horizontal de vento (σ_θ), deverá apresentar:

Relação de amortecimento = 0,4 a 0,6 (inclusive),
com Deflexão = 15° e Constante de distância** ≤ 2 m.

c) Temperatura

Exatidão mínima das medidas = $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ($0,9^\circ\text{F}$).

d) Diferença de Temperatura

Exatidão mínima das medidas = $\pm 0,15^\circ\text{C}$ ($0,27^\circ\text{F}$), por intervalo de 50 m de altura.

* - Menor velocidade do vento a que o instrumento responde.

** - Ver item 3.1.1.2.

e) Ponto de Orvalho

Exatidão mínima das medidas = $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ($2,7^{\circ}\text{F}$), ou exatidão equivalente para umidade relativa (UR) ou temperatura de bulbo úmido. Esta exatidão é aplicável para ambiente onde a umidade relativa excede 60% e a temperatura está entre -30°C e 30°C (-22° e 86°F).

f) Precipitação

Exatidão mínima das medidas = $\pm 10\%$, da captura total acumulada;

Resolução do pluviômetro registrador = 0,25 mm (0,01 polegadas).

Os valores citados acima referem-se a sistemas digitais. Para sistemas analógicos, as exatidões referentes a valores médios no tempo deverão ter os mesmos valores, exceto que as exatidões de registros de velocidade e direção de vento não deverão ser superior a 1,5 vezes os valores enunciados acima. As exatidões dos sistemas deverão incluir a redução dos dados do registrador para a forma digital. Todos os registros digitais deverão consistir de dados amostrados em intervalos não maiores que 60 s, exceto precipitação, que deverá ser registrada sobre bases acumulativas de pelo menos uma vez por hora.

3. SENSORES PARA INSTRUMENTAÇÃO METEOROLÓGICA

Um sistema de instrumentação meteorológica automático é constituído basicamente de sensores, equipamentos eletrônicos de condicionamento dos sinais, unidades de processamento e registro de dados e alimentação elétrica. O sensor é o componente do sistema que fica em contato direto com o parâmetro a ser medido e que produz um sinal elétrico de saída proporcional ao valor do parâmetro meteorológico de interesse. Este sinal é transmitido ao condicionador de sinal, sendo convertido para uma forma mais apropriada, segundo os objetivos da medição. Finalmente, este sinal é transferido com as características apropriadas para uma unidade de saída, podendo ser: processador de sinal (contadores, microcomputadores, computadores), registradores, instrumentos indicadores ou transmissores de sinal para instalações distantes.

Neste capítulo serão descritos os sensores utilizados com maior frequência em estações meteorológicas de instalações nucleares, não sendo seu objetivo a especificação de tipos e quantidades dos mesmos, necessários em situações particulares. A descrição visa principalmente os sensores fornecendo como saída um sinal elétrico, pois devido ao grande volume de dados a ser tratado, o manuseio dos mesmos torna-se um problema, a não ser que técnicas automáticas sejam adotadas.

3.1 Sensores de Vento

O vento é uma grandeza meteorológica da qual se mede normalmente a velocidade e a direção de sua componente horizontal, sendo a direção o ponto cardinal de onde o vento sopra.

3.1.1 Sensores de Velocidade de Vento

Uma grande variedade de sensores é empregada para medição de velocidade de vento, sendo os mais freqüentes:

- anemômetro de hélice ("Propeller");
- anemômetro de conchas ("Cup Wheel").

3.1.1.1 Anemômetro de Hélice

Este tipo de sensor emprega uma hélice de várias pás, que gira sobre um eixo orientado na direção do fluxo de vento. As lâminas da hélice são retorcidas de modo a operar em um ângulo de ataque mais eficiente, proporcionando maior exatidão na velocidade de vento medida. As lâminas da hélice são comumente metálicas (aço inoxidável, alumínio) ou de plástico, tendo espessura constante e sendo usadas comumente hélices de três, quatro ou seis lâminas.

O anemômetro de hélice constitui um sensor confiável e apresenta uma rotação angular linearmente proporcional à velocidade do vento, em uma ampla faixa de operação. O tipo de sensor

mais comum emprega hélice de quatro lâminas retorcidas, de plástico, permitindo uma velocidade de partida extremamente baixa.

Este tipo de sensor de velocidade de vento é o segundo mais utilizado em estações meteorológicas de instalações nucleares, possibilitando a medição da velocidade horizontal, velocidade vertical e a determinação completa do vetor velocidade de vento.

A medição das três componentes ortogonais do vetor velocidade de vento (U, V, W) é realizada com o sensor tridimensional, constituído de três hélices dispostas perpendicularmente entre si. Cada hélice responde somente àquela componente de vento que é paralela ao seu eixo. As hélices são dispostas em um mastro comum e com separação suficiente para evitar a possibilidade de interferência entre elas.

A Figura 3.1 mostra um esquema do sensor de hélices tridimensional, sendo o mesmo empregado especialmente para estudos precisos de turbulência e difusão atmosféricas.

3.1.1.2 Anemômetro de Conchas

Os sensores tipo conchas, empregados como anemômetros, apresentam conchas hemisféricas ou cônicas, montadas nos extremos de braços horizontais, em um mesmo sentido, que giram livremente ao redor de um eixo vertical (ver Figura 3.2). As conchas oferecem ao vento superfícies de ataque irregulares, sendo sub

metidas a um movimento de rotação independente da direção do fluxo de vento, no plano de rotação. A relação entre a velocidade linear do fluxo de vento e a velocidade periférica linear do centro das conchas é denominada de fator do medidor, sendo seu valor função do projeto geométrico do sensor e variando ligeiramente com a velocidade rotacional considerada.

Este tipo de sensor é o mais utilizado entre os diversos existentes, por constituir a forma mais simples de medir o movimento do vento. Cada rotação do círculo formado pelos centros das conchas corresponde a uma distância definida deslocada pelo vento, e por essa razão, o número de voltas que as conchas executam em um dado intervalo de tempo corresponde a uma distância que o vento percorreu naquele intervalo de tempo. A velocidade do vento pode ser determinada dividindo a distância deslocada pelo tempo correspondente.

Os anemômetros de conchas têm sido construídos numa variedade de tamanhos, em forma hemisférica ou cônica, e usualmente com três conchas. A faixa de diâmetro do rotor é de 7 a 45 cm, correspondendo a conchas com diâmetros de 2,5 a 12 cm. Um bom anemômetro deste tipo deve ser essencialmente linear por toda a faixa de velocidade de vento comumente encontrada e independente da densidade do ar. O arranjo das conchas deve ser de pequeno peso e montado sobre o eixo vertical que gira sobre rolamentos esféricos de aço inoxidável e de baixo torque. As características principais de um anemômetro de conchas, são:

- pequeno peso do conjunto das conchas, fazendo com que o instrumento responda às flutuações rápidas de velocidade

do vento (alta sensibilidade);

- relação alta entre o diâmetro das conchas e o diâmetro do círculo descrito pelos centros das conchas, o que proporciona uma maior sensibilidade às medições [9];

- pequeno atrito dos rolamentos esféricos, permitindo iniciar o giro sob vento extremamente fraco (velocidade de partida baixa);

- tempo de resposta pequeno;

- conchas construídas com materiais resistentes às condições ambientais adversas, o que permite grandes períodos de serviço sem manutenção.

Na atmosfera, as flutuações instantâneas do vento em relação a uma velocidade média, são grandes e a média geralmente varia sobre intervalos de tempo, fazendo com que a velocidade linear do vento seja da ordem de 2 e 3 vezes a velocidade linear de um ponto sobre o centro de uma das conchas. Esta variação depende dos seguintes fatores: comprimento do braço horizontal, diâmetro da concha, momento de inércia das conchas, relação entre o diâmetro da concha para o comprimento do braço horizontal e densidade do material do qual o sistema é feito.

A relação entre a velocidade do vento e a velocidade no centro de uma das conchas pode ser expressa por [9]:

$$V = a + bV_1 + cV_1^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

V_1 - velocidade linear no centro da concha;

V - velocidade de vento estacionário, que somente é observada em um túnel de vento durante a cali
bração do sensor;

a, b, c - constantes a determinar.

Finalmente, deve ser comentado que devido ao momento de inércia e ao atrito do sistema, os anemômetros de conchas ou de hélice apresentam apreciável atraso na resposta, isto é, os picos e as calmarias na velocidade de vento são atenuados para frequências maiores que um ciclo por vários segundos. Essa característica de um anemômetro pode ser expressa por um comprimento denominado Constante de Distância. Esta constante repre
senta o comprimento de vento que deve passar pelo anemômetro, se ocorrer uma alteração instantânea na velocidade de vento, antes que o sensor indique 63% ($1 - 1/e$) da alteração ocorrida. Para qualquer tipo de anemômetro a constante de distância é in
dependente da velocidade do vento /11/.

Os sensores de velocidade de vento freqüentemente em
pregam um transmissor de sinal para informar sobre a rota
ção do anemômetro e, conseqüentemente, sobre a velocidade de vento me
dida. Dessa forma, o sensor de velocidade de vento é constituí
do basicamente de dois componentes: Sensor primário (sistema de conchas ou hélice) e transmissor de sinal. A seguir são descri
ti

tos os transmissores mais comumente empregados.

a) Gerador de Corrente Contínua (CC)

Um anemômetro de conchas ou de hélice, com seu ei xo vertical acoplado mecanicamente ao rotor de um pequeno gera dor de corrente contínua que gira em um campo magnético perma nente, é ligado por condutores a um condicionador de sinal. A saída do gerador, ou seja, a tensão induzida nos enrolamentos do rotor, varia com o número de rotações das conchas (velocida de angular) e, portanto, com a velocidade do vento. Um coletor de metal, anticorrosivo, transfere a tensão de medição por meio de escovas aos condutores de saída do transmissor. Estes comp nentes aumentam o atrito dos rolamentos esféricos do anemômetro o bastante para elevar a velocidade de partida para a faixa de 1 a 2 m/s, e requerem manutenção preventiva de 2 em 2 anos. As principais características deste tipo de transmissor são:

- a voltagem analógica de saída do gerador CC é di retamente proporcional à velocidade do vento e é linear na fai xa de medida. Isto proporciona medidas exatas, mesmo na parte inferior da faixa;

- devido ao momento de inércia reduzido das conchas (anemômetro) e do rotor do gerador CC, as variações rápidas de velocidade de vento podem ser determinadas;

- economia de custo e vida útil razoavelmente lon ga (3 a 4 anos);

- utilizados onde a velocidade de partida não é um parâmetro crítico;

- este sistema não requer suprimento de energia externa e é simples para instalar, requerendo somente dois condutores para saída do sinal gerado.

b) Gerador de Corrente Alternada (CA)

Alguns fabricantes usam como transmissor um gerador de corrente alternada acoplado ao eixo do anemômetro, evitando desse modo o uso de escovas e comutador, reduzindo o atrito e eliminando a manutenção requerida por esses componentes.

Neste tipo de transmissor é comum a utilização de um rotor de ímã permanente de 2, 4, 6 ou 8 pólos, proporcionando uma maior freqüência da voltagem de saída por rotação descrita pelas conchas. A corrente alternada de saída pode ser indicada por um circuito medidor de freqüência ou pode ser retificada , o que produz uma curva relacionando voltagem gerada e rotações por minuto, grandemente comprimida no extremo inferior da escala. As principais características deste transmissor, são:

- a eliminação de comutador e escovas, garante vida longa e velocidade de partida baixa, com tensão de saída proporcional à velocidade de vento;

- não requer suprimento de energia externa e exige manutenção menos freqüente que o tipo anterior;

- o sinal do transmissor tem perda de linearidade

para velocidades de vento inferiores a 2 m/s, não sendo indicado para valores menores que este limite.

c) Transmissor Fotoelétrico

Um transmissor fotoelétrico desenvolve um trem de pulsos com frequência proporcional à velocidade angular de um anemômetro de conchas ou hélice, sendo constituído de um dispositivo fotoelétrico, um disco comutador de luz com orifícios padronizados em torno de todo seu perímetro, e uma fonte de luz. A fonte de luz e o dispositivo fotoelétrico são fixados à estrutura do instrumento, e o disco comutador gira solidário ao eixo do anemômetro. O emissor de luz e o dispositivo fotoelétrico são arranjos de modo que pulsos elétricos são gerados, com as condições de LUZ/NÃO LUZ criadas pelo disco. O disco comutador pode ser perfurado com um número qualquer de orifícios.

Um transmissor fotoelétrico típico opera da seguinte maneira: quando um anemômetro de conchas ou hélice é colocado em movimento pelo vento, um disco comutador de luz gira, alternando a condição de uma fotocélula, devido à incidência de um fluxo infravermelho produzido por um diodo emissor de luz (LED). As condições de incidência ou não de luz são detectadas pelo transmissor de fotocélula e convertidas num trem de pulsos elétricos para transferência por cabo a um pré-amplificador. Este componente padroniza e amplifica o pulso, que é levado pelo cabo de transmissão de sinal a um circuito eletrônico medidor de taxa, que produz um sinal analógico de corrente contí

nua proporcional à frequência dos pulsos gerados pela fotocélula. A Figura 3.2 mostra um anemômetro de conchas com transmissor fotoelétrico.

As variações possíveis no emprego do transmissor fotoelétrico são: a fotocélula (luz gerando pulsos) ou o fototransistor (falta de luz gerando pulsos). Uma fonte de tensão regulada deve ser proporcionada para alimentação da fonte de luz.

As principais características deste transmissor , são:

- não havendo qualquer carga mecânica devido ao transmissor, sobre o eixo do sensor, exceto o atrito inevitável dos rolamentos, este apresentará baixo atrito e inércia, permitindo ao instrumento medir ventos fracos (baixa velocidade de partida), maior velocidade de resposta e medição de variações de vento muito pequenas (grande sensibilidade);

- o sinal de saída em forma de pulsos, proporciona telemedição do sinal sem perda de exatidão, devido a flutuações de ganho ou perdas no cabo de transmissão do sinal;

- a saída do sensor é um trem de pulsos, cuja frequência é linearmente proporcional à velocidade do vento. A frequência dos pulsos é também diretamente proporcional ao número de orifícios do disco comutador;

- o sinal de saída é adequado para sistemas analógicos e/ou digitais e o fato da amplitude dos pulsos ser constante simplifica os circuitos eletrônicos.

3.1.2 Sensor de Direção de Vento

A direção horizontal de vento é medida universalmente por meio de um leme de vento ("wind vane") balanceado, montado de forma assimétrica em relação ao seu centro de gravidade e suportado por um eixo vertical, que tem liberdade para girar sobre rolamentos esféricos (ver Figura 3.3). O extremo do sensor que oferece maior resistência ao movimento do ar, posiciona-se na direção em que o vento sopra. As principais características de projeto deste tipo de sensor são:

- leme construído de material leve, de modo que apresente um momento de inércia baixo e responda rapidamente às alterações na direção de vento, sem oscilação excessiva;

- tamanho e forma apropriados do leme, o que possibilita ao sensor girar sob ação de ventos fracos;

- balanceamento preciso do sensor, o que evitará em puxo lateral nos rolamentos e evitará também uma tendência para apontar em uma direção, se o eixo de rotação não for exatamente vertical. A observação desta característica proporciona longa vida aos rolamentos e, conseqüentemente, ao instrumento;

- rolamentos de baixo atrito, o que possibilita ao sensor girar sob ação de ventos fracos.

Estes sensores podem apresentar o leme nas mais variadas formas, desde as mais complexas até o tipo mais simples, como placa retangular, que é de fácil construção e possibilita medas confiáveis. Os materiais mais utilizados para construção do leme de vento são o alumínio e o poliestireno, enquanto que

o eixo vertical e os rolamentos são geralmente de aço inoxidável. Estes materiais permitem a construção de sensores de direção de vento com boa velocidade de resposta e oscilação mínima, mesmo para ventos fracos.

As componentes horizontal e vertical da direção de vento podem ser determinadas por meio de um sensor de leme duplo de vento ("BIVANE"). O leme duplo de vento é mostrado na Figura 3.4 e consiste de duas placas arranjadas perpendicularmente entre si e suportadas por uma articulação, que permite ao sensor girar horizontalmente e verticalmente. As placas são comumente construídas de alumínio ou poliestireno, proporcionando ao sensor velocidade de resposta elevada. Estes sensores são empregados para estudos de turbulência e difusão nas camadas inferiores da atmosfera.

As medidas da posição angular dos sensores de direção de vento podem ser expressas em graus ou diretamente em pontos cardiais.

Os sensores de direção de vento freqüentemente empregam um transmissor de sinal para informar o deslocamento do leme e, conseqüentemente, a direção do vento. Conforme descrito para velocidade de vento, para direção de vento também o sensor é constituído de dois componentes: sensor primário (leme de vento) e transmissor de sinal. Os transmissores empregados com maior freqüência para direção de vento são:

a) Transmissor de Potenciômetro

Um potenciômetro consiste em muitas espiras de

fio metálico enroladas em torno de uma estrutura isolante , com um cursor de contato deslizando sobre essas espiras e fazendo do contato elétrico com as mesmas.

O processo mais econômico de transmissão do deslocamento angular de um sensor de direção de vento é efetuado por um potenciômetro. O cursor do potenciômetro é fixado ao eixo do leme de vento e, desse modo, cada posição angular do leme corresponde a uma tensão de saída particular, que pode ser utilizada para transmissão da posição do leme. Existem basicamente dois sistemas, utilizando este transmissor:

- Sistema de 0° a 360°

Neste tipo de transmissor o leme de vento causa o deslocamento do cursor de contato de um potenciômetro circular, fazendo com que o mesmo siga diretamente o movimento angular do sensor de direção de vento. Uma fonte regulada, ou uma bateria, proporciona tensão contínua ou alternada ao potenciômetro. Um dispositivo eletrônico apropriado compara a resistência e o comprimento da descontinuidade ("gap") do potenciômetro, e em consequência faz com que o sinal de saída tenha uma razão fixa de volts/grau, permitindo que a resistência obtida no cursor do potenciômetro seja diretamente proporcional ao ângulo do leme de vento.

O sinal de saída de um transmissor de potenciômetro do tipo 0° a 360° apresenta uma descontinuidade causada pela passagem do cursor acionado pelo leme, sobre o ponto $0^{\circ}/360^{\circ}$, pois em termos da direção de vento estes pontos são equivalentes, enquanto que os sinais elétricos correspondentes são zero

volts e o valor da tensão máxima de saída. Desse modo, se a direção do vento oscila na região de descontinuidade, excursões abruptas da pena de um registrador gráfico ocorrem. Este tipo de transmissor é eficiente para registro em gráfico circular e acionamento de instrumento indicador, não permitindo entretanto a utilização do sinal de saída para realização de operações matemáticas, tais como processamento do sinal para cálculo de mêdia e desvio padrão. A descontinuidade normalmente é na indicação do vento do norte.

- Sistema de 0° a 540° (Potenciômetros Complementares)

Um transmissor empregando potenciômetro duplo e circuito eletrônico seletor dos cursores, elimina a descontinuidade do tipo 0° a 360° , convertendo a indicação circular de direção de vento para linear contínua. Este transmissor produz dados mais confiáveis devido à redução de erros no registro e é ideal quando operações matemáticas devem ser desenvolvidas sobre o sinal de saída do sensor.

O leme de vento do sensor de direção equipado com um circuito lógico seletor é acoplado aos cursores de um potenciômetro duplo. Os dois potenciômetros são posicionados com seus extremos (descontinuidade) opostos de 180° , isto é, o potenciômetro superior (A) é posicionado com sua descontinuidade no ponto 0° , e o potenciômetro inferior (B) é posicionado com sua descontinuidade no ponto 180° . Uma tensão precisamente controlada é aplicada aos enrolamentos de ambos os potenciômetros. O potenciômetro (A) produz uma saída elétrica contínua

através da faixa de direção de vento de 0° a 360° , enquanto que o potenciômetro (B) produz uma saída elétrica contínua de 180° a 540° ($180^{\circ} + 360^{\circ} = 540^{\circ}$). A Figura 3.5 apresenta um sensor de direção de vento empregando um transmissor de potenciômetros complementares.

O circuito lógico seletor detecta a entrada do potenciômetro ativo em sua descontinuidade e imediatamente seleciona a saída do outro potenciômetro (onde o cursor está agora no centro de sua faixa elétrica). Este processo é repetido sempre que o cursor acionado pelo leme alcança a descontinuidade do potenciômetro que está sendo monitorado no momento. Esta ação do chaveamento do circuito lógico seletor entre as faixas superpostas dos potenciômetros resulta em um sinal elétrico de saída contínuo na faixa de 0° a 540° , proporcionando utilização do mesmo em registradores gráficos lineares, indicadores analógicos e digitais com escalas linearizadas e permitindo o processamento do sinal de saída para realização de operações matemáticas de interesse.

Os potenciômetros utilizados são de baixo torque, precisos e construídos com enrolamentos de fios revestidos com condutores plásticos, para causar uma resistência de contato mínima com o cursor e assegurar vida útil longa ao transmissor. Estes tipos de transmissores apresentam momento de inércia baixo e o desgaste excessivo, produzido pelos deslocamentos do cursor ao longo do enrolamento, é a principal desvantagem.

b) Sistemas Síncronos de Torque

A técnica mais confiável e menos trabalhosa para transmissão da posição angular de um leme de vento é a que utiliza de um sistema síncrono. O leme de vento é acoplado ao eixo de um transmissor síncrono que está interligado eletricamente a um receptor síncrono distante.

A Figura 3.6a apresenta o arranjo básico de um elemento síncrono (transmissor ou receptor), que consiste basicamente de um estator contendo três bobinas, posicionadas com uma defasagem de 120° . Os condutores de cada bobina são arranjos de modo que um dos terminais seja conectado a um ponto comum e outro atue como terminal de saída (S_1, S_2, S_3). O elemento síncrono possui ainda um rotor de núcleo de ferro laminado, em torno do qual está uma bobina cujos condutores são ligados a anéis de contato (R_1 e R_2). Uma tensão alternada é fornecida à bobina do rotor, causando a indução de uma força eletromotriz (f.e.m.) em cada uma das bobinas do estator, sendo o valor dessa f.e.m. uma função da posição relativa entre o rotor e cada bobina.

A Figura 3.6b mostra um sistema síncrono simples, constituído de um transmissor e um receptor. Quando os rotores dos dois elementos estão na mesma posição, como mostrado na figura, então as f.e.m. nas bobinas correspondentes dos dois estatores serão as mesmas. Neste caso não há diferença de potencial entre os terminais correspondentes do transmissor e do receptor, conseqüentemente, não havendo fluxo de corrente. No entanto, se os rotores não estiverem em uma mesma posição, as

f.e.m. não serão iguais nas bobinas correspondentes e haverá uma diferença de potencial entre os terminais correspondentes. Neste caso há uma diferença de potencial entre os terminais do transmissor e receptor e, conseqüentemente, havendo fluxo de corrente. A corrente passa pelas bobinas do estator produzindo um campo magnético, o que resulta em um torque sobre os rotores do transmissor e receptor, fazendo com que eles sejam alinhados. Deste modo, se o rotor do transmissor for acoplado a um leme de vento, e este for girado de um ângulo particular, o rotor do receptor síncrono será induzido a girar do mesmo ângulo.

O torque fornecido pelo sistema síncrono descrito é suficiente para superar o atrito das escovas e mancais dos dois rotores e acionar a pena de um registrador, o ponteiro de um instrumento indicador ou o cursor de um potenciômetro.

c) Transmissor Fotoelétrico

Neste tipo de transmissor um fluxo de luz é interrompido por um disco comutador perfurado, e o número de perfurações envolvidas é diretamente proporcional à posição angular do leme de direção de vento. A presença de luz em uma fotocélula causa a produção de pulsos elétricos de saída padronizados e a contagem destes pulsos permite a identificação de cada direção de vento particular. A operação deste transmissor é similar àquela descrita no item 3.1.1.2-c, para velocidade de vento, e ele apresenta como vantagem a inexistência de contatos mecânicos (reduz a inércia) e saída digital.

3.2 Sensores de Temperatura do Ar

A variação da temperatura do ar com a altura é um indicador da estabilidade termodinâmica da atmosfera, constituindo um parâmetro importante na avaliação das taxas de difusão atmosférica, para as liberações ocorridas em instalações nucleares.

As medições de temperatura são realizadas com sensores térmicos, que utilizam as propriedades dos materiais que variam com a temperatura. As propriedades dos materiais, utilizadas com maior frequência na construção de sensores para medições da temperatura do ar, são: a expansão térmica, resistência elétrica e termoeletricidade.

3.2.1 Termômetro de Líquido

Este tipo de termômetro é constituído basicamente de um bulbo metálico contendo um líquido (mercúrio ou álcool), fixado a um dos extremos de um tubo capilar que possui o outro extremo fechado. O mercúrio, ou o álcool etílico (com corante para melhorar a visibilidade) utilizado no sistema, expande-se pela ação do calor sobre o bulbo, ocupando parte do tubo capilar e indicando o valor da temperatura do bulbo por meio de uma escala gravada diretamente sobre o tubo de vidro protetor, ou sobre uma placa externa. A relação entre a seção reta do tubo capilar e o volume do bulbo determina o comprimento da escala .

Este tipo de termômetro utiliza como princípio de medição a expansão volumétrica do líquido com a temperatura, relação expressa matematicamente pela equação:

$$V_T = V_0 (1 + aT) \quad (\text{Eq. 2})$$

onde:

- T - temperatura do líquido ($^{\circ}\text{C}$);
- V_0 - volume do líquido à temperatura de referência (usualmente 0°C);
- V_T - volume do líquido à temperatura T;
- a - coeficiente de expansão térmica característico do líquido utilizado.

Nessa equação pode-se observar que o aumento do volume é diretamente proporcional ao aumento de temperatura e a escala de temperatura é linear. O termômetro de líquido é um instrumento essencialmente indicador, podendo ser empregado também para registro das medições.

A expansão volumétrica de líquidos orgânicos (álcool etílico) é muito superior à do mercúrio; todavia o uso deste último é preferido, devido à sua maior exatidão. Os termômetros deste tipo são de fácil utilização, requerem pouca manutenção, mas apresentam alguns inconvenientes como: velocidade de resposta pequena, problemas de histerese e destilação do líquido.

Os valores extremos (máximos e mínimos) da temperatura do ar ambiente em um local, sobre períodos de tempo especificados, são importantes para diversos estudos. Para obtenção

destes parâmetros são empregados tipos especiais de termômetro de líquido, conhecidos como termômetro de máxima e termômetro de mínima.

O termômetro de máxima é do tipo mercúrio em vidro, apresenta um estreitamento no tubo capilar logo acima do bulbo, impedindo desse modo que a coluna líquida retorne ao bulbo após uma queda da temperatura, de modo que o mercúrio permanece na posição da maior temperatura alcançada. O termômetro de mínima é do tipo álcool em vidro, no qual uma pequena barra indicadora é imersa no álcool, sendo a mesma deslocada pelo menisco da coluna líquida em direção ao bulbo, devido à contração do álcool causada por queda na temperatura. A barra indicadora permanece na posição da menor temperatura alcançada, mesmo após uma elevação da temperatura do meio. Os termômetros de máxima e mínima são normalmente montados em suportes especiais, para mantê-los com a inclinação correta de medição.

3.2.2 Termômetro de Resistência

O termômetro de resistência é baseado na variação da resistência elétrica de um material com a temperatura. É um instrumento medidor de resistência e calibrado em unidades de temperatura, cujo sensor para conversão da temperatura em resistência pode assumir duas formas:

- o bulbo de resistência, em que o elemento sensor é um resistor metálico, cuja resistência geralmente aumenta com a

temperatura;

- o termistor (resistência de coeficiente de temperatura negativo), é constituído de material semiconductor cuja resistência elétrica diminui com o aumento da temperatura.

Dois métodos são geralmente empregados para obtenção da leitura de um termômetro de resistência, sendo que ambos utilizam um circuito em Ponte de Wheatstone: método de balanço de zero e método de deflexão, exigindo portanto uma fonte de tensão externa. A Figura 3.7 apresenta o circuito básico de um termômetro de resistência, empregado para medição da temperatura do ar.

a) Bulbo de Resistência

O bulbo de resistência freqüentemente é uma bobina de fios condutores metálicos (enrolamento duplo para eliminar o efeito indutivo) e protegido com vidro ou plástico, para impedir contaminação que possa modificar suas propriedades elétricas, com o objetivo de apresentar resistência elétrica determinada à temperatura ambiente. As principais características dos metais utilizados são:

- alto coeficiente de variação da resistividade com a temperatura;

- relação contínua e estável entre a resistência e a temperatura;

- linearidade na resposta.

O bulbo de resistência de platina é de uso mais generalizado, principalmente devido à estabilidade térmica e resistência à corrosão. O cobre também é usado, apesar das características inferiores. Os materiais citados apresentam relação razoavelmente linear entre temperatura e resistência elétrica, possibilitando elevada exatidão e boa velocidade de resposta.

A variação da resistência elétrica com a temperatura, para os metais citados, é caracterizada por um coeficiente térmico de resistência positivo e expressa por:

$$R_T = R_0 (1 + a_1 T) \quad (\text{Eq. 3})$$

onde:

T - temperatura do ar ambiente ($^{\circ}\text{C}$);

R_T - resistência elétrica à temperatura T ;

R_0 - resistência elétrica à temperatura T_0 (usualmente 0°C);

a_1 - coeficiente térmico de variação da resistência, característico do metal empregado.

b) Termistores

O termistor é um material semicondutor cuja resistência elétrica é função unicamente de sua temperatura absoluta, apresentando coeficiente térmico de variação da resistência negativo e bastante elevado em relação aos metais. A variação da resistência elétrica com a temperatura é expressa por meio de uma função exponencial, da forma:

$$R = R_0 \exp.(b/T) \quad (\text{Eq. 4})$$

onde:

R - resistência elétrica à temperatura absoluta
T;

R₀ - resistência elétrica à temperatura de referência T₀ (usualmente 0°C);

b - constante empírica.

Os termistores apresentam uma maior variação na resistência com a temperatura que o bulbo de resistência, o que proporciona maior sensibilidade a este tipo de sensor. Além disso, pequenas dimensões, boa velocidade de resposta, simplicidade e elevada exatidão são outras características dos termistores.

A variação da resistência elétrica do termistor e do bulbo de resistência, pode ser convertida em um sinal elétrico analógico, representando a temperatura do ar ambiente para uso em sistemas automáticos de aquisição de dados.

3.2.3 Termopares

Quando dois metais diferentes, tais como cobre e constantan (liga), são colocados em contato em seus extremos, estando uma das junções (1) em uma temperatura diferente da outra junção (2), uma diferença de potencial é estabelecida, e seu valor pode ser medido. A relação entre a diferença de potencial produzida nos

extremos de um par termoelétrico (ΔE) e a diferença de temperatura existente, é expressa por:

$$\Delta E = C_A (T_1 - T_2) + C_B (T_1 - T_2)^2 \quad (\text{Eq. 5})$$

onde:

T_1 e T_2 - temperatura das junções 1 e 2;

C_A e C_B - coeficientes de temperatura dos metais utilizados;

A e B - termopares.

A força eletromotriz desenvolvida depende dos metais utilizados e para a junção cobre-constantan à temperatura ambiente, é de aproximadamente $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Dessa forma, a medição de temperatura com termopares é baseada no fenômeno de que em um circuito fechado composto de dois metais distintos A e B, com as junções a temperaturas diferentes T_1 e T_2 , aparece uma força eletromotriz da ordem de mV, que depende da diferença de temperatura e da natureza dos metais empregados.

As principais características deste tipo de sensor de temperatura são:

- força eletromotriz gerada relativamente elevada;
- boa resistência à corrosão e oxidação;
- relação f.e.m. x temperatura aproximadamente linear;
- elevada exatidão.

Os termopares utilizam, geralmente, um potenciômetro preciso para medir a f.e.m. gerada em função da temperatura, e

proporcionam indicação do resultado em unidades de temperatura.

3.2.4 Termôgrafos

O termôgrafo é um instrumento que registra graficamente a temperatura em função do tempo. Ele utiliza, geralmente, um mecanismo de relojoaria para produzir o movimento do gráfico, que durante seu percurso recebe o traçado de uma curva por meio de um sistema registrador de pena. A utilização deste instrumento é muito útil em locais sem suprimento de energia elétrica.

Os principais tipos de sensores térmicos empregados nos termôgrafos são: Tubo de Bourdon e Lâminas Bimetálicas.

a) Tubo de Bourdon

Este dispositivo é um tubo metálico de seção reta elíptica, ou quase elíptica e em forma de hélice ou espiral. Para medição de temperatura, o tubo é preenchido com líquido (mercúrio ou álcool) e uma variação na temperatura ambiente resulta numa variação da pressão ou volume do tubo, ocasionando alteração da sua forma. O tubo, para aplicação meteorológica, pode ter 5 cm ou mais de comprimento e possui um dos seus extremos fixado à estrutura do instrumento e o outro livre para movimentar um sistema de pena, para registro da temperatura como função do tempo. O tubo de Bourdon pode acionar também o ponteiro de um instrumento indicador.

b) Lâminas Bimetálicas

Quando duas lâminas metálicas de coeficientes de dilatação térmica bem diferentes são unidas por soldagem, e fixadas em um apoio por uma de suas extremidades, uma variação na temperatura ambiente causará uma dilatação bem diferente das lâminas. Como exemplo, um aumento na temperatura ambiente fará com que o metal de maior coeficiente de dilatação se dilate mais que o outro, resultando em uma inclinação lateral do conjunto, sendo esta deflexão lateral empregada para medição de temperatura.

O termógrafo empregando este tipo de sensor geralmente possui as lâminas bimetálicas enroladas em forma helicoidal ou espiral, com uma das extremidades das lâminas fixada à estrutura do instrumento e a outra articulada a uma haste, que movimentará o sistema de pena de um registrador ou o ponteiro de um termômetro indicador. No caso do termógrafo, as lâminas são unidas por solda, constituindo uma lâmina única, de vários centímetros de comprimento e menos que 2,0 cm de largura.

A sensibilidade deste tipo de sensor varia inversamente com a espessura da lâmina (usualmente 0,08 cm), variando também diretamente com o quadrado do comprimento total e com a diferença entre os coeficientes de dilatação térmica dos metais empregados.

3.3 Sensores de Radiação na Atmosfera

A fonte principal de energia de que o globo terrestre dispõe é a radiação solar recebida pela terra na forma de ondas eletromagnéticas. provenientes do sol. A distribuição dessa radiação na superfície terrestre é variável, constituindo a geratriz de todos os processos atmosféricos.

A terra recebe, em determinado local de sua superfície horizontal, uma quantidade diária de radiação solar, dependendo da latitude do local, da cobertura do céu e da inclinação do sol. A radiação solar ao atravessar a atmosfera sofre os fenômenos físicos de reflexão, difusão e absorção. Uma parte da radiação solar atinge a superfície terrestre diretamente, sendo denominada de radiação solar direta. Outra parte, atinge a superfície terrestre após sofrer o processo de difusão, sendo por isso denominada de radiação solar difusa ou do céu. Estes dois fluxos chegam à superfície terrestre simultaneamente e representam o total de radiação solar que atinge aquela superfície, denominada de radiação solar global. Uma parte da radiação solar global é absorvida pela superfície terrestre e o restante dela é refletida. O balanço de radiação é a diferença entre a radiação recebida (ondas curtas) e a radiação refletida (ondas longas). A seguir serão descritos os sensores de radiação empregados com maior freqüência em instalações nucleares.

3.3.1 Radiômetro

Este sensor detecta a radiação solar absorvida por uma superfície horizontal, ou seja, o balanço entre a radiação global proveniente do sol (direta + difusa) e a radiação refletida pela superfície.

O sensor consiste basicamente de dois discos (placas ou anéis) de cobre isolados e pintados de preto, um superior e outro inferior, que funcionam como receptores para a radiação solar e são mantidos em contato térmico com uma termopilha (associação de termopares em série), que permite obter um sinal elétrico proporcional ao balanço de radiação. O acabamento dos receptores é de cor preta para permitir absorção elevada e uniforme das radiações de ondas curtas incidentes e de ondas longas refletidas, sendo o balanço de radiação simplesmente proporcional à diferença de temperatura entre os discos receptores, superior e inferior.

A termopilha (cobre/constantan ou manganin/constantan) é selada entre os dois receptores pintados de preto e transforma a diferença de temperatura existente entre eles, provocada por aquecimento desigual, em saída elétrica proporcional ao balanço de radiação sobre a superfície.

O sensor (receptor + termopilha) é mantido em uma atmosfera seca e pressurizada, de modo a evitar condensação interna. O sensor é ainda instalado em um abrigo metálico e exposto por meio de janelas hemisféricas de polietileno, para protegê-lo de precipitação e vento. O polietileno tem sido usado

como material da janela devido às suas características de baixa absorção e transmissão relativamente elevada e uniforme da radiação de interesse.

A faixa de operação do radiômetro deve cobrir o espectro de radiação de interesse (por exemplo, de 0,3 a 80 microns) e o sinal de saída que é da ordem de mV deve ser expresso em cal/cm²/min ou mW/cm².

3.3.2 Piranômetro Estrela

Este sensor detecta a radiação global recebida por uma superfície horizontal, ou seja, a intensidade combinada de radiação solar direta e radiação difusa (celeste). O piranômetro Estrela mede a intensidade de radiação global por meio da variação de temperatura produzida pela mesma.

Um arranjo circular, alternando placas de cobre pintadas de preto e branco é usado como superfície radiosensível neste tipo de sensor. Uma termopilha instalada no lado inferior das placas de cobre, é mantida em contato térmico com as mesmas. A diferença de temperatura entre as placas pretas (junção quente) e brancas (junção fria), causada pelo aquecimento desigual, é proporcional à radiação incidente sobre as placas. A termopilha converte esta diferença de temperatura em uma tensão elétrica proporcional à intensidade de radiação solar global. Este princípio de operação é empregado para reduzir a complexa medição do fluxo de radiação incidente em uma superfície, a uma

medição simples de tensão elétrica, com todas as vantagens a ela associadas.

A parte sensível do piranômetro Estrela deve ser contida em uma blindagem metálica de proteção, pintada de branco . O instrumento deve ser instalado exatamente na horizontal e possuir uma janela hemisférica de vidro (ou quartzo), que funciona como filtro para as ondas eletromagnéticas e é transparente para a faixa de ondas curtas incidente do espectro solar (0,3 a 3 microns), a ser absorvida pelas placas. A janela hemisférica tem como objetivo principal proteger a parte sensível do sensor contra precipitação e vento. Algumas considerações sobre o projetos e a construção deste tipo de sensor são:

- deve haver uma linearidade entre a intensidade de radiação incidente e a tensão elétrica de saída;

- a resposta do sensor deve cobrir toda a faixa de ondas curtas do espectro de radiação global (0,3 a 3 μ);

- o sensor deve obedecer a lei dos cosenos para a radição incidente;

- um gás inerte seco pode ser empregado no interior do instrumento, para evitar condensação sobre as paredes internas do mesmo.

Este tipo de sensor de radiação global deve possibilitar que o sinal elétrico de saída seja expresso em $\text{cal/cm}^2/\text{min}$ ou mW/cm^2 . Uma variação moderna deste tipo de sensor emprega uma célula fotovoltaica sensível de silício, como receptor da radiação global incidente.

3.4 Sensores de Umidade Atmosférica

O conteúdo de vapor d'água na atmosfera é normalmente medido através de quantidades físicas absolutas relacionadas com massa, volume ou pressão, utilizando materiais que são de alguma forma afetados pela umidade.

A umidade atmosférica é usualmente expressa por: UMIDADE ABSOLUTA, que é a quantidade de vapor d'água contido em uma amostra de ar, e UMIDADE RELATIVA, que é geralmente expressa em percentagem, correspondendo à relação entre a umidade absoluta e a quantidade de vapor d'água contido no ar sob condições de saturação (umidade absoluta máxima possível). Ponto de orvalho é a temperatura na qual, se uma dada amostra de ar é refrigerada, sua umidade relativa atinge 100% e ocorre condensação. Tabelas psicrométricas relacionam ponto de orvalho, umidade absoluta e umidade relativa. Este item apresenta os sensores de umidade atmosférica empregados com maior frequência em estações meteorológicas de instalações nucleares.

3.4.1 Higrômetro de Cabelo

O cabelo humano após tratamento para remoção do óleo natural, é caracterizado por apresentar expansão ou contração com as alterações no conteúdo de vapor d'água atmosférico. Esta modificação no comprimento do cabelo humano não é linear, sendo mais acentuada para umidades atmosféricas inferiores. Desse modo, o higrômetro de cabelo mede a umidade relativa por

meio das variações no comprimento de uma mecha de cabelo humano, sendo que a variação no comprimento do cabelo com a umidade relativa pode ser tratada como aproximadamente logarítmica na faixa de 20% a 80% da umidade relativa. Esta relação pode ser expressa pela equação:

$$L = a + b \log(UR) \quad (\text{Eq. 6})$$

onde:

- L - comprimento do cabelo (cm);
- UR - umidade relativa do ar (%);
- a/b- constantes características do sensor.

A experiência tem mostrado que uma mecha de cabelo humano enrolada com seção elíptica, e relação de diâmetros de 1 para 4, aumenta o coeficiente de expansão do cabelo em aproximadamente 50%, comparado com a mecha de cabelo desenrolado [18]. Adicionalmente, esta disposição apresenta relação linear entre comprimento da mecha e umidade relativa e maior velocidade de resposta. As principais características deste tipo de sensor são:

- exatidão limitada (da ordem de 3 a 5%), devido a uma histerese considerável apresentada, não sendo eficiente nos extremos da escala de umidade relativa;
- exigência de um certo tempo para que seja alcançado o equilíbrio higroscópico (atraso na resposta);
- alta sensibilidade à temperatura, exigindo verificação e calibração freqüente (semanal).

Este sensor é construído com um dos extremos da mecha de cabelo fixado à estrutura do instrumento e o outro podendo movimentar o sistema de pena de um registrador (higrógrafo), ou o ponteiro de um instrumento indicador, ou ainda movimentar o cursor de um potenciômetro, proporcionando como saída um sinal elétrico. A Figura 3.8 apresenta um esquema deste tipo de sensor, sendo que cabelos sintéticos (fibra de nylon) têm sido desenvolvidos para substituir o cabelo humano, melhorando consideravelmente a estabilidade da resposta, mas apresentando maior sensibilidade à poluição.

3.4.2 Psicrômetros

A redução da temperatura de uma superfície umedecida devido à refrigeração por evaporação, pode ser empregada na determinação da quantidade de vapor d'água presente na atmosfera, devendo serem conhecidas também a temperatura e a pressão do ar ambiente. Este é o princípio de operação do psicrômetro, que consiste basicamente de dois termômetros similares, expostos lado a lado ao ar ambiente, para medição da umidade atmosférica.

O psicrômetro empregado com maior frequência consta de dois termômetros de mercúrio em vidro, um mantido com o bulbo seco e o outro tendo o bulbo coberto de gaze ou tecido embebido em água límpida, na temperatura ambiente (bulbo úmido). A água do bulbo úmido é evaporada pela ação do ar não saturado, fazendo baixar a temperatura indicada pelo termômetro correspondente. A queda verificada na temperatura depende do grau de

umidade do ar e da temperatura ambiente (bulbo seco), sendo a temperatura de bulbo úmido inferior àquela do bulbo seco, em virtude do calor removido para evaporar a água na superfície do mesmo. Quanto menor for o conteúdo de vapor d'água do ar atmosférico, mais baixa será a temperatura indicada pelo termômetro de bulbo úmido, devido à evaporação maior até o equilíbrio. Com estes dois valores (temperaturas de bulbo úmido e de bulbo seco) pode-se determinar a umidade relativa do ar com a utilização de uma carta ou tabela psicrométrica. A operação de um psicrômetro depende basicamente dos seguintes fatores: geometria do bulbo úmido, calor específico a pressão constante do ar atmosférico, velocidade do fluxo de ar sobre os bulbos, pressão barométrica, temperatura do ar (bulbo seco) e umidade absoluta.

Os dois termômetros são colocados em uma base metálica ou de baquelita, com ventilação adequada para assegurar as condições de equilíbrio. Classificam-se os psicrômetros em:

- Psicrômetro de Ventilação Natural, sendo sua exatidão inferior a dos demais;

- Psicrômetro Giratório, que dispõe de um punho para o operador realizar movimento circular com o instrumento. Esta operação é repetida após cada leitura, até que duas leituras de bulbo úmido coincidam;

- Psicrômetro de Aspiração Forçada, em que um pequeno motor elétrico aciona um exaustor para aspiração do ar nos bulbos (5 m/seg). A Figura 3.9 apresenta a disposição básica de um psicrômetro deste tipo.

O psicrômetro é indicado para umidade relativa muito alta, devido à pequena diferença entre as temperaturas indicadas pelos termômetros, sendo ainda importante que a gaze ou tecido do bulbo úmido, esteja saturado antes da medição e que seja aguardado um tempo suficiente para o equilíbrio térmico ser alcançado.

Uma variação deste tipo de instrumento consiste na substituição dos termômetros de mercúrio em vidro, por termômetros de resistência ou termopares que determinarão diretamente a diferença de temperatura entre o bulbo úmido e o bulbo seco, proporcionando um sinal elétrico como saída.

Os higrômetros de resistência são normalmente ligados a um circuito em ponte de wheatstone, sendo sua operação baseada no princípio de que a resistência elétrica dos condutores metálicos e termistores varia com a temperatura (ver item 3.2.2). A umidade relativa é medida diretamente empregando um circuito em ponte dupla, que converte a variação da resistência elétrica em temperatura. Uma das pontes de wheatstone tem uma corrente que depende da diferença entre a temperatura do bulbo úmido (T_U) e a do bulbo seco (T_S), proporcionando a medida $T_S - T_U$. A segunda ponte de wheatstone mede somente a temperatura T_S e as saídas deste circuito em ponte dupla são indicadas em um galvanômetro do tipo bobinas cruzadas, uma bobina atuada por $T_S - T_U$ e a outra por T_S . A posição estacionária do ponteiro indica a umidade relativa sobre uma escala.

No higrômetro de termopar é utilizado um circuito de potenciômetro diferencial, sendo a pequena diferença de poten

cial produzida em resposta ao aquecimento desigual entre a junta quente (bulbo seco) e a junta fria (bulbo úmido), comparada pelo potenciômetro a uma voltagem conhecida.

3.4.3 Higrômetro de Cloreto de Lítio (Resistivo)

O cloreto de lítio (LiCl) é um sal altamente higroscópico, que ao absorver o vapor d'água atmosférico se transforma em uma solução de LiCl . O grau de absorção depende da quantidade de vapor d'água presente na atmosfera (isto é, da umidade relativa), e o sal apresenta uma variação da resistividade com a umidade.

O princípio de operação deste tipo de sensor, para determinação da umidade atmosférica, é baseado no fato de que para toda pressão de vapor d'água em contato com uma solução saturada de um sal higroscópico, há uma temperatura de equilíbrio na qual a solução não absorve nem cede umidade ao ar atmosférico.

Um sensor de cloreto de lítio é mostrado esquematicamente na Figura 3.10 e consiste de um tubo metálico, isolado, contendo uma bobina bifilar (dois condutores de paládio, separados, enrolados lado a lado), revestida com uma camada de solução de cloreto de lítio, com um aglutinante. Os eletrodos bifilares da bobina não são interligados, mas dependendo da condutividade do cloreto de lítio, medecido pelo vapor d'água atmosférico.

férico, há um fluxo de corrente entre eles quando ligados a uma fonte de tensão. A condutividade da solução de cloreto de lítio cresce com a umidade atmosférica e o fluxo de corrente entre os condutores da bobina bifilar causa um aquecimento e uma consequente evaporação da umidade absorvida, até que a temperatura de equilíbrio seja alcançada. A temperatura de equilíbrio é medida por meio de um termômetro de resistência, instalado no interior do tubo metálico e é convertida para a temperatura de ponto de orvalho, por um circuito eletrônico.

A medição do ponto de orvalho é realizada quando uma fonte de baixa tensão, ligada aos eletrodos da bobina bifilar, provoca a passagem de uma corrente elétrica entre os fios. Esta corrente flui somente através da solução de cloreto de lítio, dependendo de sua condutividade e, conseqüentemente, da umidade absorvida. Admitindo que a solução de LiCl esteja inicialmente saturada e em equilíbrio com o ambiente, podemos ter:

a) Aumento da Umidade Relativa

Este aumento será acompanhado por uma elevação na pressão parcial de vapor d'água atmosférico, tornando-se esta maior que a pressão de vapor da solução de LiCl. A tendência então é do vapor d'água atmosférico condensar, diluindo a solução e, conseqüentemente, reduzindo a resistência ao fluxo de corrente (maior corrente) entre os fios da bobina. Este fato produzirá um efeito de aquecimento, elevando a temperatura da solução de LiCl até que a pressão de vapor da mesma iguale à nova pressão parcial do vapor d'água atmosférico. Uma vez que o estado de equilíbrio entre o cloreto de lítio e o vapor d'água atmosférico

rico é alcançado, um termômetro de resistência instalado no interior do tubo metálico, mede a temperatura de equilíbrio (que é maior que a temperatura ambiente).

b) Redução da Umidade Relativa

Esta redução é acompanhada por um decréscimo da pressão parcial de vapor d'água atmosférico, tornando-se esta menor que a pressão de vapor do cloreto de lítio. A tendência então é da água contida na solução de LiCl evaporar para a atmosfera, tornando-se a solução relativamente seca. Este fato causa um aumento na resistência elétrica, reduzindo o fluxo de corrente e ocasionando uma queda no efeito de aquecimento. Isto ocorrerá até que um estado de equilíbrio entre a pressão de vapor da solução de LiCl e a pressão parcial de vapor d'água atmosférico seja alcançado. Um termômetro de resistência mede a temperatura de equilíbrio, sendo esta superior à temperatura ambiente e inferior à temperatura de equilíbrio do caso (a). Entre a temperatura de equilíbrio da solução de LiCl e o ponto de orvalho do ar ambiente, existe uma relação bem definida e que é independente da pressão ambiente.

O sensor de cloreto de lítio possibilita, além da obtenção do ponto de orvalho, que se obtenha diretamente a umidade relativa, bastando utilizar um segundo termômetro nas proximidades do sensor para medir a temperatura do ar ambiente.

3.5 Sensores de Precipitação

A precipitação na forma de chuva e granizo é o principal mecanismo natural de restabelecimento dos recursos hídricos da superfície terrestre. Conceitualmente, precipitação é o processo pelo qual a água condensada na atmosfera em consequência de seu resfriamento, atinge por gravidade a superfície terrestre. Neste item, será considerada a precipitação ocorrendo sob forma de chuva e granizo.

A medição de precipitação é feita por pluviômetros ou pluviógrafos. Ela consiste em determinar a espessura da camada de água líquida que se depositaria sobre uma superfície horizontal, em decorrência da precipitação, se não ocorresse evaporação, escoamento superficial e infiltração. Essa espessura, denominada altura de precipitação, é determinada pela medida do volume de água captada por uma superfície horizontal de área conhecida, e expressa por:

$$H = 10 \frac{V}{A} \quad (\text{Eq. 7})$$

onde:

- H - altura de precipitação (mm);
- V - volume de água captada (cm³);
- A - área de exposição (cm²).

Define-se a intensidade de precipitação como a altura de precipitação ocorrida na unidade de tempo, geralmente expressa em mm/hora ou mm/minuto.

A superfície superior de captação do pluviômetro define a área de exposição do sensor e a proveta empregada para medição, em alguns tipos de pluviômetros, pode ser graduada diretamente em mm de precipitação baseado na equação (7), e especificada a partir da área de captação.

A causa principal de inexatidão nas medidas de precipitação é a interferência do vento na vizinhança do sensor e a experiência tem mostrado que ventos de moderados a fortes, passando pelo sensor, podem arrastar porção significativa da precipitação para longe da superfície coletora. Para ventos fortes, inexatidão de 10 a 30% da precipitação real pode acontecer. Outros fatores causadores de incerteza nas medidas são: a forma de precipitação (chuva, granizo) e a evaporação na superfície coletora do sensor. A seguir serão descritos os sensores de precipitação empregados com maior frequência em instalações nucleares.

3.5.1 Pluviômetro "Ville de Paris"

É constituído de um recipiente de aço inoxidável (ver Figura 3.11), cuja geometria possibilita boa rigidez mecânica, com anel coletor e torneira instalada em seu extremo inferior construídos de latão. A capacidade total é de 5 litros de água, permitindo medições de chuva equivalente a 125 mm, sem transbordamento. Utiliza duas provetas: a maior com capacidade de um litro para 25 mm de chuva e graduação de 0,2 mm e a menor com capacidade de 0,28 litros para 7 mm de chuva, e graduada em

décimos de mm. As provetas utilizadas para medição da água coletada devem ser preferencialmente de vidro e possuir seção reta muito inferior àquela do medidor.

Uma variação deste tipo é o pluviômetro de Régua Graduada, que consiste de um cilindro com saída afunilada, abaixo da qual há um cilindro de seção reta muito menor (1/10 da área de exposição). A chuva é coletada na área de exposição e enviada pelo cone afunilado ao cilindro inferior, de modo que com a altura linear da precipitação ampliada (10 vezes), mesmo quantidades pequenas podem ser medidas com uma régua graduada. Dentro das limitações previamente comentadas, este medidor é perfeitamente adequado para aqueles objetivos que requerem somente uma medida integrada sobre um largo período de tempo, isto é, 12, 24 ou mais horas.

3.5.2 Pluviômetro de Cuba Basculante "Tipping-Bucket"

Este tipo de sensor emprega o enchimento alternado de duas pequenas cubas conjugadas, que coletam a precipitação e são esvaziadas, por basculagem, para medição de precipitação. Uma das cubas coleta uma pequena quantidade de chuva (por exemplo, 0,3 mm), que causa um desequilíbrio, fazendo com que o conjunto gire sobre pivots, derramando a precipitação coletada e expondo a outra cuba. Quando isto ocorre, uma chave (relé magnético, chave de mercúrio, etc.) proporciona o fechamento de um contato elétrico, produzindo um pulso elétrico padronizado e indicador do evento. Uma pena registradora de evento (pena

que muda de posição de um valor prefixado quando energizada e retorna à sua posição original quando é cortado o sinal elétrico), proporciona um registro gráfico contínuo da ocorrência de cada unidade de precipitação. É possível determinar com elevada exatidão não somente a quantidade de precipitação em um dado intervalo de tempo, mas também as taxas instantâneas, se a velocidade do gráfico é suficientemente rápida. Os pulsos gerados em cada basculagem, correspondentes ao número de fechamentos do contato, podem também acionar um contador totalizador de altura de chuva, um sistema de telemedição ou ainda passar em um integrador eletrônico de sinal, com saída analógica, que aciona um registrador gráfico ou um instrumento indicador.

O pluviômetro de cuba basculante é exato para taxas de chuva baixas e moderadas, aumentando-se a incerteza com a taxa de chuva, devido à chuva perdida durante a basculagem da cuba.

3.5.3 Pluviógrafo de Flutuador com Sifão

Neste tipo de medidor a água sendo coletada em um reservatório vem deslocando uma bóia, que por sua vez transfere este movimento, por meio de uma articulação mecânica, a um sistema de pena que registra graficamente a altura da chuva coletada. Paralelamente é feito o registro de tempo (horas/dias), por meio de um mecanismo de relojoaria.

A Figura 3.12 mostra esquematicamente este medidor ,

sendo que a chuva coletada no bocal A, por meio de um condutor é recolhida no recipiente B, que é dotado de um flutuador (bóia) C e um sifão H. O flutuador tem liberdade para deslizar dentro do reservatório, solidário a uma haste Z, que em sua extremidade possui uma pena registradora. Com a coleta da água de chuva, o flutuador movimenta a haste e a pena, proporcionando registro de altura pluviométrica. O gráfico é enrolado em um tambor T, que é movimentado por um mecanismo de relojoaria (Ex.: uma volta por dia). Cada vez que o reservatório é preenchido, ele é esvaziado automaticamente pelo sifão, que transfere a água para o recipiente K, retrocedendo a pena registradora ao valor zero (identificação no gráfico). Periodicamente esta água acumulada é medida por intermédio de uma proveta e comparada com o registro gráfico.

Por comodidade de manuseio, é mais comum o pluviôgrafo com área de exposição de 200 cm², fornecendo gráficos diários, semanais ou mensais. No último caso, o tambor giratório é substituído pelo gráfico em rolo, com duração de aproximadamente 30 dias.

O pluviôgrafo exige manutenção e fiscalização frequentes, devendo ser instalado em local de fácil acesso, para observação permanente. Os registros gráficos de pluviógrafos são conhecidos como pluviogramas e o flutuador pode acionar um contador mecânico, proporcionando um pluviôgrafo totalizador muito eficaz para instalação em lugares afastados.

3.6 Exposição e Calibração dos Sensores Meteorológicos

A localização de um sensor meteorológico e os efeitos do meio ambiente sobre a representatividade das medições obtidas são consideráveis e nem sempre estimáveis, para uma correção posterior. A exposição ideal de todos os sensores é praticamente impossível; entretanto, algumas orientações deverão ser consideradas para obter-se a melhor exposição possível dos mesmos.

Para medição dos parâmetros meteorológicos em um mínimo de dois níveis, conforme exigência dos órgãos regulatórios, é necessário a instalação de mastros ou torres para suporte dos sensores. Estes mastros e torres podem diferir em material de construção, tipo de seção reta e dimensões, sendo utilizados com maior frequência, em instalações nucleares, o mastro tubular de aço e a torre triangular de aço, ambos podendo ser estaiados ou não.

Os mastros ou torres devem ser suportados por bases de concreto, situadas preferencialmente, na mesma elevação da instalação nuclear e localizadas distante de obstruções naturais e/ou obstáculos criados pelo homem, em um local representativo das condições meteorológicas existentes.

Os sensores meteorológicos deverão ser instalados sobre braços articulados, com comprimento mínimo de duas vezes a largura do mastro ou torre e orientados na direção predominante de vento. O nível de 10 m tem sido aceito como nível de referência padrão da superfície livre de turbulência, para a insta

lação dos sensores meteorológicos e o nível de 60 m, em geral coincide com a altura de liberação dos reatores nucleares de potência a água leve.

O mastro ou torre de suporte dos sensores causa uma deformação nas superfícies eqüipotenciais do campo elétrico da terra, podendo atrair descargas elétricas, exigindo que precauções sejam tomadas para aterramento do mastro ou torre e proteção da instrumentação contra danos causados pelos raios (ver Capítulo 5).

O mastro ou torre e os cabos elétricos dos sensores ou de suprimento de energia elétrica devem ser instalados de modo que, testes, calibração e manutenção de cada sensor, possam ser efetuados mantendo os demais sensores em operação. Dependendo do local da instalação nuclear (vales, regiões costeiras, etc.), mastros ou torres adicionais podem ser necessários, para melhor caracterização meteorológica da região.

3.6.1 Exposição dos Sensores de Vento

Os sensores de direção e velocidade de vento devem ser instalados acima do braço de suporte ($\approx 0,5$ m), na direção predominante de vento e nos seguintes níveis: 10 m, 60 m e em um nível mais alto, representativo dos pontos de liberação de efluentes atmosféricos.

3.6.2 Exposição dos Sensores de Temperatura do Ar

Os sensores térmicos, para medição da temperatura a nível do solo, são instalados em abrigo ventilado, com venezianas e telhado duplo, para impedir a radiação solar de aquecer seu interior. O abrigo normalmente está a 1,5 m acima do solo e os sensores meteorológicos são localizados próximos ao seu centro, considerando que as paredes do mesmo são aquecidas acima da temperatura verdadeira do ar atmosférico. O abrigo deve ser orientado de modo que a radiação solar direta nunca atinja o interior do mesmo, pintado de branco para melhor refletir essa radiação incidente e contendo os seguintes sensores meteorológicos: sensores de temperatura e umidade do ar, e os termômetros de máxima e mínima.

A instalação dos sensores de temperatura, para determinação da estratificação térmica existente na atmosfera, nos braços articulados de mastro ou torre é efetuada em blindagens contra a radiação incidente, e nos seguintes níveis:

- medição de temperatura (T) do ar no nível de 10 m;
- medição da diferença de temperatura (ΔT) entre 10 m e 60 m;
- medição da diferença de temperatura (ΔT) entre 10 m e um nível mais alto representativo das condições de difusão nos pontos de liberação.

Os sensores térmicos (termômetro de resistência ou termopares) são comumente contidos em blindagens de alumínio anodizado, projetadas de modo que o elemento térmico sensor per

maneira em equilíbrio com a temperatura do ar atmosférico, protegendo também o sensor contra influências de radiação incidente e precipitação.

A blindagem deve ser instalada de modo que o sensor térmico fique exposto em direção ao norte geográfico e a ventilação na blindagem pode ser natural ou forçada; no último tipo, o ar ambiente deve ser aspirado, continuamente, a uma taxa constante (5m/seg), por exaustores acionados por motor elétrico, sem que haja alteração térmica do fluxo de ar.

3.6.3 Exposição dos Sensores de Umidade do Ar

A exposição destes sensores deve seguir as recomendações descritas no item 3.6.2 (exposição de sensores de temperatura do ar), devendo serem instalados nos seguintes níveis: no nível de 10 m e também a uma altura onde as medições representam o conteúdo de umidade atmosférica, se torres de refrigeração são usadas para dissipação de calor.

3.6.4 Exposição dos Sensores de Precipitação

O medidor de precipitação atmosférica deve ser instalado 1,5 m acima do solo e com uma inclinação menor que 3° em relação à horizontal. O medidor deve ser localizado em espaço aberto e, se possível, próximo a pequenos obstáculos que possam atuar como quebra-vento, auxiliando na obtenção de medidas mais

exatas.

3.6.5 Exposição dos Sensores de Radiação na Atmosfera

O sensor de radiação na atmosfera deve ser instalado a 2 m do solo, perfeitamente na horizontal e de modo que a radiação incidente ou refletida esteja desobstruída todo o tempo. Estes sensores devem ser expostos de modo a evitar o sombreamento, devido a obstáculos (mastro ou torre, edifícios) e localizados distantes de corpos d'água, que possam influenciar nas medições.

3.6.6 Calibração dos Sensores Meteorológicos

Os sensores de vento requerem testes em túnel de vento, para verificação do desempenho e calibração dos mesmos. A verificação de rotina de anemômetros de rotação (conchas e hélice) pode ser efetuada pela substituição do sensor por um motor elétrico, de velocidade ajustável. A velocidade de vento indicada pelo sistema deve ser igual à velocidade de tunel de vento que produziria a rotação previamente ajustada no motor, dentro das tolerâncias permissíveis.

Os sensores de temperatura e de diferença de temperatura, são calibrados por imersão do termômetro, junto com um termômetro de referência, em um reservatório com líquido apropriado, cuja temperatura pode ser variada pela ação de um aque

cedor elétrico. Este sistema de calibração de sensores térmicos deve possuir um motor de agitação, para equalização da temperatura no reservatório, devendo ser efetuadas as comparações entre as leituras dos dois termômetros.

A calibração dos sensores de umidade e temperatura pode ser realizada em uma câmara ambiental, na qual estes parâmetros são variáveis sobre a faixa necessária e medições são efetuadas com instrumentos analógicos e digitais, de exatidões suficientes para servirem como padrões de calibração.

A operação do pluviômetro é verificada basculando-se a cuba do mesmo um número suficiente de vezes, para certificar-se de que o transmissor opera cada vez que a cuba é basculada.

Por exigência dos órgãos regulatórios, as calibrações deverão ser realizadas pelo menos semestralmente, para assegurar o atendimento das exatidões requeridas para o sistema.

4. SISTEMAS DE INSTRUMENTAÇÃO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS

O atendimento às exigências dos órgãos regulamentadores relacionadas com os dados meteorológicos a serem obtidos no local de uma instalação nuclear, requer que esta seja equipada com sistemas de instrumentação meteorológica fixos e portáteis, especialmente projetados para proporcionarem todas as informações necessárias, durante situações operacionais normais e de emergência. Os dados fornecidos pelos instrumentos deverão ser enviados imediatamente para a sala de operação da instalação e para o centro de controle de emergência.

Um sistema de instrumentação básico é constituído de três componentes: sensores, condicionadores de sinal e dispositivos de saída. O projeto de um sistema apropriado deve considerar simultaneamente a seleção dos sensores, a forma de processamento dos dados e a técnica empregada para registro. Quanto aos dispositivos de registro de dados, os órgãos regulamentadores exigem um sistema redundante, constituído de um registro digital e um registro analógico auxiliar.

4.1 Sensores Meteorológicos

O sensor meteorológico é o componente do sistema de instrumentação que fica em contato direto com o parâmetro meteorológico de interesse e tem por objetivo o desenvolvimento de um sinal de saída proporcional ao valor daquele parâmetro.

Usualmente, o sinal de saída está em forma de tensão ou corrente elétrica e as propriedades utilizadas comumente para representar a informação são a amplitude ou a frequência do sinal.

Uma descrição detalhada dos principais sensores meteorológicos empregados em instalações nucleares foi apresentada no Capítulo 3. Neste item, serão apresentadas as características importantes relacionadas com a escolha dos sensores a serem utilizados em um sistema de instrumentação:

a) Faixa de operação: o sensor deve possuir uma faixa de operação com largura suficiente para responder a todos os valores prováveis do parâmetro meteorológico considerado;

b) Sensibilidade: é definida como a relação entre o sinal de saída e a entrada, sendo que o sensor escolhido deve ter um grau de sensibilidade adequado para que a resolução do sistema seja satisfatória;

c) Características elétricas de saída: as características elétricas do sensor escolhido (resposta de frequência, velocidade de resposta, impedância de saída) devem ser compatíveis com o restante do sistema de instrumentação;

d) Condições ambientais: o desempenho de muitos sensores é afetado criticamente por fatores ambientais como temperatura, umidade, corrosivos químicos, etc.. Estas condições devem ser consideradas antes da especificação dos sensores;

e) Erro ou exatidão: o fabricante usualmente avalia a exatidão, ou o grau de incerteza, com o qual um sensor responde às variações do parâmetro medido. O erro inerente à operação do sensor, ou aqueles causados pelas condições ambientais da

medição, devem ser pequenos ou suficientemente controláveis para proporcionarem dados significativos.

Finalmente, existem problemas fundamentais a serem considerados na transmissão dos sinais produzidos pelos sensores para os condicionadores de sinal, por meio de cabos. Deve-se evitar que os sinais de saída dos sensores sejam deteriorados pela presença de qualquer sinal elétrico estranho (ruído), que interfira com as características de interesse daquela saída e minimizar a deterioração dos sinais de saída dos sensores pelos demais componentes do sistema de instrumentação (distorção).

4.2 Condicionadores de Sinal

Condicionador de sinal é o componente do sistema de instrumentação que processa o sinal de saída dos sensores meteorológicos, de modo que estes sinais sejam padronizados e apresentem as características (amplitude, frequência e forma de onda) apropriadas para entrada nos dispositivos de processamento e registro de dados. Assim, o condicionador de sinal constitui uma interface entre os sensores em contato com os fenômenos meteorológicos e o sistema de aquisição de dados.

O condicionamento de sinal pode ser linear (amplificação, atenuação, integração) ou não linear (modulação, conversão analógica/digital ou digital/analógica, limitação de amplitude).

O sinal de saída padronizado do condicionador de sinal é enviado aos dispositivos de saída, conforme:

a) Saída digital: para registrador de fita magnética, perfuradora de fita de papel, computadores, contadores de eventos, teletipo, modem para telemedicação, mostradores digitais , etc.;

b) Saída analógica: para registrador gráfico, instrumentos indicadores e osciloscópio.

4.3 Processamento e Registro de Dados Meteorológicos

O aumento contínuo na disponibilidade e capacidade dos equipamentos eletrônicos de processamento e registro de dados requer um estudo para definição das formas de processamento e registro apropriados para um sistema de instrumentação meteológica específico. Quando diversos parâmetros são considerados, é válido questionar se os dados obtidos devem ser tratados manualmente, pela utilização de registradores gráficos analógicos ou se a maior exatidão e melhor resolução dos sistemas automáticos justificam um investimento adicional. Este item apresentará algumas considerações práticas a respeito dos dispositivos de saída utilizados com maior freqüência em sistemas de instrumen

tação meteorológica para instalações nucleares.

a) Registrador Gráfico Analógico

O registrador gráfico permite que variações na amplitude de um parâmetro meteorológico, em função do tempo, sejam registradas diretamente. Os registradores gráficos analógicos comumente empregam um servossistema operado pelo princípio de balanço de zero, que controla o movimento de um sistema de pena registradora, perpendicularmente à direção de deslocamento do papel gráfico, proporcionando um registro em coordenadas retilíneas. Estes registradores apresentam elevada confiabilidade, com exatidão e resolução satisfatórias, quando escolhidos apropriadamente. Além disso, o registro visual proporcionado é extremamente valioso para informar sobre as condições operacionais dos sensores meteorológicos e minimizar a perda de dados, no caso de operação imprópria do sistema automático de registro. Como inconveniente, este tipo de registro requer interpretação dos dados pelo operador.

b) Registrador de Fita Magnética

Fita magnética é um método freqüentemente empregado para registro de dados meteorológicos, podendo a informação de entrada estar na forma analógica ou digital, embora comumente seja empregada a última. As principais características deste tipo de registro são uma velocidade de leitura elevada, alta densidade de acumulação de dados e a facilidade para

interpretação dos dados registrados por computadores. A desvantagem deste tipo de registro é que somente permite inspeção e verificação dos dados registrados por computadores.

c) Perfuradora de Fita de Papel

Este tipo de registro usa uma fita de papel de 2,5 cm de largura, com perfuração em linha. As principais características deste tipo de registro são velocidade de leitura variável, densidade de acumulação de dados satisfatória e facilidade para interpretação dos dados registrados por computadores.

d) Cartão Perfurado

Cartão perfurado é utilizado com grande freqüência para registro de dados meteorológicos. Estes registros são facilmente transferidos para fita magnética, sendo que os cartões perfurados permitem ainda inspeção/correção fácil de informações incorretas.

e) Impressora Digital

Em alguns casos é necessário um dispositivo que proporcione a impressão do valor medido, sendo usada uma máquina de escrever atuada eletricamente (teletipo). Este tipo de registro requer interpretação do operador, mesmo sendo usada uma entrada digital.

f) Processadores Automáticos de Dados (Microcomputadores, Computadores)

Estes equipamentos são utilizados onde é necessário um processamento dos dados em velocidade elevada, ou onde é necessário aquisição e manipulação dos dados imediatamente. Neste caso, o computador eletrônico opera como um dispositivo de aquisição, processamento e registro dos resultados.

4.4 Estações Meteorológicas

A Figura 4.1 mostra o esquema estrutural de uma estação meteorológica automática, com o pátio cercado e ocupando aproximadamente 100 m² de área. A estação é composta, basicamente, de uma torre para instalação dos sensores (em dois níveis), um edifício de equipamentos e saída por linha telefônica, para unidades distantes.

A escolha da forma final de processamento e registro de dados de uma estação meteorológica é sempre difícil e representa um meio termo entre o custo e os objetivos dos dados obtidos. Entretanto, uma estação meteorológica automática representa economia de tempo e de gastos operacionais, com melhoria da exatidão no processo de tratamento dos dados.

A informação dos registradores gráficos analógicos depende de redução manual dos gráficos para a forma digital, para que as análises estatísticas possam ser efetuadas. Este tipo de registro apresenta, como inconveniente, o atraso entre registro e processamento e a dificuldade de interpretação dos gráficos,

com a consequente redução na exatidão dos dados.

4.4.1 Descrição de Uma Estação Meteorológica Automática

A instrumentação meteorológica mostrada na Figura 4.2 possui um sistema de aquisição de dados que converte, automaticamente, os dados analógicos para a forma digital. Este sistema processa os valores de interesse e proporciona registro em fita perfurada para acesso direto em um computador e realização das análises estatísticas.

Na estação meteorológica esquematizada na Figura 4.2, os sensores empregados são reunidos em dois grupos: o primeiro, compreende aqueles sensores cujo sinal de saída são taxas de pulsos ou informação sim/não. O segundo grupo emite tensões analógicas com amplitudes proporcionais aos parâmetros meteorológicos.

As saídas dos sensores são enviadas a condicionadores de sinal, para padronização conforme as necessidades dos estágios seguintes. Após a eliminação dos sinais de interferência, a informação passa por um circuito multiplex, que faz a seleção da entrada a ser transmitida aos estágios seguintes, a cada intervalo de tempo prefixado. Como conversor analógico/digital a estação meteorológica emprega um voltímetro digital.

As saídas dos sensores em tensão analógica são enviadas ao voltímetro digital onde são codificadas. As saídas dos sensores que emitem pulsos de tensão são enviadas diretamente a

contadores de eventos.

O controle do multiplex, para determinação do tempo de amostragem de cada sensor e a seqüência da mesma, é realizado pela unidade eletrônica de controle programável, bem como o controle da impressora de dados.

As informações de dados podem ser lidas diretamente pelo operador, através dos mostradores digitais dos contadores e do voltímetro digital, ou o conteúdo das informações em código BCD pode ser impresso em fita perfurada por uma teleimpressora atuada eletricamente.

4.4.2 Estação Meteorológica Automática Controlada por Microcomputador

Este tipo de estação meteorológica emprega um sistema de aquisição de dados controlado por microcomputador, permitindo a aquisição, processamento e registro automático dos dados meteorológicos, no local.

O microcomputador tem capacidade de desenvolver a maioria dos cálculos (médias, valores máximos e mínimos, desvio padrão, etc.) no local. As principais funções desempenhadas pelo microcomputador no sistema, são:

- a) amostrar os dados de saída dos sensores em intervalos prefixados;
- b) converter estes dados para unidades técnicas;

c) processar os cálculos possíveis no local;

d) registrar os dados (em fita magnética ou fita de papel perfurada).

A Figura 4.3 mostra o diagrama de blocos com os componentes principais de um sistema de aquisição de dados meteorológicos, controlado por microcomputador. O registrador de fita magnética e a perfuradora de fita de papel são empregados para registro dos dados, proporcionando processamento posterior dos mesmos em um computador, para desenvolvimento de análises estatísticas.

A Figura 4.4 mostra o diagrama de blocos de uma estação meteorológica controlada por microcomputador, na qual os dados são armazenados em registradores gráficos analógicos e os sinais elétricos, após passarem por um circuito multiplex e conversor analógico/digital, são processados pelo microcomputador. Os dados meteorológicos são ainda registrados em fita magnética e um transmissor de sinal permite leitura dos dados em uma instalação distante.

Este tipo de sistema automático provê dados de elevada exatidão, assegurando ainda alta confiabilidade à estação meteorológica.

5. SISTEMAS AUXILIARES

A instrumentação meteorológica apresentada neste trabalho é especialmente dirigida para uma estação automática, atendendo às exigências dos órgãos regulamentadores relacionadas com a obtenção de dados meteorológicos. Uma estação meteorológica automática necessita de suprimento contínuo de energia elétrica, para atender a demanda de instrumentação, iluminação e transmissão de dados. Este capítulo descreve um sistema elétrico de suprimento ininterrupto ("NO-BREAK"), visando aproveitamento mínimo de 90% dos dados meteorológicos e proporcionando alimentação redundante, conforme as exigências dos órgãos regulamentadores. O capítulo apresenta ainda uma análise do problema de aterramento em estações meteorológicas, que constitui a causa principal de perda dos dados meteorológicos proporcionados por uma estação.

5.1 Sistema para Suprimento Ininterrupto de Energia Elétrica

Os componentes principais de um sistema de suprimento de energia elétrica típico são apresentados na Figura 5.1, devendo ser projetado e instalado para atender as características de demanda da estação meteorológica, de modo a manter a mesma em operação sob quaisquer condições. Este sistema é constituído basicamente de:

- a) alimentação elétrica proveniente da concessionária local;
- b) grupo motor-gerador de emergência;
- c) banco de baterias.

Um circuito alimentador, proveniente da concessionária local de energia elétrica, atende toda a demanda da estação meteorológica e uma chave de transferência automática controla todo o suprimento de energia elétrica para as cargas essenciais da estação.

Na condição de falta do suprimento comercial, o banco de baterias assumirá automaticamente (sem tempo de chaveamento) as cargas essenciais da estação meteorológica, através de um circuito inversor, cuja frequência de saída é determinada por um oscilador interno. Isto ocorrerá até que, após um tempo predefinido, a chave de transferência automática partirá o grupo motor-gerador de emergência, proporcionando suprimento às cargas essenciais da estação e recarga do banco de baterias. Após a restauração do suprimento de energia elétrica comercial, um relé desligará o grupo motor-gerador.

No evento de falta simultânea do suprimento comercial e do grupo de emergência, o banco de baterias alimentará as cargas essenciais (instrumentação) da estação meteorológica, através do inversor, até que a tensão de saída do banco caia a um valor mínimo de operação recomendado. Nesta condição, o inversor interromperá automaticamente a alimentação, protegendo as baterias contra danos decorrentes de uso prolongado.

Em condições normais de operação do sistema ininter_{rupto}, o banco de baterias é mantido sob carga contínua, por meio do conjunto retificador/carregador. A tensão alternada fornecida pelo inversor deverá ser uma onda senoidal com baixa distorção e com tensão e frequência estabilizadas. No evento de falha de qualquer componente relacionado com o banco de baterias, uma chave de derivação ("BY-PASS") será ativada e as cargas essenciais transferidas automaticamente para a linha de entrada.

5.2 Proteção da Estação Meteorológica Contra Descargas Elétricas Atmosféricas

A maioria das falhas de instrumentos verificadas em estações meteorológicas é devido a descargas elétricas atmosféricas diretas ou atingindo as proximidades do local e as linhas de suprimento de energia elétrica. Um sistema de aterramento deve ser instalado e dissipar para a terra a corrente devido à alta tensão da descarga elétrica, antes que a instrumentação seja danificada, visando um aproveitamento elevado de dados.

A Figura 5.2 apresenta a disposição de uma estação meteorológica típica, composta de uma área cercada, contendo um mastro ou torre para suporte dos sensores, com cabos de alimentação elétrica e de sinal de saída, edifício com equipamentos eletrônicos, sensores de superfície e linhas de suprimento de energia elétrica comercial (usualmente um transformador instalado em poste). Algumas estações meteorológicas automáticas possuem também um linha telefônica para transmissão de dados a locais dis

tantes.

O transformador e as linhas de suprimento elétrico comercial são fornecidos e instalados normalmente pela concessionária local de energia elétrica. No interior do edifício de equipamentos existem diversos aparelhos eletrônicos, sendo por isso muito susceptível a danos causados por descargas elétricas (principalmente as unidades de entrada dos sinais dos sensores).

5.2.1 Descargas Elétricas Atmosféricas em Estações Meteorológicas

A descarga elétrica é caracterizada por um fluxo de corrente elevado em intensidade, mas extremamente curto em duração. Os danos causados em estruturas e equipamentos devido a uma descarga elétrica atmosférica são o resultado do aquecimento e dos esforços mecânicos, produzidos pela passagem da corrente elétrica, através da resistência no percurso da descarga. A descarga ocorre em um ponto onde a diferença de potencial excede a resistência dielétrica do isolamento e os danos devidos à queda direta da descarga podem ser minimizados proporcionando um percurso de baixa resistência para a terra.

Um estudo dos mecanismos de uma descarga elétrica atmosférica revela que a probabilidade de queda direta sobre os equipamentos eletrônicos não existe, visto que eles são protegidos pelo edifício. Entretanto, este estudo revela que um surto de tensão devido a descarga elétrica sobre o mastro ou torre ,

ou sobre os sensores de superfície, ou sobre as linhas de suprimento elétrico ou mesmo sobre a linha telefônica pode danificar os equipamentos no edifício. Isto é possível porque todos os componentes externos citados são interligados eletricamente com os equipamentos eletrônicos no edifício.

A solução para o problema de descargas elétricas atmosféricas em estações meteorológicas é manter os equipamentos eletrônicos do edifício e todos os componentes externos em um mesmo potencial, o que é conseguido construindo uma malha de terra e ligando todos os componentes a esta malha comum. Por razões de confiabilidade, cada componente, incluindo o edifício de equipamentos, cerca, sensores de superfície e neutro do suprimento elétrico comercial deverão ser ligados a esta malha em pelo menos dois pontos diferentes. Os equipamentos eletrônicos do edifício devem ser ligados a esta malha, unindo-se os chassis de todos os componentes (a menos que por outras razões um determinado componente não o permita) e então extendendo dois condutores, do ponto de união dos chassis para o aterramento do edifício de equipamentos.

As descargas elétricas podem causar danos ao mastro ou torre devido a queda direta, e aos equipamentos, por surto de tensão atingindo-os através das linhas de energia elétrica expostas. O surto pode resultar de queda direta da descarga elétrica na linha ou de tensões induzidas eletrostaticamente nas mesmas.

A estrutura metálica (mastro ou torre) oferece um caminho satisfatório como percurso da corrente elétrica para a

terra e, para protegê-la, um pára-raios deve ser instalado em seu extremo superior e ligado por condutores de descida à malha de terra. A instalação do pára-raios deve ser efetuada de modo a não interferir com os cabos de transmissão de sinais, sendo tomadas também medidas de segurança contra danos devidos a campos elétricos e magnéticos. Os condutores de ligação do pára-raios à malha de terra devem apresentar a menor impedância possível para a terra.

5.2.2 Considerações no Projeto do Sistema de Aterramento

A malha de terra usualmente estende-se sobre todo o pátio da estação meteorológica e consiste de condutores enterrados no solo, com eletrodos de terra intercalados em distâncias determinadas. O diâmetro dos eletrodos tem pouco efeito sobre a eficiência do sistema de aterramento, sendo o desempenho do mesmo determinado principalmente pela resistência mecânica do eletrodo. O número de eletrodos, as dimensões da malha e a quantidade de malhas necessários devem ser determinados utilizando testes de resistividade do solo, conforme métodos e procedimentos convencionais. Entretanto, no mínimo uma malha de terra circundando todos os componentes internos à cerca, com duas ligações separadas para cada componente, deve ser construída, mesmo não sendo considerada a resistividade do solo. A Figura 5.2 apresenta uma malha de terra típica, que segue a regra prática que manda instalar um eletrodo de terra a cada 15 m de malha [7].

A corrente elétrica resultante de falha dos equipamentos de uma estação meteorológica é de baixa intensidade, o que exclui a segurança do pessoal de operação como uma consideração básica de projeto, devendo no entanto, as seguintes recomendações serem observadas em semelhante projeto:

a) A probabilidade de uma descarga elétrica atingir diretamente o mastro ou a torre é muito elevada, sendo necessário a instalação de uma malha de condutores uniformemente distribuída para dissipação da energia associada com a descarga atmosférica. Se esta consideração não for observada, a sobretenção da descarga seguirá o percurso de menor resistência, o qual pode incluir cabos de serviço, canalização d'água e o neutro do sistema elétrico. Dependendo do percurso escolhido pela descarga, pode resultar em destruição dos equipamentos.

b) O mastro ou a torre, o edifício de equipamentos e todos os equipamentos no pátio devem ser interligados ao sistema de aterramento, por conexões rígidas e confiáveis. Um gradiente de potencial elevado ocorrerá entre o mastro ou torre, atingido por descarga elétrica, e os equipamentos não ligados ao sistema de aterramento, e este gradiente pode causar danos aos cabos de serviço entre o mastro ou torre e o equipamento isolado.

c) A resistência da malha de terra deve ser tão baixa quanto possível na prática. Esta consideração assegura uma pequena elevação de potencial, mesmo durante a ocorrência de uma descarga elétrica.

d) A variação horizontal da resistividade do solo, para as dimensões do pátio de uma estação meteorológica, é geralmente desprezível, sendo considerada somente a variação da resistividade com a profundidade. Feito o levantamento das resistividades do solo em diversas profundidades é determinado um valor efetivo a ser usado no projeto da malha de terra (resistência da malha em OHM).

e) Devem ser usados cabos de fio de cobre trançados, como condutores da malha e para ligação da mesma aos componentes da estação meteorológica. As conexões subterrâneas da malha de terra devem ser efetuadas com solda.

5.2.3 Pontos que Necessitam de Proteção Especial

A Figura 5.2 apresenta uma malha de terra que contém a porção principal da proteção necessária para uma estação meteorológica. Entretanto, alguma vulnerabilidade ainda existe, sendo necessário mais algumas considerações sobre pontos que exigem métodos específicos de proteção contra descargas elétricas atmosféricas.

a) Circuito de Suprimento de Energia Elétrica Comercial

A concessionária local de energia elétrica deve proporcionar proteção apropriada ao transformador de suprimento externo, mas nos condutores de ligação do transformador ao edifício de equipamentos eletrônicos podem aparecer surtos de ten

são induzida (especialmente quando são circuitos de algum comprimento). Para proteger os equipamentos eletrônicos contra sobretensões originadas desta maneira, um pára-raios deve ser instalado em cada fase, no lado de chegada ao edifício. O neutro deste circuito deve ser ligado ao condutor de aterramento do edifício de equipamentos.

b) Terminais de Entrada dos Condicionadores de Sinal no Edifício de Equipamentos

Podem aparecer tensões induzidas nos condutores de sinal provenientes dos sensores do mastro ou torre e dos sensores de superfície, causadas pelo fluxo de corrente elétrica elevada de uma descarga atmosférica sobre um componente. Estas tensões induzidas podem ser suficientemente elevadas para danificar os estágios de entrada dos condicionadores de sinal. Um diodo zener como proteção adicional, possuindo características de ruptura coordenadas com o nível de tensão de entrada considerado e coordenadas também com as características de ruptura do condicionador de sinal envolvido deverá ser usado para proteger os equipamentos. Além disso, é aconselhável a ligação de todos os conduites metálicos de ligação dos sensores ao edifício de equipamentos, à malha de terra da estação meteorológica.

c) Circuito de Transmissão de Dados (Linha Telefônica)

A companhia telefônica local deve proporcionar proteção apropriada para os terminais da linha de transmissão de dados, ou ela pode exigir que o usuário da linha proporcione es

ta proteção. Neste caso, devem ser instalados pára-raios em am
bos os extremos da linha telefônica.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho procurou mostrar os componentes de um sistema de instrumentação meteorológica, aplicáveis às condições ambientais brasileiras, e o modo como esses componentes são interligados para constituírem um sistema. Nenhum esforço foi feito para especificar tipos e quantidades de instrumentos necessários em situações particulares e além disso, o trabalho não foi dirigido a nenhuma instalação específica do ciclo do combustível nuclear. Entretanto, o leitor interessado em adquirir um conhecimento básico sobre o assunto poderá se beneficiar da dissertação apresentada, pois esta reúne informações que se encontram disseminadas na literatura, incluindo livros, catálogos e notas técnicas de fabricantes, bem como artigos publicados em periódicos especializados. Para completar o trabalho e facilitar a consulta bibliográfica, foi incluída uma lista das principais referências consultadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALLEN, J.M. & KARNET, D.B. Instrumentation programs for nuclear power-plant sites. Nuclear Safety , 18 (5): 617-24, Sept./Oct. 1977.
- [2] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Temperature measurement. In: —. Instruments and apparatus. New York, 1974. pt. 3. (ASME PTC 19.3).
- [3] BATTELLE PACIFIC NORTHWEST LABORATORIES. Emergency radiological and meteorological instrumentation criteria for reactors. In: —. Technological considerations in emergency instrumentation preparedness . Richland, Washington, 1972. Phase II-A. (BNWL-1635).
- [4] BERRY Jr. F.A. ed et alii. Handbook of meteorology . New York, McGraw-Hill, 1973.
- [5] CHERE MISINOFF, Paul N. & YOUNG, Richard A. ed. Pollution engineering practice handbook. Ann Arbor Mich., Ann Arbor Science, 1976.
- [6] CHESTER, R.O. & GARTEN Jr, C.T. Meteorological measurement methods and diffusion models for use at coastal nuclear reactor sites. Nuclear Safety , 21 (6): 749-65, nov./dec. 1980.
- [7] CLIMET INSTRUMENTS. Meteorological sensors. Redlands, Ca., s.d.
- [8] COOMBS Jr., C.F. ed. Basic electronic instrument handbook. New York, McGraw-Hill, 1972.

- [9] EUA. Atomic Energy Commission. Office of Information Services. Meteorology and atomic energy. 1968. Oak Ridge, Tennessee, USAEC. Technical Information Center, 1968. (TID-24190).
- [10] EUA. Nuclear Regulatory. Information for safety analysis reports meteorology. Washington, D.C., 1978 (REG. GUIDE 1.70.29).
- [11] —. Meteorological programs in support of nuclear power plants. Washington, D.C. 1980. (REG. GUIDE 1.23 , Div. 1, Task SS 9264).
- [12] HIDROLOGIA S.A. Aparelhos e instrumentos de fabricação IH marca IH e HIDROCEAN. Rio de Janeiro, s.d.
- [13] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS . IEEE recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems. New York, 1972 (IEEE-Std-142).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Vienna. Atmospheric dispersion in nuclear power plant siting; a safety guide. Vienna, 1980 (IAEA - Safety Series 50-SG-D3).
- [15] —. Planning for off-site response to radiation accidents in nuclear facilities. Vienna, 1981 . (IAEA Safety Series, 55).
- [16] KAHL SCIENTIFIC INSTRUMENT. Meteorology. El Cajon , California, s.d.
- [17] MIDDLETON, W.E.K. & SPILHAUS, A.F. Meteorological instruments. 3.ed. Toronto, University of Toronto, 1953.

- [18] MILER, J.T. ed. The instrument manual. 4. ed. London, United Trade Press, 1971.
- [19] MOSES, H. & KULHANEK, F.C. Argonne automatic meteorological data processing system. J. Appl. Meteorol. 1 (1): 69-82 , 1962.
- [20] PROMET METEOROLOGISCHE FORTBILDUNG. Frankfurt, März , 1973.
- [21] R.M. YOUNG COMPANY. Precision meteorological instruments. Traverse City, MI, 1974.
- [22] STRAND, Rodney & MILLER, Charles W. Meteorological data bases available for the United States Department of Energy Oak Ridge Reservation. Oak Ridge , Tennessee, Oak Ridge National Laboratory, 1978 - (ORNL/TM-6358).
- [23] TELEDYNE GEOTECH. Meteorological instruments. Garland, Texas, s.d.
- [24] TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F.J.L. do. Meteorologia descritiva - fundamentos e aplicações brasileiras . São Paulo, Livraria Nobel, 1948.
- [25] WHEATHERMEASURE CORPORATION. Wheathermeasure meteorological & environmental instrumentation. Sacramento , Ca., 1981.
- [26] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Data processing for climatological purposes. Geneva, 1969 (WMO-n9 242.TP.132).
- [27] —. Meteorological aspects of the peaceful uses of atomic energy. Geneva, 1968 (WMO-n9 97.TP.41).

Tabela 2.1 - Modelos de difusão atmosférica e instrumentação necessária

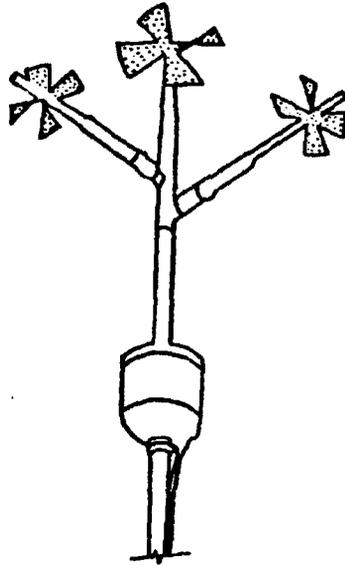
TÉCNICA	PARÂMETROS ENVOLVIDOS	INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS
1) Hay-Pasquill (1959)	$\sigma_{\theta}, \sigma_{\phi}, \bar{u}$	Leme duplo de vento de resposta rápida - "Bivane"; Anemômetro.
2) Modelo de Sutton	$\frac{\partial T}{\partial Z}, \bar{u}$	Sensores de gradiente vertical de temperatura; Anemômetros.
3) Modelo Hanford	$\sigma_{\theta}, \bar{u}, \frac{\partial T}{\partial Z}$	Sensores de gradiente vertical de temperatura; Leme de vento de resposta rápida - "Vane"; Anemômetro.
4) Smith-Hay (1961)	$\sigma_{\theta}, \sigma_{\phi}, \bar{u}$	Leme duplo de vento de resposta rápida - "Bivane"; Anemômetro.
5) Cramer (1964)	σ_{θ}, \bar{u}	Leme de vento de resposta rápida; Anemômetro.
6) Curvas de Pasquill (1970)	$\frac{\partial T}{\partial Z}, \frac{\partial \bar{u}}{\partial Z}$	Sensores de gradiente vertical de temperatura; Anemômetros.

Onde: σ_{θ} = desvio padrão da componente horizontal de direção de vento;

σ_{ϕ} = desvio padrão da componente vertical de direção de vento;

$\frac{\partial T}{\partial Z}$ = gradiente vertical da temperatura;

\bar{u} = velocidade média do vento.



3.1 - ANEMÔMETRO TRIAXIAL
(U V W)

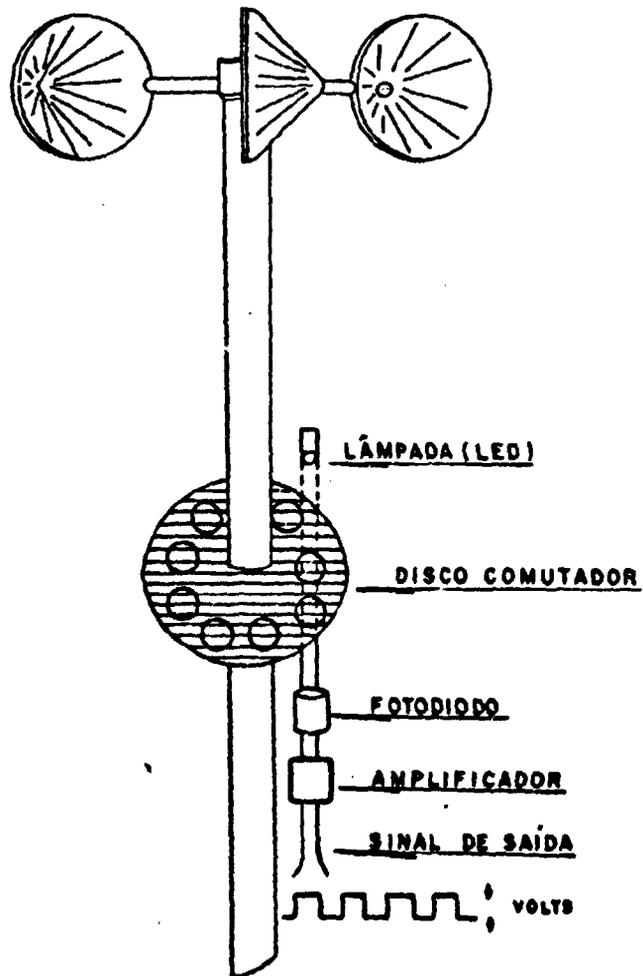


FIG. 3.2 - ANEMÔMETRO DE CONCHAS COM TRANSMISSOR FOTOELÉTRICO

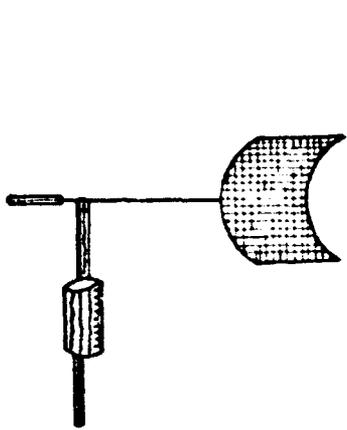
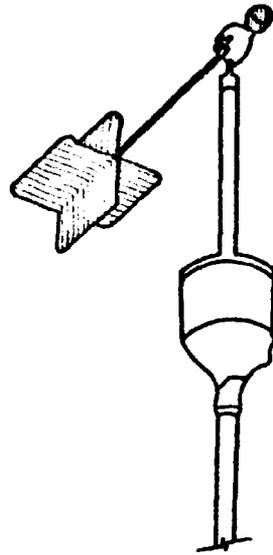


Fig. 3.3 - LEME DE VENTO ("VANE")



3.4 - DUPLO LEME DE VENTO ("BIVANE")

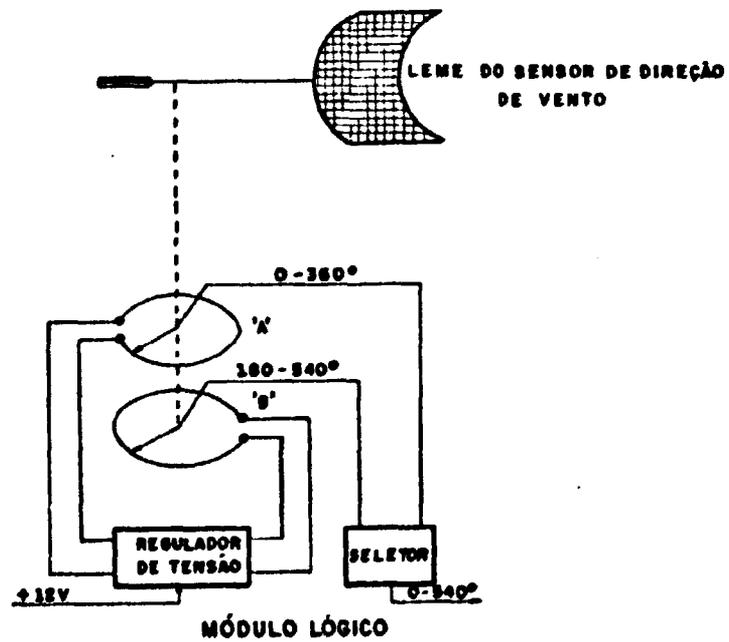


Fig. 3.5 - LEME DE VENTO COM TRANSMISSOR DE POTENCIÔMETROS COMPLEMENTARES (0° e 540°)

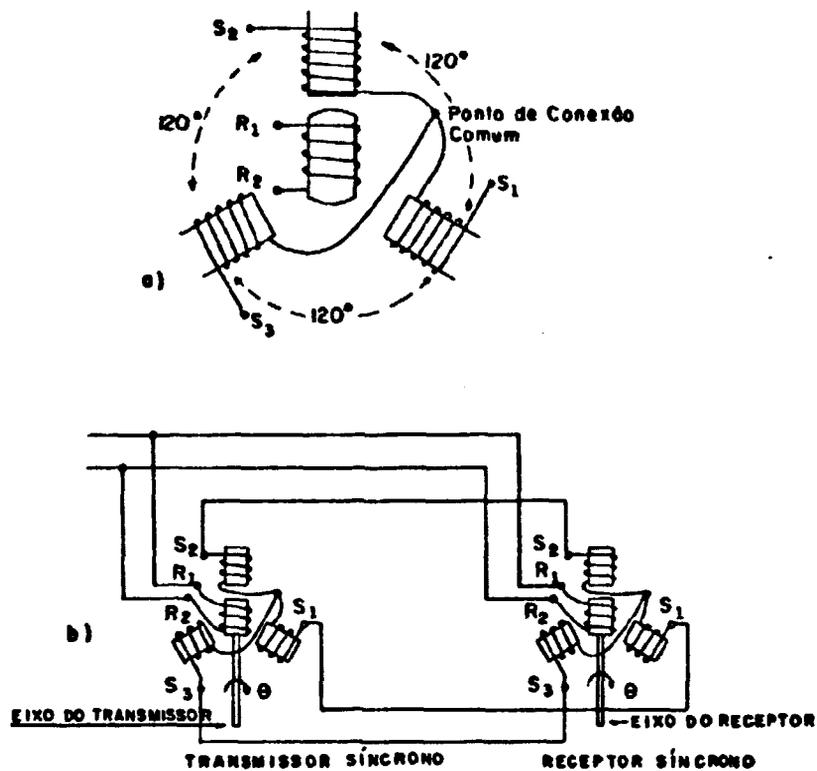
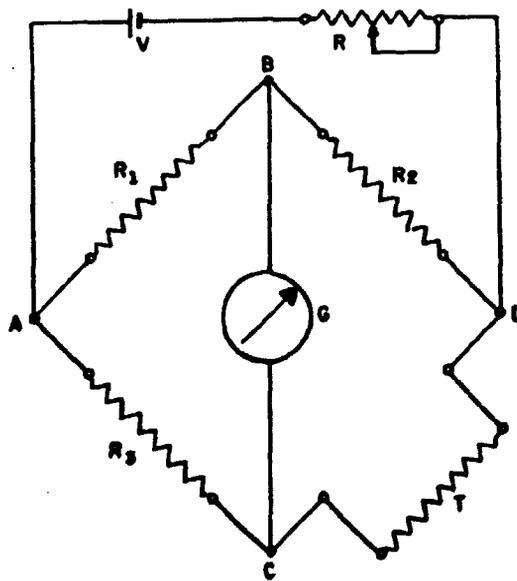


Fig. 3.6 - UM ELEMENTO SÍNCRONO. a) ARRANJO BÁSICO, b) UMA CADEIA DE TRANSMISSÃO SÍNCRONA SIMPLES.



T - TERMÔMETRO DE RESISTÊNCIA
 R_1, R_2, R_3 - RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS
 R - RESISTÊNCIA DE AJUSTE

Fig. 3.7 - CIRCUITO BÁSICO DO TERMÔMETRO DE RESISTÊNCIA

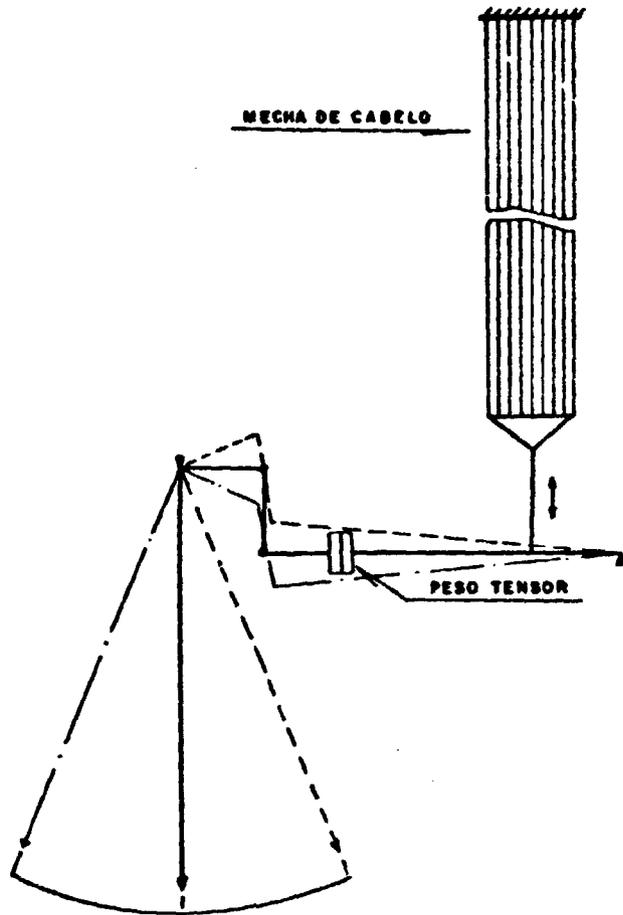


FIG. 3.8 - DIAGRAMA DO HIGRÔMETRO DE CABELO

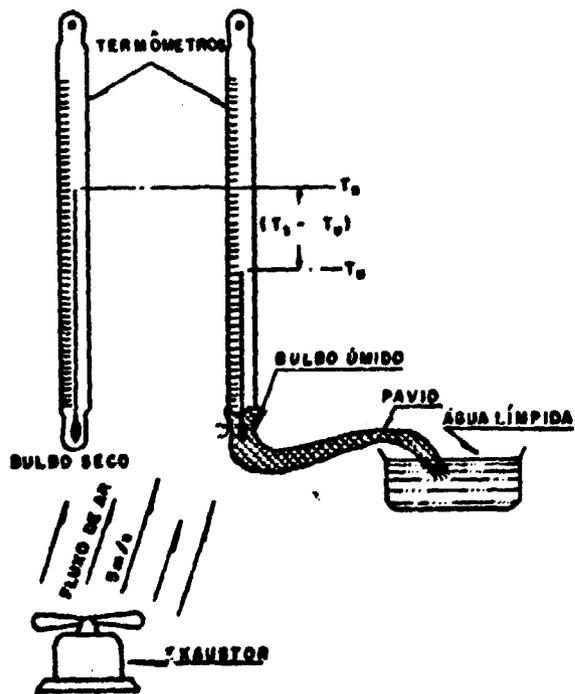


FIG. 3.9 - PSICRÔMETRO DE BULBOS SECO E ÚMIDO



Fig. 3.10- ELEMENTO DE MEDIÇÃO DE CLORETO DE LÍCIO

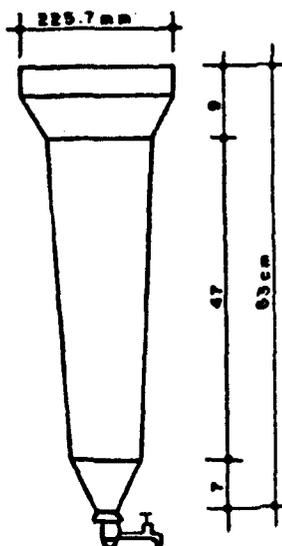
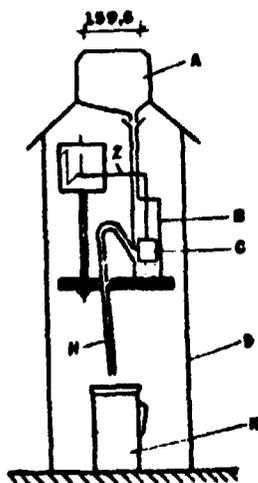
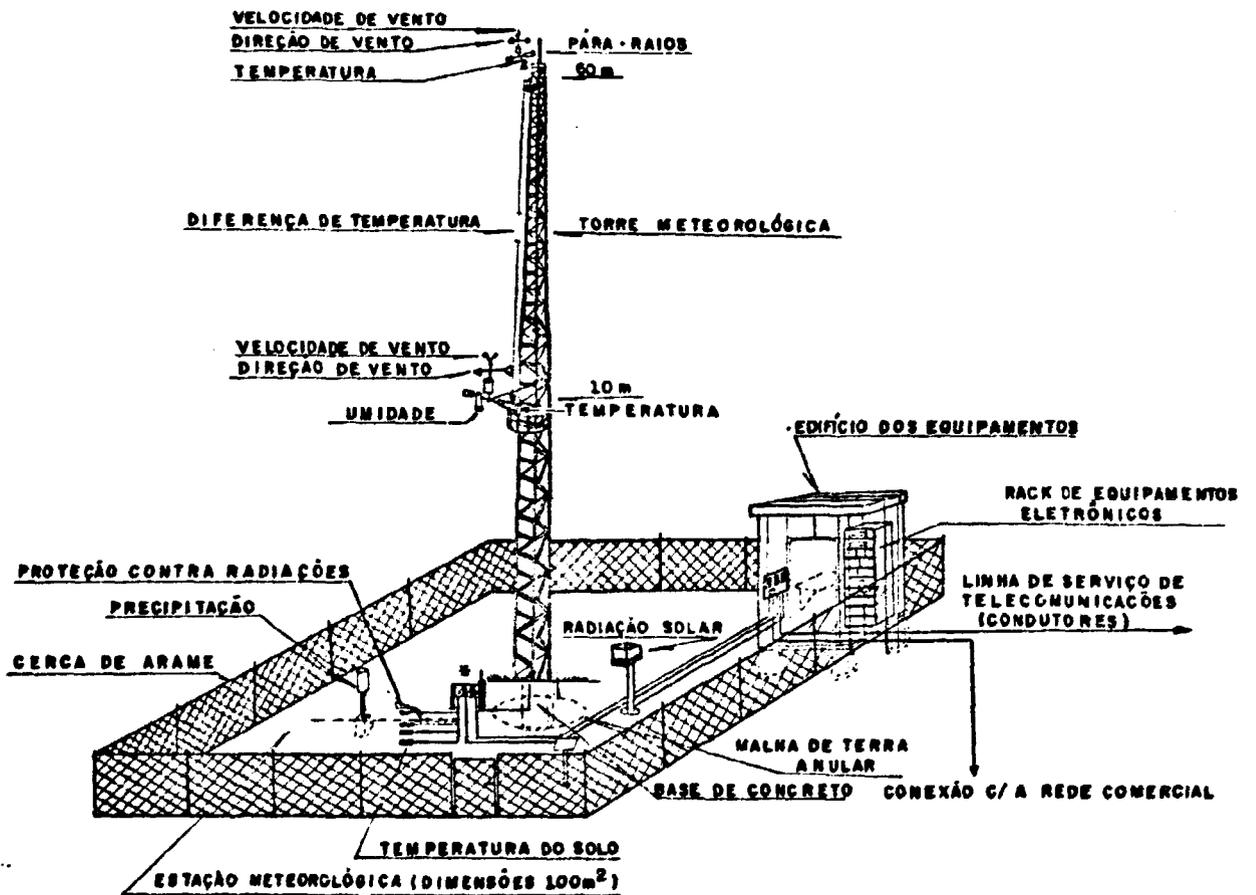


Fig. 3.11- PLUVIÔMETRO "VILLE DE PARIS"



- A - ANEL DE COLETA
- B - RECIPIENTE
- C - FLUTUADOR
- D - ABRIGO
- N - SIFÃO
- M - VASILHAME
- Z - HASTE DE REGISTRO



☒ — CAIXA DE DISTRIBUIÇÃO DOS CABOS

**Fig.4.1-ESQUEMA DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMATIZADA
SIMPLES DE DOIS NÍVEIS.**

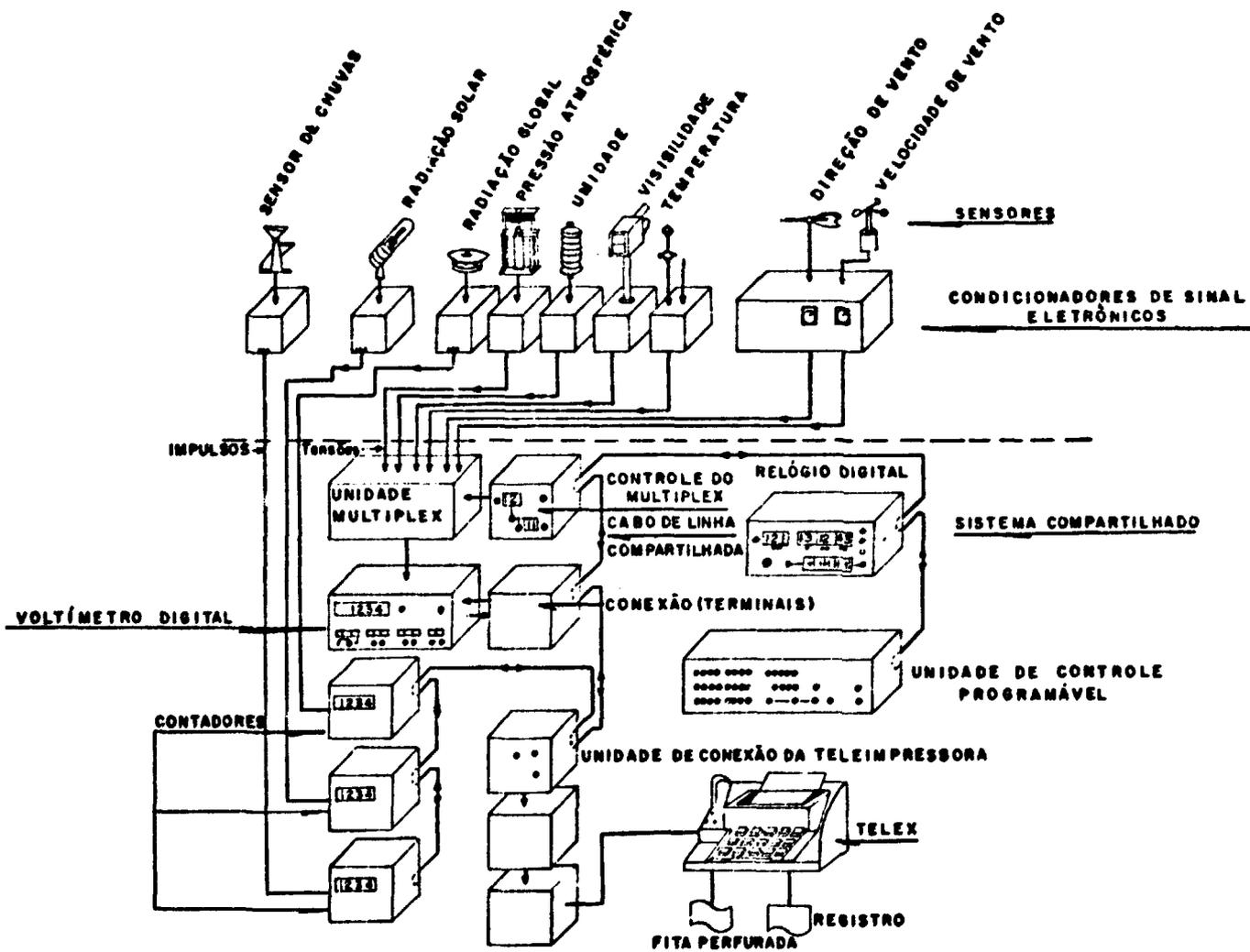


Fig. 4.2 - ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA - MÓDULOS E ESQUEMA FUNCIONAL

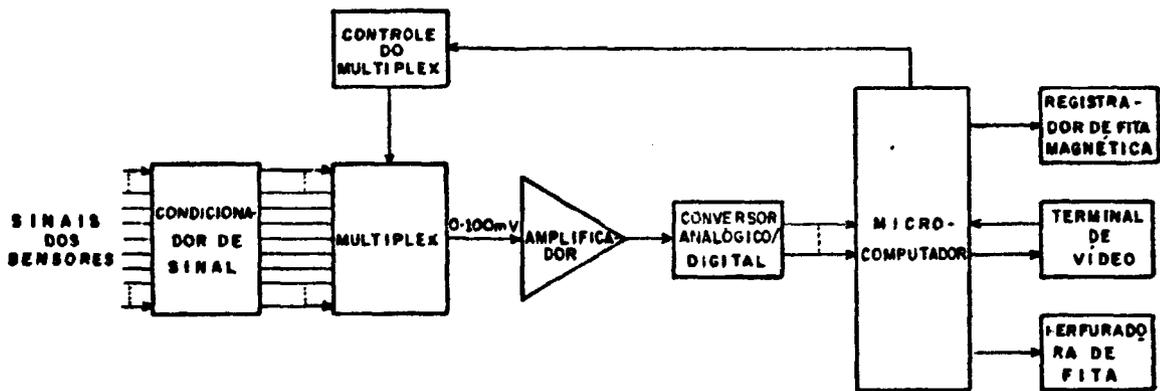


Fig. 4.3 - DIAGRAMA DE BLOCO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS COM MICROCOMPUTADOR

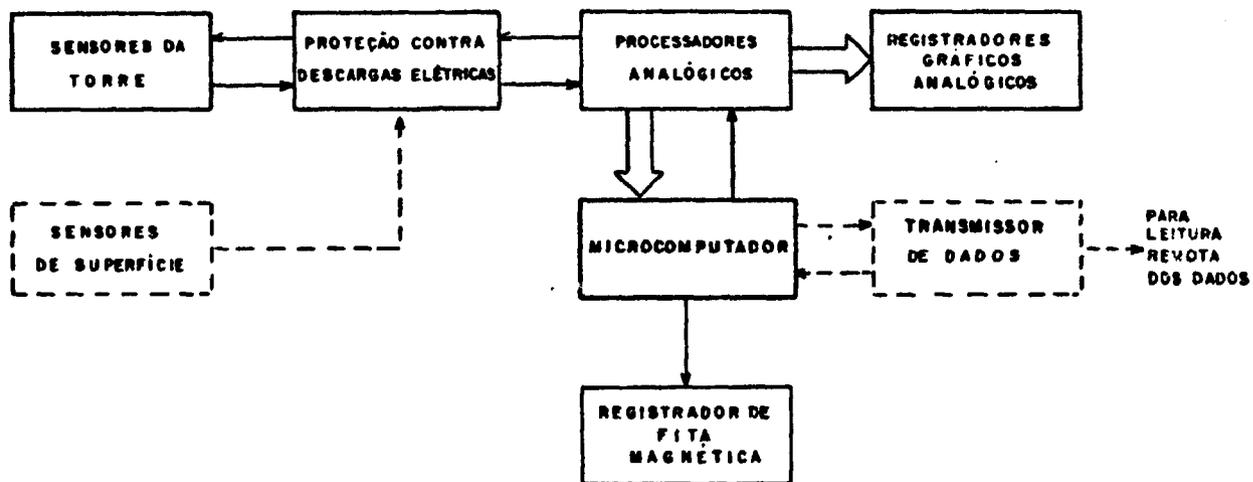


Fig. 4-4 - DIAGRAMA DE BLOCO TÍPICO DE TRATAMENTO DE DADOS PARA UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA.

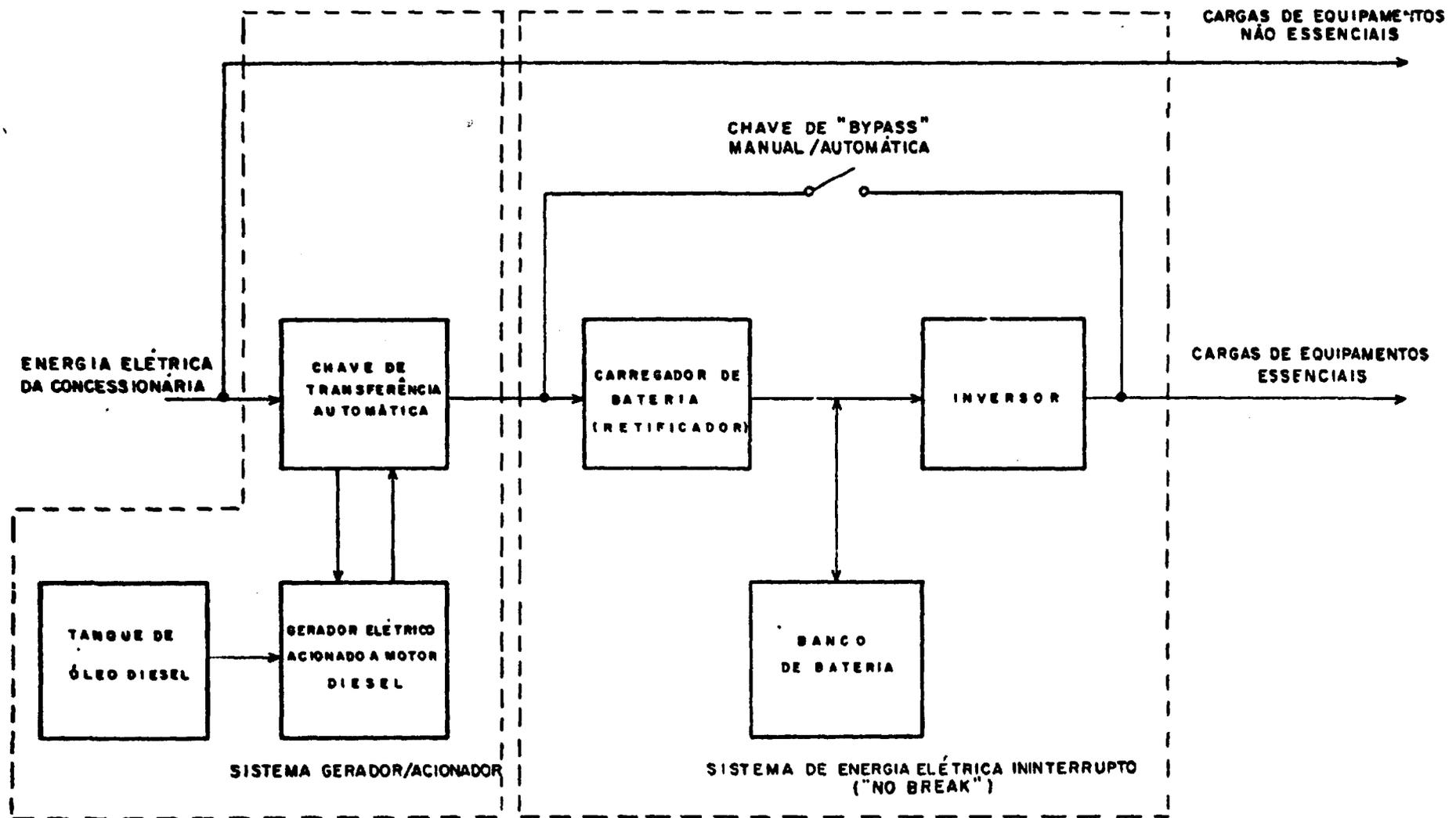
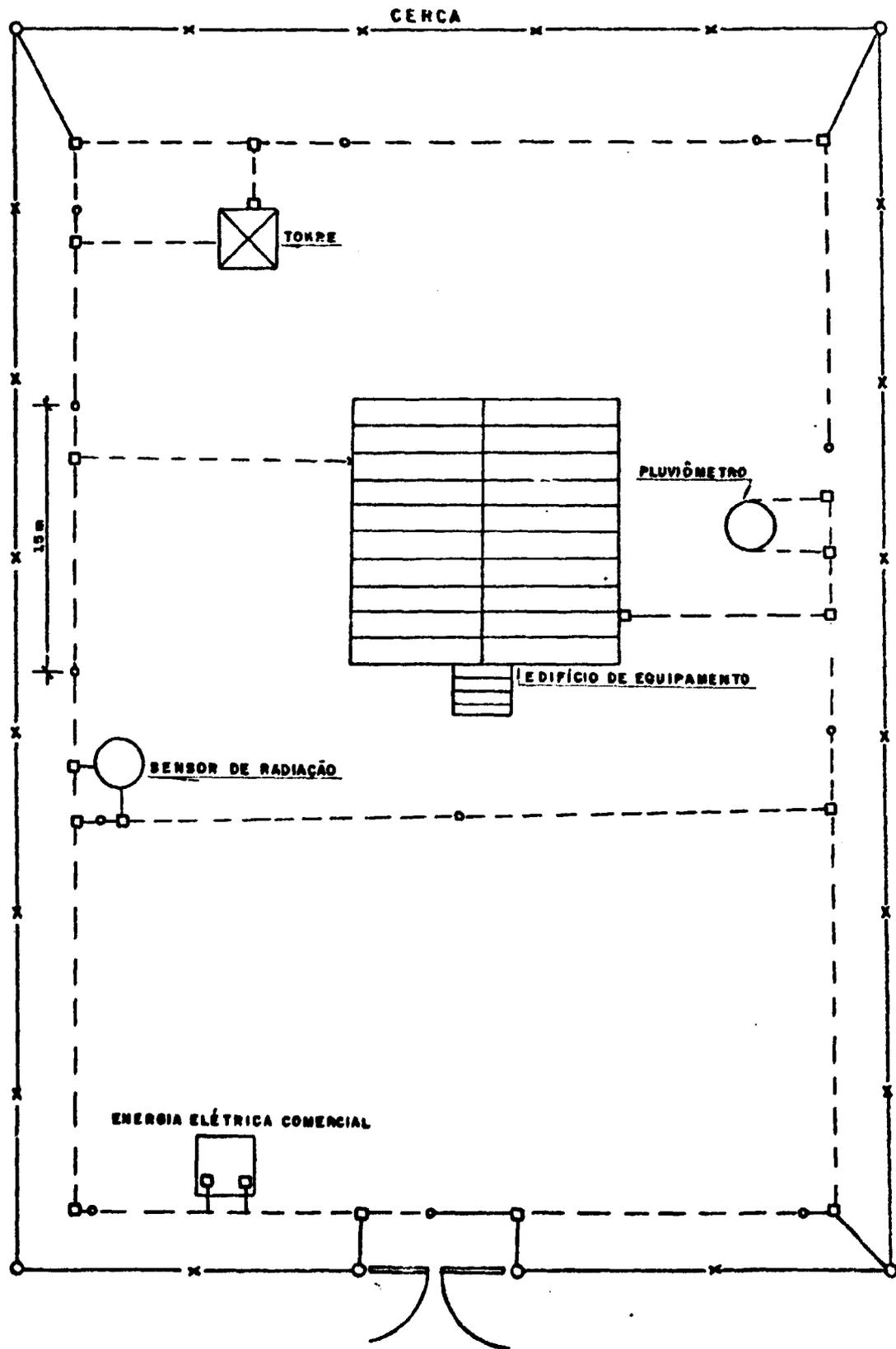


Fig.5.1- SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA TÍPICO DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Fig. 5.2 - MALHA DE TERRA TÍPICA PARA UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA



- LOCALIZAÇÃO DE ELETRODO DE TERRA
- CONEXÃO CABO A CABO