

Instalação de Estações Anemométricas

Boas práticas



Por meio de: **giz** Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Realização:



Ministério de
Minas e Energia



Por meio de:



Instalação de Estações
Anemométricas
Boas práticas

1ª edição
Rio de Janeiro

2015

Realização:

Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia que tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, entre outras.

GIZ

Empresa do governo federal alemão, a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, atua, principalmente, junto ao Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (BMZ) na área Cooperação Internacional para Desenvolvimento Sustentável. No Brasil, a Cooperação enfrenta estes desafios e contribui especialmente nos temas estratégicos para Energias Renováveis e Eficiência Energética e pela Proteção e Uso Sustentável das Florestas Tropicais

Apoio:

GIZ

Coordenação e Equipe Técnica:

EPE: Juarez Castrillon Lopes ♦ Flávio Alberto Figueredo Rosa ♦ Gustavo Brandão Haydt de Souza ♦ Carlos David Bogarin Avellaneda

GIZ: Johannes Michael Kissel ♦ Roberto Luís Thomé Castro

Conteúdo:

EPE, GIZ e Eólica Nordeste

Colaboração:

Aeroespacial ♦ Barlovento ♦ Brennand Energia ♦ Camargo Schubert Engenharia Eólica ♦ CTGAS-ER ♦ Idnamic do Brasil Energias Ltda ♦ Kintech Engineering ♦ Messtechnik Instrumentações Ltda. ♦ TRW Máquinas e Equipamentos

Fotos e Ilustrações:

Alexandre Filgueiras ♦ Roberto Ferreira Marques ♦ Roberto Luís Thomé Castro

Edição e diagramação:

QUARTEXTO – Roberto Matajs ♦ Fernanda Matajs ♦ Revisão: Alexandra Fonseca



Ministério de
Minas e Energia



Por meio de: **giz** Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

agradecimentos

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por intermédio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – GIZ, agradecem às diversas empresas que contribuíram com seus conhecimentos técnicos, sugestões e recursos fotográficos para viabilizar este relato das atividades e cuidados necessários à instalação de estações anemométricas.

s u m á r i o

Apresentação	8
Introdução	10
A torre anemométrica	12
Localização da estação	13
Montagem da torre	16
• Visita prévia ao local da instalação	
• Verificação da estrutura da torre e seus acessórios	
• Preparação do terreno	
• Posicionamento da torre e das ancoragens dos estais	
Posicionamento da torre	
Posicionamento das ancoragens dos estais	
• Preparação da base para fixação da torre	
• Fixação do primeiro módulo da torre	
• Estaiamento e ancoragem dos estais	
Estaiamento	
Ancoragem dos estais	
• Montagem dos módulos	
• Instalação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas	
• Instalação do sistema de balizamento	

Instrumentação 35

- Fixação dos suportes, hastes e cabeamento
- Fixação do anemômetro de topo
- Alinhamento do *wind vane*
- Verificação da instalação dos sensores
 - Verificação dos anemômetros
 - Verificação dos *wind vane*
 - Verificação do sensor de temperatura
 - Verificação do sensor de pressão atmosférica
 - Verificação do sensor de umidade
- Instalação elétrica
- Comunicação

Comissionamento 49

- Verificação da resistência do aterramento
- Verificação da tensão nas baterias e do painel solar
- Verificação do funcionamento dos instrumentos

Manutenção 50

Segurança 52

Normas e documentação 55

Glossário 57

a p r e s e n t a ç ã o

No ano de 1992 o Brasil inicia sua jornada no sentido de inserir novas fontes de energia na sua matriz energética ao instalar a primeira turbina eólica no arquipélago de Fernando de Noronha. Na época, um aerogerador de 225 kW, pequeno quando comparado com as turbinas de 7.000 kW hoje disponíveis no mercado.

Passados 23 anos, o vento se apresenta hoje como fonte renovável de energia elétrica de mais rápido crescimento no Brasil. Atualmente, são mais de 8.000 MW em operação comercial distribuídos em 322 parques eólicos*, com previsão de se atingir 23.000 MW de potência instalada até 2023. Em 2014, o Brasil foi o quarto país em incremento da potência instalada, ficando atrás apenas da China, Alemanha e Estados Unidos, passando a ocupar a décima posição mundial em potência instalada acumulada.

Todo esse crescimento se fez por várias iniciativas, que vão desde a criação do Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA (2004) até os leilões para compra de energia. Estes, iniciados efetivamente em 2009, já promoveram a contratação de mais de 15.000 MW.

Para a continuidade desse crescimento, além de outros aspectos, como por exemplo a capacitação de mão de obra especializada, se faz também necessário o conhecimento seguro do potencial eólico e do comportamento temporal característico dos ventos, obtidos por meio de medições anemométricas e climatológicas de qualidade.

* Fonte: Associação Brasileira de Energia Eólica, em 15/11/2015

Da necessidade desses conhecimentos veio a motivação de elaborar um guia que apresentasse de forma simples e prática informações para a instalação de torres e estações anemométricas.

Os procedimentos de instalação aqui descritos orientam tanto instaladores de estações anemométricas como empreendedores interessados em desenvolver campanhas de medição para avaliação do potencial eólico de locais de interesse. O guia reúne informações e práticas recomendadas por empresas especializadas no desenvolvimento de campanhas de medição, em projetos e instalação de estações anemométricas destinadas ao conhecimento do vento como recurso energético.

Um grande acervo de fotos foi disponibilizado para transmitir ao leitor melhor compreensão das etapas que compõem a instalação de uma estação anemométrica. O planejamento da ida ao campo, a instalação dos sensores e *data loggers*, a segurança da equipe e a documentação da instalação também são abordados para dar ao leitor uma visão de todo o processo.

Esta publicação não esgota o assunto e reconhecemos que há outros procedimentos igualmente adequados para assegurar a qualidade das estações anemométricas destinadas ao conhecimento do recurso eólico.

Boa leitura!

Os editores.

INTRODUÇÃO

A exploração do potencial eólico de uma região deve ser sempre precedida pela medição do recurso eólico. Por isso, todo o processo de medição deve ser conduzido de acordo com as melhores práticas e normas, garantindo a qualidade e confiabilidade dos resultados.

Erros nas medições de vento no local em avaliação podem comprometer todo o empreendimento eólico. O exemplo abaixo mostra como um erro na medição do vento impacta significativamente na produção de energia elétrica de uma turbina. Neste caso, uma única turbina de 600 kW foi usada como máquina geradora.

Medição correta: 6,08 m/s → Produção anual de 1.210 MWh

Medição com erro: 6,63 m/s → Produção anual de 1.462 MWh

O erro na medição de vento de 9%, superestimou a produção de energia pela turbina em 21%.

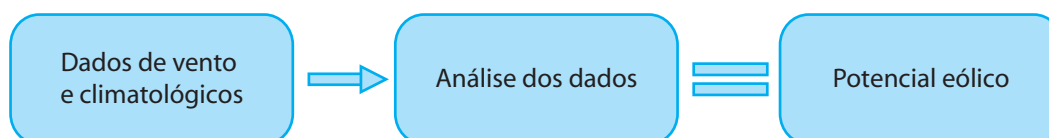


Uma medição confiável de vento para a estimativa de produção de energia é premissa básica para suporte à decisão sobre a realização de um empreendimento eólico.

Além da medição, a análise dos dados é uma etapa essencial, que deve ser executada por pessoal qualificado e utilizando ferramentas computacionais específicas.

O diagrama abaixo ilustra de forma simplificada a sequência de atividades para a estimativa do potencial eólico de uma região. Qualquer falha, seja nas medições ou na análise dos dados, aumenta a incerteza desse potencial.

A conhecida frase “LIXO NA ENTRADA LIXO NA SAÍDA” expressa a importância de medições com qualidade.



Uma boa campanha de medição começa com a montagem correta da estação anemométrica e a escolha de instrumentos de qualidade para medição da velocidade e direção do vento, temperatura, umidade e pressão atmosférica local.

Este guia apresenta as boas práticas para a instalação de estações anemométricas em torres treliçadas e estaiadas e foi desenvolvido a partir da experiência de profissionais do setor, não se limitando a mostrar apenas **O QUE FAZER**, mas esclarecendo **COMO FAZER**.

A Figura 1 ilustra os principais itens que compõem uma estação anemométrica em torre treliçada e estaiada.

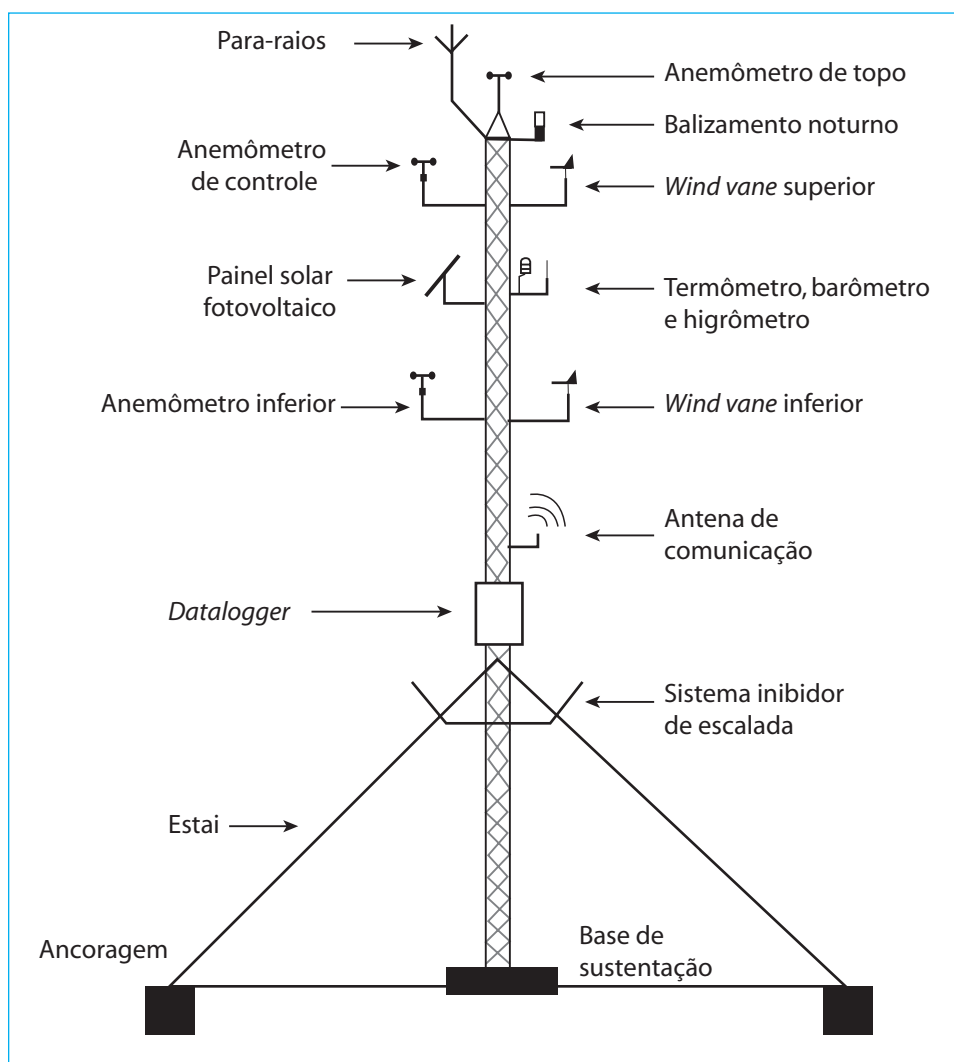


Figura 1. Ilustração esquemática sem escala e somente com parte do estaiamento.

A instalação de uma estação anemométrica inclui atividades a serem executadas no escritório e atividades a serem executadas em campo, a saber:

- localização geográfica da estação;
- planejamento da execução dos serviços de instalação;
- montagem da torre;
- instrumentação da torre;
- verificação da funcionalidade dos sensores; e
- documentação do trabalho.

A TORRE ANEMOMÉTRICA

As torres utilizadas para medições anemométricas podem ser caracterizadas de acordo com dois atributos:

- sustentação: se autoportantes ou estaiadas;
- estrutura: se treliçadas ou tubulares.

As torres autoportantes (Figura 2a) não precisam de nenhuma sustentação adicional além da fornecida pela própria base e exigem menor área de instalação, se comparadas às torres estaiadas. São muito utilizadas em estações de antenas para telefonia e seu uso foi difundido nos últimos anos em razão do aparecimento da telefonia celular. A utilização para medições anemométricas é mais frequente em estações permanentes, em locais onde há facilidades de acesso e montagem. Embora tenham custo de investimento significativamente maior que as torres estaiadas, têm como vantagens maior vida útil e menor custo de manutenção.

As torres treliçadas e estaiadas (Figura 2b) são montadas em módulos de 3 ou 6 metros e têm, normalmente, alturas entre 80 e 150 metros. Para minimizar a possibilidade de torção da torre, recomenda-se o uso de módulos de 6 metros. A vida útil, em geral, é menor em relação às autoportantes, sendo a abrasividade do local um fator determinante, principalmente em áreas costeiras. Apresenta menor custo de investimento, facilidade de transporte e de manuseio, e possibilidade de desmontagem e remontagem.



Por esses motivos, torres treliçadas e estaiadas são mais utilizadas em campanhas de medição de vento de curta e média duração.

As torres tubulares (Figura 2c) tem sua estrutura montada horizontalmente no solo, junto com seus sensores e estais, sendo içadas posteriormente. Algumas das características deste tipo de torre são a dificuldade de acesso aos instrumentos, visto que não possui treliça para escalada, e o limite de altura de montagem.



Figura 2a. Torre autoportante.



Figura 2b. Torre treliçada e estaiada.



Figura 2c. Torre tubular e estaiada.

LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO

A definição do local de instalação da estação passa por duas etapas: a análise em escritório e a validação em campo. A análise em escritório deve compreender a autorização do órgão ambiental competente, a confirmação junto ao COMAR (Comando Aéreo Regional) da permissão de instalação da torre com a altura desejada e a verificação da existência de edificações, depressões, elevações ou outros obstáculos que inviabilizem ou comprometam a instalação da torre. Possíveis interferências dos estais em estradas e construções devem ser avaliadas, eventualmente com o auxílio de *softwares* de georeferenciamento, como o Google Earth.

Na Figura 3, observa-se que o desenho de um círculo com centro na base da torre e raio igual à distância desta base até a ancoragem mais distante permite constatar a interferência dos estais com a estrada vicinal.



Figura 3. Vista aérea geral: limitação da área dos estais.

Confirmada a possibilidade de instalação da estação, deve-se identificar a direção mais frequente do vento na região, que pode ser feita por meio da consulta às seguintes referências, entre outras:

- modelos de mesoescala disponibilizados comercialmente;
- *site* do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), em <www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>;
- consulta ao *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro 2001* ou a atlas eólicos estaduais, se disponíveis.



A direção mais frequente deve ser informada para a equipe de campo e referenciada ao Norte Magnético (NM), uma vez que serão utilizadas bússolas para a locação da torre no campo.

Em campo, a partir da análise em escritório, será feito o reconhecimento do terreno. Caso sejam identificados obstáculos no local, eles devem ser evitados para não interferir nas medições. Não é recomendável instalar estações próximas à base e ao topo de precipícios. A existência de obstáculos inevitáveis que comprometam o fluxo natural do vento deverá ser reportada à equipe responsável pela avaliação do potencial eólico do local.

Existindo obstáculos que comprometam o fluxo natural do vento, recomenda-se:

- no caso de construções, a estação deve ter seu anemômetro inferior instalado a uma altura de no mínimo duas vezes a altura da construção (Figura 4a);
- no caso de árvores, a altura mínima do anemômetro inferior deverá ser igual à altura das árvores (Figura 4b).

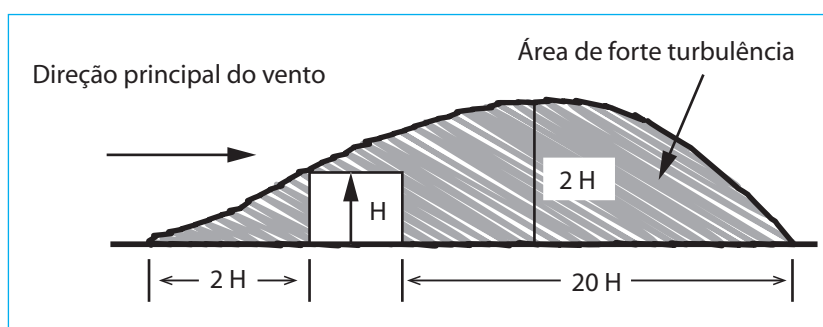


Figura 4a. Zona de turbulência provocada por uma construção.
Fonte: GASCH, 1993.



Figura 4b. Zona de turbulência provocada por árvores.
Fonte: GASCH, 1993.

Após a validação do posicionamento da estação, registra-se a localização do ponto de instalação em coordenadas geográficas (latitude e longitude) ou no Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM). Em relação ao uso de equipamentos de posicionamento global (GPS), deve-se verificar o DATUM configurado no instrumento e a disponibilidade de sinal de satélites para garantir a precisão do posicionamento. É recomendada a utilização do Datum Geodésico SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), que, para fins práticos, pode ser considerado equivalente ao Sistema WGS84 (World Geodetic System – 1984). No registro das coordenadas, a incerteza do GPS deverá ser indicada.

Para que a equipe de montagem encontre o local escolhido para a instalação da torre, deve-se fixar um marco (Figura 5) que identifique o ponto de instalação e a face da torre que ficará voltada para a direção mais frequente do vento. A fim de facilitar a localização do marco pela equipe de montagem, recomenda-se registrar no GPS uma trilha do marco até o acesso principal conhecido.



Figura 5. Marco da estação.

MONTAGEM DA TORRE

Antes de iniciar a montagem de uma torre de estação anemométrica, um *checklist* detalhado deve ser feito para confirmar que todos os itens necessários à instalação da torre estão disponíveis (módulos, estais, parafusos, instrumentos, rádios de comunicação e respectivas baterias, anemômetro portátil para verificação do vento no local, ferramental etc.). Atenção especial deve ser dada ao aspecto logístico, visto que grande parte dessas instalações é executada em locais ermos, com pouco ou nenhum suporte a qualquer tipo de serviço (saúde, transporte, alimentação, hospedagem etc.).

Para a montagem da estação, devem ser executadas as seguintes ações:

- visita prévia ao local da instalação;
- verificação da estrutura da torre e seus acessórios;
- preparação do terreno;
- posicionamento da torre e das ancoragens dos estais;
- preparação da base para fixação da torre;
- fixação do primeiro módulo da torre;
- estaiamento e ancoragem dos estais;
- montagem dos módulos;
- instalação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA);
- instalação do sistema de balizamento;
- instalação dos sensores; e
- comissionamento da estação.

Visita prévia ao local da instalação

Previamente ao deslocamento da equipe e do material para a montagem da torre deve-se visitar o local da instalação para verificar e registrar, em documento próprio, as particularidades do local da instalação quanto ao acesso, transporte de pessoal e do material, existência de comércio para fornecimento de itens para instalação, localização de serviços de saúde e hospedagem, nome e contato do proprietário do terreno e outros detalhes pertinentes à instalação.

Verificação da estrutura da torre e seus acessórios

A verificação dos módulos da torre, estais, hastes e demais acessórios estruturais deve fazer parte dos procedimentos que antecedem o transporte do material. O diâmetro e a espessura das hastes principais e das treliças da torre deverão ser conferidos com a especificação do projeto da torre.

Os módulos deverão ser inspecionados quanto ao seu aspecto físico e seus pontos de soldas. Atenção deve ser dada a possíveis torções nos módulos que comporão a torre, visto que estas torções podem comprometer a montagem da estação.

Recomenda-se o uso de módulos, estais e parafusos de aço galvanizado a quente à base de zinco. Os módulos deverão ser pintados com tinta epóxi após a galvanização.

Durante o acondicionamento para transporte, os módulos devem ser fixados a fim de evitar choques entre as estruturas metálicas, que podem comprometer a sua pintura. Após a montagem e instrumentação, a torre deve receber retoques de pintura, com pincel, nos pontos em que a pintura tenha sido danificada pelo choque com materiais içados.



Os módulos devem ser intercalados entre os de cor branca e os de cor laranja (ou branca e vermelha), devendo o módulo do topo, obrigatoriamente, ser da cor mais escura, de acordo com a Portaria do COMAR 256/GC5.

Preparação do terreno

Antes do início da montagem, o terreno deve ser limpo, visto que será necessário espaço para o lançamento dos cabos de estais e para o armazenamento provisório dos módulos da torre. Existem dois procedimentos de limpeza do terreno: um é mais econômico, menos agressivo ao meio ambiente e consiste em limpar a área da base e os três caminhos para o lançamento dos estais (Figura 6a). Deve-se ter cuidado quando houver vegetação de maior porte, pois será necessária uma manutenção periódica, a fim de que a vegetação não avance sobre os estais. O outro procedimento consiste em limpar toda a área (Figura 6b).



Figura 6a. Limpeza pontual.



Figura 6b. Limpeza total.

Caso haja necessidade de supressão de vegetação nativa para a realização da instalação, deverá ser solicitada autorização prévia do órgão ambiental responsável.

Após a limpeza, deve-se preparar o local onde será instalada a torre e marcar os pontos onde serão fixados os estais.

Na chegada ao local da instalação, o material de montagem deverá ser distribuído de forma organizada. Os rolos de estais deverão estar identificados pelo seu comprimento, parafusos e roscas separados por bitolas, suportes de instrumentos e para-raios juntos, sensores acondicionados em suas caixas e guardados e módulos da torre organizados de forma a facilitar a movimentação no momento de seu içamento (Figura 7).



Figura 7. Distribuição do material no local da instalação.

Posicionamento da torre e das ancoragens dos estais

Posicionamento da torre

No marco que identifica o posicionamento da torre, constrói-se um triângulo com as mesmas dimensões da base do módulo da torre (Figura 8a).



Uma das faces desse triângulo deve estar perfeitamente posicionada perpendicularmente à direção mais frequente do vento no local.

No exemplo da Figura 8b, a direção mais frequente do vento é 120° em relação ao NM.



Figura 8a. Construção do triângulo.

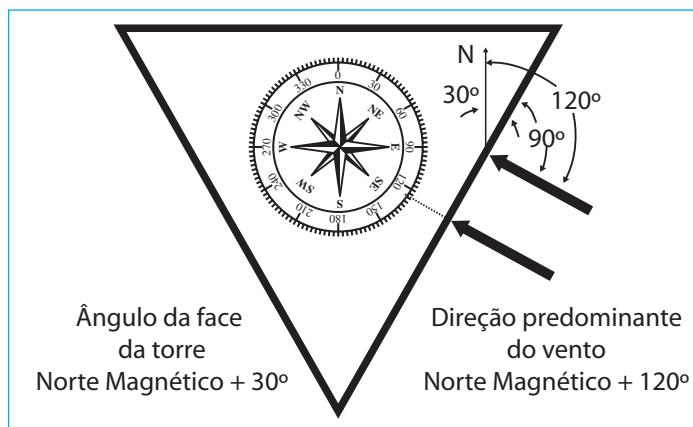


Figura 8b. Indicação da direção predominante do vento.

Posicionamento das ancoragens dos estais

O posicionamento das ancoragens deve atender aos requisitos de projeto da torre. Definida a posição e a orientação das faces da torre, procede-se à marcação do posicionamento das ancoragens dos estais. A posição dos estais deve seguir o diagrama da Figura 9. Como as faces da torre são os lados de um triângulo equilátero, o ângulo entre os estais deverá ser de 120° .

Esse diagrama deve ser utilizado com uma bússola sobre o solo para verificar a orientação correta dos estais.

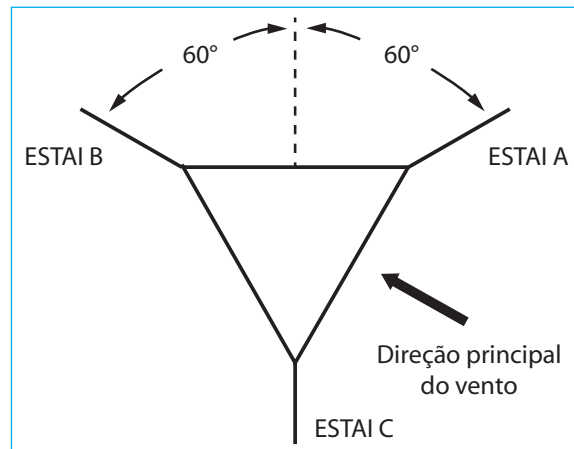


Figura 9. Diagrama mostrando as faces da torre.

Em seguida, como mostrado na Figura 8a, transfere-se esse diagrama para marcações em solo, construindo um triângulo com mesmas dimensões das faces da torre, considerando:

- uma das faces voltada para a direção principal do vento;
- centro e vértices marcados com piquetes.

A distância dos pontos de ancoragem em relação à base depende da altura da torre e deve estar detalhada no projeto da torre. Em geral, o ponto de ancoragem mais afastado está a uma distância igual à metade da altura da torre. A Figura 10 sugere os pontos de ancoragem D_n em função da altura da torre (h).

Para a marcação dos pontos de ancoragem, medem-se as direções e as distâncias dos estais partindo-se do centro do triângulo para cada um dos vértices (Figura 11). Devem ser usados piquetes para marcar os locais de ancoragem dos estais.

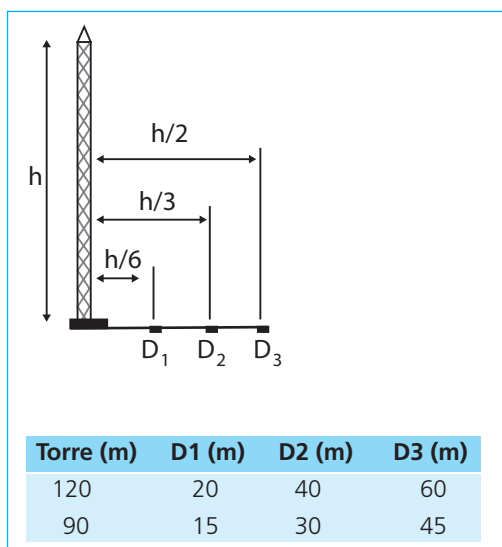


Figura 10. Relação entre a altura da torre e o ponto de ancoragem.



Figura 11. Marcação dos estais.

Preparação da base para fixação da torre

A base da torre pode estar apoiada em estrutura metálica ou de concreto, sendo esta última a recomendada neste guia.

- Estrutura metálica (Figuras 12a e 12b): possui quatro estacas de ferro que são cravadas no solo. Podem ser montadas sobre uma “rótula”, que confere maior flexibilidade e permite corrigir ajustes no nivelamento e melhor alinhamento da torre.



Figura 12a. Fixação em base de aço.

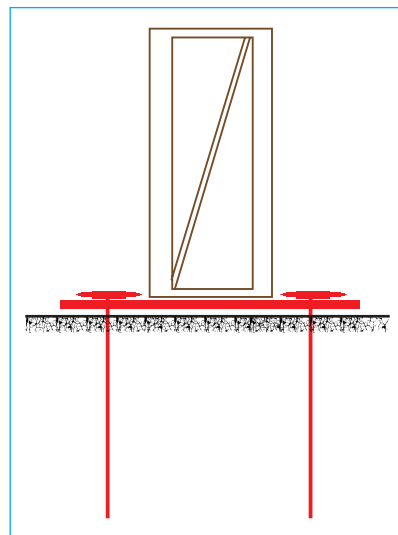


Figura 12b. Ilustração mostrando corte transversal da fixação em base de aço.

- Estrutura de concreto (Figura 13): semelhante ao tipo anterior, porém com uma base de concreto que a suporta.



Figura 13. Duas montagens de base em estrutura de concreto.

Deve-se atentar para que a base da torre não esteja localizada no curso das águas das chuvas visto que cursos d'água podem promover erosão do solo e consequente desestabilização da torre anemométrica.

Fixação do primeiro módulo da torre

A fixação do primeiro módulo da torre na base pode ser feita por sistema fixo ou tipo rótula.

No sistema fixo, a base da torre é fixada, de forma rígida, numa base de concreto por meio de parafusos (Figuras 14a e 14b). Nesse tipo de fixação deve ser dada atenção especial à orientação das faces da torre, visto que sua movimentação após a fixação exigirá a retirada dos parafusos de fixação da base.



Figura 14a. Fixação do primeiro módulo da torre na base por sistema fixo.



Figura 14b. Fixação do primeiro módulo da torre na base por sistema fixo.

Recomenda-se o sistema de fixação do tipo rótula. A base do primeiro módulo da torre possui uma chapa de metal maciça com um furo no centro. Na montagem, esse furo é atravessado pelo pino da base fixa. Nesse tipo de fixação, o posicionamento da base da torre é mais simples, facilitando a orientação de uma das faces da torre na direção perpendicular à do vento mais frequente na região. A Figura 15a mostra uma base tipo rótula em base de concreto, enquanto a Figura 15b ilustra detalhes da base tipo rótula por meio de corte transversal.



Figura 15a. Fixação do primeiro módulo por sistema tipo rótula.

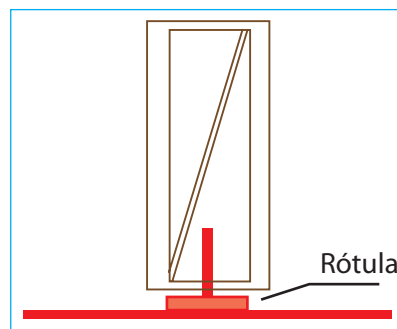


Figura 15b. Ilustração mostrando corte transversal da chapa de aço com rótula.

Estaiamento e ancoragem dos estais

Estaiamento

O projeto da torre deve especificar o tipo de estai (material, diâmetro, carga máxima, número de fios, etc.), a quantidade e as alturas de fixação dos estais na torre e a posição das ancoragens em relação ao centro da base da torre. Recomenda-se o uso de estais do tipo extra-alta resistência

(EHS), principalmente em regiões próximas ao mar, sujeitas à maresia. Os estais deverão ser de aço galvanizado a quente à base de zinco, mesmo material das alças para fixação nos ganchos das ancoragens (Figura 16).



Figura 16. Detalhes de fixação da alça de ancoragem.

A colocação da alça no estai deve ser feita de forma cuidadosa (Figuras 17a e 17b), de modo a garantir que a alça ofereça segurança para o tracionamento do estai e estabilidade à torre.



Figura 17a. Colocação da alça no estai.



Figura 17b. Detalhes da fixação.

O número de estais deve ser distribuído igualmente pelas ancoragens.



Em locais com presença de maresia é recomendada a aplicação de graxa ou outro tipo de proteção nos esticadores dos estais para retardar a oxidação (Figura 18).



Figura 18. Ferrugem nos esticadores dos estais.

A fixação da alça na torre pode ser feita, basicamente, de duas formas: diretamente na torre ou em alças de fixação. No primeiro caso, a alça deve ser colocada logo acima de um ponto de solda da treliça, para impedir que o estai escorregue pela haste vertical da torre quando tracionado pelos moitões. A Figura 19 mostra um módulo já com seu estai fixado antes de seu içamento.

Na segunda opção, mostrada na Figura 20, as alças ficam projetadas para além do perfil da torre.



Figura 19. Estai fixado acima do ponto de solda.



Figura 20. Alças de fixação dos estais na torre.

Ancoragem dos estais

O tipo de ancoragem do estaiamento depende, principalmente, do tipo do terreno do local de instalação da torre. Em locais com terreno compacto, a melhor forma de ancoragem é por meio de blocos de concreto (Figura 21). Nesse caso, o peso da estrutura de concreto é responsável pela ancoragem e funciona como lastro dos estais.

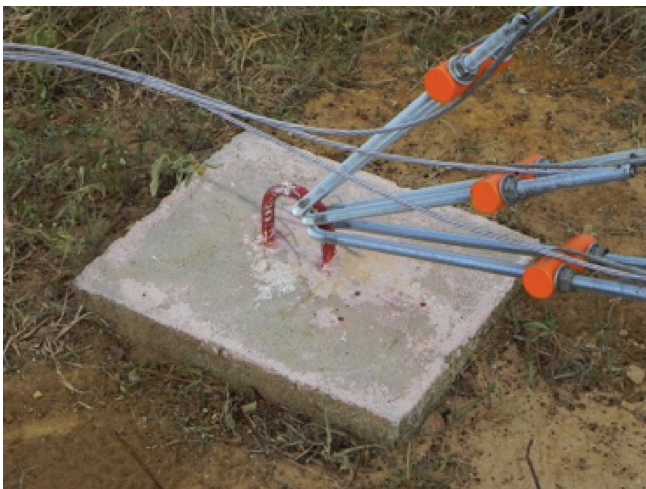


Figura 21. Dois exemplos de ancoragem por meio de blocos de concreto.

Em terrenos arenosos, a ancoragem recomendada é a do tipo trado ou âncora. Nesse tipo de ancoragem, o atrito e o arrasto que a “âncora” faz no solo promovem a ancoragem dos estais (Figuras 22a e 22b).



Figura 22a. Peças utilizadas na ancoragem tipo trado.



Figura 22b. Exemplo de ancoragem tipo trado.

Em solos arenosos e com baixo coeficiente de atrito, em razão da ação do vento e do tempo, a ancoragem do tipo trado pode apresentar folgas, o que exige maior frequência de visitas para verificação.

Mesmo utilizando ancoragem concretada, deve-se atentar para o tipo de terreno, principalmente em regiões de praia. Nesse caso, a instabilidade aumenta e pode causar o colapso da fundação e da estrutura, como mostra a Figura 23.



Figura 23. Ancoragem tipo concreto em solo arenoso.

Novamente, deve-se atentar para que a ancoragem não esteja no curso das águas das chuvas.



Recomenda-se a instalação de cercas de proteção em torno de cada base de ancoragem e da base da torre para evitar o contato de animais que costumam se coçar nos estais e provocar seu afrouxamento (Figuras 24a e 24b).



Figura 24a. Cerca de madeira.



Figura 24b. Cerca com fios.

Montagem dos módulos

A montagem da torre deve ser feita módulo a módulo, na seguinte sequência:

- o primeiro módulo deverá ser posicionado com uma das faces perpendicular à direção mais frequente do vento da região e com alinhamento vertical em 90° , verificado por meio de um nível de bolha (Figura 25a) ou de um inclinômetro (Figura 25b);



Figura 25a. Nível de bolha.



Figura 25b. Inclinômetro.

- após o estaiamento do primeiro módulo procede-se à colocação dos demais módulos;
- o segundo módulo também deve ser estaiado, para garantir maior estabilidade da torre;
- os módulos são içados por meio de uma haste de força, conhecido como “pau de carga” (Figura 26a). Essa haste de força é constituída por um mastro de 6 ou 7 metros com uma roldana em sua extremidade superior, por onde passará a corda de içamento dos módulos. Próxima à extremidade inferior há uma garra que se apoiará na treliça do módulo inferior (Figura 26b).



Figura 26a. Haste de força.



Figura 26b. Detalhe da garra.

A Figura 27 mostra o “pau de carga” já fixado num módulo para içamento do módulo seguinte. No topo do “pau de carga” percebe-se a roldana já com o cabo para içamento.



Figura 27. Torrista auxiliando a suspensão do módulo.

O içamento dos módulos deve ser feito por meio de um guincho elétrico. Nesse caso, deve-se ater à necessidade de disponibilidade de energia elétrica no local ou uso de gerador elétrico portátil.

A Figura 28 mostra o içamento do segundo módulo de uma torre, detalhando:

1. “pau de carga” já fixado com sua metade projetada para fora da torre;
2. o ponto de amarração do módulo que está sendo içado em sua metade;
3. colocação de guia do cabo de içamento na parte superior do módulo que está sendo içado; e
4. cabo de içamento.

Um par de roldanas fixadas na base do primeiro módulo (Figura 29) orienta o cabo de içamento que está preso ao tambor do guincho elétrico.

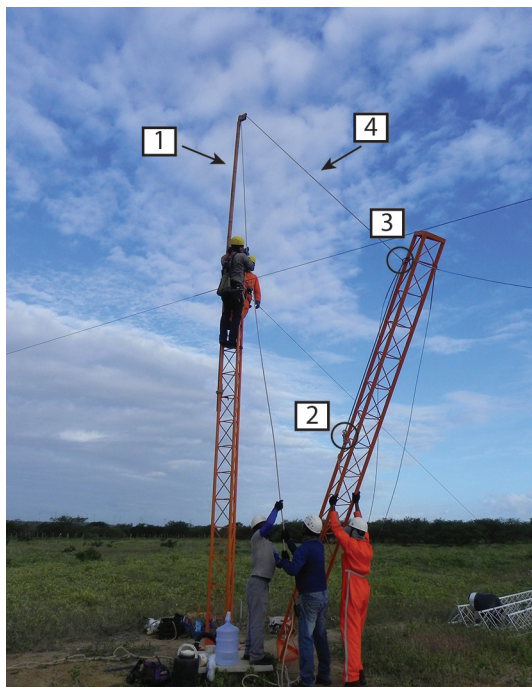


Figura 28. Içamento do segundo módulo.



Figura 29. Roldanas para içamento.

Os módulos devem ser içados com seus estais já fixados. Na subida do módulo, o pessoal da base deve ter atenção para evitar que os estais fixados ao módulo enrolem em outros estais ou em cabos que estejam sendo usados para içamento de materiais. A fixação dos estais no módulo da torre deve ser feita conforme indicado na Figura 19 ou 20. A Figura 30 mostra um módulo sendo içado.



Figura 30. Módulo sendo içado.

Observe que na base do módulo que está sendo içado coloca-se um mosquetão passando pelo próprio cabo de içamento. O mosquetão preso ao cabo garante que o módulo seja içado sempre alinhado à torre, de modo a evitar choques com os estais.

A Figura 31 ilustra a situação.

O içamento dos módulos deve ser comandado pelos torristas. Deve haver uma perfeita comunicação entre os torristas e o pessoal da base, que são os responsáveis por controlar o guincho elétrico.



Figura 31. Módulos sendo içados.

Um dos momentos mais críticos na montagem de uma torre anemométrica é o do assentamento da face dos módulos. Nessa fase da montagem, o pessoal da base que opera o guincho elétrico de içamento deve ter atenção especial aos comandos dos torristas. Cuidado especial deve ser dado à possível queda de ferramentas e parafusos usados na fixação dos módulos. A Figura 32 ilustra esse momento da instalação.



Figura 32. Assentamento da face dos módulos.

Após o içamento do módulo alinham-se as faces dos módulos para colocação e aperto dos parafusos (Figura 33). No assentamento das faces, deve-se ter atenção para que a inclinação do módulo que está sendo preso à estrutura não cisalhe ou danifique a rosca do parafuso, o que comprometerá a montagem da torre. Caso o parafuso seja danificado na montagem do módulo, o mesmo deve ser substituído imediatamente.

A Figura 34 mostra as faces de dois módulos alinhados e aparafusados.



Figura 33. Torristas fixando os parafusos de fixação.



Figura 34. Módulos aparafusados e alinhados.

O módulo, caso seja estaiado, deve ter seu alinhamento verificado por meio de incli-nômetro ou nível e também de forma visual, com auxílio de pessoal experiente nesse tipo de serviço. O alinhamento é feito, inicialmente, pelo tensionamento dos estais por meio dos moitões (Figura 35) e, em seguida, nos próprios esticadores (Figura 36), para ajustes mais precisos. Pode-se utilizar um tensiômetro para verificar a tensão nos estais, tendo o cuidado de não afrouxar os estais após a sua retirada (Figura 37).



Figura 35. Alinhamento pelo tensionamento dos estais por meio dos moitões.



Figura 36. Alinhamento por esticadores.

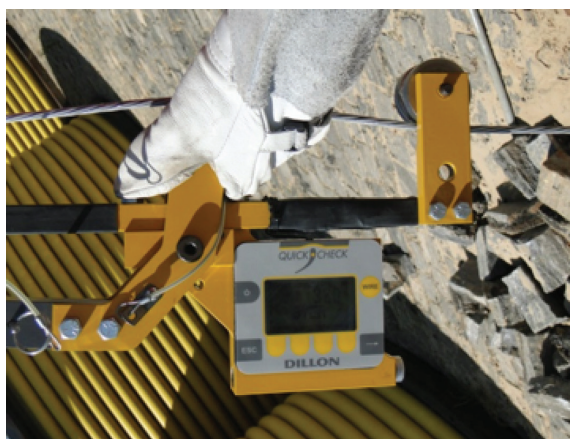


Figura 37. Verificação do alinhamento com tensiômetro.

Além do uso do inclinômetro, a verticalidade da torre também pode ser verificada por meio da análise do alinhamento dos módulos com uma vista da base para o topo da torre. A Figura 38a mostra torres perfeitamente alinhadas, enquanto a Figura 38b exibe uma torre desalinhada, o que compromete as medições dos sensores nela instalados.



Figura 38a. Torres perfeitamente alinhadas.

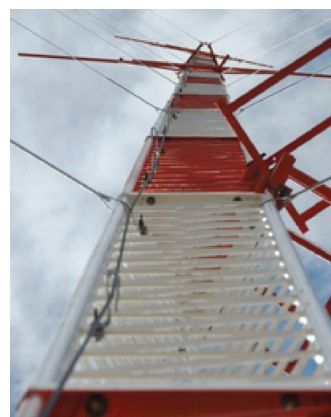
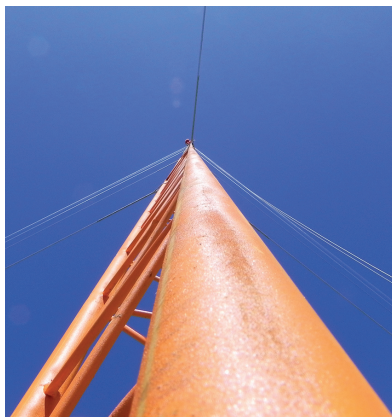


Figura 38b. Torre desalinhada.

Para dificultar a escalada na torre por pessoas não autorizadas, recomenda-se a instalação, no segundo ou terceiro módulo, de um inibidor de escalada (rasga-calça), que possui um alçapão trancado com cadeado e permite acesso apenas ao pessoal autorizado (Figuras 39a e 39b).



Figura 39a. Inibidor de escalada montado.

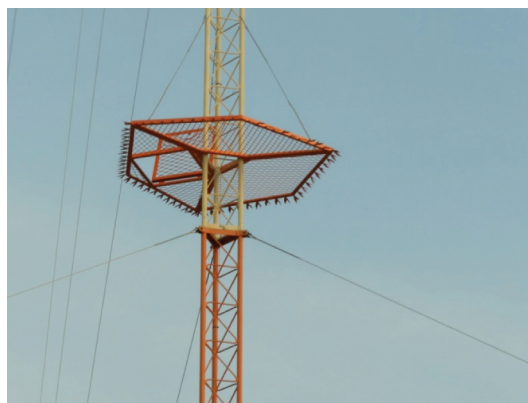


Figura 39b. Inibidor de escalada instalado.

Instalação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas

O sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) deve ser composto por um captor tipo Franklin (Figura 40) instalado no topo da torre, cabo guia da descarga, suportes isolantes (Figura 41) para fixação do cabo e eletrodos de aterramento. O cabo deve ser fixado à torre por meio dos suportes isolantes, com espaçamento vertical de 1,5 metro, e conectado diretamente ao sistema de aterramento no solo. A Norma NBR5419 – 1:2015 estabelece os requisitos técnicos para proteção contra descargas atmosféricas.

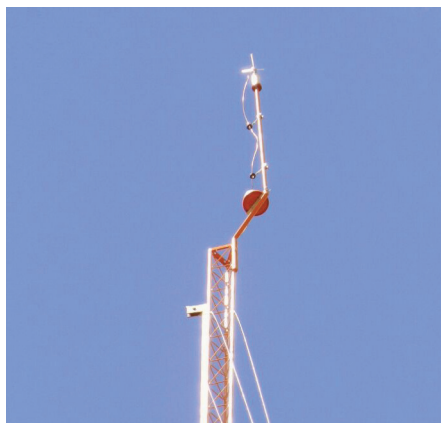


Figura 40. Captador Franklin instalado no topo da torre.



Figura 41. Suportes isolantes.

A Figura 42 apresenta em detalhe um para-raios tipo Franklin.



Não se recomenda utilizar a própria estrutura da torre como condutor para o SPDA devido à impossibilidade de se garantir a condutividade elétrica entre os módulos da estrutura e entre a estrutura e os condutores (Figura 43).



Figura 42. Detalhe de um para-raios tipo Franklin.

NÃO RECOMENDADO !

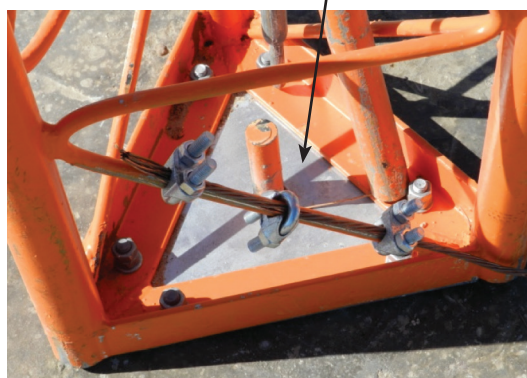


Figura 43. Cabo de aterramento conectado diretamente à torre.

O aterramento da torre deve ser feito por meio de eletrodos interligados pela malha de aterramento. Os estais da torre também deverão ser aterrados. A Figura 44 ilustra o aterramento de uma torre anemométrica.

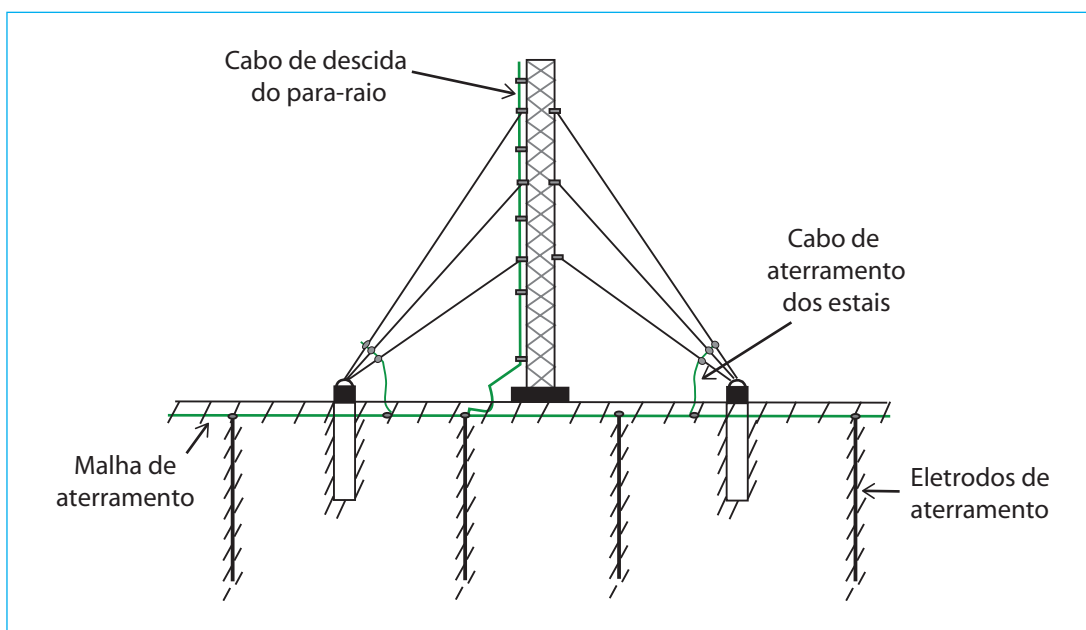


Figura 44. Ilustração esquemática do aterramento de uma torre anemométrica.

A estrutura que suporta o captor da descarga atmosférica deverá ser rígida e projetada de forma que provoque a menor interferência no fluxo do vento, devendo ser fixada diretamente na estrutura da torre. O para-raios pode ser instalado alinhado a uma das faces da torre e necessariamente a sotavento do anemômetro em relação à direção mais frequente do vento (Figura 45). Dessa forma, nessa direção, o vento não receberá interferência da estrutura do para-raios. A Figura 45 apresenta um modelo de para-raios que confere menos turbulências ao fluxo de vento. Recomenda-se uma distância mínima de 50 vezes o diâmetro da haste vertical do para-raios em relação à torre.

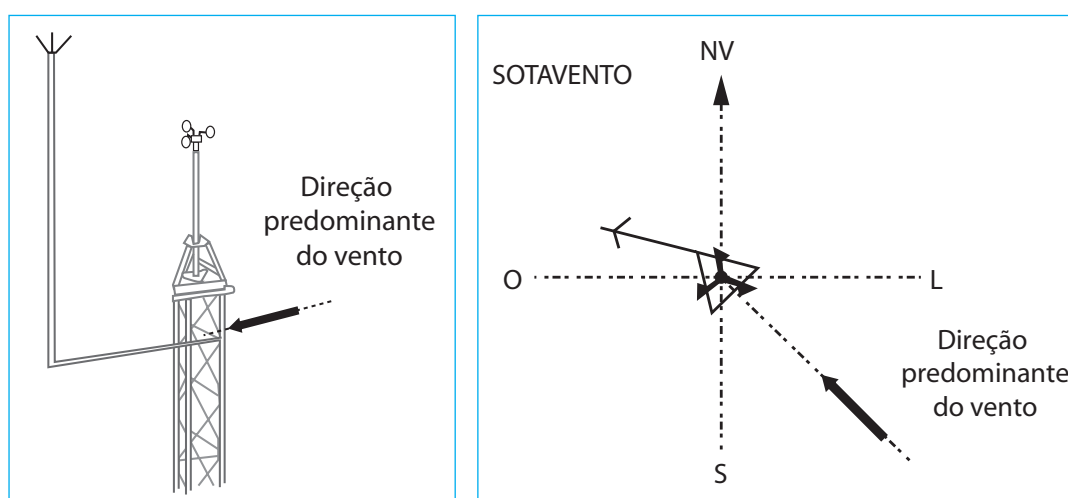
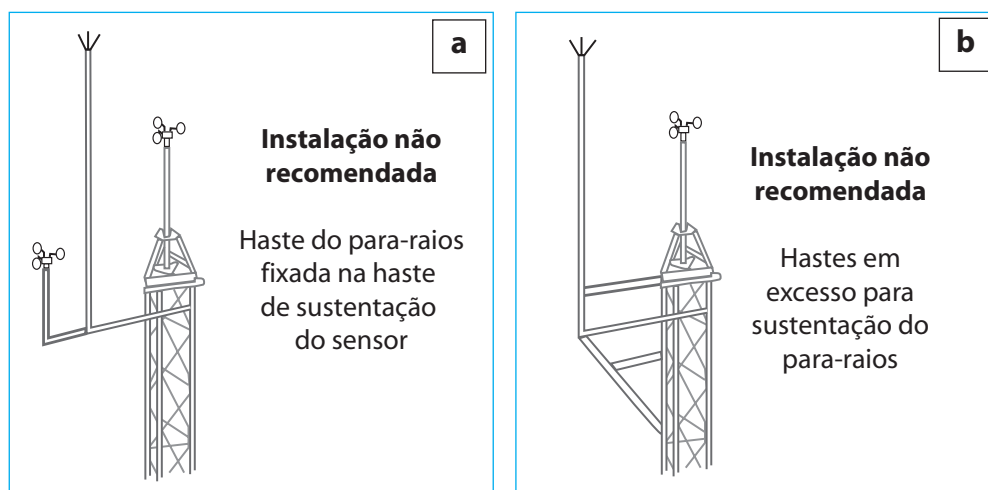


Figura 45. Ilustração esquemática mostrando a orientação do para-raios.



A haste de sustentação do para-raios não deverá ser instalada na haste de sustentação dos sensores (Figura 46a).

Outro tipo de instalação a ser evitado é com hastes em excesso para sustentação do para-raios (Figura 46b), visto que estas aumentam a turbulência no fluxo do vento, e provoca interferência na leitura na velocidade do vento. Na Figura 46c, é mostrado um modelo de para-raios.



Figuras 46 (a) e (b). Dois exemplos de instalação de hastes não recomendada.

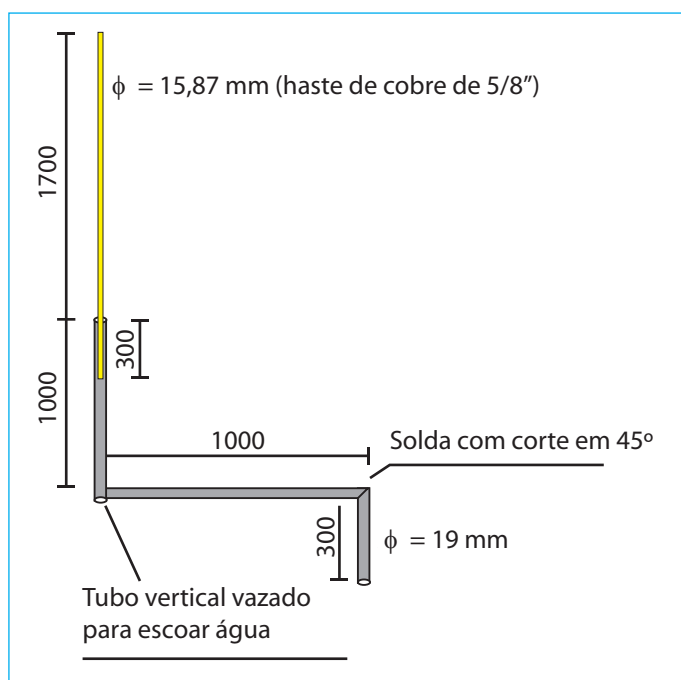


Figura 46c. Modelo de para-raios.

Instalação do sistema de balizamento

A portaria nº 256/GC5 do Comando da Aeronáutica, de 13 de maio de 2011, estabelece dois tipos de balizamento de obstáculos, entre eles, as torres anemométricas:

- balizamento diurno (Figura 47): constituído de pintura nas cores laranja (ou vermelha) e branca alternadamente. O último módulo, obrigatoriamente, deve ser da cor mais escura; e
- balizamento noturno (Figura 48).

No caso do balizamento noturno, deve-se atentar às cores e tipos das luzes instaladas: baixa, média e alta intensidade. Os tipos das luzes, bem como sua distribuição pela estrutura da torre, dependem da altura da torre, que sempre terá luz no seu topo.



As torres com cem metros de altura, ou mais, devem ter solicitação de instalação submetida ao COMAR da área de jurisdição correspondente.

É recomendável que se instale sistema de fornecimento de energia elétrica exclusivo para as luzes de balizamento, separado e isolado dos instrumentos de medição anemométrica.



Figura 47. Balizamento diurno.



Figura 48. Balizamento noturno.

O balizamento noturno, assim como o para-raios, deve ser montado e instalado de forma que não provoque interferência no fluxo do vento nos instrumentos de medição anemométrica. A Figura 49 mostra o topo de uma torre com todos os instrumentos e equipamentos instalados (anemômetro de topo, anemômetro de controle, *wind vane*, balizamento noturno e para-raios).



Figura 49. Topo de uma torre com instrumentos instalados.

INSTRUMENTAÇÃO

Após a montagem da torre inicia-se a fase de instrumentação, de acordo com as alturas e orientações definidas no projeto. Deve-se seguir as orientações descritas na IEC 61400-12-1:2005, no seu anexo G, e na MEASNET.

A sequência de montagem dos sensores deve ocorrer do nível mais alto para o mais baixo, minimizando a possibilidade de queda de ferramentas e objetos sobre os sensores inferiores já montados. Além disso, o içamento das hastes para os níveis superiores pode causar impacto nos sensores inferiores já instalados.

Antes da instalação na torre, deve-se montar todo o conjunto no solo a fim de verificar seu funcionamento. Todos os instrumentos, já com cabeamento elétrico, devem ser conectados ao *datalogger* em seus respectivos canais de leitura, de forma a verificar a plausibilidade das leituras dos sensores. Com esse procedimento garante-se o correto funcionamento dos sensores, a continuidade do cabeamento elétrico e o funcionamento dos canais do *datalogger*.

Fixação dos suportes, hastes e cabeamento

Os anemômetros, exceto o de topo, e os indicadores de direção do vento deverão ser montados em solo conforme procedimentos descritos abaixo. O projeto das hastes horizontais depende da largura da face da torre e da dimensão e peso do sensor.

Recomenda-se que as hastes horizontais sejam instaladas em um suporte fixado à face da torre e que permita o recolhimento da haste. Essa instalação assegura que a orientação da haste não seja modificada quando da realização de manutenções (Figuras 50a e 50b).



Figura 50a. Detalhe do suporte horizontal.



Figura 50b. Suporte horizontal fixado na torre.

Nesse tipo de suporte, as hastes dos instrumentos são fixadas por meio da pressão que os parafusos do suporte fazem na própria haste do instrumento (Figura 51). Uma das vantagens desse tipo de suporte é a possibilidade de recolher a haste para manutenção no sensor, como mostrado na Figura 52.

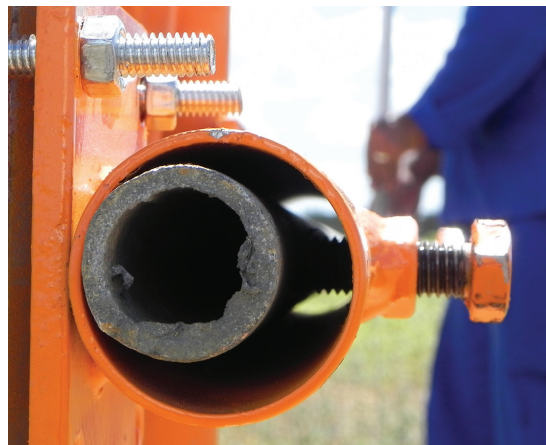


Figura 51. Hastes fixadas por pressão.



Figura 52. Haste horizontal recolhida.

Na base da torre realiza-se a montagem de cada haste com seu respectivo sensor, verificando:

1. comprimento da haste de fixação (Figuras 53a e 53b);
2. inclinação da haste horizontal (Figura 54);
3. comprimento da haste vertical (Figura 55);
4. verticalidade da haste vertical (Figura 56).



Figura 53a



Figura 53b



Figura 54



Figura 55



Figura 56

A Figura 57 mostra as hastes horizontais, verticais e respectivos suportes instalados na base da torre para verificação dos comprimentos.



Figura 57. *Hastes horizontais, verticais e respectivos suportes instalados na base da torre.*

Após a verificação dos comprimentos e do correto posicionamento das hastes instala-se o sensor.

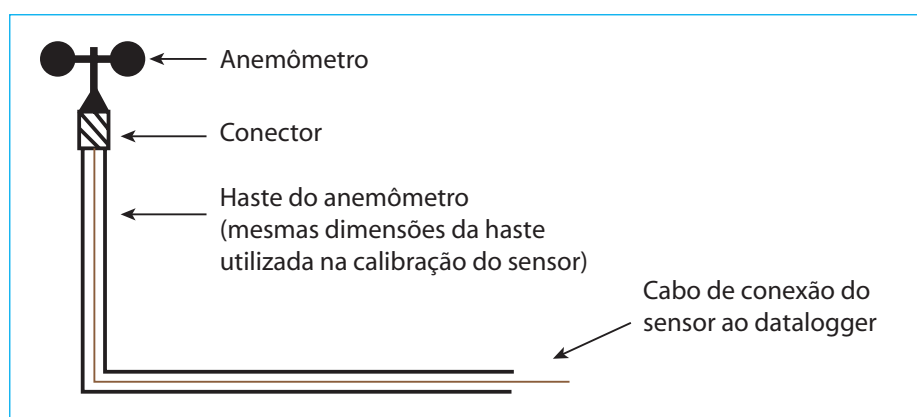


Figura 58. Ilustração da haste do anemômetro e do sensor.

O sensor deve ter seu número de série voltado para a torre, facilitando inspeções futuras. Deve-se fotografar o sensor de forma a identificar seu número de série para posterior documentação (Figuras 59 e 60).



Figura 59. Sensor.



Figura 60. Detalhe da foto para posterior documentação do número de série.

Após a finalização da montagem, deve-se marcar o alinhamento do suporte horizontal fixado à torre com sua respectiva haste horizontal. Essa marcação garante o alinhamento do conjunto, feito em solo, quando do recolhimento da haste horizontal para futuras manutenções. As marcações em preto na Figura 61 sugerem marcações que podem ser feitas com punção nos tubos.



Figura 61. Alinhamento do suporte horizontal fixado à torre com sua respectiva haste horizontal.

Outra forma de fixação do suporte dos instrumentos é por meio de hastes com suportes adicionais, no sentido horizontal e em diagonal. Este tipo de suporte oferece maior resistência ao conjunto, entretanto, por possuir maior área de exposição ao vento, atenção deve ser dada no sentido da estrutura não prejudicar o fluxo do vento nos anemômetros e *wind vanes*.

O cabeamento dos sensores, preferencialmente, deverá ser instalado por dentro das hastes verticais e horizontais. Caso não seja possível, deverão ser fixados nas hastes por meio de fio de cobre de 1,5 mm² com isolamento em PVC (Figura 62) ou por presilhas plásticas de cor preta, que possuem proteção ultravioleta (Figura 63). Para o caso de uso de cabo de cobre, seu comprimento deverá ser suficiente para que sejam feitas duas voltas na haste de fixação do instrumento. O aperto deverá ser feito manualmente, com cuidado, para não danificar o cabo do sensor. Os cabos de sinais devem ser fixados nas hastes, verticais e horizontais, num curso helicoidal, no sentido longitudinal da haste.

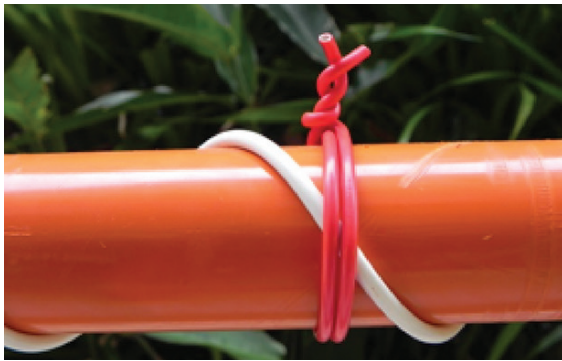


Figura 62. Cabo fixado com fio de cobre.



Figura 63. Cabo fixado com presilha plástica preta.

Na fixação do cabeamento à torre, recomenda-se o mesmo tipo usado nas hastes, cabo de 1,5 mm² ou presilha plástica preta.

Independente do modo de fixação é importante que o cabo de dados do sensor não tenha contato com arestas da estrutura, evitando assim um possível dano ao cabo.

A Figura 64 mostra uma haste horizontal e vertical montada, ainda no solo, com seu respectivo sensor, neste caso, um anemômetro.



Figura 64. Haste horizontal e vertical montada com um anemômetro.



Após a montagem da haste e do cabeamento, devem ser feitos testes de comunicação com o *datalogger*. Nesse testes, feitos em solo, verifica-se a coerência do valor registrado no *datalogger*, o funcionamento do canal de leitura e o cabeamento do sensor

Após os testes, o instrumento deve ser retirado da haste para que esta seja erguida até sua posição final. O içamento deve ser feito de forma cuidadosa, por meio de guias, para que a haste não se choque com a estrutura da torre. No içamento do conjunto hastes e cabo elétrico, este último deve estar amarrado na haste de forma a evitar que o seu peso não provoque esforço nos terminais do conector ao qual já está ligado (Figura 65).

As hastes de todos os anemômetros e *wind vanes* devem ter sua verticalidade conferida por meio de um inclinômetro, ou nível, quando da fixação definitiva na torre (Figuras 66a e 66b), e seu desvio não deve ser maior do que 2°.

É necessário registrar a direção de todas as hastes utilizadas com uma bússola de boa qualidade, dotada de nível.



Figura 65. Içamento de haste do sensor.



Figura 66a. Verificação de verticalidade.



Figura 66b. Verificação do nivelamento.

Não há necessidade de um suporte especial para a fixação dos sensores climáticos (barômetro, termômetro e higrômetro). Normalmente, esses sensores já vêm com caixa para acondicionamento.

Fixação do anemômetro de topo

O anemômetro de topo deverá ser montado em estrutura própria e fixado no topo do último módulo da torre por meio de base aparafusada. Sua haste vertical de sustentação deve possuir travas, de forma que essa haste possa ser recolhida para manutenção do sensor. A verticalidade da sua haste de sustentação deve ser verificada.

O conjunto deverá ter um pino trava de forma a garantir que na descida da haste o anemômetro não se choque com a estrutura de fixação (Figuras 67a e 67b).



Figura 67a. Detalhe dos pinos trava.



Figura 67b. Base com haste do anemômetro aparafusada.



Atenção: as hastes verticais que sustentam os anemômetros, tanto os de topo como os intermediários, devem ter o mesmo diâmetro e comprimento das hastes utilizadas em seus ensaios de calibração.

Alinhamento do *wind vane*

O norte de referência do *wind vane*, marcado no sensor, deve estar voltado para a torre na direção da sua haste horizontal de fixação (Figura 68). Assim, a direção de referência do *wind vane* será da orientação da haste.

O alinhamento do *wind vane* consiste em amarrá-lo a um fio e esticá-lo até o centro do tubo da haste horizontal. Dessa forma, o *wind vane* fica alinhado com sua haste de fixação. Para verificar se o alinhamento foi feito corretamente, deve-se conferir o ângulo medido por meio do *datalogger*, que deverá indicar "zero".

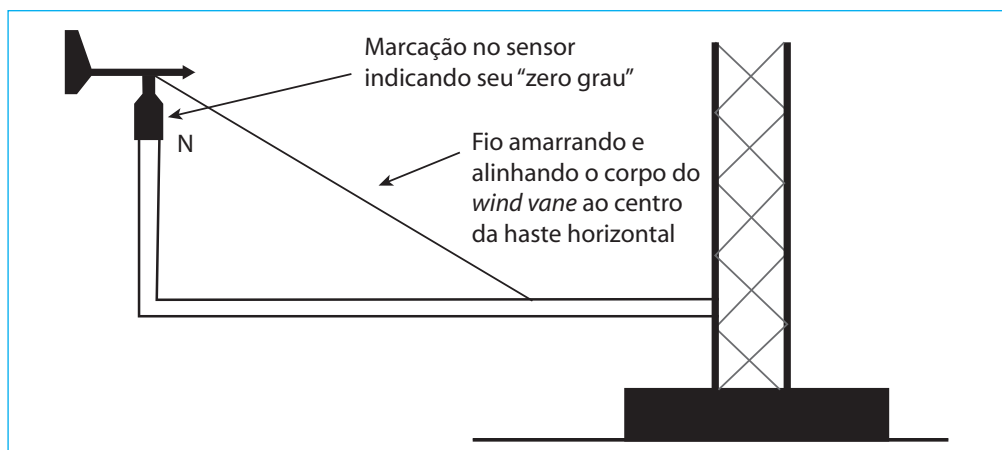


Figura 68. Alinhamento do *wind vane*.

Posteriormente, com o ângulo da haste horizontal medido com a bússola e a declinação magnética local, faz-se a correção das leituras de direção de vento para a referência do Norte Verdadeiro. Essa correção poderá ser introduzida no *datalogger*, ou nas planilhas que recebem os dados. Todo alinhamento deve ser feito na base da torre pela facilidade de manipulação dos equipamentos.

Devido a uma possível torção da torre entre seus módulos, atenção especial deve ser dada ao alinhamento entre as hastes horizontais, principalmente dos *wind vanes*. Essa verificação deve ser feita por pessoa experiente, com a utilização de um dos procedimentos descritos abaixo:

1. Fazer uma “Linha de Visada” da base da torre até seu topo. Nessa visada, as hastes devem estar alinhadas. A Figura 69a mostra um desalinhamento entre duas hastes (ângulo α). A Figura 69b mostra as mesmas hastes perfeitamente alinhadas.



Figura 69a. Hastes desalinhadas.



Figura 69b. Hastes alinhadas.

2. Posicionar-se em um local distante da torre com uma bússola e identificar os ângulos das hastes tendo como referência um ponto imaginário, conforme Figura 70. De posse desses ângulos e com a direção da face do primeiro módulo, pode-se fazer as correções.

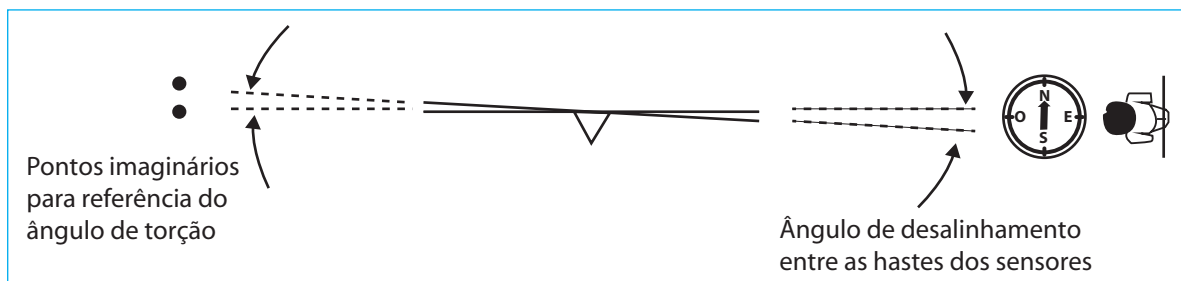


Figura 70. Conferência do ângulo em relação ao ponto imaginário.

Possíveis torções da torre podem ser corrigidas por meio do tensionamento dos estais. Caso essa correção não seja possível, será necessário introduzir um *offset* no *datalogger* ou nas próprias planilhas que recebem os dados. Esse procedimento deve ser executado por pessoa qualificada.

Verificação da instalação dos sensores

Após a instalação definitiva na torre de cada sensor (anemômetro, *wind vane*, higrômetro, barômetro e termômetro) deve-se proceder seu respectivo teste, conforme descrito abaixo:

Verificação dos anemômetros

- torrista 1 recolhe a haste do sensor, segura cuidadosamente uma das conchas e informa ao torrista 2 via rádio;
- torrista 2, posicionado na altura do *datalogger*, verifica qual é o canal do *datalogger* que informa velocidade de vento igual a zero;
- torrista 1 recoloca a haste do sensor na posição original.

Verificação dos *wind vanes*

- torrista 1 recolhe a haste do *wind vane*;
- torrista 2, posicionado na altura do *datalogger*, solicita via rádio ao torrista 1 que alinhe o *wind vane* com a referência norte do sensor;
- torrista 2 observa a leitura de direção no *datalogger*. Neste caso, o valor lido deve ser próximo a zero grau;
- torrista 2 solicita que o torrista 1 gire a cauda do *wind vane*, no sentido horário, para 90°, 180° e 270°, sempre conferindo os valores registrados.

Deve-se observar que o torrista 1 quase nunca consegue alinhar a cauda do *wind vane* exatamente nas posições indicadas. Portanto, aceita-se aproximações desses resultados, podendo-se repetir essa operação para se ter certeza.

Verificação do sensor de temperatura

Usar um termômetro portátil para conferir as leituras informadas no visor do *datalogger*.

Verificação do sensor de pressão atmosférica

A leitura informada no visor do *datalogger* deve ser conferida com o resultado da seguinte expressão matemática que fornece o valor aproximado da pressão atmosférica no local em hectopascal (hPa):

$$P = 1013,25 \times (1 - h \times 2,25577 \times 10^{-5})^{5,25588}$$

onde *h*, dada em metro, é a soma da altitude do local mais a altura do sensor na torre. Esse valor deve ser calculado a priori pela equipe de projeto.

Verificação do sensor de umidade

Verifica-se apenas se a leitura informada no visor do *datalogger* está entre 0% e 100%.

Caso haja algum erro de leitura no *datalogger*, uma possibilidade é que o cabo do sensor tenha sido danificado durante a instalação. Nesse caso, para verificar a continuidade do cabo, deve ser realizado um teste injetando um sinal de tensão conhecido em uma extremidade e verificando esse sinal, com um multímetro, na extremidade conectada ao *datalogger*.

Instalação elétrica

Os cabos de sinais são responsáveis pela ligação dos sensores ao *datalogger*. São cabos de extra baixa tensão, já que a alimentação das baterias é de 12 Vcc. Alguns sensores são ainda alimentados com tensões menores. Recomenda-se cabos blindados de 4 ou 6 vias de 22 e 26 AWG (Tabela 1).

Tabela 1. Características técnicas dos cabos elétricos.

Cabo	Resistência [ohms/km]	Corrente máxima [A]
0,326 mm ² – 22 AWG	51,5	0,92
0,129 mm ² – 26 AWG	130,7	0,37

Todos os cabos dos sensores são conectados ao *datalogger*, que fica abrigado em caixa própria e protegida. Essa caixa deve conter os seguintes itens:

1. *datalogger*;
2. modem para transmissão de dados;
3. controlador de carga;
4. baterias; e
5. supressores de surto de tensão.

Observe na Figura 71 a posição dos componentes e dispositivos no interior da caixa.

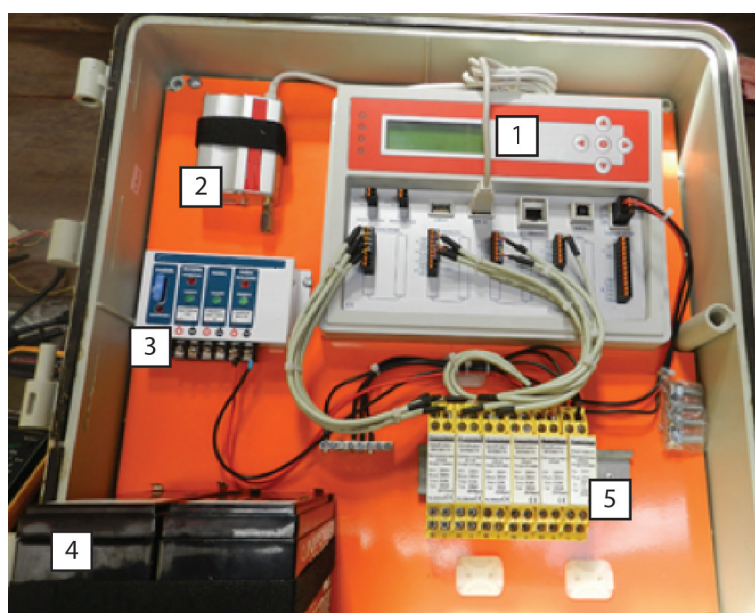


Figura 71. Caixa do datalogger e dispositivos eletroeletrônicos.

O *datalogger* pode ser instalado na base da torre, caso a estação esteja instalada em local com segurança 24 horas. Já em locais ermos, sem segurança, o *datalogger* deve ser instalado acima do rasga-calça. É importante ressaltar que o *datalogger* registra todas as informações anemométricas e climatológicas do sítio, possuindo grande valor estratégico sobre o potencial energético da região.

A fiação interna e o cabeamento dos sensores deverão ser organizados em canaletas e receber etiquetas de identificação e conectores. Durante a instalação, recomenda-se que os terminais sejam protegidos, para evitar danos.

A Figura 72 apresenta os conectores nas terminações dos cabos dos sensores e a Figura 73 apresenta a utilização de invólucro plástico, envolvendo os terminais, para proteção.

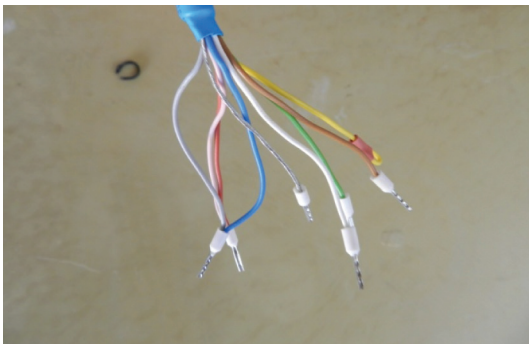


Figura 72. Cabos dos sensores descobertos.



Figura 73. Cabos dos sensores protegidos com plástico.

É importante que o esquema de ligação (dia-grama de conexões) seja fixado na porta da caixa (devidamente protegida contra umidade), para que qualquer equipe de manutenção possa identificar corretamente as ligações.

O aterramento do *datalogger* e de outros dispositivos, deve ser feito de acordo com as recomendações dos fabricantes. Caso seja utilizada caixa metálica, esta deverá estar aterrada.

A caixa que acondiciona os dispositivos eletrônicos pode ter sua estrutura à base de resina para evitar corrosão. A caixa deverá ter grau de proteção IP adequado contra a chuva e poeira.



As entradas de cabos elétricos que não forem utilizadas deverão ser vedadas para evitar entrada de umidade, sujeira, insetos e roedores.

As Figuras 74a e 74b mostram uma caixa com abertura sem vedação com o cabeamento atacado por ratos.



Figura 74a. Entrada de cabeamento da caixa do datalogger não utilizada e sem vedação.

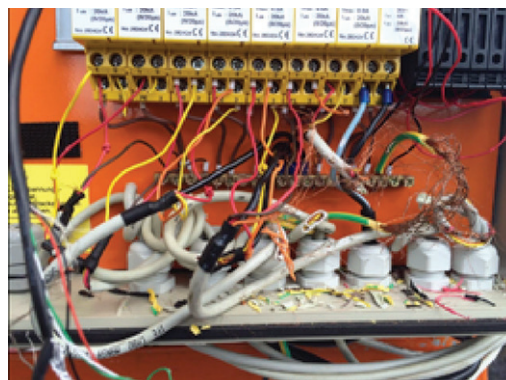


Figura 74b. Cabos da caixa do datalogger comido por ratos.

A Figura 75 mostra uma caixa de que sofreu entrada de água em função de problemas de vedação. Todos os equipamentos que estavam em seu interior foram danificados.



Figura 75. Caixa com problemas de vedação.

Comunicação

Normalmente, a comunicação remota entre as estações e a empresa responsável pela campanha de medição de vento é feita de duas formas: via GSM ou via satélite.

A comunicação via GSM é feita por meio de um modem, que pode ser interno ou externo ao *datalogger*. Para cada modem, é necessário conhecer seus parâmetros básicos de ajustes, tais como velocidades de transmissão de dados e frequência de operação. O modem recebe um cartão SIM responsável pela transmissão de dados. Antes de escolher a operadora de telefonia móvel, é necessário conhecer qual operadora possui sinal de dados no local, com qualidade.

Normalmente, as antenas dos modems possuem ganho de 5 dBi e são omnidirecionais (transmitem e recebem em todas as direções), porém possuem um baixo ganho (Figura 76a). Para o caso de regiões com sinal fraco, o uso de antenas direcionais (Figura 76b) deve ser considerado. Esse tipo de antena possui um ganho muito maior, porém deve ser instalada na direção da torre de telefonia móvel.



Figura 76a. Antena omnidirecional.



Figura 76b. Antena direcional.

Como orientação inicial de uma antena direcional, sugere-se verificar no endereço "<http://www.telebrasil.org.br/panorama-do-setor/mapa-de-erbs-antenas>" as coordenadas das estações rádio base (ERBs) próximas ao local de instalação da torre. Posteriormente, no Google Earth, plotam-se as coordenadas das ERBs e da estação anemométrica, identificando o ângulo entre as ERBs e a estação anemométrica. Estes ângulos devem ser informados à equipe de campo para o posicionamento, inicial, da antena direcional, caso este tipo de antena seja instalado na estação. Note que este ângulo é em relação ao norte verdadeiro e correções serão necessárias considerando que a equipe de campo trabalha com bússolas e, por conseguinte, com norte magnético. A Figura 77 sugere que a ERB está aproximadamente a 50° da estação anemométrica, em relação ao norte verdadeiro (NV).



Figura 77. Direção entre uma ERB e uma estação anemométrica, em relação ao NV.

Para o posicionamento final da antena direcional deve-se seguir o seguinte procedimento:

1. torrista 1 move lentamente a antena na direção da torre de telefonia;
2. torrista 2, próximo ao *datalogger*, observa o aumento do ganho de sinal. A antena deve ser fixada na posição que resultar em melhor sinal.

Recomenda-se que, após a instalação da antena, sejam feitos testes de comunicação para verificar o acesso remoto ao *datalogger*.

A comunicação via satélite é necessária quando não há sinal de operadoras de telefonia móvel, mesmo utilizando-se antenas direcionais. Essa opção é mais cara, uma vez que o pagamento é feito por pacote de dados. A Figura 78 destaca a antena para comunicação via satélite.



Figura 78. Antena para comunicação via satélite.

COMISSIONAMENTO

Ao final da montagem da estação, deve-se certificar que a torre atende aos requisitos de projeto. Caso, durante sua montagem, sejam necessárias alterações do projeto, estas deverão ser registradas e informadas ao responsável do projeto. As alterações, quando feitas, somente poderão ser realizadas por pessoal técnico qualificado.

Os itens abaixo devem ser verificados ao término da montagem:

- verificação da resistência do aterramento;
- verificação da tensão nas baterias e do painel solar;
- verificação do funcionamento dos instrumentos:
 - ✓ anemômetros;
 - ✓ *wind vane*;
 - ✓ temperatura;
 - ✓ pressão atmosférica; e
 - ✓ umidade.

Verificação da resistência do aterramento

Como as estações anemométricas em geral são as edificações mais altas do local, tornam-se ponto de atração de descargas atmosféricas, requerendo um SPDA projetado e aprovado por pessoal devidamente qualificado. Um dos requisitos para garantia de um SPDA é que o sistema seja inspecionado conforme recomendado na NBR 5419 – 1:2015.

Verificação da tensão nas baterias e do painel solar

Recomenda-se a verificação da tensão nas baterias, na entrada do controlador de carga dos painéis solares e a carga no sistema de baterias. Caso o *datalogger* possua baterias internas, a tensão das mesmas também deve ser verificada.

Verificação do funcionamento dos instrumentos

Após o término da instalação da estação, todas as grandezas climáticas medidas devem ser verificadas no visor do *datalogger*, canal por canal, para se certificar de que estão sendo medidas corretamente e que não há inversão de canais no logger. Caso existam medidas implausíveis, recomenda-se seguir os procedimentos mencionados no item "**Verificação da Instalação dos Sensores**".

MANUTENÇÃO

Devem ser feitas inspeções mensais para acompanhar e avaliar as condições operacionais e estruturais da estação.

Considerando a logística necessária para a realização dos trabalhos, é importante que uma análise prévia dos dados registrados seja feita. A análise dos dados deve ser feita diariamente, a fim de verificar o funcionamento dos equipamentos. Semanalmente, a coerência dos dados deve ser verificada por pessoal qualificado, visto que os instrumentos podem estar em funcionamento, porém com medidas implausíveis. Nessas situações, a fim de minimizar a perda de dados, a manutenção deve ser realizada com o menor tempo possível.

É importante que a equipe de manutenção siga as seguintes recomendações:

- possuir equipamentos sobresselentes para o caso de troca;
- verificar as condições físicas dos instrumentos (fixação nas hastes, sinais de corrosão etc.);
- antes de substituir qualquer sensor, verificar se as conexões estão em perfeito estado e se cabo do sensor não está danificado;
- verificar a integridade das bases de ancoragem (Figuras 79a e 79b);
- verificar a integridade dos esticadores (Figuras 80a e 80b);
- verificar a integridade dos estais. A Figura 81 apresenta um estai bastante comprometido pela corrosão provocada pela maresia;
- verificar a resistência do aterramento;
- verificar a integridade da estrutura da torre. Se houver oxidação, deve-se realizar uma pintura geral. A Figura 82 mostra uma estrutura de torre em estado avançado de oxidação.

Caso haja algum sinal de oxidação ou de fadiga que comprometa a estrutura da torre, a manutenção não deve ser executada até que a torre seja reparada. Não sendo possível o reparo, recomenda-se sua derrubada, até mesmo com seus sensores.

Recomenda-se que seja elaborado um plano de manutenção incorporando controles e medidas de segurança para os trabalhadores. As tarefas devem ser estabelecidas, incluindo a preparação prévia e demais procedimentos.

É extremamente importante que cada atividade de manutenção seja documentada nos respectivos relatórios.

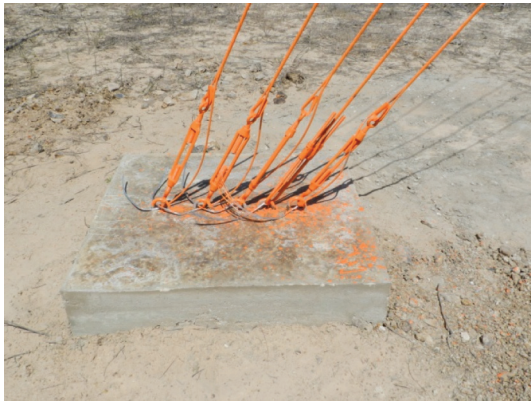


Figura 79a. Ancoragem nova.



Figura 79b. Ancoragem deteriorada.



Figura 80a. Esticadores novos.



Figura 80b. Esticadores deteriorados.



Figura 81. Estai oxidado por ação da maresia.



Figura 82. Torre oxidada por ação da maresia.

SEGURANÇA

Os instaladores ou montadores de torres devem ter um plano de segurança elaborado por um técnico de segurança do trabalho e devem obedecer às seguintes normas:

- NR35 – Trabalhos em altura;
- NR18 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção, nas partes aqui aplicadas; e
- NR10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade, caso as tensões presentes na instalação assim demandem.



É condição básica que todo pessoal envolvido nos trabalhos na torre utilize equipamentos de proteção individual (EPIs), necessários ao bom desempenho e à segurança de suas atividades.

O uniforme deverá ser composto por:

- balaclava para proteção facial;
- capacete com jugular;
- óculos (escuros ou transparentes);
- camisa de manga longa para proteção do frio e do sol, com bolsos com velcro;
- calça comprida com bolsos laterais com velcro;
- luvas;
- meias;
- botas;
- talabarte em Y; e
- cinto de posicionamento.

Todo equipamento utilizado deve ter Certificado de Aprovação – CA, conforme previsto na NR 6.

		
Capacete tipo alpinista	Óculos escuros	Luvas
		
Cinto de segurança tipo paraquedista	Talabarte regulável de posicionamento	Talabarte de ascensão em "y"
		
		Protetor de nuca e cabeça
		
Sistema trava quedas	Botas	Protetor solar
		
		Balaclava

Figura 83. Equipamentos de proteção individual.

A equipe de trabalho em torres anemométricas deverá atender a NR 35 em todos os itens que forem pertinentes ao tipo de trabalho executado, como exemplo: supervisão nas atividades executadas, orientação quanto aos riscos envolvidos, análise de riscos, uso correto de EPIs, orientação para os primeiros socorros, etc.

Antes do início da escalada, ainda na base, uma verificação detalhada em todo o equipamento deve ser realizada, testando-se todos os itens de segurança, conforme mostrado na Figura 84.



Figura 84. Torrista utilizando EPI.

Todo cabo utilizado, seja para içamento de material ou para segurança pessoal, deverá ser inspecionado antes de sua utilização e deverá atender à NR18.

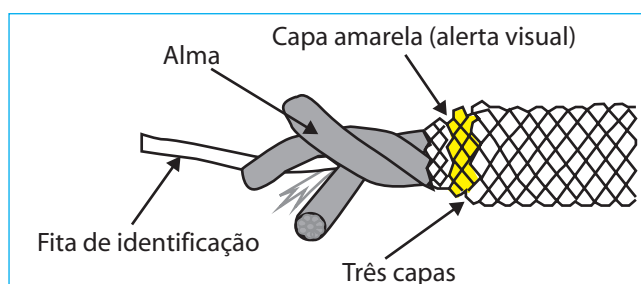


Figura 85. Cabo para içamento.

Durante o içamento dos módulos, colocação dos parafusos, hastes etc., apenas a equipe envolvida com o içamento deve estar próxima à base da torre. Toda a equipe deverá usar capacete permanentemente.

Uma verificação deverá ser feita no entorno da instalação para observar a presença de animais peçonhentos ou plantas que possam causar algum problema de saúde no pessoal envolvido na instalação.



Durante a instalação, a velocidade do vento deverá ser monitorada com anemômetro portátil. Caso ultrapasse 11 m/s (40 km/h), a instalação deverá ser interrompida, de acordo com a NR35.

A equipe deverá possuir caixa de primeiros socorros com medicamentos e equipamentos conforme o local da instalação necessitar. Um plano de atendimento médico, contemplando primeiros socorros, remoção etc., deve ser elaborado para atendimento de um possível acidentado.

Todo pessoal envolvido na instalação deve ser submetido a exames médicos periódicos e estar com os exames básicos em dia para que possam trabalhar em altura.

NORMAS E DOCUMENTAÇÃO

O cumprimento das normativas nacionais e internacionais é essencial para a segurança dos trabalhadores e para a durabilidade dos materiais e equipamentos instalados.

O fabricante da torre deve garantir que toda a estrutura atenda aos cálculos de esforços e às normas pertinentes.

Recomenda-se a elaboração dos seguintes documentos:

- projeto estrutural;
- projeto das fundações;
- projeto elétrico;
- documentação detalhando todos os instrumentos instalados, incluindo especificações, manuais e certificados de calibração;
- relatório de instalação da estação; e
- registro das manutenções preventivas e corretivas.

Considerando as atividades realizadas para instalação de uma torre anemométrica, os serviços realizados deverão seguir, pelo menos, as seguintes Normas:

- NBR 5419 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas;
- NBR 6118 – Concreto armado;
- NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações;
- NBR 6323 – Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente;
- NBR 7397 – Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente (determinação da massa do revestimento por unidade de área);
- NBR 7399 – Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente (verificação da espessura do revestimento por processo não destrutivo);
- NB14 – Projeto e execução de estruturas de aço em edifícios;
- DIN 2440 (NBR 5580L) – Tubos de aço;
- AWS D1. 1 – Structural Welding Code (estruturas soldadas de aço carbono e de baixa liga);
- NR35 – Trabalhos em altura;
- NR10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade;

- NR18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção;
- IEC 61400-12-1:2005 INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION: Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines;
- MEASNET – Evaluation of site specific wind conditions, Version 1, Nov. 2009;
- Comando da Aeronáutica – Portaria nº 256/GC5, de 13 de maio de 2011.



Toda estação anemométrica deve possuir ART de projeto e ART de execução devidamente registradas no CREA da região.

GLOSSÁRIO

ancoragem: estrutura para fixação de estais.

anemômetro: instrumento para medição da velocidade do vento.

Anotação de Responsabilidade Técnica (ART): documento pelo qual o profissional registra, junto ao órgão responsável, as atividades técnicas realizadas.

aterramento: sistema composto de eletrodos e cordoalhas enterrado no solo.

balaclava: gorro de tecido, em forma de elmo, que cobre a cabeça e pescoço.

climatologia de mesoescala: fenômenos atmosféricos de escala intermediária entre a sinótica e a microescala, ou seja, variando de um a centenas de quilômetros, espacialmente, e de algumas a várias unidades de horas, temporalmente; exemplos de fenômenos de mesoescala são as brisas marítimas e terrestres e as brisas de vale e de montanha.

climatologia de microescala: fenômenos atmosféricos de escala inferior a um quilômetro, espacialmente, e a uma hora, temporalmente; exemplos de fenômenos de microescala são as rajadas de vento, as turbulências e a poluição atmosférica.

climatologia em escala sinótica: fenômenos atmosféricos de escala de centenas de quilômetros, espacialmente, e de dias a meses, temporalmente; exemplos de fenômenos sinóticos são os ciclones, as depressões, os deslocamentos das massas de ar, as frentes e os anticiclones.

COMAR: Comando Aéreo Regional.

CREA: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia.

data logger: dispositivo eletrônico para registro digital de dados meteorológicos providos de múltiplos sensores.

datum: modelo matemático teórico da representação da superfície da Terra ao nível do mar utilizado pelos cartógrafos numa dada carta ou mapa.

decibéis: unidade logarítmica que indica a proporção de uma quantidade física, geralmente energia ou intensidade, em relação a um nível de referência.

declinação magnética: diferença em graus entre o norte magnético e o norte geográfico.

estação anemométrica: conjunto composto por torre (tipicamente do tipo trelicada e estaiada), *data logger*, sistema de transmissão de dados, anemômetros, *wind vanes* e outros instrumentos meteorológicos (termômetros, barômetros e higrômetros).

estaiada: estrutura que é sustentada por meio de estais.

estaiamento: conjunto de estais que sustentam uma estrutura.

estais: cabos de aço galvanizado, com resistência à tração, para sustentação de estruturas.

galvanizado: revestimento do aço com uma camada de metal nobre, geralmente zinco, para proteção contra corrosão.

georeferenciamento: ato de conhecer as coordenadas de um ponto considerando um sistema de referência.

Global Position System – GPS: sistema de navegação por satélite que fornece a um aparelho receptor sua posição (latitude, longitude, altura, velocidade, informação horária etc.).

Global System for Mobile Communications, ou Sistema Global para Comunicações Móveis – GSM: tecnologia utilizada em celulares e outros aparelhos móveis para comunicação.

International Electrotechnical Commission – IEC: organização internacional de padronização de tecnologias elétricas, eletrônicas e relacionadas.

inclinômetro: instrumento para medir ângulos de inclinação em relação a um plano.

modem: dispositivo de entrada e saída utilizado para transmissão de dados por meio de canais de telefonia, fixa ou móvel.

moitões: conjunto de roldanas e cabos montados para o levantamento de pesos com redução de força.

norte magnético: ponto variável na superfície da Terra onde as linhas do campo magnético que envolvem o planeta Terra se encontram, por convenção, no hemisfério Norte.

norte verdadeiro: direção tomada na superfície da Terra que aponta para o Polo Norte geográfico.

Normas Regulamentadoras – NR: determinações relativas à segurança e à medicina do trabalho aplicadas ao trabalhador.

omnidirecionais: que se propaga em todas as direções.

para-raios tipo Franklin: captor de descargas atmosféricas constituído de hastes pontiagudas montado em haste vertical.

pau de carga: equipamento utilizado para a elevação e a movimentação de cargas e materiais pesados.

potencial eólico: quantidade de energia que se espera captar a partir do recurso eólico em uma determinada área e período de tempo; leva em consideração as características do vento, o uso e cobertura da terra e as características técnicas das turbinas eólicas disponíveis no mercado.

pvc: policloreto de vinil.

rasga-calça: estrutura metálica com porta com tranca para evitar acesso indevido à estação anemométrica.

SIM – Subscriber Identity Module: cartão eletrônico utilizado para identificar, controlar e armazenar dados de telefones celulares.

sotavento: direção para onde sopra o vento.

talabarte: cinturão.

tensiômetro: instrumento que mede o grau de tensão de um corpo submetido à tração.

terrômetro: medidor de resistência de terra, que pode ser usado tanto para medição de resistência de aterramento como para medição das tensões espúrias geradas pelas correntes parasitas no solo.

torre anemométrica: estrutura metálica que suporta sensores e equipamentos necessários a uma campanha de medição de vento.

trado: ferramenta de forma helicoidal destinada à abertura de furos.

wind vane: indicador de direção de vento.

World Geodetic System 84 – WGS 84: norma usada em cartografia de origem geocêntrica utilizada pelo sistema GPS, definida em 1984.

Realização:



Ministério de
Minas e Energia



Por meio de:



Energia Eólica

Energia sustentável que contribui para a redução de emissões de gases de efeito estufa, abastecendo o Brasil com energia elétrica limpa, gerando empregos e renda para o país.

