

Paulo S. Thiago Fernandes

4ª edição
revisada e
ampliada

MONTAGENS INDUSTRIAIS

PLANEJAMENTO, EXECUÇÃO e CONTROLE



Novo capítulo

MONTAGEM DE TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Artliber
EDITORA

Paulo S. Thiago Fernandes

MONTAGENS INDUSTRIAIS

PLANEJAMENTO, EXECUÇÃO e CONTROLE

4ª Edição
Revisada e ampliada

Artliber
EDITORA

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. Recursos físicos para a montagem | 19 |
| 1.1 Mão-de-obra | 19 |
| 1.2 Equipamentos de montagem | 21 |
| 1.3 Materiais | 23 |
| 2. Transporte e levantamento de cargas | 25 |
| 2.1 Equipamentos de transporte | 25 |
| 2.2 Equipamentos de levantamento de cargas | 28 |
| 2.3 Pontes rolantes | 30 |
| 2.4 Guindastes | 32 |
| 2.5 Sistemas de roldanas | 37 |
| 2.6 Cabos de aço | 39 |
| 2.7 Preparação das cargas | 51 |
| 2.8 Mão-de-obra de transporte e elevação de cargas | 52 |
| 2.9 Planejamento do transporte e elevação de cargas | 56 |
| 2.10 Procedimentos de segurança | 56 |
| 3. Soldagem | 61 |
| 3.1 Generalidades | 61 |
| 3.2 Solda a arco com eletrodo revestido | 66 |
| 3.3 Solda TIG | 70 |
| 3.4 Soldas MIG e MAG | 72 |
| 3.5 Solda de arco submerso | 72 |
| 3.6 Solda oxiacetilênica | 73 |
| 3.7 Processos de corte | 73 |
| 3.8 Tratamentos térmicos | 76 |
| 3.9 Deformações de soldagem | 78 |

| | |
|---|------------|
| 3.10 Inspeção de soldas | 79 |
| 3.11 Simbologia da soldagem | 82 |
| 3.12 Qualificação dos procedimentos de soldagem | 84 |
| 3.13 Qualificação de soldadores | 85 |
| 3.14 Mão-de-obra de soldagem | 86 |
| | |
| 4. Pintura industrial | 87 |
| 4.1 Finalidades da pintura | 87 |
| 4.2 Componentes e classificação das tintas | 88 |
| 4.3 Preparação para a pintura | 89 |
| 4.4 Métodos de aplicação das tintas | 92 |
| 4.5 Considerações gerais sobre pintura | 94 |
| 4.6 Esquemas de pintura | 97 |
| 4.7 Estimativa da área de pintura | 98 |
| 4.8 Consumo de tintas | 99 |
| 4.9 Qualidade na pintura | 100 |
| 4.10 Mão-de-obra de pintura | 101 |
| 4.11 Normas técnicas de pintura | 101 |
| | |
| 5. Montagem mecânica | 103 |
| 5.1 Graus de montagem | 103 |
| 5.2 Tolerâncias de montagem | 104 |
| 5.3 Recebimento e armazenagem de equipamentos mecânicos | 105 |
| 5.4 Preparação para a montagem | 106 |
| 5.5 Montagem dos equipamentos | 111 |
| 5.6 Montagem de componentes e acessórios | 114 |
| 5.7 Comissionamento | 115 |
| 5.8 Testes | 117 |
| 5.9 Equipes de trabalho de mecânica | 119 |
| | |
| 6. Montagem de estruturas metálicas | 121 |
| 6.1 Generalidades | 121 |
| 6.2 Fabricação de campo | 122 |
| 6.3 Processos de interligação de peças | 123 |
| 6.4 Recebimento e armazenagem de estruturas metálicas | 125 |
| 6.5 Procedimentos gerais de montagem | 126 |
| 6.6 Inspeções de montagem | 133 |
| 6.7 Galpões metálicos | 134 |

| | |
|---|------------|
| 6.8 Montagem de galpões | 139 |
| 6.9 Montagem de ponte rolante | 152 |
| 6.10 Equipes de trabalho de estruturas metálicas | 154 |
| 7. Montagem de tubulações | 155 |
| 7.1 Generalidades - tubos e tubulações | 155 |
| 7.2 Processos de ligação de tubos | 157 |
| 7.3 Suportes de tubulação | 163 |
| 7.4 Acessórios de tubulação | 166 |
| 7.5 Recebimento e armazenagem de tubulações | 169 |
| 7.6 Pré-fabricação e pré-montagem | 170 |
| 7.7 Montagem | 174 |
| 7.8 Teste hidrostático | 177 |
| 7.9 Preparação para a operação | 178 |
| 7.10 Tubulações de lubrificação e de comando hidráulico | 181 |
| 7.11 Tubulações de oxigênio | 182 |
| 7.12 Tubulações enterradas | 183 |
| 7.13 Revestimento térmico de tubulações | 186 |
| 7.14 Revestimentos refratários | 187 |
| 7.15 Pintura de tubulações | 188 |
| 7.16 Equipes de trabalho de tubulação | 189 |
| 8. Montagem elétrica | 191 |
| 8.1 Generalidades | 191 |
| 8.2 Materiais elétricos | 193 |
| 8.3 Equipamentos elétricos | 199 |
| 8.4 Recebimento e armazenagem de materiais elétricos | 204 |
| 8.5 Procedimentos gerais de montagem | 206 |
| 8.6 Montagem de equipamentos elétricos | 214 |
| 8.7 Montagem de sistemas de aterramento | 220 |
| 8.8 Entrada em operação | 222 |
| 8.9 Linhas elétricas subterrâneas | 223 |
| 8.10 Redes aéreas | 225 |
| 8.11 Redes de iluminação | 226 |
| 8.12 Equipes de trabalho de elétrica | 227 |
| 8.13 Fibras óticas | 228 |

| | |
|--|-----|
| 9. Montagem de instrumentação | 233 |
| 9.1 Generalidades | 233 |
| 9.2 Elementos dos sistemas de controle | 234 |
| 9.3 Materiais e equipamentos de instrumentação | 237 |
| 9.4 Recebimento e armazenagem de instrumentação | 237 |
| 9.5 Montagem de instrumentação | 238 |
| 9.6 Equipes de trabalho de instrumentação | 244 |
| | |
| 10. Montagem de linhas de dutos | 245 |
| 10.1 Generalidades – normas técnicas | 245 |
| 10.2 Componentes das linhas de dutos | 246 |
| 10.3 Procedimentos especiais | 247 |
| 10.4 Atividades de construção e montagem | 249 |
| 10.5 Equipes de trabalho para montagem de dutos | 258 |
| | |
| 11. Montagem de tanques de armazenamento | 261 |
| 11.1 Vasos | 261 |
| 11.2 Normas técnicas | 261 |
| 11.3 Tipos de tanques de armazenamento | 262 |
| 11.4 Preparação para a montagem | 264 |
| 11.5 Operações de montagem | 265 |
| 11.6 Montagem do costado com emprego de macacos | 274 |
| 11.7 Testes | 277 |
| 11.8 Proteção superficial | 278 |
| | |
| 12. O canteiro de obra | 281 |
| 12.1 Generalidades - normas técnicas | 281 |
| 12.2 Planejamento das instalações | 281 |
| 12.3 Recebimento e armazenagem de materiais e equipamentos | 283 |
| | |
| 13. Segurança e medicina do trabalho | 287 |
| 13.1 Objetivos, legislação e normas de segurança | 287 |
| 13.2 Órgãos de segurança na obra – SESMT e CIPA | 288 |
| 13.3 Análise de riscos | 290 |
| 13.4 Reuniões e inspeções de segurança | 292 |
| 13.5 Insalubridade e periculosidade | 293 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 13.6 | Recrutamento, seleção e treinamento | 293 |
| 13.7 | Acidentes de trabalho | 294 |
| 13.8 | Equipamentos de proteção | 295 |
| 14. | Planejamento, programação e controle | 297 |
| 14.1 | Conceitos gerais | 297 |
| 14.2 | Finalidades | 298 |
| 14.3 | Seqüência do planejamento | 299 |
| 14.4 | Estrutura analítica do projeto (EAP) | 301 |
| 14.5 | Contratação de obras | 301 |
| 14.6 | Parâmetros básicos de planejamento (Hh e Mh) | 304 |
| 14.7 | Índices de montagem | 306 |
| 14.8 | Apropriação e medição | 306 |
| 14.9 | Planejamento básico (PLB) | 307 |
| 14.10 | Planejamento de obra (PLO) | 309 |
| 15. | Representação gráfica do planejamento | 311 |
| 15.1 | Cronogramas de barras | 311 |
| 15.2 | Histogramas | 314 |
| 15.3 | Curva S | 314 |
| 15.4 | Organograma | 316 |
| 15.5 | PERT-CPM | 317 |
| 15.6 | NEOPERT | 323 |
| 15.7 | Cronograma de barras a partir do PERT | 324 |
| 15.8 | Nivelamento de recursos | 325 |
| 15.9 | PERT - custo | 325 |
| 16. | Controle de custos | 327 |
| 16.1 | Classificação dos custos | 327 |
| 16.2 | Métodos de orçamento | 328 |
| 16.3 | Custos de mão-de-obra | 330 |
| 16.4 | Custos com materiais | 332 |
| 16.5 | Custos com equipamentos, ferramentas e EPIs | 332 |
| 16.6 | Serviços subempreitados | 333 |
| 16.7 | Outros custos | 334 |
| 16.8 | Custos de administração central | 334 |
| 16.9 | Lucro e preço de venda | 334 |

| | |
|---|------------|
| 16.10 Análise dos custos - valor agregado | 335 |
| 16.11 Plano de custos | 337 |
| 16.12 Implantação de um sistema de controle de custos | 338 |
| 17. Qualidade na montagem | 341 |
| 17.1 Objetivos e importância da qualidade | 341 |
| 17.2 Normas técnicas de qualidade | 342 |
| 17.3 Sistemas de garantia da qualidade | 342 |
| 17.4 Custo-benefício da qualidade | 343 |
| 17.5 Seqüência do controle de qualidade | 344 |
| ANEXOS | 345 |
| Anexo 1.1 - Equipamentos de aluguel | 346 |
| Anexo 1.2 - Ferramentas e instrumentos de medida | 351 |
| Anexo 1.3 - Caixas de ferramentas | 354 |
| Anexo 1.4 - Materiais de consumo | 359 |
| Anexo 7.1 - Convenções para fluxogramas de tubulação | 362 |
| Anexo 14.1 - EAP – Estrutura analítica do projeto | 363 |
| Anexo 14.2 - Índices de montagem | 366 |
| A - Estruturas metálicas | 368 |
| B - Equipamentos mecânicos | 370 |
| C - Tubulações | 372 |
| D - Elétrica e instrumentação | 375 |
| E - Isolamento térmico e revestimentos | 381 |
| F - Pintura | 383 |
| G - Soldagem | 385 |
| Anexo 14.3 - Critérios de medição | 387 |
| Anexo 16.1 - Plano de Custos | 388 |
| Anexo 17.1 - Normas técnicas | 389 |
| Referências | 391 |

6 - MONTAGEM DE ESTRUTURAS METÁLICAS

6.1 - Generalidades

A montagem, fase final de uma obra em estrutura metálica, é considerada como das mais importantes, não somente por representar uma parcela considerável dos custos (cerca de 30% do empreendimento), mas também por ser a que gera maiores expectativas, visto que, se não estiver perfeitamente projetada e montada, poderá causar sérios transtornos e até mesmo desabar.

As estruturas metálicas mais comuns na área industrial são as destinadas à construção de galpões, suportes de equipamentos, transportadores, *pipe-racks*, plataformas marítimas, torres de transmissão, viadutos, passarelas, etc. São normalmente fabricadas em indústrias especializadas, sendo entregues já pintadas e em condições de ser montadas.

Neste trabalho daremos maior ênfase às estruturas de edifícios industriais, por serem as mais comuns e porque seu estudo servirá de base para os demais tipos de estruturas.

O planejamento da montagem deverá ser cuidadoso e detalhado, para que se obtenha as melhores condições de eficiência e segurança, aliadas a um menor prazo e custo. Ele será desenvolvido a partir das especificações, desenhos, diagramas de montagem e LMs, constantes do projeto.

Caberá à montadora a escolha e definição dos equipamentos a utilizar, especialmente no que se refere às operações de içamento das estruturas. Para esta finalidade serão utilizados guindastes sobre pneus ou sobre esteiras, dotados de lança telescópica ou treliçada, gruas de torre fixa ou móvel, mastros ou paus de carga.

■ Classificação das peças de estruturas metálicas

As peças de estruturas metálicas podem ser classificadas, de acordo com a relação entre seu peso e comprimento, em três grupos:

- 1) Leves, até 8 kg/m (escadas, corrimãos, passarelas, tirantes, contra-ventamentos, tirantes e peças mais altas dos galpões metálicos, como lanternins e terças);
- 2) Médias, entre 8 e 40 kg/m (tesouras, plataformas, etc.);
- 3) Pesadas, acima de 40 kg/m (colunas e vigas de rolamento dos galpões metálicos).

Esta classificação tem importância prática, por permitir unificar certas propriedades e procedimentos de montagem comuns a cada grupo.

■ Normas técnicas aplicáveis

Na fabricação e montagem de estruturas metálicas deverão ser consideradas, especialmente, as seguintes normas técnicas:

NBR 8800 da ABNT – Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios

N-0293 F, da Petrobras – Fabricação e montagem de estruturas metálicas

AISC – American Institute of Steel Construction – Manual of Steel Construction

6.2 - Fabricação de campo

É comum ser necessário que se faça uma complementação de fabricação no campo (pré-fabricação), a cargo da montadora, em geral com as seguintes finalidades:

- Reparo de peças danificadas durante o transporte e armazenagem.
- Fabricação de algumas peças em falta, ou programadas para execução no campo.
- Ajuste e correção de peças, em razão de alterações de projeto ou de defeitos de fabricação.
- Construção de dispositivos auxiliares de montagem e de segurança no trabalho, como andaimes, escadas, etc.

Os desenhos de fabricação, quando não fornecidos, deverão ser preparados a partir do projeto e submetidos à aprovação.

Perfis, chapas e outros materiais destinados à fabricação, serão inspecionados, marcados e, a seguir, armazenados na obra.

A traçagem das peças será feita de acordo com os desenhos de fabricação, com a utilização de gabaritos, quando conveniente. Nas peças que devam apresentar maiores condições de resistência, será conveniente levar em consideração, na traçagem, o sentido de laminação da chapa e a direção principal das solicitações em serviço.

Peças cortadas em tesoura ou com maçarico oxiacetilênico, não deverão apresentar rebarbas ou empeno, sendo acabadas por esmerilhamento ou prensa.

À medida que forem ficando prontas, as peças fabricadas deverão ser inspecionadas, marcadas e armazenadas, assim permanecendo até que sejam encaminhadas para a montagem.

6.3 - Processos de interligação de peças

6.3.1 - Estruturas parafusadas

As peças das estruturas metálicas são ligadas entre si por meio de parafusos ou por solda elétrica. As ligações por meio de rebites estão, praticamente, em desuso.

As ligações por meio de parafusos apresentam as vantagens de conferir mais rapidez à montagem e de dispensar a utilização de uma fonte de energia. A desvantagem é que, em alguns casos, torna-se necessário executar uma operação de pré-montagem na fábrica, para verificação do perfeito posicionamento e casamento entre os furos.

As normas aplicáveis a este tipo de ligação são: ASTM A307, A325, A394 e ANSI-B-18.2.1.

Nas ligações parafusadas, seja nas operações de pré-fabricação como nas de montagem, deverão ser observadas, entre outras, as seguintes recomendações:

- Os parafusos serão instalados cuidadosamente nos furos correspondentes, para não danificar sua cabeça e rosca. Após a instalação, a cabeça do parafuso deverá ficar paralela à superfície de contato com a peça.

Quando necessário, deverão receber arruelas quadradas biseladas, para dar apoio total às cabeças dos parafusos e às porcas.

- Nas ligações de peças sujeitas a menores esforços, como terças, vigas de tapamento, etc. serão utilizados parafusos comuns, tipo ASTM A307, apertados com porcas.
- Nas ligações de maior responsabilidade, especialmente nos casos de juntas de atrito e de fricção e em peças sujeitas a grandes solicitações e cargas dinâmicas, devem ser utilizados parafusos de alta resistência, dos tipos ASTM A325 ou A390. Eles deverão, na montagem, sofrer um aperto tal, que ocasione a tensão de tração necessária à geração da força de atrito desejada, entre as peças. Estes parafusos, depois de terem recebido o aperto definitivo, não poderão mais ser removidos e reutilizados. Isto se aplica, especialmente, à pré-montagem de estruturas, razão pela qual não é conveniente usar parafusos definitivos nas pré-montagens.
- O comprimento da parte sem rosca do parafuso deverá ser sempre um pouco menor que a soma das espessuras das peças a ligar. Após o aperto final, as pontas dos parafusos deverão ter 2 a 5 filetes de rosca ultrapassando suas porcas.
- Furos de menor precisão, que não se destinem a parafusos, podem ser abertos a maçarico; caso contrário, com furadeira ou punção. Quando necessário, os furos serão alargados, para ficar dentro das tolerâncias de fabricação. Para chapas de até 10 mm, com cargas estáticas normais, não haverá necessidade de se fazer o alargamento, porém no caso de cargas dinâmicas ou de fadiga, isto é indispensável.
- Furos comuns a duas ou mais peças deverão ser executados e alargados em conjunto, para que coincidam perfeitamente, na montagem. Estas peças deverão ser marcadas, para que possam ser identificadas e instaladas em conjunto por ocasião da montagem.
- Furos em peças que posteriormente terão que ser curvadas ou soldadas, somente deverão ser marcados e executados depois de efetuadas estas operações.
- Estruturas sujeitas a vibrações terão seus parafusos dotados de arruelas de pressão para prevenir um possível afrouxamento.

6.3.2 - Ligações soldadas

Na fabricação e montagem de estruturas metálicas, as ligações por meio de solda são as mais comuns e seguras, sendo que na montagem é mais utilizada a solda elétrica manual, com eletrodo revestido.

A soldagem permite uma certa economia de material em relação às ligações parafusadas, por eliminar as superfícies de recobrimento e chapas de ligação. Além disso, as ligações são mais rígidas e de reparação mais simples, quando necessário.

Entre as desvantagens, no entanto, estão as contrações de soldagem, que podem ocasionar considerável redução de comprimento nas peças, com conseqüentes tensões de montagem.

As técnicas de soldagem já foram vistas no Capítulo 3. Deverão ser seguidas, entre outras, as seguintes recomendações:

- As soldagens serão executadas de acordo com as instruções e detalhes dos diagramas de montagem, constantes do projeto, com a utilização dos eletrodos nele especificados.
- A preparação dos chanfros será feita por esmerilhamento ou corte oxia-cetilênico, como for mais prático, de acordo com o grau de acabamento.
- Na região das soldas, as peças deverão estar limpas, isentas de ferrugem, incrustações, carepas, graxa, tinta e umidade.
- Peças empenadas serão desempenadas, antes da soldagem.
- As peças serão posicionadas para a soldagem utilizando-se dispositivos apropriados, como os grampos em U; o posicionamento será garantido por meio de pontos de solda.
- Durante a soldagem, as peças deverão ser protegidas contra vento e chuva.
- Sempre que possível, será adotada a posição plana de soldagem.

6.4 - Recebimento e armazenagem de estruturas metálicas

Todas as estruturas recebidas de fábrica, ou fabricadas no campo, deverão estar identificadas por sua numeração de projeto, marcada com punção ou tinta. Parafusos, porcas e arruelas costumam ser marcados com punção ou por processo químico.

A descarga e o manuseio deverão ser feitos com cuidado, para não ocasionar danos às peças. Deverá ser evitado o contato direto dos cabos de aço com as partes pintadas e cantos vivos. Se necessário, as peças serão protegidas com lona ou plástico, antes de ser estropadas.

É conveniente que o empilhamento seja feito pela própria montadora, à medida que as estruturas forem sendo entregues na obra, para que as peças sejam dispostas já na seqüência de montagem e possam ser identificadas e retiradas com facilidade, por ocasião da montagem.

Peças maiores, como chapas e perfis, poderão ser armazenadas em locais descobertos, planos, limpos e seguros, cercados e recobertos com brita, utilizando-se calços para evitar o contato direto com o solo. As chapas serão empilhadas umas sobre as outras, mantendo-se certa distância entre as bordas, para facilitar o manuseio. As partes expostas poderão ser protegidas com óleo. Colunas e vigas deverão ficar perfeitamente apoiadas, para evitar deformações permanentes, por flexão e torção. Peças galvanizadas ou pintadas deverão ser estocadas com o cuidado de se evitar danos para seu revestimento.

As telhas e chapas de cobertura costumam vir amarradas em fardos, com inscrições de identificação, podendo ser guardadas na área ou em depósitos, como for recomendável.

6.5 - Procedimentos gerais de montagem

A montagem deverá ser executada segundo uma seqüência lógica, compreendendo, basicamente, os seguintes procedimentos gerais:

- Conferência das bases e estruturas
- Assentamento de calços
- Pré-montagem
- Montagem
- Conferência, aperto final e grauteamento
- Pintura

6.5.1 - Inspeções preliminares

A montadora deverá inspecionar, antes da montagem, todas as estruturas metálicas a instalar, bem como as bases de concreto sobre as quais elas

serão assentadas, de modo a definir responsabilidades e prevenir problemas futuros de montagem. Essa inspeção será feita a partir dos desenhos, LMs e especificações. As estruturas serão conferidas quanto às suas:

- Quantidades
- Dimensões
- Posicionamento e diâmetro dos furos
- Deformações que possam ter ocorrido no transporte e armazenamento

As bases de concreto serão inspecionadas quanto às:

- Dimensões
- Localização
- Distâncias entre bases
- Elevação do topo
- Posicionamento, dimensões e projeção dos chumbadores acima do topo das bases

Observações:

- Prevendo a posterior colocação de calços metálicos sobre elas, para assentamento das estruturas, as bases costumam ser construídas cerca de 25 a 50 mm abaixo da cota final de projeto, de acordo com as dimensões e peso das estruturas.
- Será importante comparar a disposição dos chumbadores já instalados nas bases de concreto, com a dos furos correspondentes das placas de base das estruturas metálicas, para garantir sua introdução durante a montagem.
- Todas as medições efetuadas deverão ser registradas em um modelo apropriado, conhecido como “Folha de Medição de Bases” (Figura 6.1a, b), para comparação com as cotas e tolerâncias de projeto. Os principais elementos a verificar são os seguintes:
 - Comprimento **L** do vão
 - Desalinhamentos longitudinal **a** e transversal **b**, das bases
 - Elevação **E** de cada base

- Projeção **P** de cada chumbador
 - Distâncias longitudinais **e** e **f**, entre chumbadores
 - Distância transversal **c**, entre chumbadores
- Salvo indicação em projeto, as tolerâncias para as distâncias **c** e **f**, entre chumbadores de um mesmo grupo, serão de ± 3 mm, enquanto que para a distância **e**, entre grupos adjacentes de chumbadores, deverá ser de ± 6 mm.
- É importante assinalar que não poderão ser efetuadas quaisquer correções nos chumbadores, sem ciência e aprovação prévia do projeto.

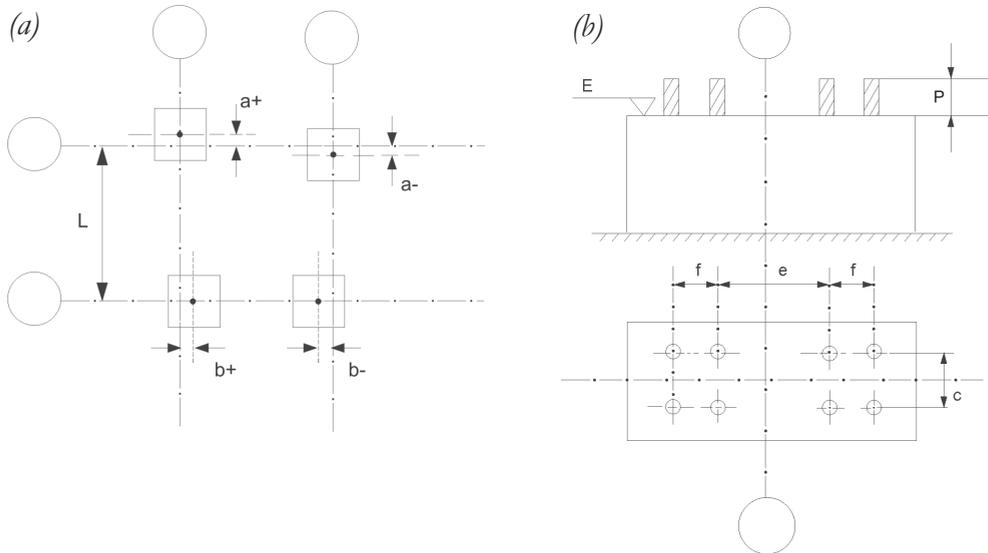


Figura 6.1 - Verificação das bases

6.5.2 - Preparação para a montagem

As estruturas e bases de concreto deverão estar limpas, por ocasião da montagem. Os chumbadores deverão estar com suas roscas amaciadas, preservadas com graxa e protegidas com pano ou plástico. As bases de concreto deverão ter sido apicoadas em sua superfície superior, como já foi exposto no Capítulo 5, para a montagem de equipamentos.

Estas providências poderão ficar a cargo da civil, com acompanhamento da montadora.

6.5.3 - Assentamento de calços

Os calços metálicos têm a finalidade de garantir o correto assentamento das estruturas, de modo que elas fiquem perfeitamente niveladas e na elevação de projeto. A forma de colocação dos calços irá depender de seu tipo e da precisão exigida para cada estrutura. Os procedimentos para seu assentamento serão, em princípio, semelhantes aos já vistos no Capítulo 5, para montagem de equipamentos mecânicos.

Os calços poderão ser fabricados no canteiro de obra, de chapa de aço-carbono SAE 1020, com acabamento pelo menos igual ao da superfície inferior das bases de assentamento das estruturas. Eles deverão ser posicionados tão próximo quanto possível dos chumbadores, para que não venham a ocorrer deformações nas bases das colunas, quando estes forem apertados.

A verificação do nivelamento (horizontalidade) da superfície dos calços será feita com emprego de nível de bolha de precisão. Sua elevação será controlada por meio de nível óptico, com tolerância de ± 2 mm em relação aos níveis de referência.

A argamassa para fixação dos calços poderá ser preparada e aplicada de acordo com o que já foi exposto no Capítulo 5, incluindo ou não um aditivo anti-retração. O tempo de cura, quando não for usado aditivo, deverá ser de pelo menos 48 horas antes de se colocar carga sobre os calços. Com o aditivo, poderá ser reduzido para cerca de 24 horas. A aderência da argamassa à base poderá ser verificada por um leve martelamento sobre os calços.

O consumo de calços e shims poderá ser estimado em função do peso da estrutura a ser montada, de acordo com os seguintes índices:

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Calços metálicos de aço carbono | 1,2 kg/t |
| Shims, de aço ou latão | 0,06 kg/t |

6.5.4 - Pré-montagem

Sempre que possível, convém que se faça uma pré-montagem dos conjuntos, para simplificar e agilizar a montagem. Esta pré-montagem, porém, ficará limitada à disponibilidade de áreas junto à obra e à capacidade dos equipamentos de transporte e levantamento das estruturas.

Durante a pré-montagem poderá ser comprovada a estabilidade das estruturas, tanto longitudinal como transversal, de acordo com os pontos

de pega utilizados para seu içamento. Estruturas instáveis deverão receber, de acordo com a necessidade, suportes, contraventamentos e reforços, para garantia de que não venham a ocorrer deformações, por ocasião de seu levantamento ou mesmo depois de parcialmente assentadas. Cada junta deverá receber parafusos provisórios, em quantidade correspondente a pelo menos $1/3$ do total previsto para a montagem, com um mínimo de dois parafusos, dando-se um aperto manual preliminar, suficiente apenas para garantir a segurança no içamento.

As peças devem permitir que sua montagem possa ser feita sem que haja necessidade de qualquer tipo de forçamento, daí a importância de sua correta fabricação. Furos defeituosos, que não possibilitam um ajuste suave dos parafusos, terão que ser preenchidos com solda elétrica, esmerilhados e reabertos com furadeira.

6.5.5 - Montagem

Posicionamento e ligações entre as peças

Da mesma forma que na pré-montagem, as peças deverão ser montadas sem esforço, de modo a evitar deformações permanentes. Peças defeituosas serão corrigidas. Os parafusos provisórios, colocados na pré-montagem, serão substituídos por definitivos. No posicionamento dos conjuntos, serão utilizadas espigas para a coincidência dos furos, evitando-se forçamentos que possam danificar as peças ou os furos.

Furos que tiverem que ser feitos durante a montagem poderão ser abertos a maçarico, com cerca de 6 mm a menos no diâmetro, para serem posteriormente alargados para a dimensão definitiva. Furos fora de posição ou defeituosos, terão que ser fechados com solda elétrica e reabertos.

Nenhum parafuso de alta resistência poderá ser reutilizado, se tiver que ser removido após ter recebido o aperto definitivo.

As superfícies das ligações parafusadas, bem como suas proximidades, deverão estar limpas, isentas de carepas, incrustações ou rebarbas, para impedir que possam, de alguma forma, prejudicar o perfeito assentamento das peças. Esta observação é ainda mais importante para as juntas de atrito, que deverão estar totalmente isentas de pintura, óleo e outros revestimentos.

Contraflecha

No caso de peças de maior comprimento, como vigas e treliças, poderá haver necessidade de ser aplicada uma contraflecha durante sua montagem. Tal procedimento deverá estar indicado nos diagramas de montagem.

Alinhamento e nivelamento

As estruturas deverão ser montadas de tal modo que fiquem perfeitamente posicionadas, niveladas e alinhadas. Para isso, serão utilizados calços de apoio e cunhas de nivelamento, sendo este serviço acompanhado pela topografia. Os calços deverão ficar convenientemente posicionados, dispostos nas proximidades dos chumbadores e totalmente contidos dentro da área de suporte. A tolerância da cota de elevação, de uma forma geral, será de cerca de 1 mm.

Serviços complementares da montagem

Durante a montagem haverá, freqüentemente, necessidade de se executar pequenos serviços de construção civil, como furos e quebras em concreto, chumbamento de peças em paredes, tetos e pisos, grauteamento, confecção de andaimes, passarelas e proteções de madeira, remoção de entulhos e sucatas, limpeza da área, etc. Escadas, suportes, andaimes e outros dispositivos de segurança ou auxiliares de montagem, serão fabricados no campo, de acordo com as necessidades, devendo atender às prescrições da NR 8, da Segurança do Trabalho. Deverão ser executados, pela montadora, os desenhos *as built* (como montado), para registro de alterações de projeto devidamente autorizadas e executadas, além de croquis para planejamento do levantamento de cargas pesadas ou perigosas, e relatórios de montagem, topografia e testes.

Pintura

Normalmente, as peças metálicas serão entregues já pintadas para a montagem. No entanto, é comum ser necessário retocar algumas peças, ou pintar aquelas que só poderão receber pintura depois de montadas, como é o caso das cabeças de parafusos, porcas, superfícies soldadas ou próximas a elas, etc. Em certos casos, poderá ser prevista uma demão de acabamento após a montagem. Nas peças pintadas ou retocadas após a montagem, deverá ser mantido o mesmo esquema de pintura especificado para a fabricação, com as mesmas tintas de fundo e de acabamento e mesmo número de demãos (em

geral duas de fundo e duas de acabamento). A última demão de acabamento só será aplicada depois de as estruturas terem sido totalmente montadas e da execução dos reparos necessários, com exceção das peças que puderem se tornar inacessíveis depois de montadas, as quais, neste caso, terão que ser totalmente pintadas, antes da montagem.

Peças a serem soldadas no campo não deverão receber pintura numa faixa de 50 mm de cada lado da junta. As superfícies das juntas de atrito também não poderão receber qualquer tipo de pintura.

Maiores detalhes sobre o assunto poderão ser vistos no Capítulo 4 (Pintura Industrial).

Garantia da estabilidade durante a montagem

É muito importante — e deverá ser dada atenção especial para isto - que peças estruturais importantes, como as colunas, à medida que forem sendo parcialmente montadas ou, principalmente, no caso de terem que aguardar durante algum tempo a continuação da montagem, sejam devidamente escoradas e reforçadas, para a proteção contra cargas de vento ou outras solicitações que possam vir a ocorrer. Isto será obtido com a instalação de parafusos, contraventamentos, tirantes, estais de cabos de aço com esticadores e suportes provisórios, que deverão ser mantidos até que possam ser removidos.

6.5.6 - Aperto final

Para que possa ser dado o aperto final dos parafusos de ligação, especialmente dos chumbadores, é necessário que o concreto das fundações esteja completamente curado e que as colunas tenham sido verificadas topograficamente, para garantia de seu alinhamento, prumo e nivelamento. Os parafusos de alta resistência deverão ser apertados para a tensão exigida, com tolerância de $\pm 5\%$, utilizando-se uma chave de torque aferida, com validade de 6 meses, de acordo com as especificações e torques recomendados pela NBR 8800. O aperto definitivo será dado com chave de impacto, no mesmo dia em que tiver sido dado o aperto manual, sendo convenientes os seguintes procedimentos e cuidados:

- Não utilizar extensões e outros recursos que possam ocasionar aperto excessivo.

- Dar o aperto atuando sobre a cabeça dos parafusos. Somente em casos especiais, em que o acesso à cabeça for difícil, o aperto poderá ser dado pela porca.
- Inicialmente, apertar os parafusos até 70% do torque recomendado, começando dos parafusos internos da junta para os externos e seguindo o método de torque cruzado, de um lado para outro. A seqüência de aperto será estabelecida a partir das peças de maior rigidez, sendo repetida quantas vezes forem necessárias, até ser atingida a tensão indicada para o torque.
- Após ter sido atingido o torque especificado, os parafusos serão marcados com tinta, para que fique assinalado que receberam o aperto final.
- No caso especial das juntas de atrito, as superfícies de contato deverão ser perfeitamente planas e ficar bem ajustadas uma à outra. Elas deverão ser limpas antes da montagem, de modo que fiquem isentas de sujeira, óleo, carepas, graxa, etc. Esta limpeza poderá ser feita por jato de areia ou manualmente, com lixa e escova de aço.

6.5.7 - Grauteamento

Após a colocação das placas de base das estruturas e dos calços de ajustagem, deverá restar um espaço intersticial, que será preenchido pela argamassa de graute, de modo a ocupar todas as cavidades, garantindo o nivelamento das superfícies das fundações e o perfeito apoio das estruturas sobre estas. O grauteamento só poderá ser feito depois da verificação e correção do prumo, alinhamento e nivelamento das estruturas, e do aperto final dos chumbadores, especialmente os das colunas.

A previsão de consumo de massa de grauteamento poderá ser avaliada em torno de 15 kg/t de estrutura a montar.

Outros detalhes já foram vistos no Capítulo 5.

6.6 - Inspeções de montagem

Durante e após a montagem, deverão ser executados testes de segurança, especialmente no que se refere ao aperto dos parafusos e à qualidade das soldas, sendo os resultados registrados em Relatório de Inspeção. Esses testes e verificações compreenderão, basicamente:

Aperto dos parafusos - o aperto dos parafusos será aferido pela verificação do torque aplicado, no mesmo dia em que for dado o aperto final, compreendendo os seguintes procedimentos:

- Medir com torquímetro o valor do torque necessário para apertar a porca, dando uma rotação um pouco maior que 60° .
- Marcar a porca e o parafuso, assinalando sua posição relativa, e afrouxar a porca, com uma rotação um pouco maior que 60° .
- Apertar novamente a porca, verificando se o torque especificado reconduz a porca e o parafuso à posição marcada anteriormente.
- Anotar o valor do torque aplicado para o aperto de cada parafuso, para que conste do relatório de inspeção.

As tolerâncias admissíveis para o torque serão de $\pm 5\%$, em relação ao especificado. Em cada ligação, serão verificados 10% do total dos parafusos, pelo menos um por ligação. Se um ou mais parafusos de uma ligação estiverem fora das tolerâncias, todos os demais daquela ligação terão que ser verificados.

Inspeção das soldas - a inspeção das soldas poderá ser não apenas visual, mas feita também por meio de radiografias (raios X ou gamagrafia), magnaflux, líquido penetrante e ultra-som, como for especificado. A inspeção visual será realizada antes, durante e após a soldagem, compreendendo os seguintes procedimentos:

- Antes da soldagem, observar detalhes como limpeza, afastamento entre as peças e ângulo de bisel. Verificar se os eletrodos são os especificados e se estão sendo mantidos em estufa.
- Durante a soldagem, verificar a amperagem, o comprimento do arco, a penetração e a remoção da escória entre os passes.
- Após a soldagem, observar defeitos como sobreposição, porosidades, trincas, deposição de escória, respingos e excesso de material de solda.

Maiores detalhes sobre o assunto poderão ser vistos no Capítulo 3 (Soldagem).

6.7 - Galpões metálicos

Depois de termos visto alguns aspectos gerais da montagem de estru-

turas metálicas, vamos particularizá-la para os galpões metálicos, tendo em vista não somente sua importância, mas também para servir como termo de comparação para a montagem de outros tipos de estruturas.

6.7.1 - Tipos e classificação dos galpões

Os galpões estão sempre presentes nas plantas industriais, nos setores de produção, depósitos e almoxarifados, sendo também utilizados para hangares de aviação, ginásios de esportes, etc.

Eles costumam ser constituídos de um ou mais pórticos, ou então são do tipo *shed*, como esquematizado na Figura 6.2.



Figura 6.2 - Tipos de galpões

Os pórticos podem ser projetados com cobertura em uma ou duas águas, com ou sem balanços laterais, podendo ainda ser do tipo em arco. Comumente, os galpões são dotados de pontes rolantes, que podem ser consideradas como parte integrante destes. Por esta razão, vamos incluir no presente capítulo a montagem deste tipo de equipamento.

De uma forma geral, as estruturas dos galpões industriais podem ser classificadas, de acordo com o valor da relação P/A (peso por unidade de área), como:

- Leves, $P/A \leq 40 \text{ kg/m}^2$
- Médias, $40 \text{ kg/m}^2 < P/A < 70 \text{ kg/m}^2$
- Pesadas, $P/A \geq 70 \text{ kg/m}^2$

Esta classificação, além de definir o porte dos edifícios e galpões metálicos, presta-se também para estimar os Hh necessários à montagem de suas estruturas.

6.7.2 - Peças componentes dos galpões

Os galpões industriais são compostos de peças metálicas diversas (Figura 6.3). Salvo exceções, aquelas situadas nas partes baixas, como as colunas e vigas de rolamento, são constituídas de perfis robustos, de maior peso por unidade de comprimento. Já as partes altas, como tesouras, terças, lanternins, contraventamentos e tirantes são, em geral, peças leves. As plataformas de operação ou de suporte de equipamentos costumam ser medianamente pesadas.

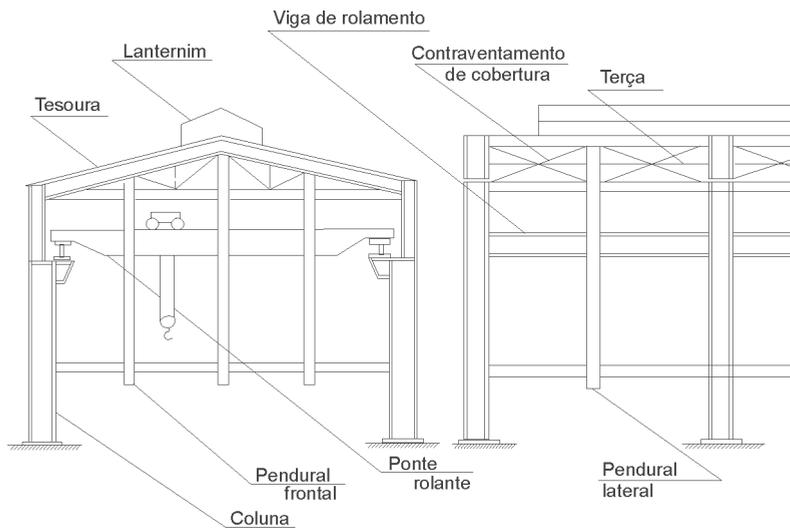


Figura 6.3 - Peças componentes dos galpões

Vejam os detalhes sobre as peças principais dos galpões metálicos:

Colunas - são peças estruturais de maior importância, destinadas a suportar não somente as vigas de rolamento e tesouras, mas também o peso total da estrutura do galpão e as cargas que sobre ela possam atuar. São assentadas sobre bases de concreto das fundações, através de placas de base situadas em sua extremidade inferior (pé). Seu corpo principal (fuste) é, normalmente, constituído de um perfil alongado, soldado ou laminado, de seção I ou H. Alternativamente, poderá ser do tipo treliçado. Em sua parte média, as colunas que se destinam a servir de apoio para vigas de rolamento podem ser, para esta finalidade, dotadas de um suporte soldado, ou construídas com seção variável. As bases das colunas podem ser projetadas segundo dois tipos: engastadas, ou rotuladas.

As bases rotuladas mais simples usam apenas dois chumbadores (Figura 6.4a); em certos casos, a largura da coluna poderá ser reduzida, em sua parte inferior (Figura 6.4b).

Nas bases engastadas mais comuns, as placas de base são soldadas às colunas, usando-se 4 chumbadores (Figura 6.4c). Eventualmente, as placas podem deixar de ser soldadas às colunas, ficando soltas. Neste caso, os chumbadores poderão ser soldados às placas, em substituição às porcas e arruelas.

Nas colunas treliçadas, podem ser usadas placas de base independentes, uma por pé da coluna.

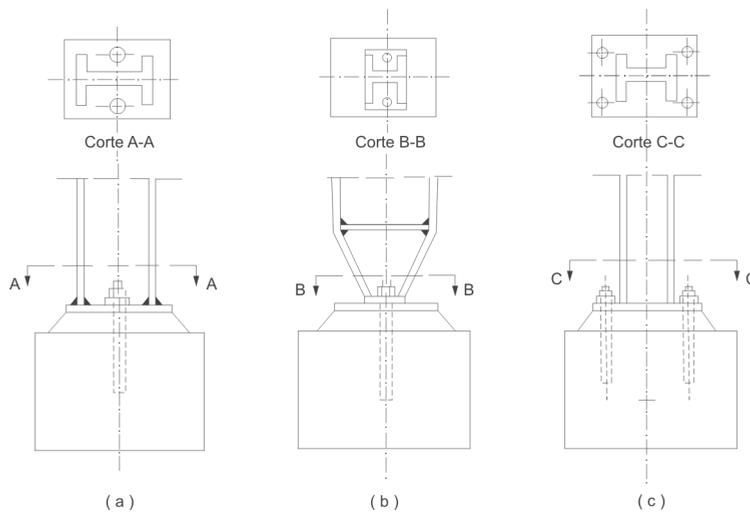


Figura 6.4 - Tipos de bases de colunas

Vigas de rolamento - destinadas à sustentação e movimentação das pontes rolantes, as vigas de rolamento são dotadas de trilhos situados na sua mesa superior, para esta finalidade. Normalmente, são fabricadas com perfil I ou viga caixão, podendo também ser treliçadas. Cada viga de rolamento será assentada e aparafusada, na montagem, às mesas de apoio das colunas, a ela destinadas. É prevista a contenção lateral das vigas de rolamento, a ser executada na montagem, de acordo com o projeto. Uma solução bastante comum, para esta finalidade, é a ligação da mesa superior da viga de rolamento à coluna por meio de uma chapa parafusada.

Em vigas de mais de 20m de vão, é prevista um contraflecha para compensar a deflexão, devido às cargas verticais atuantes sobre elas.

Trilhos da ponte rolante - durante a montagem, será feito o assentamento dos trilhos da PR sobre a mesa superior das vigas de rolamento, de um lado e outro do galpão. O tipo e o perfil dos trilhos devem ser indicados pelo fabricante da ponte. No caso de pequenas PRs, os trilhos poderão ter seção retangular, mas, em geral, é adotado o perfil ferroviário, com boleto, alma e mesa, dos tipos TR 37, 57, etc. Os trilhos devem ser fornecidos com o maior comprimento possível, em geral de 12 m, com a finalidade de se reduzir o número de emendas. No caso de pontes de menor capacidade, as emendas dos trilhos podem ser feitas por meio de talas de junção parafusadas, mas o normal é que eles sejam ligados por solda aluminotérmica.

Pára-choques - em cada uma das extremidades das vigas de rolamento serão instalados, por soldagem ou parafusos, os pára-choques das pontes rolantes, destinados a impedir a queda da ponte durante a operação.

As pontes mais modernas são equipadas com pára-choques dotados de amortecedores de choque, dos tipos de mola ou de cilindro, hidráulico ou pneumático.

Tesouras - As vigas de cobertura mais comumente adotadas são as tesouras, que podem ser dos tipos treliçado, atirantado e de alma cheia. Seu formato pode ser triangular, trapezoidal ou em arco.

Contraventamentos - são constituídos de barras ou perfilados, cuja finalidade é dar estabilidade à estrutura, durante e após a montagem. Podem ser horizontais ou verticais. O tipo mais utilizado de contraventamento é o X.

Lanternins - situados normalmente sobre a cobertura, destinam-se ao arejamento e iluminação natural do galpão. Podem ser longitudinais, transversais ou em *shed*.

Terças, pendurais e travessas - são destinadas a suportar as telhas de cobertura e de tapamento lateral. As terças, feitas de perfis U ou I, servem de apoio para as telhas, ao mesmo tempo em que contribuem para a estabilidade da estrutura.

Chapas de cobertura e de tapamento lateral - destinam-se a revestir os galpões, de modo a protegê-los contra intempéries. As chapas onduladas de aço galvanizado, que costumavam ser mais utilizadas, vêm sendo substituídas por telhas com outras configurações e materiais. Atualmente são comuns telhas de fibro-cimento, chapas de alumínio ou PVC translúcido, onduladas, trapezoidais ou em canaletas. Sua fixação é feita por meio de ganchos roscados,

dotados de porca e arruela. É comum, também, que o tapamento lateral seja feito, total ou parcialmente, de alvenaria.

Calhas e tubos de descida de águas pluviais - são feitos de chapa galvanizada dobrada. As calhas se apóiam sobre peças também dobradas, de forma semelhante, chamadas cambotas. Na montagem, deverá ser observado o caimento mínimo de 0,5%, nas calhas.

6.8 - Montagem de galpões

6.8.1 - Seqüência de montagem

A montagem de galpões metálicos compreende as seguintes operações, executadas na seqüência em que estão relacionadas:

- Conferência geral das bases de concreto e estruturas a montar
- Instalação de calços para as colunas
- Montagem das colunas, inclusive alinhamento, correção de prumo, e travamento
- Montagem das vigas de rolamento, inclusive seu alinhamento, nivelamento e fixação
- Montagem dos trilhos sobre as vigas de rolamento, alinhamento, nivelamento e fixação
- Pré-montagem das tesouras, inclusive verificação da estabilidade e necessidade de reforços
- Montagem e travamento das tesouras
- Montagem do tapamento, cobertura e lanternins
- Complementação da montagem de peças menores, calhas, escadas, corrimãos, etc.
- Instalação dos pára-choques
- Montagem das pontes rolantes

6.8.2 - Montagem das colunas

Pela importância que representam para a estabilidade da estrutura dos galpões, a montagem das colunas deverá merecer, por parte da montadora, as maiores atenções e cuidados. Ela será executada, normalmente, dentro da seguinte seqüência:

Inspeção prévia - considerando que já tenham sido conferidas todas as bases de concreto e chumbadores, deverá ser efetuada, antes de iniciar-se a montagem das colunas, uma cuidadosa inspeção em cada uma delas, por comparação com os desenhos e especificações de projeto, verificando-se:

- Possíveis desvios de eixo (empenos)
- Diferenças no comprimento do fuste
- Planura, dimensões e esquadro das placas de base e dos apoios das vigas de rolamento
- A furação, em particular o posicionamento e as distâncias entre centros dos furos das placas de base, para garantia de que sejam compatíveis com os chumbadores correspondentes.

É recomendável, nestas verificações, que seja feita a medição das diagonais do retângulo formado pelos furos dos chumbadores, para comparação com as dos chumbadores já instalados nas bases, como exposto no Capítulo 5.

Assentamento de calços - para a montagem das colunas será necessário, em primeiro lugar, instalar e nivelar seus calços de apoio sobre as bases de concreto, de acordo com o projeto. Os procedimentos e cuidados para assentamento dos calços das colunas serão semelhantes aos já vistos no capítulo 5, para montagem de equipamentos, e neste, para montagem das estruturas metálicas em geral. Os calços serão dispostos em 4 blocos, posicionados nos cantos das placas de base. Em placas maiores e mais pesadas, no entanto, poderão ser usados até 8 blocos de calços. Comumente, os calços são assentados sobre camas de argamassa de forma trapezoidal, construídas sobre as bases de concreto. A argamassa de assentamento (graute) terá, em geral, uma altura de até cerca de 50 mm, conforme projeto. Nas bases de maior dimensão, sujeitas a cargas elevadas, é recomendável usar uma argamassa de traço areia cimento de 1:2, acrescentando-se um aditivo expansivo, o que será feito de acordo com as instruções do fabricante do produto; nestes casos, as placas de base costumam ter um furo central destinado a facilitar o enchimento com graute e a saída de ar.

Após a concretagem, os chumbadores, à exceção de suas roscas, deverão ser pintados, como proteção contra corrosão.

Preparação para a montagem - tendo sido transportadas as colunas para junto de suas bases, serão iniciados os serviços de preparação para a montagem, como se segue:

- Elaborar um plano de levantamento das colunas, caso isto já não tenha sido feito, utilizando as tabelas do guindaste a empregar na operação. Deverão constar do plano, para cada coluna, a posição do guindaste, o comprimento de lança e o ângulo de lança.
- Instalar três estais no topo de cada coluna, destinados à sua sustentação provisória na vertical depois que forem içadas e colocadas sobre suas bases. Estes estais deverão ser dispostos simetricamente, a 120° , em torno do topo.
- Soldar um olhal no topo de cada coluna, para pega pelo guindaste, por ocasião do levantamento. Os olhais adequados são tabelados em função do peso das colunas.
- Remover as proteções dos chumbadores e verificar as porcas.
- Marcar as linhas de centro das bases das colunas e das bases de concreto, para facilitar o assentamento.
- Escolher os estropos a utilizar, em função do peso das colunas, em tabela apropriada.

Eles deverão estar em bom estado de conservação. Prever a utilização de proteções (quebra-cantos), para que os estropos não entrem em contato direto com cantos vivos.

- Instalar, no topo de cada coluna, dispositivos para prender dois fios de prumo de arame, tipo corda de piano, de 1,2 mm de diâmetro, dispostos a 90° um do outro, para que possa ser verificada a verticalidade da coluna. Se a verticalidade for controlada com teodolito, esta providência será desnecessária.
- Em colunas de mais de um estágio, instalar plataformas e escadas provisórias, conforme necessidade.
- Limpar os calços, removendo sujeira, graxa e óleo, antes da montagem das colunas.
- Remover a tinta porventura existente nas proximidades das regiões que deverão ser soldadas na montagem, bem como dos furos que receberão parafusos de alta resistência.

Levantamento das colunas – é uma operação delicada, pois em geral elas são peças de grande peso e delgadas, que devem ser levantadas a partir de

uma posição horizontal até a vertical, para serem, a seguir, assentadas sobre suas bases (Figura 6.5). Deverá haver o cuidado de não permitir que a coluna venha a ficar, em nenhum instante, apoiada sobre a sua saia. A pega para o levantamento será feita pelo topo da coluna (Figura 6.5a). Se, no entanto, houver perigo de flexão no início do levantamento, poderá ser feita uma pega mais abaixo, de preferência na mesa da viga de rolamento (Figura 6.5b). Os olhais e parafusos instalados para a pega deverão ser determinados em tabela ou calculados em função do peso da carga.

Durante a colocação na posição vertical, o eixo da coluna deverá ser mantido no plano vertical do eixo da lança. Antes de iniciar-se o levantamento, a lança do guindaste deverá ser posicionada com um grau a mais que o ângulo determinado para o levantamento, para compensar sua flexão.

Durante todo o levantamento, o cabo de carga do guindaste deverá ser mantido sempre na vertical. Para isso, se houver necessidade de girar a lança, este movimento deverá ser feito lenta e cuidadosamente. Em casos especiais, o içamento poderá ser realizado com dois guindastes, em conjunto (Figura 6.5c).

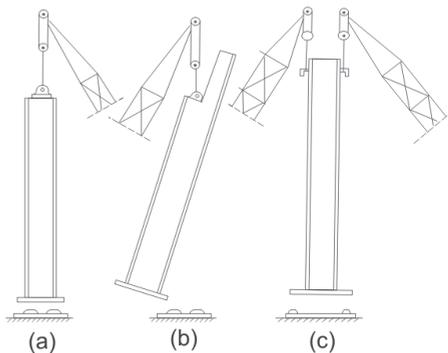


Figura 6.5 - Levantamento de colunas

Assentamento sobre a base - quando a coluna estiver na posição vertical, imóvel, a cerca de 20 cm acima dos calços, dois ou mais homens devem segurar sua placa de base, de modo a orientar a descida final sobre a base de concreto. Esta operação deverá ser feita cuidadosa e lentamente, para que a introdução dos chumbadores nos furos se faça sem danificar suas roscas. A orientação correta da coluna será obtida pela coincidência das linhas de centro marcadas na base da coluna e na base, durante a preparação. A coluna deverá ser assentada sobre seus calços, sem deixar que os estropos se afrouxem. Depois deste procedimento, serão colocadas as porcas dos chumbadores, com leve aperto.

Estaiamento - em seguida ao assentamento de cada coluna sobre sua base, serão fixados ao solo os três estais de sustentação, em pontos dispostos a 120° , no solo, em torno da coluna. Uma vez fixados e tensionados, o que deverá ser feito ao mesmo tempo para os três estais, o guindaste poderá ser liberado.

Os estais só poderão ser removidos depois do aperto final das porcas dos chumbadores e da montagem dos contraventamentos das colunas. Na remoção dos estais, cuidar para que eles sejam afrouxados gradativamente, um a um, para não forçar a coluna.

Correção do prumo - após o estaiamento, será verificado e corrigido o prumo da coluna. Esta verificação poderá ser feita com utilização dos dois fios de prumo presos ao topo na fase de preparação e de um prumo de 10 kg; ou então topograficamente, com dois teodolitos dispostos a 90° . A tolerância para a verticalidade será de 1 a 2 milésimos da altura da coluna, até um máximo de 25 mm, ou como for especificado em projeto.

A correção do prumo poderá ser feita por um dos processos seguintes:

- Por meio de um parafuso e furos previstos em projeto, para esta finalidade, nas placas de base das colunas (Figura 6.6a). Este método é eficiente e seguro.
- Aumentando a tensão no estai de sustentação contrário à inclinação da coluna. Este processo não é indicado para colunas muito altas, acima de 15 metros, pois o momento criado no topo da coluna pode fazê-la fletir.
- Por meio de cunhas inseridas entre a placa de base e o topo da base de concreto, batendo com uma marreta (Figura 6.6b). Este método é bastante comum, porém mais adequado para colunas de pouca altura, no máximo até 10 m, devido à dificuldade de introdução da cunha até o ponto conveniente.
- Com macaco hidráulico, atuando sobre uma cantoneira soldada à placa de base (Figura 6.6c).

Observações:

- Por ocasião da correção do prumo, qualquer que seja o processo de correção adotado, as porcas do lado que vai ser levantado deverão ser ligeiramente afrouxadas, no máximo 3 mm de cada vez. Obtido o prumo, serão introduzidos calços, no lado levantado, para manter a posição.

- A tolerância para a elevação da placa de base da coluna, após a montagem, será de ± 2 mm, ou como for especificado em projeto. Seu nivelamento deverá ser tal que a diferença máxima de altura entre dois pontos quaisquer dos eixos transversal e longitudinal da placa de base, seja de até 0,25 mm.

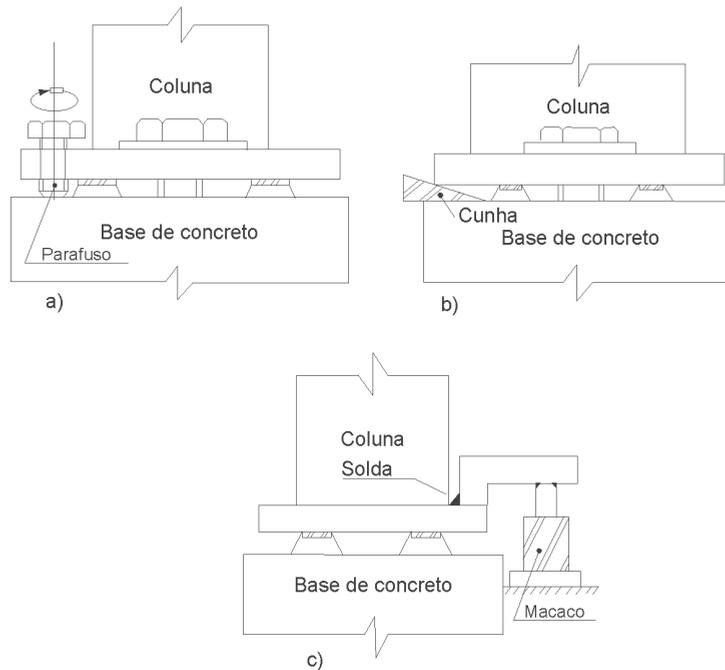


Figura 6.6 - Correção do prumo das colunas

Grauteamento - concluída a correção do prumo, será dado o aperto final dos chumbadores, seguindo-se a montagem das peças de amarração da coluna e dos contraventamentos. Finalmente, após uma conferência final do prumo, posicionamento, nivelamento e elevação da base da coluna, deverá ser feito o grauteamento com os procedimentos já vistos no Capítulo 5.

6.8.3 - Montagem das vigas de rolamento

A montagem das vigas de rolamento será feita de acordo com os seguintes procedimentos:

Inspeção prévia - antes da montagem, cada viga de rolamento será inspecionada, verificando-se suas dimensões, alinhamento, furação e esquadro entre as mesas e a alma, de acordo com os desenhos de fabricação e respectivas tolerâncias. As mesas de apoio da viga nas colunas também serão verificadas.

As superfícies de contato entre elas e a viga deverão estar limpas e isentas de pintura. Se necessário, será feita uma raspagem com escova de aço.

Preparação para a montagem - uma vez feita a inspeção, as vigas serão levadas para o local de montagem e descarregadas nas proximidades das colunas, dentro do raio de ação do guindaste. Serão, então, executadas as seguintes atividades de preparação para a montagem:

- Estabelecer um plano de levantamento, de acordo com o peso e dimensões da viga, com a altura das mesas de apoio nas colunas, com o guindaste disponível e, ainda, com as condições do terreno e do local de montagem. Se necessário, o levantamento poderá ser feito com a utilização de dois guindastes.
- Prender duas cordas, uma em cada extremidade da viga, para facilitar seu manuseio e assentamento sobre as mesas de apoio nas colunas (desnecessário, se o levantamento for feito com dois guindastes).
- Instalar escadas e andaimes para o trabalho dos montadores, no alto, como for necessário.

Içamento - será feito de acordo com o plano de levantamento estabelecido. A viga de rolamento deverá ser estropada a partir da posição apoiada sobre o solo, com a alma de pé. Caso esteja deitada, com a alma na horizontal, a preparação da lingada deverá ser feita de forma a evitar uma nova amarração, depois que ela tiver sido colocada com a alma na vertical. Os pontos de pega dos estropos deverão ficar equidistantes do centro de gravidade da viga, para que ela se mantenha equilibrada na horizontal, durante o levantamento. Deverão ser usados quebra-cantos para proteção dos estropos.

Assentamento - a descida de cada viga sobre as colunas em que será assentada deverá ser feita com o cuidado de que ela venha a se apoiar simultaneamente nas duas extremidades. Este cuidado será ainda mais importante se o levantamento for feito com a utilização de dois guindastes, para que não haja sobrecarga sobre um deles. Uma vez assentada a viga, serão colocados os parafusos e porcas, com aperto manual.

Controles e ajustes de montagem - concluída a instalação das vigas, serão feitos os controles de montagem e ajustes necessários, com apoio topográfico, de acordo com as especificações de projeto do fabricante da ponte rolante. Para estes ajustes, deverão ser feitas, antes de tudo, marcações a cada

15 m do comprimento da viga, ou como previsto em projeto. Os controles a executar serão os seguintes:

- Nivelamento: será medido com nível óptico, com uma tolerância de 1/1 000 do comprimento da viga, máximo de 5 mm. A correção será feita por meio de calços.
- Alinhamento: será verificado topograficamente, comparando-se o eixo de referência com medições efetuadas a cada 15 metros do comprimento da viga. A viga será, então, alinhada, de forma que o desalinhamento máximo seja de 6 mm para cada 15 metros.
- Comprimento do vão: o vão, ou seja, a distância entre os centros de duas vigas, uma de cada lado do galpão, será verificado com teodolito. As tolerâncias variarão, de acordo com o comprimento do vão, entre ± 3 mm e ± 6 mm.
- Desnível: o desnível entre duas vigas, de um lado e de outro do galpão, será medido topograficamente, não podendo ultrapassar 5 mm.
- Flecha: a flecha admissível para a flexão da viga biapoiada, medida topograficamente, deverá corresponder, no máximo, a 1/1 000 do comprimento da viga.
- Contraflecha: não deverá exceder em 6 mm para cada 15 m, em relação ao valor de projeto.

Fixação - as vigas de rolamento serão fixadas lateralmente às colunas por meio de chapas, cantoneiras, ou como for previsto em projeto. Na falta destes elementos, poderá ser feita uma fixação provisória, com cantoneiras ou chapas soldadas à coluna e à mesa superior ou à alma da viga (Figura 6.7). Depois da fixação da viga, o guindaste poderá ser liberado.

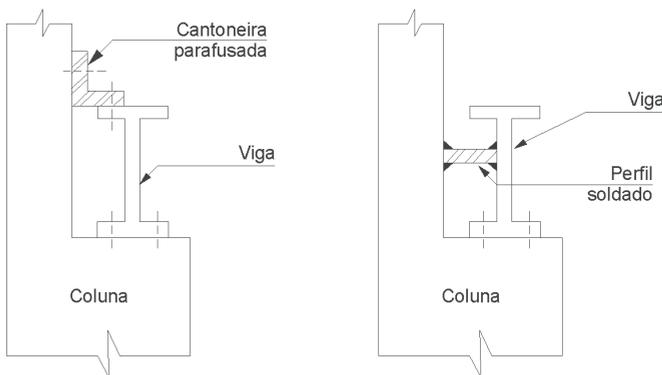


Figura 6.7 - Fixação das vigas às colunas

6.8.4 - Montagem dos trilhos

Os trilhos de ponte rolante (Figura 6.8a) costumam ser fixados às vigas de rolamento por meio de mordentes (*clamps*, presilhas ou grapas). Nas pontes de pequena capacidade, com trilhos de perfil retangular, esta fixação poderá ser feita por solda. Os trilhos poderão ser pré-montados no solo, em local próximo ao de montagem, apoiados sobre dormentes nivelados. Deverá ser observado que as junções entre trilhos não venham a coincidir com as junções das vigas de rolamento. Além disso, elas deverão ser desencontradas em relação às junções dos trilhos situados do lado oposto do vão. Na instalação dos trilhos sobre as vigas, as dimensões de projeto, bem como seu nivelamento e alinhamento, serão conferidos e ajustados, dentro das tolerâncias permitidas, utilizando-se as folgas das presilhas de fixação e instalando os calços que forem necessários.

Estando tudo em ordem, serão apertados todos os parafusos, com o aperto definitivo. Como referência, poderão ser consideradas as seguintes tolerâncias:

- Comprimento V do vão, ou seja, a distância entre as linhas de centro verticais de dois trilhos situados de um lado e outro do galpão (Figura 6.8b): ± 6 mm.
- Alinhamento: será verificado através de marcações feitas sobre o trilho, a cada 15 metros, da mesma forma e com as mesmas tolerâncias usadas para o alinhamento da viga de rolamento, admitindo-se um desalinhamento $d \leq 6$ mm, entre os eixos longitudinal real e teórico de cada trilho (Figura 6.8 c). Além disso, a soma dos desalinhamentos de mesmo sentido, de dois trilhos situados de um e de outro lado do galpão, medidos em pontos correspondentes, deverá ser ≤ 12 mm.
- Excentricidade entre os eixos verticais do trilho e da viga de rolamento (Figura 6.8d): $e \leq 0,75 t$, com um valor máximo de 2 mm, onde t corresponde à espessura da alma do trilho.
- Nivelamento: o desnível admissível é $h \leq 1/1\ 000$ do comprimento do trilho, com um valor máximo de 2 mm.

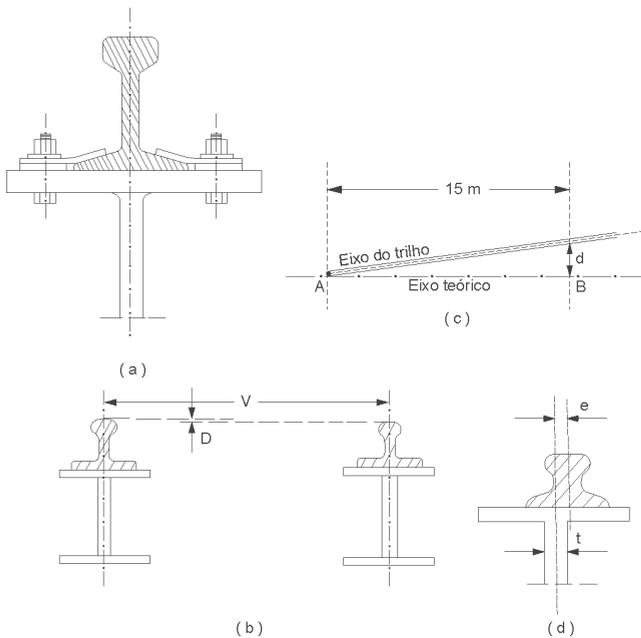


Figura 6.8 - Tolerâncias de montagem dos trilhos

6.8.5 - Montagem das tesouras

Inspeção preliminar - as tesouras são elementos estruturais muito importantes. Antes da montagem, deverão sofrer uma inspeção do estado geral das peças que as compõem, verificando-se suas dimensões e possíveis empenos e defeitos de fabricação, de acordo com as tolerâncias de projeto. As regiões próximas dos furos destinados a parafusos de alta resistência não deverão estar pintadas; caso contrário, a tinta deverá ser raspada com escova de aço.

Pré-montagem - as tesouras deverão ser pré-montadas em local tão próximo quanto possível da área de montagem, apoiadas sobre dormentes nivelados dispostos sobre o solo. Após o que, serão conferidas suas dimensões principais, ou seja, a abertura (base do triângulo da tesoura) e a altura. Em seguida, serão apertados todos os parafusos.

Preparação para o levantamento - na preparação para o içamento serão tomadas as seguintes providências:

- Preparar o plano de levantamento de cada tesoura, da mesma forma como foi feito para as colunas e vigas de rolamento.
- Prender duas cordas em cada extremidade da base do triângulo da tesoura, para que os montadores possam orientá-la por ocasião do seu assentamento.

- Prender quatro estais providos de esticadores no vértice superior da tesoura.
- Determinar os pontos de pega para os estropos que serão passados no gancho do cabo de levantamento do guindaste (Figura 6.9). A pega será feita com dois estropos de comprimentos iguais, determinados da seguinte forma:
 - a) Dividir a base BC, do triângulo da tesoura, em 3 partes iguais, obtendo-se os pontos D e E; em seguida, por estes pontos, levantar perpendiculares à base, determinando os pontos de pega F e G, sobre os lados do triângulo da tesoura.
 - b) O comprimento l de cada estropo deverá ser igual às distâncias BF e CG, de cada vértice da base até o ponto de pega mais próximo.
- Nos pontos de pega, soldar olhais, para fixação dos estropos.
- Instalar andaimes para os montadores, nas colunas em que serão apoiadas as tesouras.

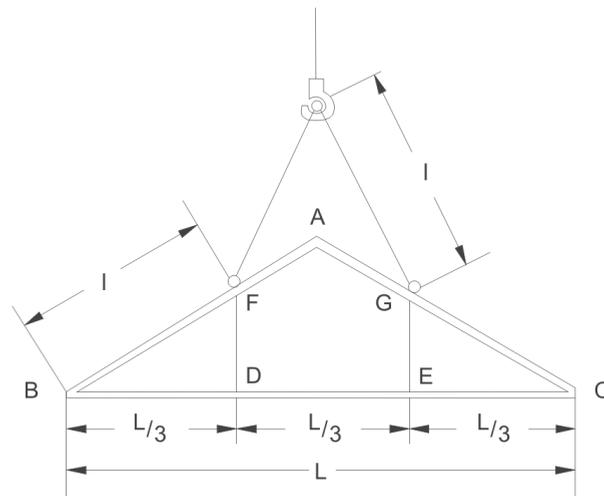


Figura 6.9 - Estropamento da tesoura

Levantamento - é conveniente, após a pré-montagem e antes do levantamento definitivo, verificar a estabilidade lateral das tesouras, içando-as a baixa altura pelo centro e extremidades. Nesse momento, se necessário, serão providenciados e instalados reforços, contraventamentos e estais provisórios, com acompanhamento do Projeto. Para o içamento, a tesoura, que

se encontrava inicialmente deitada sobre o solo, depois de convenientemente estropada será levantada para a posição vertical. Isto será feito cuidadosamente, com o operador do guindaste mantendo o cabo de levantamento sempre na vertical, o que conseguirá baixando ou levantando a lança, como for necessário. Depois de colocada a tesoura na vertical, o guindaste iniciará seu levantamento, que deverá ser feito de forma lenta, principalmente à medida que ela se aproximar das bases de assentamento sobre as colunas. Os montadores, por sua vez, já estarão esperando, instalados no alto da estrutura, para posicioná-la.

Assentamento - após ser posicionada sobre a estrutura, a tesoura será parafusada, nas suas extremidades, às respectivas colunas de apoio. Durante toda esta operação, ela será mantida suspensa pelo guindaste, sem afrouxar o cabo de levantamento. A seguir, a tesoura será estaiada com os 4 estais instalados na fase de preparação (Figura 6.10), que serão presos a colunas próximas e esticados. O estiramento dos estais deverá ser feito simultaneamente, por igual, mantendo-se a mesma tensão em cada um. Os estais serão dispostos de modo a fazer ângulos de, aproximadamente, 45° com o plano vertical da tesoura. Somente após o estiramento dos estais, o guindaste poderá ser liberado.

Este procedimento poderá ser repetido para a montagem das demais tesouras. Será mais simples e rápido, entretanto, mantendo a primeira tesoura estaiada, montar as demais, uma de cada vez, segundo a seguinte seqüência:

- Assentar a tesoura e parafusar suas extremidades.
- Instalar as vigas de cumeeira e fixá-las à tesoura, que será mantida suspensa, com o cabo principal do guindaste esticado e utilizando o jibe.
- Somente depois que ela estiver totalmente amarrada é que poderão ser soltos o cabo principal e do jibe. O guindaste poderá, então, ser liberado.
- Complementar a amarração das tesouras umas às outras, montando as terças, tirantes e contraventamentos. Deverá ser dada atenção especial para a montagem dos contraventamentos em X dos planos inclinados das tesouras, elementos estruturais mais importantes destas. Só então os estais da primeira tesoura poderão ser retirados, sendo afrouxados pouco a pouco, ao mesmo tempo, e por igual.

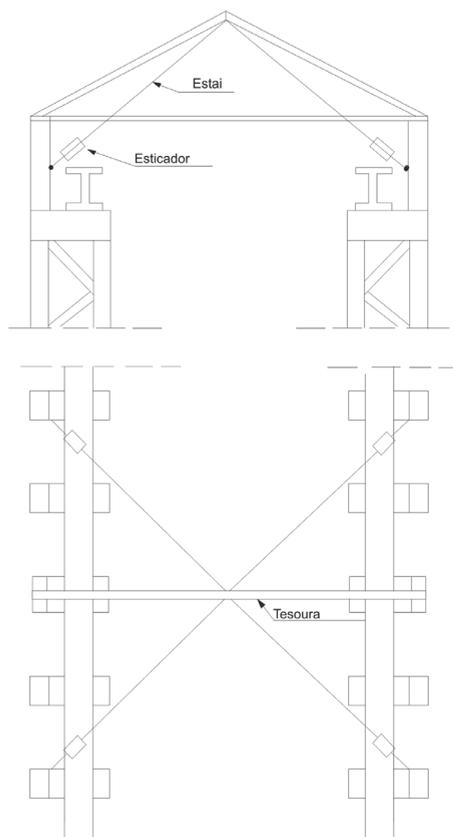


Figura 6.10 - Estaiamento de tesoura

6.8.6 - Complementação da montagem do galpão

Uma vez concluída a montagem das colunas, vigas de rolamento e tesouras, a montagem do galpão será complementada com a instalação das peças restantes, como se segue:

- Terças de cobertura e de tapamento lateral - serão aparafusadas às tesouras ou colunas; se forem leves, poderão ser suspensas e posicionadas com utilização de cordas e moitão, caso contrário isto terá que ser feito com utilização de um guindaste. Os montadores poderão situar-se sobre andaimes ou sobre as próprias terças, presos aos seus cintos de segurança.
- Lanternins - serão içados pelo guindaste e aparafusados ou soldados às estruturas, conforme projeto.
- Passarelas, escadas, dutos e calhas de escoamento de águas, etc. - são peças leves, não estruturais, e poderão ser montadas manualmente. Se for o caso, poderão ser pré-montadas no solo, constituindo conjuntos maiores e mais pesados, que serão içados com guindaste.

- Telhas e chapas de cobertura e tapamento lateral.
- Pára-choques de ponte rolante - depois de instalados os trilhos, poderá ser feita a montagem dos pára-choques da PR, por solda ou parafusos. Para pontes de pequena capacidade, eles poderão ser assentados sobre os trilhos, porém o normal é que sejam aparafusados às vigas de rolamento. Esta operação inclui a montagem dos dispositivos de amortecimento de choques (molas ou cilindros hidráulicos ou pneumáticos), como previsto em projeto, e de acordo com as instruções do fabricante da ponte. As faces dos batentes dos pára-choques deverão ser alinhadas após sua instalação, com uma tolerância $\leq 0,01 V$ (máximo de 20 mm), onde V é o vão, ou seja, a distância entre os eixos de dois pára-choques, situados de um lado e de outro, do galpão.

6.8.7 - Inspeções de montagem

Serão procedidas por inspetores credenciados, que irão verificar:

- Antes da montagem - as qualificações dos procedimentos de soldagem e dos soldadores.
- Durante a montagem - o torque de aperto e a identificação dos parafusos que já sofreram o aperto definitivo, bem como as soldas, que deverão ter sido executadas de acordo com os procedimentos de soldagem estabelecidos. As soldas da estrutura, dos olhais, etc. serão inspecionadas visualmente, a 100%. Onde for exigido, serão executados os ensaios não-destrutivos especificados, como os de líquido penetrante, partículas magnéticas, radiografias de soldas, ultra-som, etc. Os critérios de aceitação serão estabelecidos conforme norma AWS D1.1.
- Após a montagem - as principais dimensões e cotas de elevação do galpão, de acordo com o projeto; sua pintura, que será concluída após a montagem; o aperto em 10% dos parafusos, para cada diâmetro. Será realizado o teste de carga das monovias e, por fim, organizados toda a documentação e os relatórios de montagem.

6.9 - Montagem de ponte rolante

Como mencionado no Capítulo 2, as PRs fazem parte dos galpões metálicos (como partes integrantes destes) e, por isso, optamos por incluir sua

montagem no presente capítulo. A seqüência de montagem da PR será definida em função de seu porte, de instruções do fabricante, das condições da área de montagem e do grau de montagem com que ela for fornecida (pré-montada ou totalmente desmontada).

Dessa forma, consideraremos uma seqüência básica, como se segue:

- Pré-montagem das vigas de rolamento, sobre o piso de trabalho.
- Pré-montagem, alinhamento e nivelamento dos trilhos, sobre as vigas de rolamento.
- Montagem, posicionamento e alinhamento dos truques.
- Içamento, montagem, posicionamento e alinhamento das vigas principais da ponte, sobre os truques.
- Montagem das vigas laterais de fechamento e das vigas secundárias.
- Montagem dos sistemas de translação da ponte e do guincho.
- Montagem dos carros auxiliar e principal.
- Montagem dos motores, redutores e tambores.
- Montagem da cabine e acessórios.
- Montagem elétrica e de controle da PR.
- Testes, com e sem carga.

O içamento das diversas partes da PR será feito com a utilização de um guindaste, de capacidade e comprimento de lança compatíveis com a operação. Se necessário, as vigas deverão ser aliviadas do peso dos componentes sobre elas assentados, que, neste caso, terão que ser desmontados. Em certos casos, pode ser mais conveniente que o içamento e assentamento das vigas principais da PR sobre as vigas de rolamento do galpão, sejam feitos com utilização conjunta de dois guindastes, como mostrado na Figura 6.11.

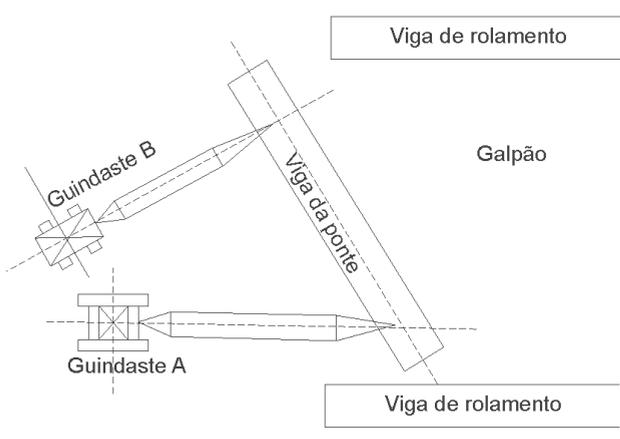


Figura 6.11 - Montagem de viga de PR

6.10 - Equipes de trabalho de estruturas metálicas

As equipes de trabalho são comandadas por um encarregado de montagem e compostas por montadores, soldadores, maçariqueiros e ajudantes, todos habilitados e com as condições físicas e experiência exigidas para os trabalhos em altura. Os montadores deverão ser capazes de ler e interpretar desenhos de estruturas e de executar as diversas operações de montagem, sob a supervisão e orientação do encarregado. Os ajudantes deverão colaborar no transporte e posicionamento de peças.

Os soldadores deverão ser pré-qualificados para os tipos de soldagem a executar. Abaixo, sugestão para composição das equipes de trabalho de montagem de estruturas soldadas e parafusadas, bem como de tapamento e cobertura de galpões.

| Categoria | Estruturas soldadas | Estruturas parafusadas e de tapamento e cobertura |
|-------------------------|----------------------------|--|
| Encarregado de montagem | 1 | 1 |
| Montador | 6 | 6 |
| Soldador | 2 | - |
| Maçariqueiro | 1 | - |
| Ajudante | 6 | 6 |
| Total | 16 | 13 |

Observação: em alguns projetos, onde a presença de uniões soldadas costuma ser elevada, poderá ser conveniente a adoção de equipes independentes de soldagem, constituídas de encarregados de solda, soldadores qualificados e ajudantes.

11 - MONTAGEM DE TANQUES DE ARMAZENAMENTO

11.1 - Vasos

Os reservatórios utilizados industrialmente para conter fluidos, líquidos ou gasosos, são conhecidos pelo nome genérico de vasos, sendo sua capacidade expressa em barris, galões, metros cúbicos, pés cúbicos ou litros.

De acordo com a pressão atuante sobre a superfície do fluido contido, os vasos podem ser classificados em:

- **atmosféricos** - para pressões até 2,5 psi ($p \leq 0,176 \text{ kgf/cm}^2$)
- **de baixa pressão** - entre 2,5 e 15 psi ($0,176 \text{ kgf/cm}^2 \leq p \leq 1,055 \text{ kgf/cm}^2$)
- **de pressão** - acima de 15 psi ($p > 1,055 \text{ kgf/cm}^2$)

Os vasos atmosféricos e de baixa pressão mais usados industrialmente são os tanques para armazenamento de petróleo e seus derivados, ácido sulfúrico, água bruta, água desmineralizada, álcool e outros líquidos. Entre os de pressão, são mais comuns as esferas, usadas para conter gases, as caldeiras a vapor e os permutadores.

Restringiremos nosso estudo aos tanques de armazenamento cilíndricos verticais atmosféricos, tendo em conta sua importância cada vez maior na indústria de petróleo.

11.2 - Normas técnicas

Entre as normas indicadas para a montagem de tanques, podemos citar:

- ABNT: NB-216 – Armazenamento de Petróleo e seus Derivados Líquidos
NB-7821 – Tanques Soldados para Armazenamento de Petróleo e Derivados

- API: API 650 - Welded Steel Tanks for Oil Storage
API 620 - Recommended Rules for Design and Construction of Large, Welded Low Pressure Storage Tanks.
- Petrobras: N-271 - Montagem de Tanques de Armazenamento
N-1201 – Revestimentos Anticorrosivos para Área Interna de Tanques de Armazenamento
N-1205 – Pintura Externa de Tanque
- NR: NR-13 – Caldeiras e Vasos de Pressão
NR-20 – Líquidos Combustíveis e Inflamáveis

11.3 - Tipos de tanques de armazenamento

Os tanques de armazenamento mais comuns têm forma cilíndrica vertical, sendo constituídos de chapas de aço; sua capacidade é bastante variável, podendo atingir um milhão de barris, e a pressão interna é aproximadamente igual à atmosférica.

Eles se compõem de três partes principais – costado, fundo e teto – e de acessórios diversos, como drenos, bocas de visita e de medição, bocais, respiros, válvulas quebra-vácuo, guias anti-rotacionais, portas de limpeza, escadas, grades de proteção, guarda-corpos, passadiços e plataformas, além de dispositivos de alívio de pressão e sistemas de aterramento, aquecimento e proteção contra incêndio.

Podem ser classificados segundo dois critérios:

- **De acordo com sua posição em relação ao terreno em:**
 - tanques de superfície, quando assentados diretamente sobre o solo.
 - elevados, instalados sobre estruturas.
 - semienterrados, situados apenas parcialmente abaixo do solo.
 - subterrâneos, situados totalmente abaixo do solo.
- **Quanto ao tipo de teto, em:**
 - **Tanques de teto fixo** (Figura 11.1). Normalmente têm teto de forma cônica, apoiado sobre uma cantoneira soldada ao topo do costado ou

sobre uma estrutura interna composta de colunas ou treliças assentada sobre o fundo. Além dos cônicos, são também comuns os tetos curvos ou com formato de gomos.

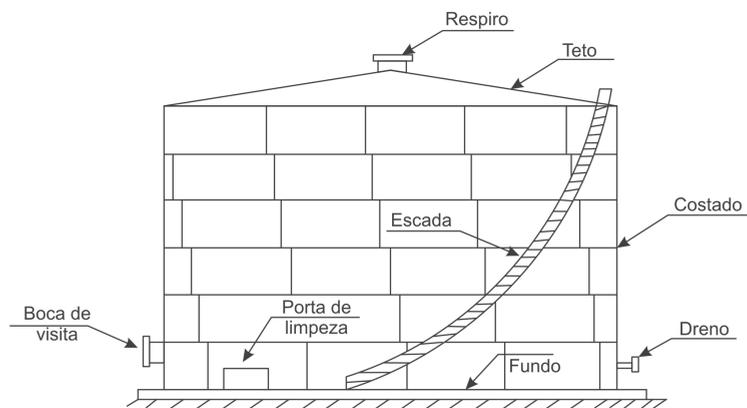


Figura 11.1 – Tanque de teto fixo

Tanques de teto flutuante. Os tetos flutuantes (Figura 11.2) apoiam-se diretamente sobre a superfície do líquido contido, o que permite reduzir as perdas por vapor. Por esta razão são indicados para derivados de petróleo mais voláteis, como gasolina.

Normalmente são planos, com um pequeno caimento para o centro, e dispõem de um selo de vedação que os mantém em contato permanente com o costado em seu movimento para cima e para baixo, acompanhando o nível do líquido armazenado.

Os tipos mais comuns são os de pontão e os de teto duplo.

Os **de pontão** são mantidos sobre a superfície do fluido por meio dos pontões, flutuadores metálicos dispostos ao longo do interior do costado, formando um anel.

Para evitar que eles venham a se apoiar diretamente sobre o fundo do tanque, quando vazio, são usadas pernas de sustentação, montadas em tubos guias soldados ao teto ou ao pontão.

O caimento do teto dirige as águas pluviais para um dreno com tubulação articulada, situado em seu centro.

Os **de teto duplo** são constituídos por duas camadas de chapas, um colchão de ar que protege termicamente o fluido contido, reduzindo sua evaporação.

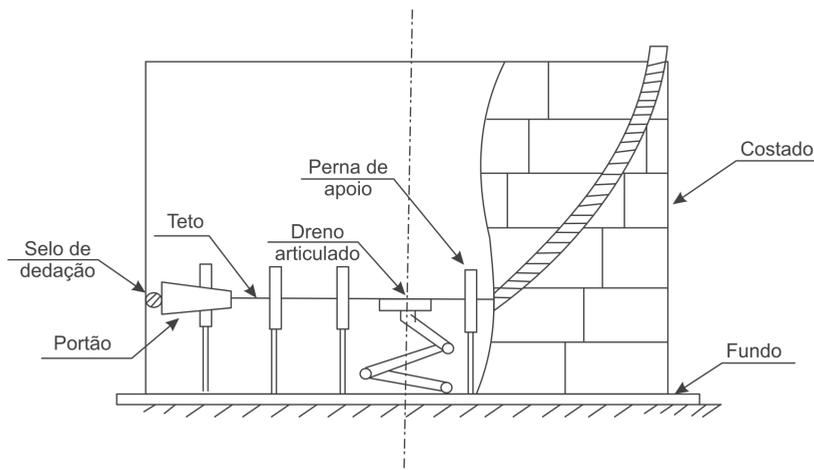


Figura 11.2 – Tanque de teto flutuante

11.4 - Preparação para a montagem

■ Preparo da área

Segundo a NB-216, as áreas destinadas à instalação de tanques deverão estar, ao iniciar-se a montagem, perfeitamente limpas, desmatadas e planas. Para tanques de armazenagem de líquidos combustíveis e inflamáveis, a NR-20 prescreve as distâncias mínimas a ser mantidas de vias públicas, propriedades vizinhas ou outros tanques.

■ Recebimento e armazenagem de materiais

As áreas de estocagem devem ser instaladas tão próximas quanto possível dos locais de montagem, com livre acesso para máquinas e pessoal.

Os materiais destinados à montagem, na maioria chapas, serão recebidos e armazenados de acordo com as normas adotadas e instruções dos fabricantes.

Todas as chapas devem ser conferidas, verificando-se suas dimensões, se estão em esquadro, medindo-se suas diagonais, e se as bordas estão aparadas e chanfradas como indicado. O raio de curvatura das chapas calandradas poderá ser conferido com um gabarito, por amostragem.

As chapas planas podem ser empilhadas de pé, com apoios laterais, ou deitadas sobre estrados de madeira; e as calandradas assentadas sobre leitos curvos, de mesmo raio de curvatura que elas.

A espuma e a borracha dos selos de vedação dos tetos flutuantes devem ser guardadas em locais secos e protegidos.

Outros materiais, como perfilados, fundidos, tubos, flanges, parafusos, porcas, etc., serão recebidos e armazenados de acordo com os procedimentos de rotina.

■ **Fabricação de campo e pré-montagem**

Estes serviços, executados no campo antes e durante a montagem, compreendem algumas atividades de preparação, como:

- Curvamento, corte e dobramento de chapas.
- Soldagem, pré-montagem, jateamento e pintura de chapas, perfis e acessórios.
- Marcação em todas as chapas, a tinta ou com punção, de seu número de projeto; e nas que serão montadas com as juntas sobrepostas, da linha de sobreposição indicada.

■ **Inspeção da base**

Os tanques industriais são assentados, normalmente, sobre um anel circular de concreto armado em volta de uma parte central de terra compactada, asfalto ou concreto; ou, em certos casos, sobre uma base integral de concreto ou terra compactada.

Antes do início da montagem, a base será conferida topograficamente pela montadora. Tomando como referência um marco padrão da área, serão verificadas suas dimensões, orientação, elevação, nivelamento e declividade, bem como a posição e dimensões da porta de limpeza, das bacias de drenagem e dos drenos. Se for o caso, verificar também o posicionamento, prumo e rosca dos chumbadores.

O nivelamento do anel da base é essencial para obtenção do prumo correto do costado com um número mínimo de calços, e será verificado de acordo com a norma N-1644¹ e especificações de projeto. Um desnível fora das tolerâncias irá causar problemas na montagem do costado, como formação de barrigas e desencontro nas juntas das chapas.

11.5 - Operações de montagem

A montagem de tanques é uma operação complexa, que exige precisão e qualidade, devendo ser executada por equipes experientes de caldeiraria, com soldadores qualificados. Todas as atividades que a compõem devem ser bem estudadas e controladas.

¹ N-1644 - Construção de fundações e de estruturas de concreto armado, da Petrobras, e com as especificações de projeto.

Especialmente importante é o **posicionamento** das chapas para a soldagem, que será feito observando as marcações feitas em cada chapa, na fase de preparação. Seu ajuste final, após o posicionamento, será feito manualmente, pelos montadores.

Os guindastes utilizados nesta operação devem ser dotados de balanços especiais que sustentem as chapas na vertical, facilitando seu manuseio e protegendo de danos.

Para a **soldagem** das chapas, os eletrodos mais indicados são E-6010 e E-6012. As soldas serão submetidas, além da inspeção visual, a testes de líquido penetrante, radiografia, ultrassom e capilaridade, como for indicado nas normas API 650, N-1593, da Petrobras e, especificações de projeto.

De uma forma geral, a montagem compreende as seguintes **operações**:

- Montagem do fundo
- Montagem do costado
- Montagem do teto
- Montagem de peças estruturais e acessórios
- Testes
- Proteção superficial

Após cada etapa da montagem será emitido um relatório, com as medições realizadas.

11.5.1 - Montagem do fundo

■ Preparação

O fundo do tanque tem forma circular plana, com um pequeno caimento do centro para a periferia, sendo composto de chapas inteiras, no seu miolo central, e de chapas recortadas, nas suas extremidades. Tanques de maior porte podem dispor, na borda do fundo, de um anel periférico formado por chapas anulares.

Antes de iniciar a montagem é necessário determinar topograficamente os eixos coordenados e o centro da base do tanque. Os eixos serão marcados a giz, e o centro assinalado por um pino cravado na base. A seguir será traçada a circunferência do fundo, com seu raio acrescido de cerca de 15 mm para compensar a contração das soldas.

■ Posicionamento das chapas

O posicionamento das chapas do fundo será feito de acordo com a disposição e sequência definidas no projeto. Todas elas, com exceção das anulares, serão soldadas com as juntas sobrepostas, observando-se o transpasse marcado na fase de preparação, correspondente a 5 vezes a espessura das chapas, com um valor mínimo de 25 mm, salvo entre chapas da parte central e anulares, quando será igual a 60 mm.

Para favorecer a drenagem, as chapas serão sempre posicionadas por debaixo da chapa vizinha já instalada. Conferido o posicionamento, elas serão ponteadas, para que não saiam de posição.

A Figura 11.3 dá uma visão simplificada da disposição das chapas do fundo, apenas para exposição do assunto. No caso, a sequência do posicionamento seria:

- A primeira chapa a ser posicionada é a central do miolo, de número 1. Depois de marcar seus eixos e o centro, ela será instalada de modo que eles coincidam com os da base, já marcados anteriormente.
- A seguir serão posicionadas as demais chapas do miolo, de números 2 e 3, no caso.
- Concluídas as chapas do miolo, serão posicionadas as da periferia: as recortadas, da mesma forma que as do miolo; e as anulares, se houver, dispostas de modo a serem soldadas às do centro com as juntas sobrepostas, e entre si por solda de topo.

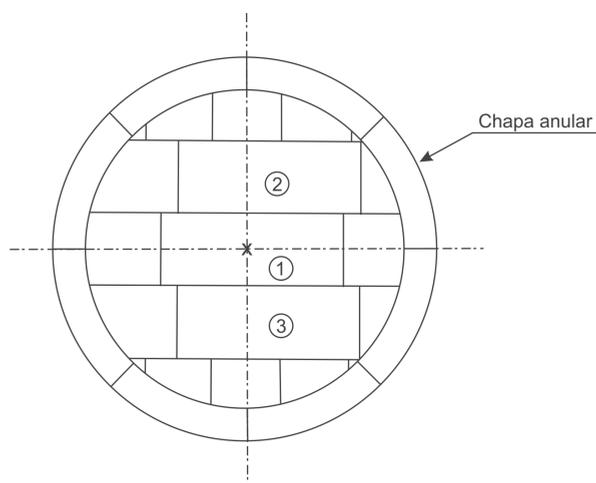


Figura 11.3 – Chapas do Fundo

■ Soldagem

A soldagem entre as chapas do fundo poderá ser iniciada antes mesmo da conclusão do posicionamento de todas as chapas do fundo. As soldas serão feitas em pelo menos dois passes, para aumentar sua resistência e ductilidade e evitar mordeduras, numa seqüência que permita reduzir os empenos.

As soldas de topo com chanfro em V, entre as chapas anulares, poderão ser feitas por apenas um dos lados, com emprego de mata-junta, ou então pelos dois lados, com o chanfro e abertura indicados.

A soldagem das chapas do fundo às do costado só poderá ser feita depois de concluída a soldagem de todas as juntas verticais do primeiro anel, de preferência após a montagem do segundo anel.

Se o tanque for de teto fixo, uma vez concluídas todas as soldas deverão ser marcadas, sobre o fundo, as posições das sapatas das colunas de sustentação do teto fixo.

11.5.2 - Montagem do costado - Método convencional

O costado é formado de anéis sobrepostos, a partir do fundo, que podem ser montados segundo dois processos: o convencional, que veremos em primeiro lugar, e outro mais recente, que utiliza macacos para o levantamento dos anéis.

Por questões de segurança, o costado deverá permanecer estaiado desde o início da montagem do primeiro anel até a conclusão da montagem do tanque, para prevenir a ação do vento. Os trabalhos em altura serão feitos com os montadores e soldadores situados sobre andaimes ou em gaiolas especiais.

■ Montagem do primeiro anel

Para determinar a posição de cada chapa do primeiro anel serão necessárias algumas **atividades preparatórias**, executadas na seqüência abaixo:

- Traçar sobre o fundo do tanque uma circunferência correspondente à da parte interna do costado, cujo centro já foi determinado na montagem do fundo, acrescentando seu raio de cerca de 10 mm para compensar a contração das soldas.
- Marcar sobre esta circunferência, a partir de qualquer de seus pontos, o comprimento de arco correspondente ao de uma chapa, o que

poderá ser feito com uma trena, transportando-se o comprimento da corda, tirado dos desenhos.

- Marcar, seguidamente, os pontos correspondentes às demais chapas, até completar a circunferência. A diferença que houver será rateada entre todas as chapas, remarcando-se os pontos anteriores.

- Soldar sobre o fundo do tanque as **porcas-guias** destinadas a manter o posicionamento e verticalidade das chapas, pela introdução de cunhas ou pinos cônicos (espinas). Estas porcas serão dispostas aos pares, ao longo da circunferência do costado (Figura 11.4).

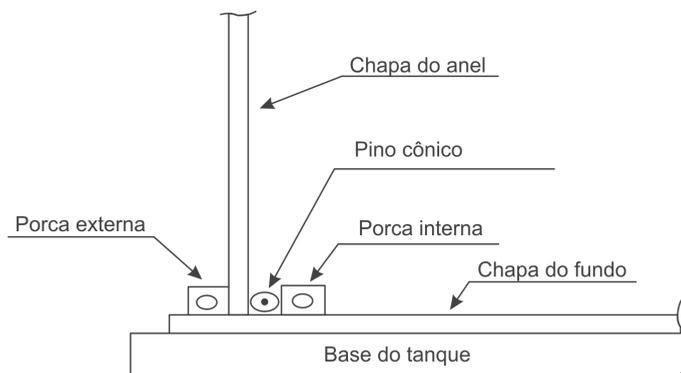


Figura 11.4 – Posicionamento das chapas do costado

Concluídas as atividades preparatórias poderá ser iniciada a montagem do primeiro anel, a partir da chapa que contém a porta de limpeza; esta chapa deverá ser escorada por uma cantoneira, para não sair de posição durante a montagem das demais chapas.

No processo convencional, as chapas dos anéis, todas elas calandradas, são içadas e posicionadas com guindastes. O alinhamento entre elas é feito pela parte interna do costado, para que qualquer desencontro fique situado na parte externa.

Para o ajuste do espaçamento entre as chapas, antes da soldagem, são usadas **chapas de atracação**, montadas sobre suportes soldados às chapas que vão ser soldadas e reguladas por meio de espinas.

E para impedir a contração transversal durante a soldagem, são usadas **travessas**, barras de aço soldadas à parte interna do costado, unindo a chapa que vai ser montada à sua vizinha, já montada.

Uma vez soldadas as travessas, as chapas de atracação poderão ser removidas.

Antes de iniciar a **soldagem das verticais** de cada chapa, devem ser removidos os pinos ou cunhas introduzidos entre as porcas-guias durante a preparação, para que ela permaneça livre durante a soldagem. Esta soldagem será feita de topo, pelos dois lados das juntas, sendo iniciada pelo lado externo do costado para evitar interferência com as travessas soldadas na parte interna; uma vez concluída, as travessas serão removidas, para que se inicie a soldagem do lado interno do costado.

Terminada a soldagem do primeiro anel, serão verificados topograficamente sua circularidade, nivelamento do topo e prumo. Se o desnível estiver fora da tolerância, terá de ser corrigido por meio de calços colocados entre a base e o fundo do tanque. Os espaços vazios resultantes serão preenchidos com massa de graute.

Somente então poderá ser feita a soldagem entre as chapas do primeiro anel e as do fundo, começando pela parte interna do costado.

Antes de iniciar a soldagem pelo lado externo, é conveniente submeter as soldas da parte interna a um ensaio de capilaridade com óleo diesel ou querosene, se necessário usando um revelador à base de alvaiade ou talco.

■ Montagem dos demais anéis

Os outros anéis serão montados repetindo-se os procedimentos da montagem do primeiro, com pequenas diferenças.

Antes de ser iniciado o posicionamento das chapas, será necessário marcar a largura de cada uma delas sobre o topo do primeiro anel, uma após outra, até completar a circunferência. A falta ou excesso de espaço que vier a ocorrer, no final, será rateada.

Durante o posicionamento deve ser observada a defasagem das juntas verticais em relação ao anel de baixo, definida no projeto.

A soldagem será semelhante à do primeiro anel.

Se o nivelamento do topo ficar fora da tolerância, será corrigido por meio de cunhas. As barrigas, curvaturas que costumam ocorrer no costado, serão medidas com gabarito ou régua, e também corrigidas.

A soldagem de todas as juntas verticais de um anel, bem como as

correções necessárias, serão feitas antes de ele ser soldado ao anel de baixo, para que, estando ele livre, possam ser reduzidos os efeitos de contração das soldas.

A soldagem da junta horizontal será feita em dois passes, o primeiro deles no processo à frente e à ré.

■ **Montagem da cantoneira do topo**

Concluída a montagem do último anel, será soldada ao seu topo uma cantoneira circular, para reforço do costado; nos tanques de teto fixo ela ficará voltada para dentro do costado, servindo de apoio para o teto, mas nos tanques de teto flutuante será voltada para o lado de fora.

O posicionamento das seções componentes da cantoneira será feito da mesma forma que o das chapas do costado, por meio de cunhas. Uma vez posicionadas, elas serão ponteadas e soldadas por solda de topo.

11.5.3 - Montagem do teto

Por razões de segurança, durante a montagem do teto a estrutura do costado deverá permanecer estaiada; além disso, deverá ser evitado qualquer tipo de sobrecarga, como o empilhamento de chapas sobre um mesmo local do teto.

■ **Montagem de tetos fixos**

A montagem dos tetos fixos é feita, normalmente, sobre o anel superior do costado, sendo as chapas içadas com guindaste. Em tanques de menor porte, entretanto, eles podem ser montado no solo e depois içado para cima do costado.

A sequência de atividades sugerida para a montagem é a seguinte:

- **Preparação.** Antes de iniciar a instalação do teto serão marcados topograficamente, sobre o costado, os pontos correspondentes aos eixos coordenados do tanque, que servirão de referência para o posicionamento do teto e das chapas. A seguir, serão marcadas sobre o fundo as posições das sapatas das colunas de sustentação do teto.

- **Montagem das colunas do teto.** Uma vez posicionadas as colunas de sustentação do teto e verificada sua verticalidade, serão soldadas ao fundo do tanque as sapatas de sustentação. A seguir, as colunas serão estaiadas, assim permanecendo até ser concluída a montagem das vigas do teto.

- **Montagem das vigas e chapas do teto.** Depois de montadas as vigas transversais e radiais serão instaladas as chapas do teto, posicionadas obedecendo a orientação em relação aos eixos coordenados e de acordo com a disposição e sequência constantes do projeto. Como serão soldadas com juntas sobrepostas, seu posicionamento é idêntico ao das chapas do fundo.

A sobreposição entre chapas da periferia e do miolo será acrescida de cerca de 20 mm, para compensar a contração das soldas.

Depois de posicionadas, as chapas serão ponteadas, para que não saiam do lugar.

- **Soldagem.** Será executada numa sequência que permita reduzir os empenos devidos à contração das soldas. Com esta finalidade, as chapas periféricas do teto só serão soldadas às do miolo depois de terem sido soldadas à cantoneira do topo.

Quando houver superposição de três chapas, o filete de solda entre elas será iniciado e concluído além do canto arredondado.

Nos tanques de teto fixo que trabalham à pressão atmosférica, a ligação entre o teto e o costado é feita por solda contínua de baixa resistência, para que, em caso de sobrepessão, ela seja a primeira a se romper.

Concluída a soldagem, será verificado se o prumo e a flecha das colunas, bem como as flechas horizontal e vertical das vigas do teto, estão dentro das tolerâncias especificadas; caso contrário, serão feitas as correções necessárias.

A inspeção das soldas será de acordo com a API 650 e disposições de projeto.

■ **Montagem de tetos flutuantes**

Os tetos flutuantes são montados no interior do tanque, sobre suportes instalados no fundo, a uma altura que permita a livre movimentação dos montadores e soldadores. Em certos casos eles podem ser levantados para uma posição um pouco acima da anterior, por meio de sopradores de ar.

As atividades de montagem serão feitas, em geral, na seguinte sequência:

- **Preparação.** Antes de iniciar a instalação do teto, serão marcados topograficamente, sobre a parte interna do costado, os pontos correspondentes aos eixos coordenados do tanque, referência para o posicionamento do teto e das chapas.

A seguir, será montada sobre o fundo do tanque uma estrutura provisória para sustentação do teto durante sua montagem, composta de andaimes tubulares e estrados de madeira, em sua parte superior, para apoio das chapas até que sejam instaladas.

- **Posicionamento e soldagem das chapas.** Serão feitos de forma semelhante à dos tetos fixos.

- **Remoção da estrutura provisória.** Finda a montagem, serão removidas as estruturas provisórias de sustentação do tanque, que passará a se apoiar nas pernas de sustentação.

- **Inspeções.** Além das inspeções normais de montagem, nos tanques de teto flutuante deverão ser também conferidas, antes e depois da soldagem:

- a distância entre os costados do teto e do tanque, em pelo menos 12 pontos igualmente espaçados, ao longo de sua circunferência.
- a locação e elevação dos acessórios do teto.
- as cotas do teto, na posição de manutenção.

11.5.4 Montagem dos acessórios dos tanques

Será feita durante e após a montagem das partes estruturais do tanque, com os seguintes cuidados:

- Posicionar topograficamente todas as conexões. Os flanges, de modo que seu eixo vertical divida ao meio o intervalo entre furos adjacentes.
- Fazer os furos de teste e respiros das chapas de reforço antes de elas serem montadas.
- Montar os sistemas de aquecimento antes do teste hidrostático.
- Executar e inspecionar as soldas dos acessórios de acordo com as normas API 650 e 620, que podem incluir radiografias e testes com partículas magnéticas e líquido penetrante.
- Os pontões, pernas de sustentação, camisas, bocais e demais acessórios dos tanques de teto flutuante serão instalados e soldados sobre o fundo durante a montagem da chaparia do teto, de acordo com o projeto.

11.6 - Montagem do costado com emprego de macacos

A montagem do costado utilizando macacos especiais, de acionamento eletromecânico ou hidráulico, é um processo alternativo que vem sendo bastante empregado. Sua particularidade principal é que os anéis são montados em ordem inversa à do método convencional, ou seja, dos de cima para os de baixo. Além de aumentar a produtividade, o macaqueamento permite montar os anéis a cerca de dois metros do chão, dispensando o uso de andaimes e de guindastes de maior porte.

Dependendo de as chapas serem fornecidas já calandradas ou não, alguns procedimentos da montagem com macacos poderão ser diferentes.

■ Montagem com chapas calandradas

A montagem com chapas calandradas compreende, basicamente, as seguintes atividades, executadas na sequência abaixo:

- Instalar sobre o fundo do tanque, ao longo da circunferência do costado marcada sobre ele, a estrutura metálica conhecida como magazine, cuja finalidade é receber as chapas de cada anel do costado e mantê-las em posição, para que sejam soldadas.
- Posicionar, em volta do magazine, os macacos que irão fazer o levantamento dos anéis. A quantidade de macacos a utilizar poderá ser avaliada dividindo-se o peso total do tanque pela capacidade de levantamento de cada macaco.
- Instalar, sobre o fundo do tanque, suportes de cerca de um metro de altura destinados ao assentamento das chapas de cada anel, à medida que eles forem sendo montados.
- Com emprego de um guindaste, distribuir sobre o magazine as chapas do anel superior do costado, assentando-as sobre os suportes instalados no fundo.
- Posicionar todas as chapas e soldar as juntas verticais entre elas, até completar o anel.
- Montar, sobre o anel superior, as vigas de sustentação do teto.
- Posicionar as chapas do teto, apoiando-as sobre as vigas de sustentação.
- Soldar as chapas do teto e os acessórios situados sobre ele.

- Soldar o teto ao anel superior.
- Utilizando os macacos, levantar o conjunto anel superior/teto até uma altura que permita instalar o anel seguinte por debaixo dele. A figura 11.5 dá uma ideia do posicionamento dos macacos para este levantamento, sendo que, o braço de levantamento de cada um deles irá atuar sobre suportes previamente soldados ao costado.
- Montar o segundo anel, de forma idêntica à do anel superior.
- Assentar o conjunto anel superior/teto sobre o segundo anel; depois de posicioná-lo, soldar um ao outro.
- Levantar o novo conjunto e prosseguir da mesma forma a montagem dos demais anéis, até ser montado o último, ou seja, o anel inferior do costado.
- Remover os suportes instalados no fundo e assentar o anel inferior ao fundo do tanque.
- Soldar o anel inferior ao fundo do tanque.
- Assentar e posicionar sobre o anel inferior o conjunto demais anéis/teto.
- Remover os macacos e soldar o anel inferior ao conjunto demais anéis/teto.

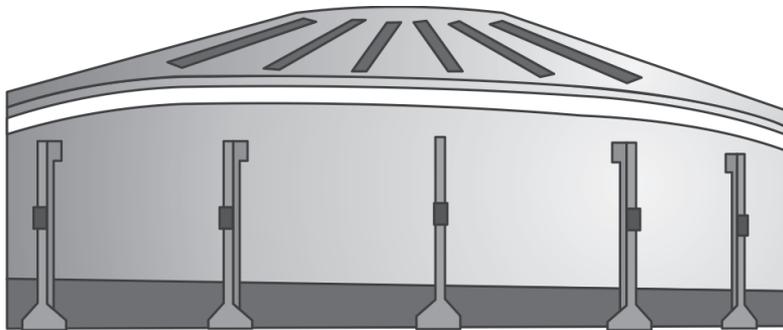


Figura 11.5 – Montagem com chapas calandradas

■ Montagem com chapas não calandradas

No caso de tanques de tanques de chapas menos espessas, a montagem por macaqueamento poderá ser feita com chapas planas, não calandradas, como se segue:

- Instalar o magazine ao lado do fundo do tanque, sobre uma reta que tangencie a circunferência do costado, a partir de um de seus pontos.
- No interior do magazine, ao longo de um comprimento equivalente ao da circunferência do costado, instalar um conjunto de roletes-guias, sobre os quais as chapas poderão ser assentadas e movimentadas.
- Posicionar, em torno do fundo, os macacos que irão levantar os anéis.
- Com emprego de um guindaste, distribuir ao longo do magazine as chapas que irão compor o anel superior do costado, assentando-as sobre os roletes-guias.
- Ajustar e soldar as juntas verticais das chapas do anel superior, de modo a obter um lençol plano de chapas.
- Tracionar este lençol com guincho e tífors, fazendo-o deslizar sobre os roletes-guias ao longo da circunferência do costado, para que ele se curve, formando o anel superior.
- Prosseguir a montagem desta forma, até o final, montando e soldando os demais anéis e o teto na mesma sequência vista para o caso de chapas calandradas.



Figura 11.6 – Montagem com chapas não calandradas

11.7 Testes

Concluída a montagem, os tanques serão submetidos a testes, entre os quais são usuais os seguintes:

■ Teste de flutuabilidade

Feito nos tanques de teto flutuante, quando previsto em projeto, normalmente por firmas especializadas, conforme normas API-650 e N-270 e procedimentos indicados.

■ Teste de estanqueidade

Em que a estanqueidade do tanque montado é verificada pela formação de bolhas, por insuflação de ar comprimido entre o fundo e a base do tanque (pressão positiva) ou com caixa de vácuo (pressão negativa), de acordo com as normas N-1593 e API 650.

Nos tanques de teto flutuante, jogar água sobre o anel do contraventamento, e onde houver empoçamento abrir furos de até 12 mm de diâmetro, para possibilitar a drenagem. Os drenos articulados serão testados conforme API 650.

■ Teste hidrostático

Todos os tanques de armazenagem devem ser submetidos ao teste hidrostático, feito de acordo com as normas API 650 e 620, N-271 e disposições do projeto, com os seguintes procedimentos e verificações:

Antes do teste hidrostático:

- Providenciar abastecimento de água doce, à qual poderá ser adicionado um corante, para facilitar a identificação de vazamentos. Se apenas se dispuser de água salgada, poderá ser usado um inibidor de corrosão.
- Fixar pinos à base do tanque, pelo menos um a cada 9 m ao longo de sua circunferência, para controle de recalques.
- Instalar juntas provisórias nas portas de limpeza e bocas de visita.
- Verificar as condições de segurança do local e fechar os diques da bacia do tanque.
- Refazer os espaços grauteados danificados durante a montagem, deixando uma saída para drenagem de água sob o fundo, para o caso de vazamento.

Durante o teste:

Mantendo fechados os diques da bacia do tanque, e abertas as válvulas dos drenos articulados, verificar:

- Vazamentos no fundo, costado e teto.
- Deformações no costado, e recalques na base do tanque.
- Nos tanques de teto flutuante, o deslocamento do teto, o espaçamento entre o costado e o teto e a estanqueidade dos drenos articulados.

Após o teste:

- Remover as juntas provisórias instaladas para o teste.
- Refazer o graute, nos locais que apresentarem danos.
- Fechar as aberturas deixadas abertas para escoamento de água.
- Vedar, com asfalto ou massa de vedação, as frestas entre a base de concreto e a parte externa do fundo do tanque.
- Nos tanques de teto flutuante, reajustar, para compensar algum recalque que venha a ocorrer, os comprimentos das pernas de sustentação e do quebra - vácuo, calçando as colunas ou introduzindo suportes adicionais de apoio ao fundo do tanque.
- Soldar ao fundo do tanque, de forma contínua, as chapas de reforço adicionais das sapatas das colunas; antes e depois de montá-las, testar novamente, com caixa de vácuo, a região do fundo junto às sapatas.

11.8 - Proteção superficial

A pintura dos tanques será iniciada após o teste hidrostático, de acordo com as normas indicadas, entre elas a da ABNT NBR-14847 e da Petrobras N-13, 1201, 1205 e 2913, compreendendo basicamente:

- Inspeção visual das superfícies a serem pintadas, procurando detectar vestígios de óleo, graxa, corrosão, carepa e outras impurezas e imperfeições.
- Limpar estas superfícies com solvente, detergente, água, vapor, etc., como for necessário.
- Tratamento superficial, por jato abrasivo ou hidrojateamento.

- Aplicação das demãos de pintura de fundo e de acabamento, como indicado.
- Controle da continuidade da pintura, conforme norma N-2137.

Para a pintura interna dos tetos fixos, sua estrutura de sustentação deverá ser pintada antes da colocação das chapas do teto. A área central de cada chapa será pintada antes de sua instalação, e a das bordas após a soldagem.

Nos tanques de teto flutuante, convém retirar o selo de vedação antes da pintura, para protegê-lo.

Após a pintura, as portas de limpeza e bocas de visita deverão ser fechadas, já com suas juntas definitivas.

Os tanques subterrâneos deverão ser protegidos externamente contra corrosão, com pelo menos duas demãos de zarcão e uma de asfalto.

O isolamento térmico será feito de acordo com as normas N-250 ou N-894, conforme o caso, com o cuidado de soldar as ancoragens do isolamento antes do teste hidrostático.

Se indicado, o tanque receberá proteção catódica, de acordo com a API RP 651.