TRANSPORTE E MONTAGEM

Série “Manual de Construção em Aço”

- Galpões para usos gerais
- Ligações em estruturas metálicas
- Edifícios de pequeno porte estruturados em aço
- Alvenarias
- Painéis de vedação
- Resistência ao fogo das estruturas de aço
- Tratamento de superfície e pintura
- Transporte e montagem

MAURO OTTOBONI PINHO

TRANSPORTE E MONTAGEM

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA
CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO

RIO DE JANEIRO
2005

© 2005 INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA/CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida por quaisquer meio, sem a prévia autorização desta Entidade.

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Informações do IBS/CBCA

P654t Pinho, Mauro Ottoboni
Transporte e montagem / Mauro Ottoboni Pinho. - Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2005.

144p.; 29 cm. -- (Série Manual de Construção em Aço)

Bibliografia
ISBN 85-89819-08-6

1. Montagem 2. Transporte de estruturas 3. Construção em aço I. Títulos (série)

CDU 624.014.2:656.025.4(035)

Instituto Brasileiro de Siderurgia / Centro Brasileiro da Construção em Aço
Av. Rio Branco, 181 / 28º Andar
20040-007 - Rio de Janeiro - RJ
e-mail: cbca@ibs.org.br
site: www.cbca-ibs.org.br

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos estudantes de engenharia e arquitetura do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Ao CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço, pelo convite.

Ao Engº. Ildony Helio Bellei pela contribuição e estímulo.

À minha esposa e filhos, pelo apoio e paciência.

Sumário

Capítulo 1

1	Introdução	15
1.1	As estruturas de aço	16
1.2	Escopo básico	16
1.2.1	Projeto de arquitetura	16
1.2.2	Projeto estrutural	16
1.2.3	Fabricação	17
1.2.4	Tratamento anticorrosivo	18
1.2.5	Transporte	18
1.2.6	Montagem	18
1.3	Tipos de estruturas	19
1.4	Concepção de projeto visando a melhoria de produtividade	21
1.5	Comentários finais	22

Capítulo 2

Transporte de estruturas		25
2.1	Introdução	26
2.2	Planejamento de transporte	26
2.3	Transporte rodoviário	27
2.3.1	Tipos de veículos	28
2.3.2	Pesos e dimensões máximas	29
2.3.3	Cargas indivisíveis	30
2.4	Transporte ferroviário	32
2.4.1	Plataforma de piso metálico	32
2.4.2	Gôndola com bordas tombantes	32
2.5	Transporte marítimo	33
2.6	Transporte fluvial	34
2.7	Transporte aéreo	35

Capítulo 3

Equipamentos de montagem		37
3.1	Introdução	38
3.2	Equipamentos de içamento vertical	38
3.3	Equipamentos de transporte horizontal	44
3.4	Equipamentos auxiliares	44

Capítulo 4

Técnicas de içamento		47
4.1	Introdução	48
4.2	Cálculo da carga	48
4.3	Cálculo do centro de gravidade	48
4.4	Acessórios de içamento	49
4.5	Composição de forças	52
4.6	Roldanas e redução de cargas	54
4.7	Considerações sobre içamento de peças	55

Capítulo 5
Ligações soldadas e parafusadas 59
5.1 Generalidades 60
5.2 Ligações Soldadas 61
5.2.1 Introdução 61
5.2.2 Processos de soldagem 62
5.2.3 Máquinas de solda 65
5.2.4 Características das ligações soldadas 67
5.2.5 Controle e garantia da qualidade 68
5.2.6 Ensaios não destrutivos 69
5.3 Ligações parafusadas 72
5.3.1 Generalidades 72
5.3.2 Tipos de parafusos 73
5.3.3 Modalidades de ligações 73
5.3.4 Controle de torque 74
5.3.5 Métodos de protensão dos parafusos de alta resistência 76
5.4 Corte à maçarico 78
5.4.1 Generalidades 78
5.4.2 O aparelho de maçarico 78

Capítulo 6
Montagem de edifícios e galpões 81
6.1 Introdução 82
6.2 Tipos de edifícios 82
6.3 Montagem de edifícios de múltiplos andares 82
6.3.1 Verificação das fundações 83
6.3.2 Alinhamento 83
6.3.3 Nivelamento 84
6.3.4 Esquadro 84
6.3.5 Prumo 84
6.3.6 Montagem 85
6.3.7 Plano de “rigging” 87
6.4 Montagem de galpões 89
6.5 Medidas e tolerâncias 92

Capítulo 7
Montagem de pontes, viadutos e passarelas 95
7.1 Introdução 96
7.2 Classificação quanto ao tipo de estrutura suporte 96
7.2.1 Pontes com longarinas de perfis de alma cheia 96
7.2.2 Pontes aporticadas com longarinas de perfis de alma cheia 96
7.2.3 Pontes com longarinas tipo caixão 96
7.2.4 Pontes com longarinas treliçadas 97
7.2.5 Pontes em arco 97
7.2.6 Pontes estaiadas 97
7.2.7 Pontes pênseis 98
7.3 Classificação quanto ao tipo de tabuleiro 98
7.3.1 Pontes com tabuleiro em concreto armado 98
7.3.2 Pontes com tabuleiro em concreto protendido 98
7.3.3 Pontes com tabuleiro em placa ortotrópica 99

7.3.4 Pontes com tabuleiro em madeira 99
7.4 Classificação quanto a posição relativa do tabuleiro 99
7.4.1 Pontes com tabuleiro superior 99
7.4.2 Pontes com tabuleiro intermediário 99
7.4.3 Pontes com tabuleiro inferior 99
7.5 Montagem de pontes 99
7.6 Processos de montagem de pontes 100
7.6.1 Montagem pelo solo 100
7.6.2 Montagem por balsa 100
7.6.3 Montagem de pontes por lançamento 101
7.6.4 Montagem por balanços sucessivos 108
7.7 Equipamentos utilizados na montagem de pontes 109
7.7.1 Introdução 109
7.7.2 “Derricks” 110
7.7.3 “Travellers” 110
7.7.4 Treliça lançadeira 111
7.7.5 Guinchos 111
7.7.6 Macacos trepadores 111
7.8 Montagem de passarelas 111
7.8.1 Generalidades 111
7.8.2 Recomendações 112

Capítulo 8
Outros tipos de estrutura 113
8.1 Introdução 114
8.2 Montagem de torres 114
8.3 Montagem de tanques e reservatórios 116
8.4 Montagem de esferas 118
8.5 Montagem de chaminés e vasos de pressão 118
8.6 Montagem de estruturas espaciais 119

Capítulo 9
Planejamento e orçamento de montagem 121
9.1 Introdução 122
9.2 Definição do processo de montagem 123
9.3 Planejamento de montagem 124
9.4 Recursos 126
9.5 Cronogramas 128
9.6 Orçamento 128
9.7 Cálculo do preço de venda e proposta 132
9.8 Contrato 134

Referências Bibliográficas 137

Anexos 141

Apresentação

Na construção em aço cada peça possui seu lugar específico na estrutura e desempenha um papel na constituição da obra. O ato de se unirem as peças no canteiro de obras para formar o conjunto da estrutura chama-se montagem. Porém, antes disso é necessário transportar a estrutura do local onde foi produzida até o canteiro de obras, onde será montada. Este manual abordará estas duas fases na produção das estruturas em aço: o transporte e a montagem.

O setor siderúrgico, através do Centro Brasileiro da Construção em Aço - CBCA, tem a satisfação de tornar disponível para o universo de profissionais envolvidos com o emprego do aço na construção civil, este manual, o oitavo de uma série relacionada à construção em aço.

Centro dinâmico de serviços, com foco exclusivamente técnico e capacitado para conduzir uma política de promoção do uso do aço na construção, o CBCA está seguro de que este manual enquadra-se no objetivo de contribuir para a difusão de competência técnica e empresarial no País.

Capítulo 1

Introdução

1.1 As estruturas de aço

As estruturas de aço se caracterizam por serem produzidas parte fora do local da construção e parte na própria obra. Por definição, isto é construção industrializada, ou seja: realização de atividades em local diverso do canteiro de obras destinadas à preparação prévia de elementos padronizados que serão levados ao canteiro para formar a edificação.

As estruturas de aço são constituídas por um grupo de peças, que após serem unidas, formarão um conjunto estável que sustentará a construção. A fabricação das peças se realiza em uma unidade industrial, onde estão centralizados os meios de produção como máquinas e equipamentos, operários e administração, matérias-primas, etc.

Na construção em aço cada peça possui seu lugar específico na estrutura e desempenha um papel na constituição da obra. O ato de se unirem as peças no canteiro de obras para formar o conjunto da estrutura chama-se montagem. Porém, antes disso é necessário transportar a estrutura do local onde foi produzida até o canteiro de obras, onde será montada. Este manual abordará estas duas fases na produção das estruturas em aço: o transporte e a montagem.

1.2 Escopo básico

Quando desejar adquirir uma estrutura em aço para qualquer fim, o empreendedor necessitará dos itens apresentados abaixo para obter o produto final, ou seja, a estrutura completa e montada no local da obra. Estes itens poderão ser fornecidos por uma única empresa ou serem partilhados entre diversas outras especializadas. Portanto, antes que se apresentem os aspectos detalhados quanto ao transporte e a montagem, apresentam-se abaixo as fases precedentes da construção em aço:

- Projeto de arquitetura;
- Projeto estrutural;
- Fabricação;
- Tratamento anticorrosivo.

1.2.1 Projeto de arquitetura

Toda obra se inicia pela concepção arquitetônica. É crescente o número de projetos em que o arquiteto tira partido do material, direcionando seu projeto para a utilização do aço. O arquiteto deve estar consciente das características das estruturas em aço ao iniciar a concepção de seu projeto. Procurando a modulação certamente estará contribuindo para que os custos finais sejam menores. A simplicidade representada pelo alinhamento das colunas e vigas em eixos ortogonais em edifícios de múltiplos andares, por exemplo, permite a padronização de cômodos de maneira a ocorrer uma repetição dos vãos livres entre pilares. Isto proporciona a ocorrência de vigas iguais ou quase iguais, com o conseqüente ganho de produtividade. É lógico que esta padronização só tem sentido se serve ao projeto arquitetônico, sem podar a criatividade ou prejudicar a funcionalidade da edificação quando concluída.

1.2.2 Projeto estrutural

Os projetos são o ponto de partida para a realização da obra. São documentos gráficos que nos mostram como será a obra, suas características e dimensões. Os projetos de estruturas em aço possuem quatro níveis a saber: Projeto Básico, Projeto Estrutural, Projeto de Fabricação e Diagrama de Montagem.

a) Projeto básico

Mostra em linhas gerais a concepção básica adotada para a estrutura, com representação unifilar, sem o dimensionamento dos elementos. A partir deste projeto estima-se preliminarmente os materiais necessários a serem utilizados na obra baseando-se em dados práticos históricos, a título de primeira aproximação de peso. Trata-se de um projeto preliminar, que pode e deve passar por evoluções no futuro, comparando-se vários projetos alternativos. Cada alternativa poderá representar uma concepção estrutural diferente, para resultar

em uma escolha final, que pode ser uma mescla de duas ou mais hipóteses analisadas.

O arquiteto, ao projetar uma edificação objetivando a adoção da estrutura de aço, representa o aspecto desejado para estrutura, ainda que sem preocupação com o dimensionamento das peças. Este tipo de projeto de arquitetura trata-se de um projeto básico.

b) Projeto estrutural

Este item inclui toda a análise estrutural com o dimensionamento de todos os elementos, geração das cargas nas fundações e a definição geométrica dos eixos, dimensões e níveis da estrutura, a partir do projeto arquitetônico. Para obter estes elementos, o calculista fará o cálculo estrutural no qual levará em conta todos os esforços que serão aplicados à estrutura, suas combinações possíveis e dará aos seus elementos as dimensões necessárias para oferecer a resistência adequada.

Além disso, também devem constar do projeto o tipo de ligação a ser adotado entre as peças, os perfis e outros materiais, o aço a ser adotado, a classe dos parafusos e eletrodos de solda e os ensaios necessários para a garantia da qualidade da execução.

Os documentos resultantes do projeto estrutural são as listas de materiais, as memórias de cálculo e os desenhos de projeto.

c) Projeto detalhado

Também chamado de projeto de fabricação ou desenhos de detalhe, mostram o detalhamento do projeto estrutural, visando dotar a fábrica de todas as informações para proceder a fabricação da estrutura. São desenhos de cada peça constituinte da estrutura, o dimensionamento das ligações entre elas, os materiais básicos utilizados e as listas de materiais com os pesos. Nestes projetos todas as peças e partes de peças individuais são detalhadas a partir dos materiais encontrados no mercado. Cada peça e parte de peça receberá um nome chamado marca de detalhe.

Alguns elementos podem constar em listas separadas, como os parafusos, telhas e acessórios que normalmente não constam no peso da obra. Eventualmente, a área da superfície a ser pintada também será fornecida nos desenhos.

d) Diagramas de montagem

Projetos apresentados na forma de desenhos, que em tudo lembram o projeto estrutural, mas diferem destes por não mostrarem necessariamente os materiais utilizados. O objetivo destes desenhos é mostrar a localização das peças na estrutura para orientação dos serviços de montagem, assinalando as marcas de detalhe de cada peça.

1.2.3 Fabricação

Antes de iniciar a fabricação, o fornecedor das estruturas deve providenciar a matéria-prima e os consumíveis de aplicação direta a partir das listas de materiais. Os materiais estruturais como chapas e perfis poderão ser adquiridos pelo próprio fabricante ou mesmo pelo cliente. Neste caso, este solicitará aos fornecedores que entreguem os materiais na fábrica da empresa responsável pela fabricação.

Pode ocorrer que o fabricante não receba os desenhos de detalhamento. Um projeto estrutural mais detalhado pode dispensar a necessidade do detalhamento. Caberá ao fabricante analisar o nível de informações contidas no projeto e contratar o detalhamento caso julgue necessário.

Listas de materiais elaboradas a partir dos desenhos de detalhe são mais exatas que aquelas feitas somente a partir do projeto estrutural. No momento do aprovisionamento dos materiais para fabricação, será utilizada a última lista disponível. Caso esta seja uma lista imprecisa, isto poderá acarretar falta de determinados materiais ou sobra de outros durante

a fabricação, com a ocorrência de possíveis atrasos.

Estando os materiais à disposição, o fabricante dará início aos seus trabalhos.

A fabricação será a transformação dos materiais em peças através das operações básicas de fabricação: corte, dobra, furação, soldagem entre outros.

1.2.4 Tratamento anticorrosivo

O tratamento anticorrosivo visa interpor uma barreira entre o meio externo e o aço da peça visando retardar o processo de corrosão. Isto será necessário caso as características da estrutura, o aço utilizado e a agressividade do meio ambiente levem ao surgimento de processos corrosivos. Estes serão sempre mais prejudiciais à medida que prejudiquem a vida útil da estrutura, coloquem em risco sua estabilidade ou afetem a estética da construção.

Os principais tipos de tratamento anticorrosivo são a galvanização e a pintura. A galvanização é a deposição de uma camada de zinco na superfície da peça, metal este muito mais estável que o aço carbono. Este processo é normalmente mais dispendioso que os sistemas de pintura, mas será recomendado nos casos em que o meio é muito agressivo, a manutenção é difícil e as dimensões das peças permitirem. Nos casos mais gerais a pintura será o processo utilizado.

A pintura de base de proteção anticorrosiva poderá ser aplicada logo após a fabricação ainda no interior da fábrica.

A pintura de acabamento, quando aplicável, poderá ocorrer:

- antes da liberação para embarque das estruturas, no interior da fábrica;
- no canteiro de obras, antes da mon tagem;
- no canteiro de obras, após a montagem e antes das obras civis;
- no canteiro de obras com a estrutura totalmente montada e após as obras civis como lajes ou alvenarias;

1.2.5 Transporte

Conforme a modalidade de transporte escolhida, as peças deverão possuir dimensões e pesos compatíveis com a capacidade dos veículos utilizados. No transporte rodoviário por exemplo, o mais utilizado atualmente, considera-se normal o transporte executado sobre carretas de 27 toneladas de capacidade, com aproximadamente 13 metros de comprimento na carroceria, 2,3 metros de largura transportável e uma altura máxima sobre a plataforma de aproximadamente 3,0 metros. Acima destes limites situam-se os transportes especiais com excesso no comprimento, excesso lateral ou excesso em altura. Nestes casos o preço por tonelada transportada sobe significativamente, sendo exigidos veículos e licenças especiais, batedores, horários especiais, etc. Geralmente procura-se limitar as peças das estruturas ao comprimento máximo de 12 metros. Estes tópicos serão abordados mais detalhadamente no Capítulo 2.

Figura 1.1 - Carreta convencional com cavalo mecânico

1.2.6 Montagem

Antes da montagem propriamente dita, serão executadas a descarga, conferência e armazenagem das peças no canteiro de obras. As fundações e outras interfaces serão verificadas topograficamente quanto a exatidão dos níveis, distâncias e alinhamentos. Após estas providências e a correção de eventuais desvios, será iniciada a montagem das peças da estrutura, que é a materialização no canteiro de todo o trabalho das etapas precedentes. Apesar de possuírem peso próprio reduzido em comparação com as estruturas de concreto, as estruturas em aço necessitam de equipamentos para sua montagem. A montagem

será tratada mais detalhadamente no Capítulo 3 e seguintes.

1.3 Tipos de estruturas

a) Estruturas de edifícios múltiplos andares - Este tipo de estrutura é característico de edifícios de múltiplos andares como os destinados a apartamentos, a escritórios ou salas comerciais. Também são exemplos alguns edifícios industriais constituídos de diversos níveis, nos quais se apoiarão utilidades, equipamentos de produção e plataformas de manutenção. A constituição típica destas estruturas é aquela formada por colunas verticais e vigas horizontais, contidas por estruturas de contraventamento, que promovem a estabilidade lateral do conjunto. É essencialmente uma estrutura verticalizada constituída de perfis de alma cheia.

Figura 1.2 - Estrutura de edifício de múltiplos andares

b) Estruturas de galpões – São as típicas estruturas para instalações industriais, constituídas de filas de colunas, uniformemente espaçadas em eixos sucessivos, interligadas transversalmente por pórticos. Longitudinalmente, os pórticos são interligados por vigas de beiral, eventualmente também vigas de rolamento de guindastes (pontes rolantes) e estruturas de contraventamento. As vigas transversais que formam o pórtico sustentam e dão forma à cobertura, que poderá ser em arco, shed, uma água, duas águas, etc. As colunas e vigas de pórtico podem ser em perfis de alma cheia, treliçados, ou ainda uma combinação entre estes. Os outros elementos, como terças, tirantes, vigas de tapamento, contraventamentos, etc. são formados por perfis leves laminados ou dobrados. A exemplo do tipo anterior, a montagem de galpões será detalhada no Capítulo 6.

Figura 1.3 – Ginásio de esportes

c) Estruturas de obras de arte - são as estruturas de pontes, passarelas e de viadutos, que assumem as mais diversas formas e tamanhos. Tratam-se de estruturas destinadas a vencerem vão livres ligando dois pontos. São portanto, estruturas essencialmente horizontalizadas, apoiadas em pilares e encontros nas extremidades dos vãos. Podem ser constituídas de perfis de alma cheia, treliças de perfis mais leves, ou mesmo outros tipos especiais que serão abordados no Capítulo 7.

Figura 1.4 – Ponte em aço

d) Estruturas reticuladas – É o caso típico das torres, concebidas para sustentação de cabos elétricos, antenas de transmissão e recepção de sinais, postes de iluminação e sinalização, ou mesmo suporte de equipamentos industriais e chaminés. São estruturas verticalizadas treliçadas que formam um reticulado tridimensional de perfis muito leves unidos através de parafusos.

Figura 1.5 – Torre de transmissão de energia

e) Estruturas tubulares – Neste tipo podem-se classificar as torres e postes tubulares para telefonia celular, estruturas de jaquetas de plataformas marítimas de prospecção de petróleo, ou ainda chaminés e grandes tubulações. No caso de tubulações aéreas, podem-se citar grandes adutoras de água, oleodutos, emissários submarinos e condutos forçados de usinas de geração de energia. Podem ser feitas de perfis tubulares comerciais (no caso de pequenas estruturas), entretanto o tipo mais comum será formada por chapas de aço carbono calandradas e soldadas.

Figura 1.6 – Poste tubular

f) Estruturas espaciais - Denominam-se estruturas espaciais aqueles reticulados tridimensionais constituídos de perfis leves, tubulares ou não, cujos elementos convergem de diversas direções em nós de interligação. Caso típico são as estruturas de pavilhões de exposições, aeroportos, estações rodoviárias e terminais de carga, onde se desejam amplas coberturas com o mínimo de apoios. São estruturas que apresentam grandes vãos livres, são eminentemente horizontalizadas e dotadas de platibanda que oculta e protege a cobertura.

Figura 1.7 – Estrutura espacial

g) Estruturas de armazenagem – São casos típicos os silos, tanques e esferas de armazenamento. Possuem como característica principal as paredes relativamente finas formadas por chapas de aço carbono calandradas. Estas estruturas são utilizadas para armazenamento de materiais a granel como grãos, líquidos e gases. Os silos e tanques assumem a forma cilíndrica, formada pelo fundo, costado (parede lateral calandrada) e o teto. O fundo dos silos possui a forma cônica para melhor escoamento dos grãos. O caso das esferas de armazenamento de gases é bastante peculiar, sendo a forma esférica obviamente a mais comum, porém não a única.

h) Estruturas estaiadas ou tensionadas– São estruturas que utilizam cabos de aço (ou tubos esbeltos) tracionados para sustentação de coberturas. Este tipo de estrutura procura vencer grandes vãos tirando partido da alta resistência a tração dos cabos de aço. Os cabos de aço são firmemente ancorados em poucos pilares ou na extremidade de anéis periféricos, e daí pendem em linha reta ou na forma de parábolas sustentadas nas duas extremidades.

Figura 1.8 – Esfera de armazenamento

1.4 Concepção de projeto visando a melhoria de produtividade

A construção em aço como exemplo de construção industrializada possui a vantagem competitiva de se deslocar boa parte das atividades para fora da obra reduzindo o tempo de permanência no local e o desperdício de materiais. Entretanto, ganhos suplementares em produtividade podem ser auferidos com a economia de escala. Por exemplo: se duas peças iguais vão ser fabricadas, o ganho relativo de produtividade será pequeno; entretanto, se vão ser fabricadas 200 peças iguais, haverá um ganho progressivo de produtividade. Este ganho irá aumentar até que se tenda à estabilização em um determinado patamar. Qualquer progresso a partir deste nível dependerá da utilização de uma nova tecnologia. Porém, antes que tal salto tecnológico ocorra, os benefícios já serão sentidos no desempenho das obras em aço, com um resultado bem acima dos processos artesanais.

Pode-se analisar os ganhos de produtividade em três níveis:

1) No primeiro nível se faz o comparativo entre a construção industrializada e a construção artesanal. Entende-se como construção artesanal aquela que se caracteriza por ser produzida totalmente no canteiro de obras; não apresenta repetição significativa de elementos; exige maciço emprego de mão-de-obra; apresenta perdas elevadas de materiais e comumente é realizada uma única vez.

2) Num segundo nível o comparativo se fará entre a construção industrializada simples, repetitiva e padronizada, com outra complexa sem repetição nem padronização. Em outras palavras, o ganho de produtividade neste nível dependerá da complexidade e do número de peças iguais da estrutura.

3) No terceiro e último nível os ganhos de produtividade são atingidos quando ocorre a ruptura do paradigma vigente com o surgimento de uma nova tecnologia.

Analisam-se abaixo, de forma simplificada, os ganhos de produtividade que podem ocorrer no nível 2) descrito acima, ou seja, nas diversas fases da construção em aço:

• Projetos – No cálculo estrutural, se existem poucas peças para serem dimensionadas e desenhadas, haverá uma economia de tempo durante o projeto, pois a mesma peça ocorre várias vezes na mesma estrutura. Da mesma forma uma estrutura de simples concepção representará maior produtividade em comparação com outra mais complexa. Claro está que se existirem muitas peças diferentes para serem projetadas ou de dimensionamento trabalhoso, o tempo gasto no projeto será relativamente maior. Entretanto, este ganho durante o período de projeto é pequeno, pois os projetos não estão entre as atividades mais onerosas da construção em aço. Por outro lado, um projeto mais elaborado, e portanto mais trabalhoso pode resultar ganhos significativos nas fases seguintes.

• Fabricação – Durante a fabricação tem-se ganhos de produtividade sempre que as peças forem de simples concepção, ocorrerem diversas vezes cada uma e apresentarem pequeno número de operações para serem concluídas. Quanto mais próxima a peça estiver da forma inicial do perfil que lhe deu origem, mais fácil será a sua fabricação. Por exemplo: uma viga de perfil laminado parafusada, necessitará somente ser cortada no comprimento exato e a seguir sofrer a furação nas extremidades. Em contrapartida, uma viga treliçada composta de perfis U e L, necessitará ter um corte para cada uma das cordas, diagonais e montantes; a solda de cada elemento conforme geometria de projeto, a confecção das diversas chapas de ligação, além da furação para a ligação com as colunas. É óbvio qual das duas vigas sofrerá mais operações para ser concluída.

• Transporte – Peças de dimensões, forma e peso compatíveis com os veículos que serão utilizados no seu transporte, representam melhor aproveitamento destes. Peças adequadamente armazenadas na fábrica e no canteiro de obras propiciam maior facilidade para serem localizadas, lingadas e içadas. Estruturas bem acondicionadas no veículo também levam a operações de embarque e desembarque mais fáceis além de representar menores gastos com o transporte.

• Montagem - Durante a montagem da estrutura, se ocorrerem repetições de peças em situações virtualmente idênticas ou mesmo semelhantes, o tempo de montagem de cada uma será reduzido progressivamente, até estabilizar. Por outro lado, se as ligações entre as peças se faz com rapidez, ganha-se tempo em comparação com ligações difíceis e trabalhosas. Erros cometidos nas fases de projeto e fabricação ocasionam grandes perdas de produtividade e atrasos no andamento da montagem, pois não raro exigem correções de dimensões ou furação no próprio canteiro. Erros durante a própria montagem, como por exemplo uma peça que tenha sido montada no lugar de outra, demanda no mínimo o triplo do tempo para ser montada: o tempo para montá-la pela primeira vez; para sua desmontagem; e para montar a peça certa em seu lugar.

1.5 Comentários finais

Cada obra em aço é o resultado de uma sucessão de decisões tomadas desde a concepção da estrutura até a montagem da última peça. É importante que cada profissional tenha consciência das repercussões possíveis de cada fase sobre as demais. O profissional que está no início do processo produtivo é o projetista de estruturas. O trabalho de projetar as estruturas é condicionado pelas disposições normativas obrigatórias e pelo estilo próprio do profissional. Neste âmbito, em que há liberdade de tomada de decisões, a história da obra começa a ser escrita, e é importante que leve ao êxito da obra como um todo.

As obras serão exitosas na medida em que possuírem características de durabilidade, segurança, estéticas e de utilização percebidas pelos usuários de forma a atender os objetivos para os quais foram concebidas. O trabalho dos profissionais envolvidos com a concepção e a construção da estrutura será percebido pelo usuário leigo à partir de seus resultados palpáveis: uma obra durável, segura, bonita e útil. Porém, para os profissionais o sucesso da obra não se limitará à percepção da boa receptividade por parte da sociedade. Para os protagonistas o sucesso dependerá também dos resultados técnicos relacionados com os desafios vencidos, o desempenho das equipes envolvidas dentro dos prazos previstos, o resultado econômico obtido no empreendimento e a satisfação de ter participado de uma obra reconhecida como excelente pelos seus pares.

Capítulo 2

Transporte de Estruturas

2.1 Introdução

Embora seja viável a fabricação de estruturas mais simples no próprio canteiro, a situação mais comum é aquela em que a fabricação e a montagem ocorram em locais diferentes. Nestes casos as estruturas de aço deverão ser transportadas até o local da montagem após a fabricação. A matéria-prima utilizada nas estruturas, como chapas e perfis, também depende de transporte desde a usina siderúrgica ou distribuidor até a fábrica.

Desde a produção, cada peça da estrutura será manipulada e transportada de um lado para outro, sendo depositada em um local, para em seguida ser deslocada novamente. Dependendo da peça e do tipo de fabricação, esse deslocamento constante ocorre inclusive dentro da fábrica. Quando os equipamentos de corte e furação, soldagem ou pintura se encontram fixos, as peças deverão ser movidas de um local para outro até estarem concluídas. Portanto, constantemente a peça é içada, deslocada e armazenada em repetidas operações. Isto requer tempo de pessoal e equipamentos, que demandam recursos financeiros. Para a redução dos custos de produção, quanto menos manipulação houver, melhor.

Também no canteiro de obras é assim: enquanto se mobiliza uma equipe para a descarga de uma carreta, não haverá montagem de peças na estrutura. Esta atividade inevitável, deve ser prevista nos orçamentos. O que se deve evitar é o retrabalho, que durante a montagem pode ser uma peça montada em local errado, mas também pode significar horas perdidas em busca de uma determinada peça em uma pilha caótica de outras semelhantes. Esta desorganização pode ser causada pela falta de planejamento de transporte, que acarretará maiores custos de montagem.

O transporte das estruturas e matérias-primas será realizado por algum meio de transporte, seja rodoviário, ferroviário, marítimo, aéreo ou fluvial. Conforme o meio de transporte adotado, existirão determinadas limitações das peças da estrutura, tanto a respeito de seus pesos individuais e peso total, quanto pelas dimensões máximas e do volume disponível.

A montagem de cada peça em seu lugar na estrutura será realizada por equipamentos de içamento como gruas e guindastes. Estes meios de levantamento de peças também possuem limites de capacidade de carga, que acarretam limitações no peso das peças. Além destes, os seguintes fatores podem se constituir em limitações para as dimensões, pesos e volumes das peças - seja em conjunto, seja individualmente:

1.Problemas relativos ao trajeto de transporte, como limitações quanto a largura, altura e pesos máximos permitidos (sobre uma ponte rodoviária, por exemplo).

2.Limites impostos pelo processo de montagem ou pela disponibilidade de espaço no canteiro de obras.

3.Limitações relativas à estabilidade das peças durante o processo de montagem, seja de uma peça individualmente durante o içamento, seja após ocupar seu lugar na estrutura.

4.Dimensões dos perfis comercializados.

Por estas razões ou outras derivadas destas, as peças devem ser concebidas na fase de projeto e arranjadas para o transporte, de modo a não acarretarem problemas nas fases de transporte e montagem.

2.2 Planejamento de transporte

O planejamento de transporte é essencial para o sucesso da obra. Obviamente, depende de disponibilidade de peças prontas na fábrica que possam ser enviadas à obra. Depende igualmente, de uma análise do trajeto e de

limitações dimensionais e de peso. Portanto, pode-se enumerar o aspectos mais relevantes para o planejamento e execução do transporte das peças da estrutura:

1.Escolha da modalidade de transporte mais adequada para vencer a distância entre a fábrica e a obra. Para esta escolha devem ser analisadas a disponibilidade de meios e vias de transporte no trajeto.

2.Análise do veículo mais conveniente para o transporte, verificando-se limitações dimensionais, capacidade de carga e rendimento. Define-se por rendimento a quantidade de peças transportadas por viagem ou mesmo o menor custo por tonelada transportada.

3.Definição do ritmo de embarques levando-se em consideração as disponibilidades de peças prontas e de espaço de armazenagem no local da montagem. Não se deve embarcar mais peças do que se consegue armazenar adequadamente na obra. As peças devem ser embarcadas para a obra de acordo com o planejamento da montagem. Nos casos em que não se dispõe de área para estocagem de todas as peças no canteiro, o transporte deverá ser programado com grande precisão. Nestes casos, excesso de embarques significaria falta de espaço na obra; atraso nos embarques significaria paralisação da montagem.

4.Análise da ordem de embarque das peças em função da seqüência de montagem e da maneira de se estocarem as peças no canteiro. Pode ser mais adequado embarcar antes um grupo de peças que serão montadas após outro grupo. Isto ocorre quando a área de armazenagem é restrita e as peças serão empilhadas umas sobre as outras. As primeiras a serem montadas devem ficar no alto da pilha, o que é obtido embarcando-as após.

5.A disponibilidade de espaço na própria fábrica também deve ser analisada ao se elaborar o planejamento de transporte, pois existem limitações na área de armazenagem. Caso o canteiro de obras não possa receber maior quantidade de peças e a fábrica não consiga armazenar as excedentes, deverá ser criado um pátio intermediário de estocagem no trajeto. É conveniente que este entreposto fique o mais próximo possível do local da obra, para que o próprio pessoal do canteiro execute as operações de transbordo, otimizando a utilização de equipamentos e veículos de transporte.

6.As peças devem ser acondicionadas de modo que as mais pesadas sejam embarcadas primeiro, e as mais leves sobre aquelas. É recomendável a utilização de caibros de madeira entre as camadas de peças, facilitando a passagem de cabos ou cintas para as operações de carga e descarga.

2.3 Transporte rodoviário

Esta é a modalidade de transporte predominante atualmente no Brasil, apesar das limitações quanto às dimensões das carrocerias e gabaritos rodoviários. A precariedade das estradas em muitas regiões é parcialmente compensada pela malha existente que permite acesso a maior parte das localidades. Sabe-se, entretanto, que somente 10% das estradas nacionais são pavimentadas.

As outras modalidades de transporte, como o marítimo ou ferroviário, dificilmente não dependerão em algum ponto do trajeto da interveniência da modalidade rodoviária. Por exemplo, no transporte marítimo, a carga de estruturas deverá chegar ao porto de origem por transporte rodoviário; e que de igual maneira dependerá de uma modalidade terrestre no porto de destino. Assim, dependendo da região, o transporte intermodal ocorrerá com os possíveis transbordos de um meio para o outro.

Um veículo de transporte rodoviário possui a característica de poder ser transportado por outro meio de transporte, seja sobre uma

balsa, seja sobre uma plataforma ferroviária, o chamado rodotrem. Isto evita as operações de carga e descarga dos transbordos, os quais além de representarem custos e prazos maiores, provocam danos as peças da estrutura.

Outra característica do transporte rodoviário é a possibilidade bastante utilizada de que o mesmo veículo seja carregado no interior da fábrica e ele próprio chega a poucos metros do local onde a estrutura será montada. Isto, após vencer todo o trajeto sem transbordo da carga. Esta situação, porta a porta, só seria possível no transporte ferroviário, por exemplo, caso a fábrica de estruturas possuísse pátio ferroviário e a obra estivesse ao lado de uma linha férrea interligada ao mesmo sistema.

O transporte rodoviário depende essencialmente de um veículo de tração mecânica movido a óleo diesel e de uma carroceria acoplada ao mesmo. Nesta carroceria serão acondicionadas as peças da estrutura a serem transportadas. A carroceria poderá estar montada sobre o mesmo chassi do veículo tracionador ou não.

Nas fases de projeto e detalhamento deverá ser dada especial atenção as dimensões das peças de forma a se evitar transportes especiais. Caso o elemento estrutural possua comprimento acima de 12 metros, pode-se subdividi-lo deixando a execução da união entre as partes para o canteiro de obras.

2.3.1 Tipos de veículos

a) Caminhão toco – Possui um eixo simples na carroceria que é montada sobre o mesmo chassis da cabina do motorista, onde se encontra o outro eixo do veículo. Possui capacidade de carga de aproximadamente 8t. As dimensões aproximadas da carroceria são:

- Comprimento: 6,9m
- Largura: 2,4m

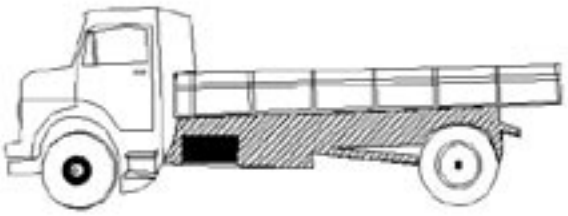


Figura 2.1 – Caminhão toco

b) Caminhão Trucado ou “truck” - Com eixo duplo na carroceria, sendo um dos dois o motriz. A carroceria é montada sobre o mesmo chassis da cabina, onde se encontra o terceiro eixo do veículo. Possui capacidade de carga de aproximadamente 15t. As dimensões aproximadas da carroceria são:

- Comprimento: 7,8m
- Largura: 2,4m

Figura 2.2 – Caminhão trucado

c) Cavalo mecânico com semi-reboque (carreta): composto de dois veículos distintos: o primeiro é o veículo trator ou tracionador, o cavalo mecânico, que possui normalmente dois eixos, um frontal bem abaixo da cabina, responsável pela direção do veículo e o outro eixo motriz na parte de trás. Eventualmente o chamado 3º eixo será instalado, atrás do eixo motriz. O segundo veículo é a carroceria ou semi-reboque que se apoia sobre o eixo motriz na extremidade frontal (onde existe uma articulação) e em três eixos traseiros em tandem, dotados de quatro rodas cada. Possui capacidade de carga de aproximadamente 27t. As dimensões aproximadas da carroceria são:

- Comprimento: 14,8m
- Largura: 2,5m

Figura 2.3 – Semi-reboque com cavalo mecânico

Estes primeiros três tipos de veículo são enquadrados naqueles chamados normais, explicitados no item pesos e dimensões máximas, abaixo.

d) Bitrem: Possuem diversas configurações, mas basicamente são constituídos por cavalo mecânico com 3º eixo e duas carrocerias articuladas, cada uma com 6,5m de comprimento, aproximadamente. A capacidade de carga varia, conforme a configuração, de 34t a 46t no total. Caso as peças da estrutura não ultrapassem os 6,5m de comprimento e possua pequeno índice de vazios, o bitrem será vantajoso sempre que o peso total transportado ultrapassar a capacidade das carretas convencionais. Este tipo de veículo não é considerado normal e só poderá circular com Autorização Especial de Trânsito – AET.

Figura 2.4 – Bitrem

2.3.2 Pesos e dimensões máximas

Nos veículos rodoviários existem cinco termos que definem os pesos e as capacidades de carga:

• Lotação (L) : peso útil máximo permitido para o veículo; é a sua capacidade de carga;

• Tara (T) : é o peso do veículo sem carga, com tanque cheio e motorista;

• Peso Bruto Total (PBT) : Lotação somada com a Tara de um veículo com cabina e carroceria em um mesmo chassi;

• Peso Bruto Total Combinado (PBTC): É a Lotação somada às Taras dos veículos combinados, quando a cabina está em um veículo e a(s) carroceria(s) em outro(s) chassi(s);

• Capacidade Máxima de Tração (CMT): É a capacidade de tração do veículo trator, normalmente fornecido pelo fabricante.

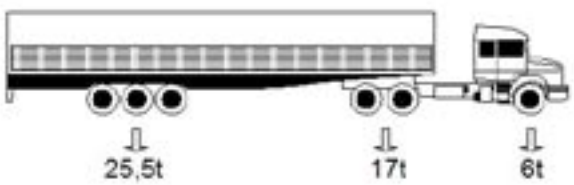


Figura 2.5 – Peso Bruto Total Combinado = 48,5t

As capacidades máximas dos veículos são definidas pelas autoridades rodoviárias em termos de Peso Bruto Total (PBT):

- Por eixo simples;
- Por conjunto de eixos;
- Por veículo (PBT);
- Por combinação de veículos (PBTC).

Segundo a Resolução N.º 12/98 do Contran, as dimensões autorizadas para veículos, considerados normais, são as seguintes:

- largura máxima: 2,60m;
- altura máxima com relação ao solo: 4,40m;
- comprimento total:
- veículos simples: 14,00m - (exemplo: caminhão trucado);
- veículos articulados: 18,15m exemplo: carreta);

• veículos com reboque: 19,80m (exemplo: bitrem).

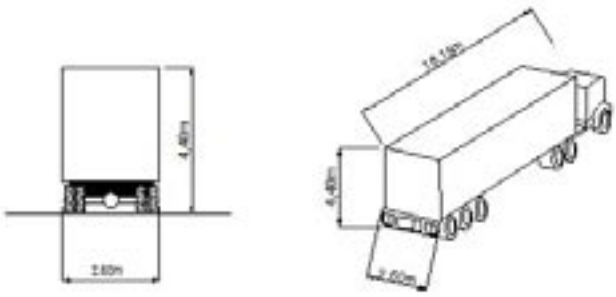


Figura 2.6 – Dimensões máximas

Segundo esta resolução, os limites máximos de peso bruto total e peso bruto transmitido por eixo de veículo, nos veículos normais, são os seguintes:

DESCRIÇÃO	PESO BRUTO PERMITIDO
peso bruto total (PBT) por unidade ou combinações de veículos (PBTC):	45 t
peso bruto por eixo isolado:	10 t
peso bruto por conjunto de 2 eixos em tandem, quando a distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40 m:	17 t
peso bruto por conjunto de 2 eixos não em tandem, quando a distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m:	15 t
peso bruto por conjunto de 2 eixos não em tandem, quando a distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m:	25,5 t
peso bruto por conjunto de 2 eixos, sendo um dotado de quatro pneumáticos e outro de dois pneumáticos interligados por suspensão especial, quando a distância entre os dois planos verticais que contenham os centros das rodas for: • inferior ou igual a 1,20m.....: • superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m .....:	 9 t 13,5 t

Tabela 2.1

Não confundir capacidade máxima de carga com peso bruto máximo por eixo. Considerando uma carreta dotada de terceiro eixo não em tandem, será:

Eixo dianteiro do cavalo = 6t

Conjunto de dois eixos não em tandem (2º + 3º eixo) = 15t

Conjunto de três eixos traseiros da carroceria (tandem) = 25,5t

Total .....= 46,5t (não permitido para veículo normal cujo PBTC máximo é de 45t).

Como a Tara de um veículo destes é de 15,5t a lotação máxima permitida será de 29,5t para resultar em um PBTC de 45t. A distribuição da carga deve ser feita de forma a que as cargas por eixo ou conjunto de eixos não ultrapassem os valores individualmente, nem do total de 45t.

Todas as peças de estruturas que provocarem um excesso em um desses parâmetros serão transportadas por veículos chamados especiais. Estes veículos que por sua construção excedem as dimensões normais, serão objeto de licença especial e poderão trafegar desde que estejam dentro dos limites abaixo:

• largura máxima: 3,20m;
• altura máxima com relação ao solo: 4,40m;
• comprimento total: 23,0m.

Se, ainda assim o veículo possuir dimensões que excedam estes novos limites, terá de obter licença especial temporária e obedecer a horários restritivos para transitar.

Todo tipo de transporte especial é mais oneroso que o transporte normal, e por isso deve ser evitado. Raras vezes não se pode tomar alguma providência, seja no projeto, seja na fabricação, que ajude a evitar que as peças da estrutura ultrapassem os limites dos veículos normais. Quando for impossível dividir a peça em outras menores, teremos uma peça indivisível. Ver tabela 2.2.

2.3.3 Cargas indivisíveis

As cargas indivisíveis são consideradas cargas especiais quando ultrapassam as dimensões e pesos da resolução 12/98. Quando

uma determinada peça não pode ser subdividida ou é formada por vários elementos que não podem ser separados, constitui uma carga indivisível. Para regulamentar o trânsito deste tipo de cargas, o DNER em sua resolução n.º 2264/81 de 07.12.81 determinou os seguintes limites máximos de peso por eixo ou conjunto de eixos:

TIPO DE EIXO	NÚMERO DE RODAS	PESO MÁXIMO
Eixo simples	2 rodas	7,5 t
	4 rodas	12 t
	8 rodas - até 16 t.	16 t
Eixo duplo, com distância entre eixos igual ou superior a 1,35 m	4 rodas por eixo	22 t
	8 rodas por eixo	24 t
Eixo duplo, com distância entre eixos igual ou superior a 1,50 m	4 ou 8 rodas por eixo	24 t
Eixo triplo, com distância entre eixos igual ou superior a 1,35 m	4 rodas por eixo	28,5 t
	8 rodas por eixo	34,5 t
Eixo triplo, com distância entre eixos igual ou superior a 1,50 m	4 rodas por eixo	30 t
	8 rodas por eixo	36 t
Quatro ou mais eixos em tandem, com distância entre eixos igual ou superior a 1,35 m	4 rodas por eixo	até 9,3 t por eixo
	8 rodas por eixo	até 11,3 t por eixo
Quatro ou mais eixos em tandem, com distância entre eixos igual ou superior a 1,50 m	4 rodas por eixo	até 10 t por eixo
	8 rodas por eixo	até 12 t por eixo

Tabela 2.2 - Obs.: Eixos separados entre si por distância superior a 2,40m serão considerados como eixos simples isolados, para efeito de limite de peso.

Figura 2.7 – Transporte especial

2.4 Transporte ferroviário

A característica principal desta modalidade de transporte é se deslocar sobre trilhos. Onde não existem trilhos, as composições não chegam. O mais freqüente é o tipo de composição em que um veículo de tração (locomotiva) reboca outros veículos de carga (vagões). As locomotivas no Brasil são impulsionadas em sua maioria por motores à diesel. Existem composições com uma ou mais locomotivas, dependendo da carga, do traçado e da topografia do trecho a ser percorrido.

Segundo a ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), a malha ferroviária brasileira atinge 29.706 km de extensão, o que representa menos de 10% da malha norte-americana, cujo território é equivalente ao brasileiro. Ou ainda, é igual a malha japonesa cuja extensão territorial é 22 vezes menor que o Brasil (Guia Log). No final da década de 1950, a malha ferroviária do Brasil atingia 38.000 km (ANTF). Mesmo assim, o sistema ferroviário brasileiro responde por 21% do total da carga transportada no país, representa o maior sistema da América Latina e o sétimo do mundo em volume de carga (ANTT).

A matéria prima das estruturas, as chapas e perfis de aço, são transportados em grande parte por ferrovias a partir das usinas siderúrgicas. Entretanto, isso não significa necessariamente que esta modalidade será a mais adequada para o transporte das estruturas produzidas a partir daqueles materiais. Uma característica do transporte ferroviário é a formação das composições, ou seja, o carregamento dos diferentes vagões em conjunto com uma ou mais locomotivas. O tempo despendido nesta operação pode variar bastante e atrasar o transporte das peças.

O transporte ferroviário será utilizado com vantagens em obras de viadutos e de passarelas sobre a linha férrea. Quando o local possuir duas linhas paralelas, o guindaste ferroviário será posicionado numa das linhas e a outra será utilizada para levar as peças da estrutura sobre uma composição. O guindaste ocupará a posição mais favorável para a montagem, e as pranchas ferroviárias com as peças serão movidas para próximo dele.

Os vagões mais utilizados para o transporte de produtos siderúrgicos são as plataformas convencionais com piso metálico e eventualmente os do tipo gôndola.

2.4.1 Plataforma de piso metálico

Estes vagões são formados por uma plataforma plana horizontal dotada de barras verticais espaçadas em toda a volta (fueiros). Principais características:

- Tara – 16t
- Lotação Nominal – 64t
- Largura Útil– 2,497m
- Comprimento Útil – 13,850m
- Altura do piso ao trilho – 0,951m
- Altura Útil sobre a plataforma – 1,300m.

Figura 2.9 – Vagão Plataforma

2.4.2 Gôndola com bordas tombantes

Estes vagões são formados por um piso plano cercado de laterais móveis. Principais características:

- Tara – 14,2t
- Lotação Nominal – 49,8t
- Largura Útil– 2,40m
- Comprimento Útil – 12,00m
- Altura do piso ao trilho – 0,996m
- Altura Útil da caçamba – 0,804m.

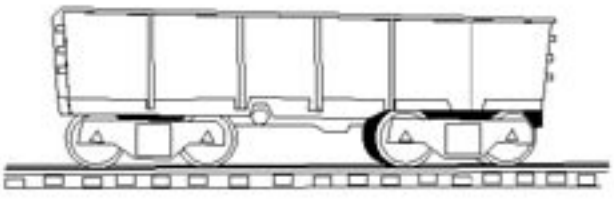


Figura 2.10 – Vagão Gôndola

Os demais tipos de vagões não se aplicam ao transporte de estruturas em aço.

Nota-se que as dimensões das plataformas são aproximadamente iguais as carretas rodoviárias, mas com uma capacidade de carga bem superior. Quando o tipo de carga possuir pequeno índice de vazios (como chapas de aço planas empilhadas umas sobre as outras), o transporte ferroviário será mais eficiente que o rodoviário. Neste caso, a capacidade será limitada pelo peso e não pelo volume. Uma carreta rodoviária transportará no máximo uma pilha de 12 chapas de 9,5x2440x12000mm, por exemplo, que pesam no total aproximadamente 26t. A plataforma ferroviária transportará 29 chapas (63t), sem que se ultrapassem seus limites de dimensões ou de peso.

Entretanto, deve-se considerar que este tipo de peças formado por chapas planas, são aplicáveis a um número restrito de estruturas. Na sua grande maioria, as peças das estruturas serão bem diferentes, com grande índice de vazios. Uma análise da viabilidade de se adotar o transporte ferroviário em prejuízo do rodoviário certamente passará pelo aspecto econômico.

2.5 Transporte marítimo

O tipo de carga formado pelas estruturas dificulta a unitização da carga. Como unitização entende-se a formação de fardos de carga, reduzindo o número de operações de carga e descarga. Exemplo de unitização são os contêineres, que comportam em torno de 22 toneladas de pequenos volumes, que de outra forma seriam descarregados manualmente. O contêiner evita estas operações manuais, especialmente nos transbordos, limitando a carga e descarga manuais somente na origem e no destino final. Entretanto, as peças das estruturas raramente serão acondicionadas em contêineres comuns.

Uma maneira viável de utilização do transporte marítimo para as estruturas em aço, seria o transporte por meio de navios cargueiros convencionais ou multipurpose, na navegação de cabotagem ao longo da costa, ou mesmo na exportação. Para a navegação de cabotagem se tornar viável para o transporte de estruturas, deverá ser entre estados da federação distantes o suficiente para compensar os custos portuários, ou que sejam inacessíveis por via rodoviária ou ferroviária.

A grande cabotagem, ou exportação de estruturas por via marítima para países do Mercosul, também será viável quando atender a cidades dotadas de portos ou próximas destas.

Nesta modalidade ocorre um período considerável do tempo de transporte em que a empresa que contratou o frete das estruturas não possui controle sobre a carga. No transporte rodoviário, por exemplo, este período é unicamente o do trajeto do veículo entre a fábrica e a obra (considerando-se o transporte realizado por terceiros), pois as operações de carga e descarga são realizadas pela empresa fabricante ou pela montadora. No caso do transporte marítimo, são os portos com seu equipamento e pessoal que executarão as operações de carga e descarga dos navios e não a construtora. Os possíveis períodos de espera por disponibilidade de vaga nas docas, no cais, de equipamentos e também de pessoal devem ser considerados quando da análise de viabilidade da modalidade de transporte marítimo. Isto se aplica de certa forma também ao transporte ferroviário.

Deve-se levar em conta nesta análise os custos portuários, que incluem as operações de carregamento e descarregamento, além da manobra e estacionamento do navio, que deverão ser somados aos custos da embarcação no trajeto.

Devido ao tipo de carga formado pelas estruturas (não unitizada), os custos serão

proporcionalmente maiores, pelas dificuldades que representa. Outro aspecto a ser considerado na adoção do transporte marítimo são as avarias passíveis de ocorrer nas peças mais delicadas, principalmente arranhões na pintura e empenamentos.

É interessante notar que os perfis e as chapas de aço, principais matérias primas das estruturas, são exportadas e importadas, via marítima, num constante fluxo entre países dos cinco continentes. Porque esta facilidade não é aplicável às estruturas? Isto se deve ao índice de vazios. Bobinas de chapas e feixes de perfis formam cargas unitizadas, de elevado peso, com fator de estiva (proporção entre volume e peso) bastante favorável.

As estruturas não possuem necessariamente as mesmas características da matéria prima. Uma viga de edifício que tenha uma chapa ou cantoneira de ligação não poderá formar feixes com outras vigas (como o perfil que lhe deu origem), devido a dificuldade de se aproximar uma da outra representada pelas chapas de ligação agregadas à peça. Outro caso típico são as treliças formadas por cordas, montantes e diagonais soldadas na fábrica, que além de possuírem elevado índice de vazios, não resistem bem a esforços ortogonais ao plano da peça. Além disso, os montantes e diagonais são freqüentemente formados por pequenos perfis, que podem facilmente ser amassados por impactos ou grandes cargas pontuais provocadas por empilhamento excessivo.

Quando os custos de transporte são significativos, como no caso de transporte marítimo de longo curso, as peças devem ser o mais possível unitizadas, formando feixes ainda dentro da fábrica. No caso citado de uma treliça, o mais adequado é o envio das peças (montantes, cordas e diagonais) separadamente, para serem parafusadas ou mesmo soldadas no canteiro. Esta providência significa menor índice de vazios além de uma maior proteção contra empenamentos visto que nos feixes, as peças são firmemente amarradas umas as outras, formando uma unidade solidária, onde a resistência do conjunto protege cada elemento que o constitui.

2.6 Transporte fluvial

Apresenta problemática semelhante ao transporte marítimo com fins de utilização no transporte de estruturas. Ou seja, esta modalidade é porto a porto, e não porta a porta como o transporte rodoviário. O transporte fluvial é feito através de hidrovias. Entende-se por hidrovia os caminhos navegáveis interiores, artificiais ou não, com infraestrutura mínima de portos e cartas de navegação, que permitam a um determinado tipo de barco transitar com segurança.

O Brasil possui uma distribuição desigual de vias navegáveis, estando a maior parte localizada no centro-norte do pais. Infelizmente, o maior volume de cargas se situa no centro-sul, o que traz uma utilização relativamente baixa desta modalidade de transporte em comparação com outros países.

Principais Hidrovias do Brasil:
- Araguaia-Tocantins – 1100 km;
- São Francisco – 1300 km;
- Madeira – 1500 km;
- Tietê-Paraná – 1250 km;
- Taguari-Guaíba – 686 km.

O transporte hidroviário depende de outras modalidades terrestres nos pontos de transbordo, o que prejudica sua utilização para o transporte de estruturas em aço, devido aos danos causados por repetidas operações de carga e descarga. Por outro lado, pontos distantes do território nacional são atendidos somente por esta modalidade, o que possibilita a integração destas áreas ao comércio de mercadorias.

Esta modalidade também é utilizada em combinação com o transporte marítimo, depen-

dendo do acesso ao oceano, do calado permitido no trajeto e nos portos de destino. Outra característica do transporte por hidrovia é a baixa velocidade, associada entretanto, com elevada capacidade de carga (1.500 toneladas em algumas barcaças) por um baixo custo.

Algumas hidrovias dependem do volume de água da estação das chuvas para se tornarem navegáveis, o que não permite o transporte em qualquer época do ano.

Outro modo de transporte hidroviário é o transversal, ou seja, a utilização de balsas e barcaças na travessia de cursos d'água não servidos por pontes, em rodovias. Os veículos rodoviários são transportados sobre as balsas para o outro lado, onde a estrada continua. Neste tipo de transporte intermodal não ocorre o transbordo da carga, o que é benéfico para a estrutura, evitando danos.

2.7 Transporte aéreo

O transporte por aviões é muito pouco utilizado para enviar as estruturas em aço da fábrica para o canteiro. Mesmo que seja utilizado, devido a suas limitações, a quantidade de estruturas será pequena, sem considerar os elevados custos relativos. Em casos excepcionais, de emergência, recorre-se ao transporte aéreo para o envio de peças pequenas destinadas a obras muito distantes, sempre que a rapidez for decisiva não importando os elevados custos.

Em determinadas obras de montagem em países de grandes extensões territoriais, em áreas de topografia acidentada ou inacessíveis por outro meio, são utilizados helicópteros para o transporte de estruturas. Casos típicos são as torres de transmissão de energia elétrica, que atravessam regiões acidentadas não servidas por estradas regulares, nem passíveis de serem acessadas por caminhos provisórios. Nestes casos, será criado um entreposto de pré-montagem em um ponto estratégico, o mais próximo possível dos locais de montagem de algumas torres. As torres ou partes de torres serão içadas no entreposto, transportadas até o ponto onde estão suas fundações e então montadas pelo próprio helicóptero especial de alta capacidade.

Capítulo 3

Equipamentos de Montagem

3.1 Introdução

Para a montagem de quaisquer estruturas, sempre serão utilizados equipamentos mecânicos que possibilitem o içamento das peças. A força muscular humana ou de animais não conseguiria por si só mover as peças do lugar. Além disso, a necessidade de se deslocar peças para posições elevadas em relação ao solo, requer um ponto de içamento acima destas. Outra necessidade é o deslocamento horizontal de peças de um ponto ao outro do canteiro, o que exige certos tipos de veículos para este fim.

3.2 Equipamentos de içamento vertical

Estão entre os principais equipamentos de qualquer obra de montagem. Sua utilização permite que as peças sejam deslocadas verticalmente, atingindo sua posição na estrutura. Entretanto, exigem cuidados em sua operação, pois erros podem levar ao colapso da estrutura, ou mesmo a morte de operários.

Os dois tipos mais comuns de equipamentos de içamento vertical são as gruas e os guindastes. As gruas se caracterizam por possuírem uma torre vertical na qual se apóia uma lança horizontal. Os guindastes mais comuns são formados por um veículo de deslocamento sobre o solo, do qual parte uma lança que se projeta para cima formando variados ângulos com a horizontal. São apresentadas abaixo as principais variantes destes dois tipos de equi-

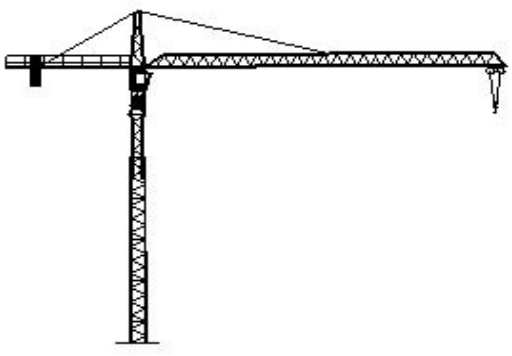


Figura 3.1 – Grua de torre

Gruas

São utilizadas principalmente na montagem de edifícios de múltiplos andares, galpões e em pátios de estocagem de peças. Existem modelos estacionários, ascensionais (que se elevam junto com a estrutura) e móveis. As gruas estacionárias são as mais comuns. Estes modelos devem ser localizados em determinado ponto junto à estrutura e aí permanecerem durante toda a obra. As gruas móveis se deslocam sobre trilhos e são aplicáveis na montagem de estruturas lineares e na movimentação de peças horizontalmente em pátios de estocagem ou entrepostos.

Gruas estacionárias

Grua Fixa - Este é o tipo mais comum de grua, onde a lança gira sobre a torre que é fixada no solo sobre um bloco de fundação de concreto dotado de chumbadores para ancoragem. Dependendo da altura, a grua poderá operar livre, sem travamentos laterais. A partir de uma determinada altura, a torre necessitará de travamentos laterais em pontos que garantam a sua estabilidade. Este travamento pode ser feito na própria estrutura do edifício ou por meio de estais de cabos de aço ligados ao solo. A torre pode ser formada de diversos estágios, que são instalados à medida das necessidades da montagem, variando sua altura (ver figura 3.1).

A lança é dividida em duas partes opostas, com a cabina do operador no centro. Na porção mais longa da lança é instalado um trole, que desliza ao longo de seu comprimento. O gancho de levantamento das cargas está suspenso pelo trole por duas ou mais pernas de cabo de aço. Outro conjunto de cabos de aço é responsável pela translação do trole ao longo da lança. A outra parte da lança é mais curta onde fica o contrapeso e o guincho. Este contrapeso está instalado diametralmente oposto à carga em relação à torre para proporcionar equilíbrio ao conjunto.

As capacidades das gruas são fornecidas pelos fabricantes em momento máximo de tombamento, que é o produto do raio pelo valor carga, expresso em t x m, ou fornecendo a carga máxima na ponta da lança em cada comprimento de lança. As gruas possuem grande versatilidade pois operam em um raio de 360º.

Grua Ascensional - A grua é montada dentro do edifício. Sua torre de pequeno comprimento é apoiada em alguns pontos dos últimos pavimentos montados. À medida que o edifício progride na vertical, a grua é içada mais um pavimento por um mecanismo telescópico que envolve a torre.

Grua de lança móvel (Luffing) - A lança parte da mesa giratória e assemelha-se a de um guindaste treliçado. Não há trole, pois a carga pende da ponta da lança, que varia de inclinação.

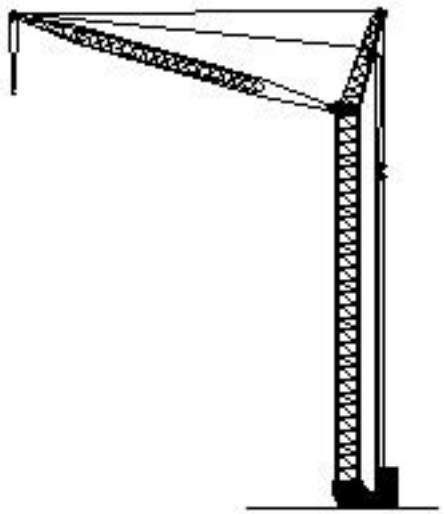


Figura 3.2 – Grua de lança móvel (luffing)

Gruas móveis

Grua sobre trilhos - A base é instalada sobre chassis metálicos dotados de rodas que andam sobre uma linha férrea. Sobre este chassis são colocados blocos de concreto formando um lastro para baixar o centro de gravidade do conjunto dotando-o de maior estabilidade.

Grua automontante - Esta grua tem a base da sua torre instalada sobre um chassis dotado de pneus ou patolas. A torre é formada por estágios telescópicos ou treliçados dobráveis, que acionados pelo guincho passam a ter o comprimento final. A lança, da mesma forma, é formada por dois estágios articulados entre si (telescópicos em alguns modelos) que quando desdobrados, resultam no comprimento final. As gruas de menor capacidade são montadas por acionamento remoto. A base da torre gira sobre o chassis, permitindo a operação em 360°. A lança não gira em relação à torre, e o contrapeso fica localizado na base.

Grua sobre pórtico - A base da torre é fixada sobre um pórtico duplo, que desliza sobre trilhos, normalmente utilizada em portos ou grandes pátios de manipulação de cargas.

Grua sobre caminhão - É montada sobre chassis de caminhão, possuindo também o giro da base da torre sobre o mesmo.

Grua sobre esteiras - É montada sobre chassis dotado de esteiras. Certos modelos são completamente autônomos graças ao acionamento por motor a diesel.

Operação das gruas

As gruas possuem uma característica que as diferenciam dos guindastes que é o fato da lança nascer em uma cota acima do solo. Esta característica reduz o número de interferências pois as cargas sempre pendem de um ponto acima de qualquer ponto da estrutura. Um estudo adequado de sua localização torna virtualmente impossível algum choque entre a grua e a estrutura.

Escolha da Grua

A grua deve cobrir toda a projeção da estrutura, com capacidade de içar as cargas mais distantes. A área de estocagem de peças deve estar dentro de seu raio de operação. O que

comanda nas gruas é o momento de tombamento. Por isso deverá ser feito um exame detalhado de toda a estrutura, determinando as peças e situações de içamento mais exigentes, para se especificar a capacidade necessária para a grua. Para auxiliar nesta análise, apresentam-se abaixo alguns dos principais parâmetros que devem ser levados em consideração:

- Altura máxima da estrutura;
- Determinar a maior carga a ser içada, considerando os acessórios necessários para o içamento como estropos, etc.;
- Melhor localização da grua, que deve ficar o mais próximo possível ao centro de gravidade da edificação;
- O maior raio de operação que deve cobrir toda a projeção da obra;
- O maior momento de tombamento, dado por: carga X raio.

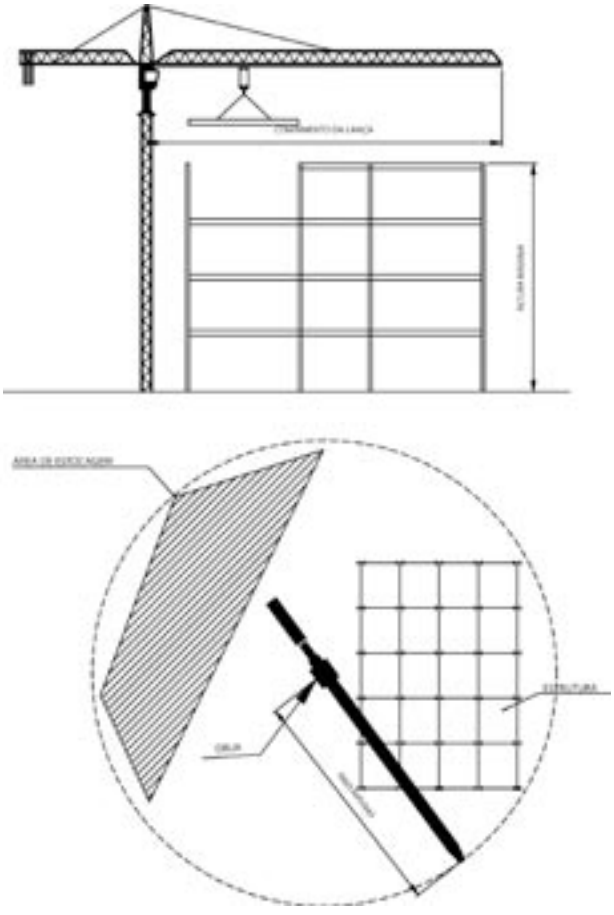


Figura 3.3 – Operação de Grua em montagem de edifício

Guindastes

Os guindastes são equipamentos de içamento de cargas que são montados sobre um veículo. Por isso são também chamados de guindastes móveis. Possuem uma lança conectada à base do veículo que se projeta para adiante do equipamento. A lança possui variados movimentos, podendo formar diversos ângulos com relação a um plano horizontal, variando sua inclinação. Isto permite que o guindaste levante cargas em diferentes posições sobre o solo. Outro movimento possível é o giro da lança segundo um eixo vertical, com um raio de ação que pode se estender a 360° ao redor do guindaste.

O içamento da carga se faz pela elevação proporcionada por cabos de aço que pendem da ponta da lança e que transferem o peso da peça para o guincho do equipamento. A distância horizontal entre o centro da máquina e a projeção vertical da carga chama-se raio de operação. Este é determinado pelo comprimento e o ângulo da lança. A capacidade máxima de um guindaste depende de fatores que combinam a resistência do estrutural do equipamento, a capacidade do guincho e a sua tendência de tombar sob o efeito da carga.

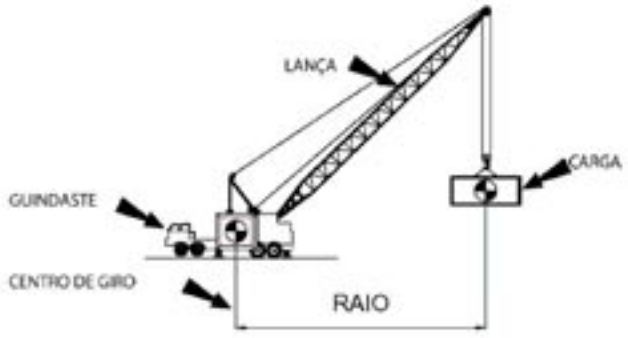


Figura 3.4 – Determinação de raio de operação e comprimento da lança

A resistência ao tombamento é propiciada pelo contrapeso, que representa o momento equilibrante. Este momento equilibrante deve superar o momento de tombamento causado pela carga. Ambos momentos são calculados em relação à distância até os apoios do

guindaste sobre o solo. O primeiro do centro de gravidade do contrapeso, e o segundo do centro de gravidade da carga.

Os guindastes geralmente são dotados de mecanismos de içamento formados por um grupo de roldanas instalado na ponta da lança e outro grupo junto ao gancho. Esta instalação, com diversas voltas do cabo de aço, promove uma redução da carga aplicada no guincho, permitindo o içamento de grandes cargas com redução da velocidade de içamento.

Um guindaste é identificado pelo seu tipo e por sua capacidade máxima. Esta capacidade é obtida quando a lança está na configuração de "pé-e-ponta", ou seja, com o raio mínimo, menor comprimento de lança e o maior ângulo desta com a horizontal.

Tipos de guindastes

Guindastes Treliçados

Os guindastes treliçados são assim denominados por possuírem lança treliçada, de seção quadrada ou triangular, composta por tubos ou cantoneiras. A lança não varia de comprimento por acionamento do operador. Ela exige pré-montagem, pois é dividida em seções: a primeira, conectada ao guindaste, é o "pé", e a última, de onde pende o cabo de aço de içamento, a "ponta". Entre o pé e a ponta, podem ser instaladas diversas seções treliçadas de comprimento fixo, intercambiáveis, unidas de forma a dotar a lança do comprimento total desejado. O comprimento é escolhido para a situação mais exigente de cada obra, e com este comprimento permanecerá do início ao fim da montagem. O levantamento e abaixamento da lança são feitos por cabos de aço acionados pelo guincho. Existem alguns tipos principais de guindaste treliçados:

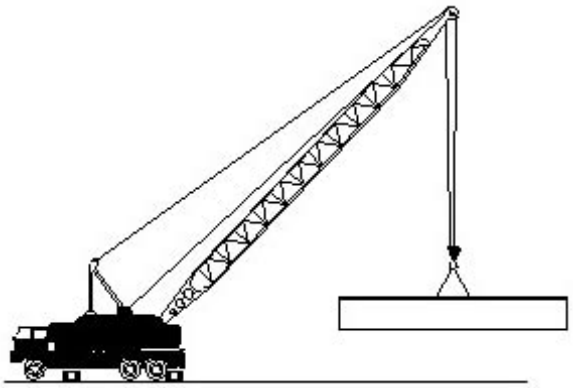


Figura 3.5 – Guindaste treliçado

• Guindastes sobre caminhão - Operam do lado oposto à cabina do caminhão, ou seja, à ré. Não é permitido o içamento de cargas sobre a região que contém a cabina do caminhão.

• Guindastes sobre esteiras – São instalados sobre um veículo de esteiras, operando com mais segurança em terrenos difíceis. São mais pesados e geralmente de maior capacidade do que aqueles sobre pneus.

• Guindastes com mastro – Estes guindastes possuem diversas configurações quanto à forma de instalação da lança e do mastro. As variantes mais comuns são: O tipo "sky horse" dotado de um mastro situado atrás da lança principal, de onde pende um grande contrapeso. Este mastro está ligado à ponta da lança por meio de cabos de aço e aciona seu levantamento e abaixamento, permitindo o içamento de cargas elevadas, sendo mais freqüente sobre esteiras; e a variante formada por dois estágios interligados e articulados entre si, permanecendo o primeiro que está com sua base no guindaste em posição próxima da vertical e o segundo funcionando em posições próximas da horizontal.

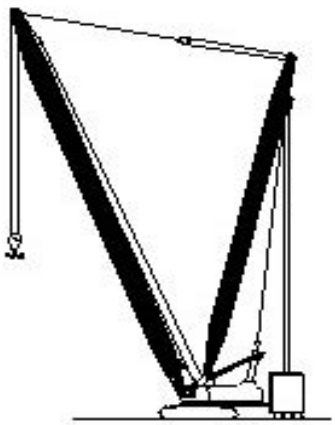


Figura 3.6 – Guindaste treliçado com lança e mastro

Guindastes Veiculares

Este caminhão possui montado sobre o chassis, junto à cabina do motorista, um braço hidráulico telescópico com capacidade de levantar cargas e carregá-las sobre sua própria carroceria. Equipamento bastante versátil e de baixo custo, capaz de executar a montagem de pequenas estruturas.

Guindastes Hidráulicos

Estes guindastes possuem esta denominação porque as mudanças de comprimento e de ângulo da lança são feitas por acionamento hidráulico. Também recebem a denominação de guindastes telescópicos, devido à sua capacidade de variar o comprimento da lança. Dispensam a montagem da lança que já vem acoplada ao equipamento. Apresentam acentuada queda de capacidade aumentando-se o comprimento da lança. Existem três tipos principais de guindastes hidráulicos:

• Guindastes Auto-Propelidos - São montados sobre um chassis exclusivo, possuindo somente uma cabina e dois eixos;

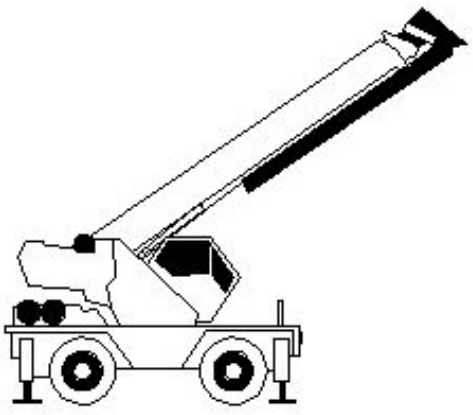


Figura 3.7 – Guindaste hidráulico auto-propelido

• Guindastes industriais – São montados sobre um chassis especial e possuem a capacidade de se deslocarem com uma carga içada.

• Guindastes sobre caminhão - São montados sobre o chassis de um caminhão, normalmente com cabinas independentes para o caminhão e para a operação. O chassi é ocupado pelo mecanismo de içamento e giro.

Operação de guindastes

Para especificação de um guindaste, é necessária uma análise de toda a estrutura, verificando se o mesmo atende as exigências em todas as situações da obra.

Cada fabricante fornece tabelas de operação e características de seus equipamentos, que serão objeto de análise para a escolha do equipamento principal de montagem. As tabelas fornecidas pelo fabricante apresentam as capacidades de carga em função de quatro variáveis: O raio de operação, o comprimento e o ângulo que a lança e a altura máxima alcançada pelo gancho de içamento. Fixando-se dois destes, os demais serão determinados. Por exemplo, fixando-se os valores do comprimento e do ângulo da lança, obtém-se o raio e a altura máxima a ser alcançada. Se forem fixados o raio e a altura máxima, serão obtidos valores para o comprimento de lança e o ângulo resultante.

As tabelas de capacidade de um guindaste são utilizadas para indicar a carga máxima sob cada combinação de raio, lança e ângulo. Freqüentemente os valores obtidos para a operação recaem entre dois números constantes da tabela. Quando isto ocorrer, deve-se utilizar o raio imediatamente superior e a capacidade inferior. Os valores constantes das tabelas de capacidade são finais, considerando-se a carga bruta total. Devem ser somados ao peso da peça os pesos da extensão da lança, do moitão, cabos de aço e demais acessórios. Com esta carga bruta, procura-se nas tabelas aquele valor igual ou maior, dentro das condições de raio, etc.

Para determinar o guindaste mais adequado para a montagem de uma estrutura, sugere-se a seguinte seqüência:

a) Calcular a carga líquida, ou seja, o peso da peça mais pesada a ser içada;

b) Calcular a carga bruta, determinando o

peso de todos os acessórios de içamento como moitão, cabos de aço, ganchos, manilhas, etc. ;

c) Escolher a melhor posição para o guindaste levando-se em conta as condições de acesso, o menor raio possível nas posições inicial e final da peça;

d) Anotar os valores do maior raio no trajeto, carga bruta e da altura de montagem considerando os acessórios;

e) Levar estes parâmetros para diversas tabelas de guindastes e escolher aquele que atende com uma folga de pelo menos 20%. O coeficiente de segurança do equipamento não deve ser levado em conta nesta margem;

f) Repetir os itens a) a d) acima para a peça mais distante, levando-se em conta as dificuldades de acesso do guindaste, a altura de montagem e o comprimento de lança resultante;

g) Levar estes novos parâmetros para a tabela do guindaste escolhido e verificar se continua atendendo com uma folga de pelo menos 20%;

h) Repetir os itens a) a d) acima, para a segunda e terceira peça mais pesada, que estejam localizadas em pontos distantes, levando-se em conta as dificuldades de acesso do guindaste, a altura de montagem e o comprimento de lança necessário;

i) Levar estes novos parâmetros para a tabela do guindaste escolhido e verificar se continua atendendo com uma folga de pelo menos 20%;

j) Caso contrário, repetir o procedimento para um guindaste de maior capacidade.

A capacidade dos guindastes é determinada pela resistência de seus elementos estruturais e pela sua resistência ao tombamento. Estas resistências são levadas em consideração na elaboração das tabelas de capacidade de cada equipamento. Entretanto, tais valores são admitidos em condições ideais de operação, sem a ocorrência de forças laterais ou impactos. Existem diversas situações que podem influir na estabilidade e, conseqüentemente, na capacidade de um guindaste. Estas situações podem ocorrer por imperícia da operação ou por forças externas, como por exemplo:

a) Solo incapaz de resistir o peso do equipamento nos pontos de aplicação das patolas e pneus. Para se promover um alívio desta pressão, colocam-se peças de madeira sob as patolas para aumento da superfície de contato com o solo;

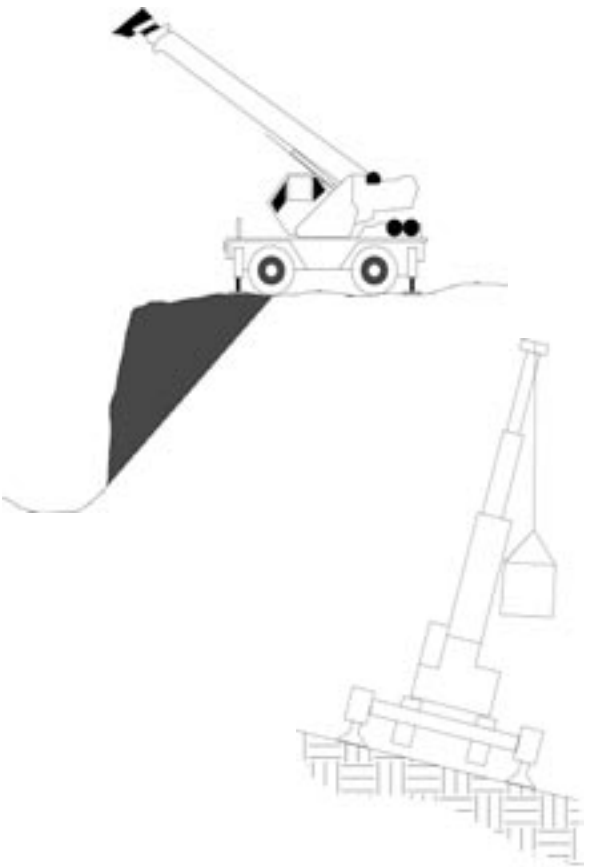
b) solo desnivelado aumentando o raio de operação e causando forças laterais;

c) ventos fortes causando forças laterais;

d) carga fora do prumo causando forças laterais;

e) Impacto ou balanço da carga;

f) Patolas mal estendidas diminuindo a largura da base.



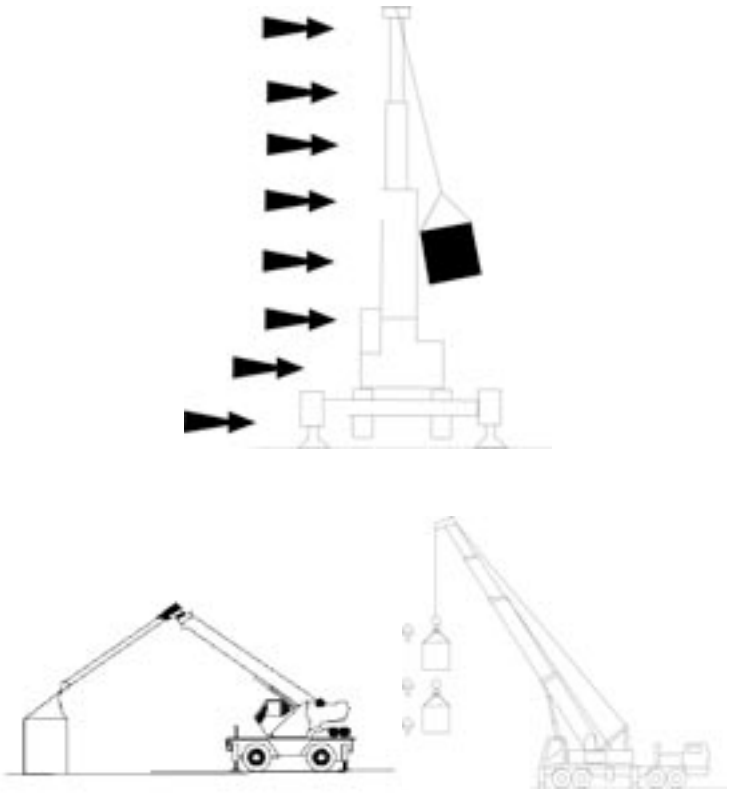


Figura 3.8 – Condições que afetam a capacidade dos guindastes móveis

3.3 Equipamentos de transporte horizontal

Na montagem das estruturas em aço as peças devem ser descarregadas e armazenadas o mais próximo possível da obra. Procura-se com isso minimizar o remanejamento de peças no canteiro e o seu transporte horizontal. Estes deslocamentos demandam operações de carga e descarga que configuram horas não produtivas de mão de obra e guindastes.

O ideal é que as peças se encontrem dentro do raio de alcance do equipamento, evitando-se o transporte horizontal. Quando isso não for possível, as peças serão armazenadas em local distante da obra, tornando inevitável o transporte horizontal. Este transporte é feito por caminhões ou reboques, como por exemplo: Caminhão de carroceria de madeira, dotada de um ou dois eixos, para transportar peças de até 7 m de comprimento; cavalo mecânico com carreta padrão de 13 m de comprimento com capacidade de 27 t. A carreta do tipo extensiva, varia seu comprimento de 13 m até 22 m; e finalmente o cavalo mecânico com dolly para o transporte de peças mais longas.

3.4 Equipamentos auxiliares

São equipamentos utilizados na execução das ligações e em outros serviços de campo. As ligações podem ser parafusadas, soldadas ou mistas, de acordo com as especificações do projeto e procedimentos executivos específicos da obra. No capítulo sobre ligações, já descrevemos os equipamentos mais utilizados destas operações. No capítulo sobre a montagem de pontes, apresentamos aqueles mais usados na montagem deste tipo de estruturas. Abaixo apresentamos os equipamentos e ferramentas manuais ainda não apresentados:

Grupos Geradores - Os geradores movidos por motores a diesel são utilizados nas obras onde não há disponibilidade de energia elétrica da concessionária, ou quando esta não é suficiente para atender ao consumo da obra. Apresentam custo maior que o fornecimento de energia da rede elétrica, e por isso somente são utilizados em casos de necessidade.

Compressores de ar - Os compressores pneumáticos são equipamentos utilizados nas obras de montagem com a finalidade de fornecer ar comprimido. Os movidos a diesel são montados sobre um reboque e não dependem de energia elétrica. Os compressores são especificados pela vazão em pés cúbicos por minuto (pcm). A disponibilidade do ar comprimido numa obra atende as seguintes ferramentas: máquinas de torque, esmerilhadeiras, escovas rotativas, agulheiros, furadeiras, etc.; fornecem ainda ar comprimido para a tocha goivagem; para corte à plasma; guinchos pneumáticos e marteletes.

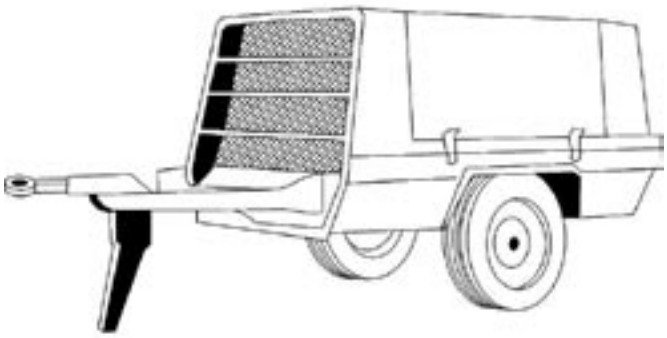


Figura 3.9 – Compressor de ar a diesel

Ferramentas de Montagem

Serão utilizadas principalmente na execução das ligações da estrutura, na fixação de elementos de vedação e outros serviços auxiliares nos canteiros de obra. Existem ferramentas manuais, pneumáticas ou ainda as movidas por motores elétricos.

Ferramentas Manuais:

a) Chaves de boca, de estria ou combinadas- utilizadas para pré-aperto de parafusos;

b) Espinas - Utilizadas para fazer coincidir por impacto os furos de duas peças a serem parafusadas;

c) Nível de precisão– utilizado para auxiliar o nivelamento de bases e vigas;

d) Prumo – Utilizado para auxiliar no aprumamento de colunas;

e) Nível e teodolito – utilizados para determinar o nivelamento, prumo, alinhamento e dimensões;

f)Talha de alavanca – Utilizada para aproximar duas peças.

g) Talha de cabo de aço ("tirfor") – Utilizada para içamentos, aproximação de peças, estaiamentos e contraventamentos provisórios.

Ferramentas Pneumáticas:

a) Esmerilhadeiras – Utilizadas para promover o acabamento de rebarbas e arestas em peças.

b) Máquinas de torque – utilizadas para promover o aperto e o torque adequado aos parafusos estruturais.

c) Agulheiros - Utilizada para remover escórias de juntas soldadas;

Ferramentas Elétricas:

a) Esmerilhadeiras – Utilizadas para promover o acabamento de rebarbas e arestas em peças;

b) Furadeiras manuais – utilizadas para furação de chapas finas (telhas, rufos, decks);

c) Parafusadeiras manuais – Empregadas na fixação de parafusos autobrocantes, auto perfurantes em elementos de vedação;

d) Furadeiras de base magnética – utilizadas para furação de peças;

e) Marteletes – utilizados para furação de concreto para introdução de chumbadores de expansão;

f) Máquinas de torque (chave de impacto) – utilizadas para promover o aperto e o torque adequado aos parafusos estruturais.

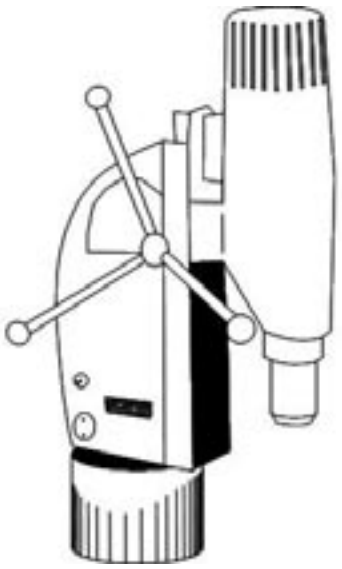


Figura 3.10 – Furadeira de base magnética

Capítulo 4

Técnicas de Içamento

4.1 Introdução

Para a realização do içamento seguro de peças durante a montagem, será necessário conhecer-se todas as cargas e esforços envolvidos. A determinação das cargas é útil não só para o dimensionamento do equipamento principal, como também para garantir que todos os elementos constituintes da operação estejam dentro de seus limites de resistência. Por vezes são utilizadas verdadeiras estruturas auxiliares para se promover uma operação segura de içamento. Como visto no capítulo 3, para que sejam dimensionados os guindastes ou as gruas, será necessária a determinação da carga a ser suspensa, assim como o cálculo do peso dos acessórios de içamento.

4.2 Cálculo da carga

Conforme procedimento apresentado no capítulo anterior, deve-se calcular as cargas líquida e bruta a serem içadas em cada operação. A carga líquida, ou seja, o peso da peça a ser içada, pode ser obtido de duas formas:

a) Consultando-se as listas de material constantes nos desenhos de detalhamento da estrutura e lá localizando o peso calculado da peça em questão, ou

b) Calculando-se o peso a partir de cada elemento constituinte da peça.

No primeiro caso, corre-se o risco de adotar no próprio plano de montagem informação obtida de terceiros. O peso constante dos desenhos é obtido para a compra de materiais ou para a quantificação da obra, para obtenção de seu peso global. Este cálculo pode apresentar erros perigosos para o sucesso da montagem, caso subestimem o peso de alguma peça importante para a determinação final do equipamento, por exemplo. Ao se adotar os pesos de desenhos, deve-se ter uma expectativa de resultado para se avaliar a ordem de grandeza dos valores obtidos.

Na segunda hipótese, o próprio responsável pelo plano de içamento se encarrega do cálculo do peso das peças. O cálculo pode ser bastante simples, nas peças básicas como vigas constituídas de um perfil de alma cheia; ou pode se tornar bastante complexo como no caso de grandes treliças. Nos dois casos o peso é obtido pela multiplicação do comprimento de cada perfil pelo seu peso por metro.

4.3 Cálculo do centro de gravidade

A determinação do centro de gravidade é de suma importância para o içamento de peças. Sabe-se que o centro de gravidade dos corpos tende a colocar-se o mais baixo possível. Calcular-se o Centro de Gravidade de uma peça significa determinar a sua posição exata. A determinação do CG da peça será útil para a realização de um içamento estável. Nas peças simétricas, o CG encontra-se no centro geométrico, no eixo de simetria. Existe uma tendência natural de alinhamento entre o gancho do guindaste e o centro de gravidade da peça içada, em uma mesma prumada vertical. Caso sejam dois cabos, o CG da peça ficará alinhado naturalmente com a resultante dos cabos, que coincide com o gancho.

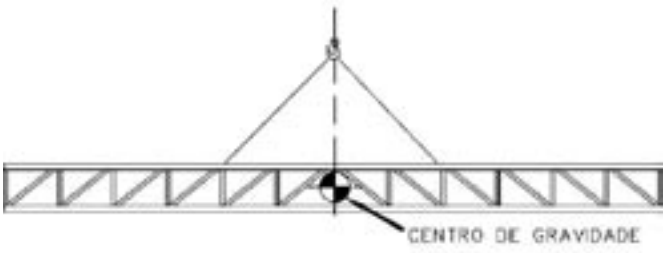


Figura 4.1 – Centro de gravidade

Antes de se levantar a peça do solo, o CG da peça deverá estar alinhado com o gancho do guindaste. Caso contrário, a peça se deslocará lateralmente assim que descolar do solo, iniciando movimento pendular até estabilizar o CG na mesma prumada do gancho do equipamento. Este movimento é perigoso pois pode provocar choques da peça contra o próprio equipamento ou mesmo contra o pessoal envolvido.

Todo içamento deve ser o mais estável possível, ou seja, antes que a peça descole do solo até a sua posição final na estrutura, devem ser evitados choques e movimentos bruscos, tanto laterais quanto verticalmente. Isto quer dizer que o sistema guindaste-peça deve ser estático o quanto possível, preservando a segurança da operação.

O modo mais fácil de se determinar à posição do centro de gravidade das peças é escolhendo a figura geométrica a qual elas mais se assemelham. Por exemplo, uma tesoura de cobertura se assemelha a um triângulo isósceles. Sabe-se que o CG do triângulo se encontra no seu eixo de simetria a um terço da altura. Caso as peças que compõem a tesoura sejam de mesma ordem de grandeza, ou seja, a corda inferior compatível com a superior, e as diagonais e montantes iguais nas duas metades, pode-se afirmar com razoável aproximação que o CG está no seu eixo de simetria a um terço da altura.

Por outro lado, a peça poderá ser composta por mais de uma figura geométrica conhecida. Neste caso, deve-se calcular o momento estático das figuras planas. Por exemplo:

A1 é a área do triângulo superior e A2 a área do retângulo inferior na figura abaixo.

$$A_1 = \frac{18x3}{2} = 27m^2$$

$$A_2 = 18x2 = 36m^2 \text{ então, } A_1 + A_2 = 63m^2$$

$$\frac{\sum A.y}{A} = \frac{(27x3)+(36x1)}{27+36} = \frac{117}{63} = 1{,}86m$$

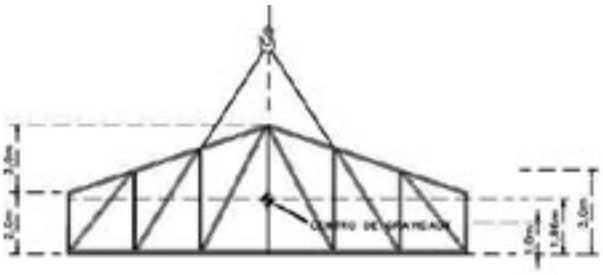


Figura 4.2 – Cálculo do Centro de gravidade

4.4 Acessórios de içamento

Para o içamento de peças são necessários diversos acessórios. A operação de montagem se apresenta como o ato de dependurar peças no gancho do equipamento por meio de elementos esbeltos dotados de grande resistência à tração como cabos de aço, correntes e cintas.

Para que a peça seja levantada do solo é necessário que se fixe firmemente o cabo de aço ou outro acessório tanto ao gancho do equipamento quanto na peça. A seguir, o guindaste irá levantar o gancho, que tracionará o cabo, e este içará a peça do solo.

Feito o cálculo do peso da peça a ser içada, deve-se determinar os acessórios necessários, e calcular seu peso. Pode-se dividir estes acessórios em três tipos:

- Acessórios de içamento (rigging)
- Acessórios do equipamento
- Estruturas auxiliares de içamento

Estes três itens, se presentes, devem ser somados ao peso da peça para a determinação da carga bruta a ser içada:

Acessórios de içamento (rigging) - Como acessórios de içamento entende-se os cabos de aço, manilhas, clipes, olhais e outros itens que promovem a interligação entre a peça e os outros aparatos de içamento.

Os acessórios apresentados a seguir se prestam principalmente a promover a união segura entre o equipamento e a peça. Esta união deve apresentar algumas características principais: a) serem capazes de resistir aos esforços de içamento com uma margem de segurança; b) serem desmontáveis; c) serem seguras quanto a choques laterais; d) permitirem certos graus de liberdade. São exemplos:

a) Laços de Cabos de aço (estropos)- utilizados para içamento de peças;

b) Cintas de material sintético - utilizadas para içamento de peças;

c) Correntes – utilizadas para içamento de peças;

d) Clipes - Utilizados para fazer um laço na extremidade de cabos de aço;

e) Sapatilhas – para proteção de laços de cabos de aço;

f)Manilhas – Utilizadas para promover a união de laços dos cabos com olhais das peças permitindo fácil desmontagem;

g) Patolas – utilizadas para o içamento de peças. São instaladas na extremidade de correntes e contam apenas com o atrito entre as superfícies da peça e o aço da patola. Não devem ser utilizadas na montagem de estruturas;

h) Esticadores – Utilizados para esticamento de cabos, em estais e travamentos;

• Patescas e catarinas – são roldanas dotadas de ganchos utilizadas para passagem de cabos de aço em mudanças de direção e suspensão de cargas;

• Olhal de suspensão – utilizados para fixação de manilhas nas peças da estrutura;

• Cordas de sisal – utilizadas para içamento de pequenas peças, travamentos provisórios e contensão de peças suspensas.

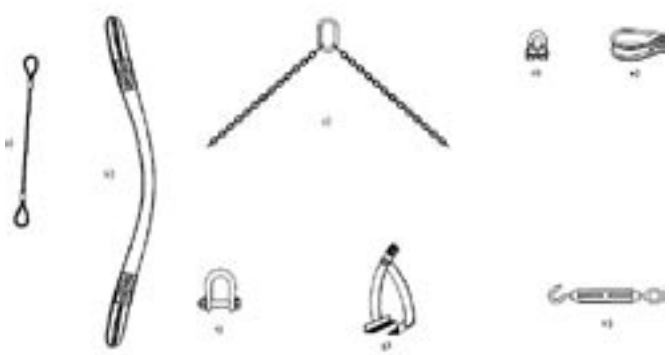


Figura 4.3 – Acessórios de montagem

Acessórios do equipamento – São os acessórios dos próprios guindastes que são necessários para o içamento, dependendo da situação e do equipamento e das especificações técnicas de cada fabricante. Os pesos destes acessórios devem ser somados à carga líquida. O acessório mais comum a ter seu peso considerado na carga bruta é o moitão. O moitão, que é o bloco de roldanas, é responsável pela redução da carga a ser aplicada ao guincho do guindaste e pelo içamento propriamente dito. O gancho de içamento é parte do moitão e está ligado a ele na parte inferior. O valor do peso do moitão não está a priori descontado nas tabelas de capacidade do equipamento, pois cada guindaste possui mais de um tipo de moitão.

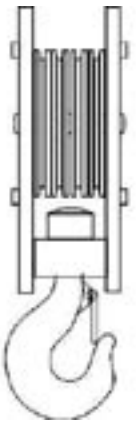


Figura 4.4 – Moitão

Outro acessório comum é o “jib”, que é uma extensão da lança principal, interligado na sua extremidade através de uma ligação articulada. O peso esférico, o cabo de aço ou outros tipos de extensão da lança podem ter seus pesos acrescidos à peça. Os fabricantes fornecerão seus pesos nos manuais dos equipamentos, esclarecendo se devem ou não terem seus pesos acrescidos à carga.

Figura 4.5 – Lança auxiliar – “jib”

Estruturas auxiliares de içamento – São estruturas auxiliares utilizadas para distribuir as cargas em pontos determinados, modificar o ângulo de pega e determinar o valor da carga em cada linha de içamento. São exemplos as vigas espaçadoras, equalizadoras, balancins, contensões laterais entre outros.

As vigas espaçadoras são normalmente utilizadas para suportar cargas longas durante o içamento. Elas eliminam o risco de tombamento da carga, seu deslizamento ou flexão, bem como a possibilidade de ocorrência de reduzidos ângulos dos cabos e também a tendência dos cabos esmagarem a carga. Em içamentos de cargas verticais que se encontram na horizontal, auxiliam também a transição de ângulos dos cabos em relação à carga. Outra vantagem é manter verticais os cabos de lingada à peça, o que elimina forças componentes de compressão na horizontal que podem ser perigosas em peças esbeltas.

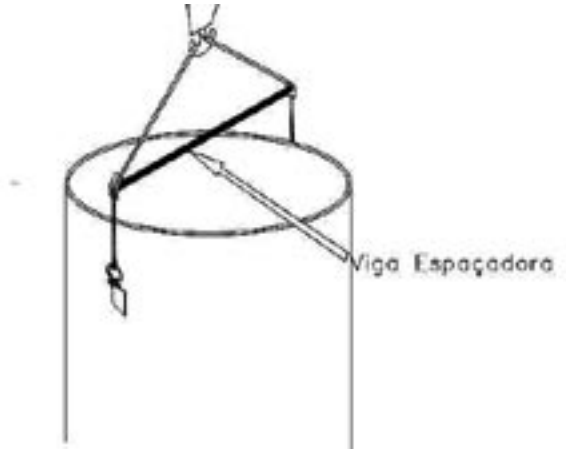


Figura 4.6 – Barra espaçadora

As vigas equalizadoras são utilizadas para igualar a carga nas duas pernas de cabo e para manter cargas iguais em operações com dois guindastes em içamentos em tandem. Caso a viga fique inclinada, as cargas nos dois guindastes não mudará. É possível que se queira içar uma carga com dois guindastes de diferentes capacidades. Neste caso, à distância da carga para as extremidades será diferente: menor para o guindaste de maior capacidade e maior para o de menor capacidade.

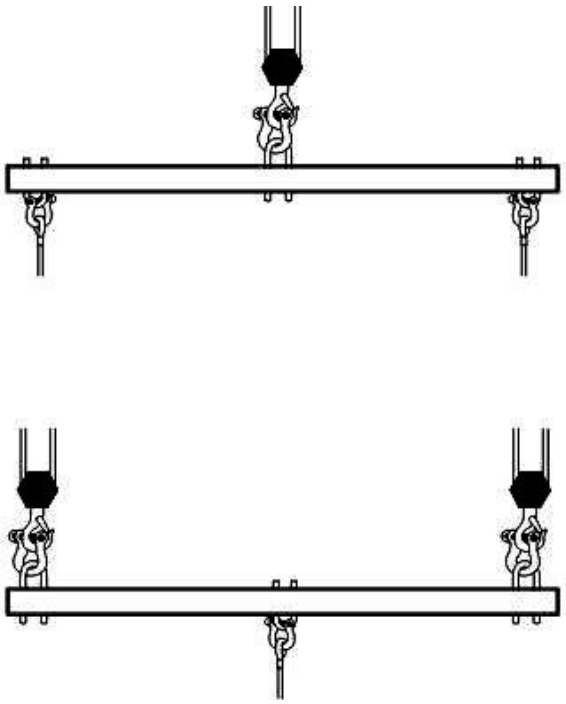


Figura 4.7 – Viga equalizadora

A principal diferença entre as vigas equalizadoras e as espaçadoras, é que nas primeiras o esforço principal é de flexo-compressão e nas segundas, predomina a compressão axial. Os balancins são um caso particular das vigas equalizadoras, no qual existem dois pontos de içamento da carga e somente um guindaste.

Ambos os tipos de vigas são fabricados para um determinado içamento. Se uma viga não foi projetada para um determinado içamento, deve-se verificar se largura, profundidade, comprimento e material são adequados.

A capacidade das vigas com múltiplos pontos de içamento depende da distância entre estes. Por exemplo, se à distância entre os pontos de pega é dobrada, a capacidade da viga será reduzida.

As contensões laterais são estruturas auxiliares utilizadas para preservar a integridade da peça durante o içamento. Isto ocorre sempre que a operação submeter à peça a esforços inaceitáveis, que causariam algum dano ou colapso.

4.5 Composição de forças

Conforme já mencionado, o sistema peça-guindaste deve estar em equilíbrio e constituir um conjunto em equilíbrio estático, ou seja, o somatório das forças exercidas deve ser nulo. Isto vale para o gancho do guindaste, que deve estar em equilíbrio, e também para a peça. Na figura abaixo, o sistema constituído pelos cabos de aço de suspensão, a peça e o gancho do equipamento deve possuir somatório de forças igual a zero. A determinação dos valores das forças de tração nos cabos é necessária para o dimensionamento dos mesmos.

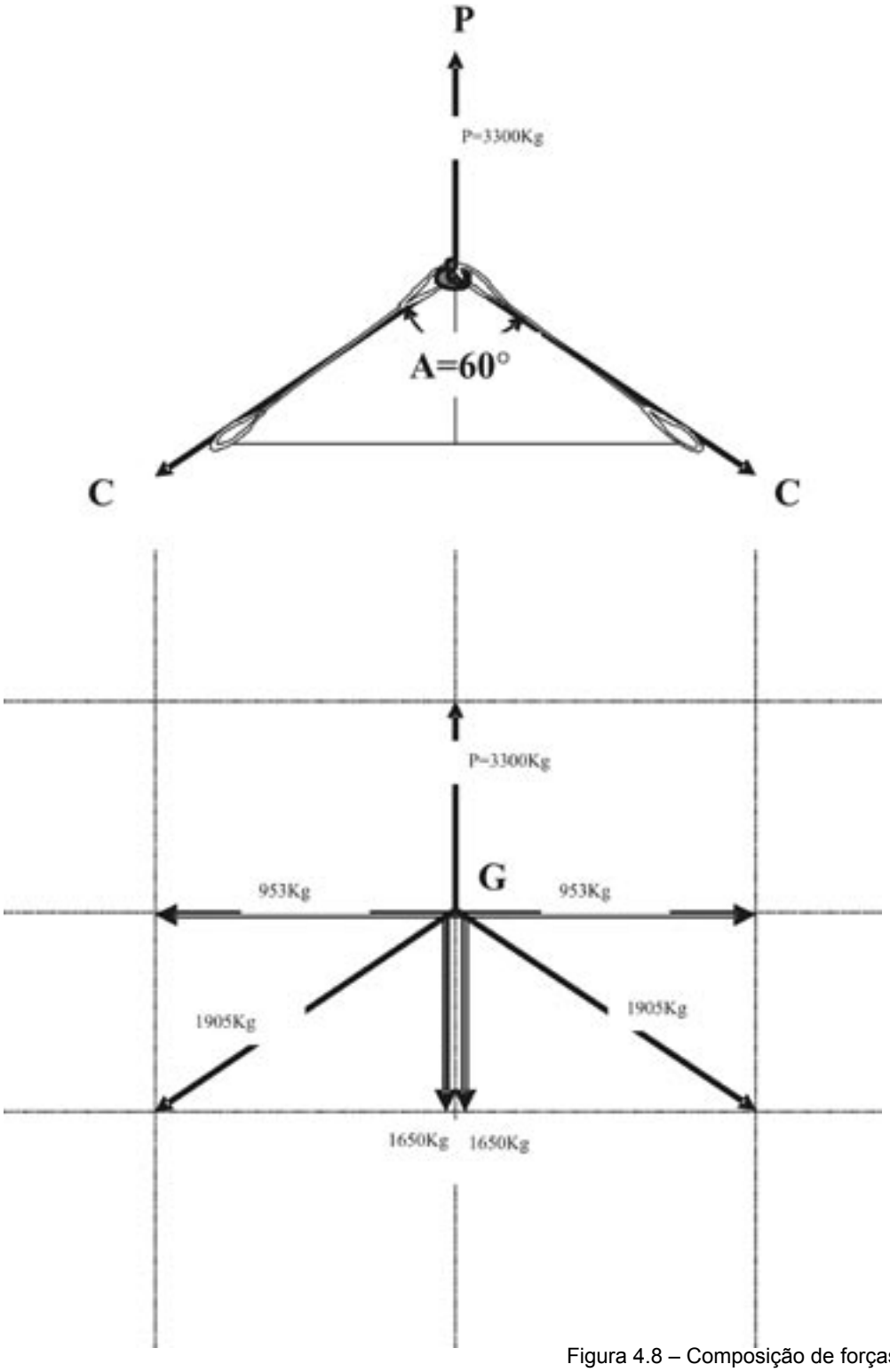


Figura 4.8 – Composição de forças

As forças de tração C nos cabos de aço são decompostas em duas componentes Rv verticais orientadas para baixo, que equilibram a força vertical P exercida pelo gancho do guindaste em sentido oposto.

$$C.\cos 30° = R_v$$

$$R_v = \frac{3300}{2} = 1650Kg$$

$$C = \frac{1650}{\cos 30°} = 1905Kg$$

Com este valor de C, procura-se, nas tabelas de dimensionamento dos fabricantes na coluna de simples vertical, o diâmetro adequado para resistir à carga. Também a manilha e o olhal serão dimensionados com este valor.

No caso, consultando as tabelas do anexo final, resultará:

- Diâmetro dos cabos de aço: ½";
- Diâmetro de cada manilha: ¾";
- Diâmetro dos olhais de suspensão: 1 1/4" .

Observação: logicamente os acessórios devem ser dimensionados para o pior caso de cada obra, exceção feita para as peças que exigirem um içamento diferente, que serão objeto de estudo particular.

As forças de tração C nos cabos de aço são decompostas também em duas componentes horizontais Rh orientadas em sentidos opostos, que se equilibram entre si. Estas componentes resultam em uma força de compressão de igual valor aplicada à peça entre os pontos de lingada. Tal força de compressão deverá ser levada em consideração na verificação da estabilidade da peça durante o içamento.

$$C.sen30° = R_h$$

$$R_h = 1905.sen30°$$

$$R_h = 953Kg$$

$$\sum F_y = 0 \therefore 2x1650 = 3300Kg - 3300Kg = 0$$

$$\sum F_x = 0 \therefore 953Kg - 953Kg = 0$$

Quanto maior o ângulo A da figura, maior será o esforço exercido nos cabos de aço. Portanto, o ângulo ótimo será este, no qual os cabos formam um ângulo de 60º entre si, descrevendo um triângulo eqüilátero com a peça. Ângulos menores levam a esforços menores, e ângulos maiores, a valores maiores dos esforços nos cabos de aço.

Atentar nas tabelas de dimensionamento de cabos dos fabricantes se os ângulos entre cabos estão indicados em relação ao plano horizontal, entre os cabos ou ainda entre cada cabo e a vertical. Conforme a posição do ângulo, as considerações são totalmente diversas.

Existem outras formas de lingadas, ou seja, de interligação de cabos ou cintas com o objetivo de realizar o içamento de peças. Uma das mais comuns é a lingada enforcada ou "chocker":

Figura 4.9 – lingada enforcada

Esta lingada pode ser feita com um ou dois cabos, com a característica de se evitar a instalação de olhais e manilhas para a fixação na peça. Por isso, é rapidamente executada no canteiro e será indicada para peças menores, com peso máximo indicativo de 6t. O ideal para preservar a durabilidade dos cabos enforcados é se utilizarem quebra-quinas nas arestas vivas da peça, de forma a minimizar as tensões localizadas. O pessoal de campo deve ser orientado a não golpear o laço de forma a aproximar o mesmo da peça. Este procedi-

mento também ocasiona tensões localizadas no cabo, pelo aumento do ângulo central. A carga admissível no cabo enforcado se reduz a aproximadamente 70% da simples vertical com cabo singelo.

No exemplo acima, se fossem utilizadas duas lingadas enforcadas, as manilhas e os olhais seriam dispensados e os cabos passariam a um diâmetro de 5/8".

4.6 Roldanas e redução de cargas

A vantagem mecânica de uma máquina é o fator pelo qual a máquina multiplica a força aplicada nela com o objetivo de içar ou mover uma carga. No caso em estudo, a máquina será uma polia ou combinação de várias polias. Existem dois tipos de polias: as fixas e as móveis. Como exemplo de polias fixas temos o grupo localizado na ponta da lança dos guindastes. O moitão ou cardenal representa um exemplo de bloco de polias móveis. As polias fixas não possuem outra função senão de mudança da direção dos cabos. As polias do bloco móvel criam uma vantagem mecânica de 2:1 em cada uma, sem se levarem em consideração as perdas por atrito, que reduzem a vantagem mecânica.

Esta característica promove grande redução na potência dos guinchos dos equipamentos, ou por outro lado, possibilitam o içamento de grandes cargas com diâmetros de cabos de aço relativamente reduzidos.

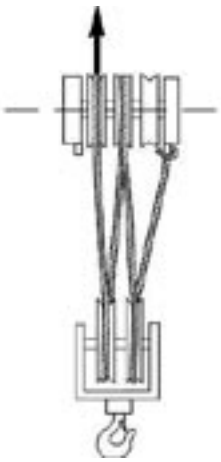


Figura 4.10 – Moitão com redução de carga

Além da redução da carga, na utilização de blocos de polias ocorre uma redução da velocidade de içamento proporcional a vantagem mecânica. Esta característica será sempre positiva, pois quanto mais pesada for a carga, maior o número de polias e menor a velocidade de deslocamento, evitando-se as cargas dinâmicas. Caso a peça a ser içada seja relativamente leve, o número de polias poderá ser reduzido, agilizando-se as operações de içamento. Existem guindastes que operam tanto com o moitão quanto com o cabo singelo com peso esférico. Cabe ao engenheiro determinar qual será o bloco de moitão a ser utilizado em cada obra, quais peças deverão ser içadas por este moitão e quais serão içadas pelo cabo singelo.

Também as gruas de torre utilizam jogos de roldanas para o içamento das cargas. As configurações mais comuns são as que utilizam duas ou quatro linhas de içamento, com blocos móveis de duas polias.

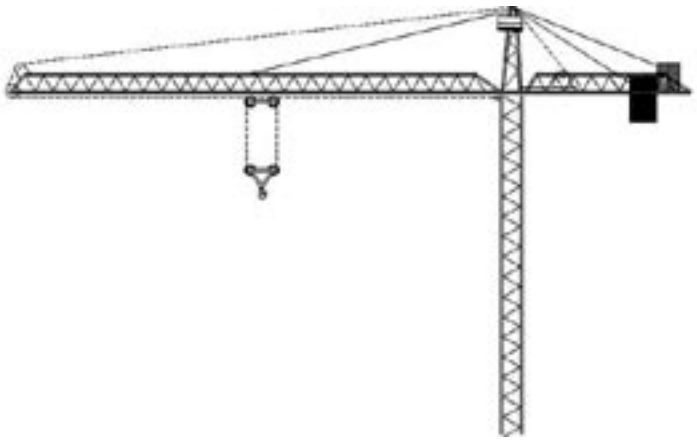


Figura 4.11 – Grua de torre

A vantagem mecânica também é aplicada nos mecanismos de levantamento das lanças dos guindastes treliçados, a partir do cavalete.

Quando se deseja mover uma carga horizontalmente sobre o solo, também será vantajosa a utilização de jogos de roldanas para redução da carga e da velocidade, como no lançamento de pontes onde a força de tração for proporcionada por guincho.

Freqüentemente o guincho será posicionado à ré da ponte, e o cabo ao sair do guincho passará sob a ponte e alcançará uma polia fixa na margem oposta, daí voltando para uma polia móvel presa à ponte, e desta retornando para a margem oposta onde será firmemente ancorada. Caso o guincho esteja na margem oposta, as polias fixa e móvel continuam como no caso anterior, mudando-se além o guincho a margem de ancoragem do cabo.

4.7 Considerações sobre içamento de peças

Toda peça deve estabilizar, ao ser suspensa, na posição que ocupará na estrutura. Por isso, o içamento e o deslocamento das peças suspensas sempre serão feitos de forma a garantir a estabilidade do conjunto. A partir do momento que uma peça está suspensa por um guindaste, ambos formam um sistema estrutural submetido a cargas estáticas e dinâmicas. As cargas estáticas são de fácil determinação e são utilizadas na especificação dos elementos do sistema. As cargas dinâmicas são levadas em consideração com a aplicação de margens de segurança. Mas não por isso se deve abandonar a condição ideal de operação, na qual se evita de todas as formas a ocorrência de impactos e forças laterais.

No caso de edifícios de múltiplos andares, as colunas devem estabilizar na vertical e as vigas na horizontal. Normalmente as peças das estruturas possuem uma dimensão preponderante. Por exemplo, no caso de uma coluna de edifício, teremos um perfil de grande comprimento com largura e profundidade de pequenas dimensões. No armazenamento das peças sobre o solo, esta dimensão preponderante estará na horizontal, que é a sua posição mais estável, frente à força da gravidade. No caso particular das colunas, esta posição horizontal é diversa daquela que a peça ocupará na estrutura, que é a vertical. Do ponto de vista da segurança, o içamento de colunas é mais arriscado que o de vigas, pois as colunas devem sofrer uma rotação de 90º, da posição de repouso (horizontal) para a posição final na estrutura (vertical). O içamento das vigas será feito sem a necessidade de rotação, pois serão deslocadas no espaço (translação) sem mudarem seu eixo longitudinal de posição em relação ao horizonte.

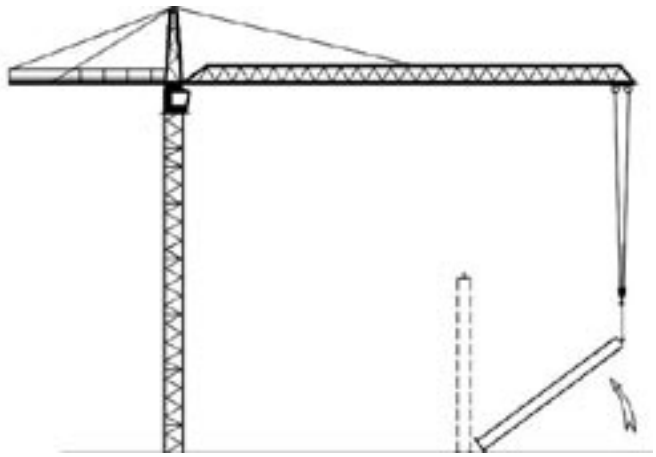


Figura 4.12 – Verticalização de coluna

Os ganchos dos equipamentos permitem giros de 360° em torno de um eixo vertical que passa por eles. Peças içadas na vertical não apresentam problema de girarem segundo o eixo vertical. No caso de peças horizontais, este grau de liberdade possui uma limitação: a peça ao girar poderá se chocar com algum obstáculo, como por exemplo outras peças já montadas, com o próprio equipamento ou mesmo com edificações vizinhas. O ideal é se realizar o içamento de peças horizontais (vigas) com a mesma face voltada para o equipamento, desde a posição de repouso sobre o solo até a posição final na estrutura. Isto poderá exigir um estudo prévio sobre a posição em que a peça deva ser descarregada sobre o solo, ou mesmo a posição relativa do equipamento e da estrutura. Em princípio, qualquer manuseio da peça é oneroso e deve ser reduzido ao mínimo, ou seja: sua descarga do meio de transporte para o solo e depois seu içamento do solo para sua posição final na estrutura. Algumas vezes outros transbordos serão inevitáveis; outras, serão quase impossíveis.

Em algumas ocasiões pode ser necessário ou até mesmo desejável que a peça seja içada inclinada, como por exemplo:

Figura 4.13 – Montagem de estrutura inclinada

Neste caso os cabos terão comprimentos diferentes para possibilitar a inclinação. Outro detalhe característico deste tipo de içamento é a sobrecarga de um cabo até que o outro seja tracionado. Assim:

Figura 4.14 – Cabos de comprimentos diferentes

As peças de duas dimensões preponderantes devem ser içadas por um ou dois cabos. Por ex.:

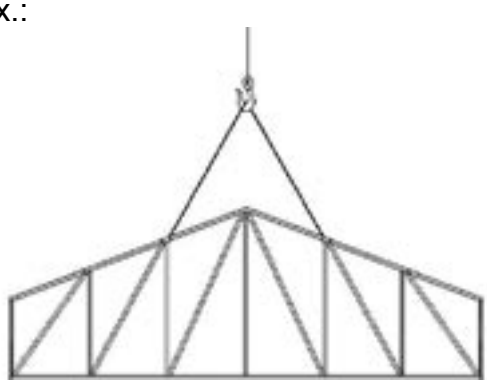


Figura 4.15 – Içamento com dois cabos em peça plana

As peças tridimensionais devem ser içadas com 3 ou 4 cabos. Deve-se calcular o içamento, entretanto, como se estivesse sendo realizado com apenas dois cabos, pois pequenas diferenças de comprimento e conexão podem aliviar até dois cabos. Ex.:

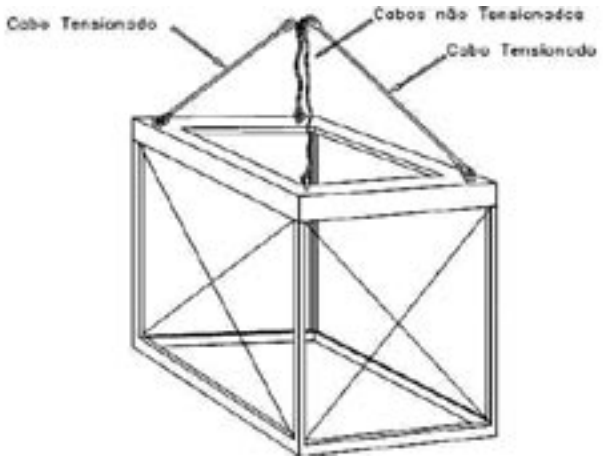


Figura 4.16 – Içamento com quatro cabos, dois tensionados

EXEMPLOS:

a) Seja uma viga V1 – VE350X35 – 6.560mm de comprimento, sem nenhum detalhe de ligação.

Vem:
Peso total = 6,56m X 35,00 kg/m = 229,6 kg ≅ 230 kg

b) Admita uma viga V2 – W530X92 – 10.323mm de comprimento, com duas cantoneiras de ligação L76X76X8 com 400mm de comprimento em cada extremidade.

Vem:
Peso do perfil principal = 10,323m X 92,00 kg/m = 949,7 kg e mais:
Peso das cantoneiras = 2 X 2 X 0,40m X 9,07 kg/m = 14,5 kg.
Peso total = 949,7 + 14,5 = 964,2 kg ≅ 965 kg

c) Seja por exemplo uma coluna C1 – W360X110, cujas partes constam da tabela abaixo:

Marca	Material	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Quantidade (UN)	Área (m²)	Peso unitário (Kg)	Peso Total (Kg)
1a	W360X110 – Perfil principal	10.238	-	01	-	110,00	1.126,18
1b	Chapa 22,2mm	400	500	01	0,200	175,84	35,17
1c	Chapa 6,3mm	100	145	02	0,029	49,39	1,43
1d	Chapa 12,5mm	122	320	03	0,117	98,00	11,47
1e	Chapa 12,5mm	122	320	05	0,195	98,00	19,11
1f	Chapa 8,0mm	122	320	02	0,078	62,72	4,89
1h	Chapa 8,0mm	122	320	02	0,078	62,72	4,89
1k	Chapa 8,0mm	100	295	03	0,089	62,72	5,55
1m	Chapa 6,3mm	100	220	06	0,132	49,39	6,52
TOTAL							**1.215,25**

d) Considerar a Viga V2 do exemplo anterior: peso da peça = 965 Kg

Primeiramente pré-dimensiona-se os cabos de aço: na tabela XXX para o par de estropos a 60º, temos a capacidade de 2060kg para o diâmetro de ½ “.

• Cabos de aço - Peso aproximado: 0,7kg/m x 4m x 2 ≅6kg.

• Manilhas de união – Diâmetro 3/4” . Capacidade = 2.450kg Peso: 2 x 1,0kg = 2kg.

• Olhais de suspensão fabricados em chapa – usar chapa de 19mm de espessura – área = 0,2m x 0,2m x 2 x 149kg/m² ≅12kg.

• Moitão do guindaste ≅ 190kg (conforme modelo).

Carga total = 965+6+2+12+190= 1175kg. Indo novamente com este valor à tabela correspondente do anexo final, confirmam-se os cabos de ½” de diâmetro.

No exemplo acima se optou pela utilização de olhais se suspensão feitos em chapa de aço soldados a mesa superior da viga. Isto nem sempre é necessário, além de ser pouco prático quando se levar em conta a grande quantidade de vigas em uma obra de edifício, por exemplo.

Capítulo 5

Ligações soldadas e parafusadas

5.1 Generalidades

Fazendo-se um comparativo entre as ligações parafusadas e as ligações soldadas pode-se incorrer em uma falsa polêmica: Qual é o melhor processo de ligação? A resposta é que não existe uma vantagem ou desvantagem definitiva em favor de um ou de outro processo, seja do ponto de vista dos projetistas, fabricantes ou montadores. Para se decidir por um processo de ligação de uma estrutura, devem ser analisadas todas as fases, o tipo de estrutura, passando pelos equipamentos disponíveis para a fabricação e terminando por considerar as condições de montagem.

É comum a afirmação de que as estruturas soldadas são fáceis de fabricar e difíceis de montar. Isto se baseia nas alegadas facilidades de fabricar peças que serão soldadas pois a preparação para a execução da junta não passará da execução de um entalhe na extremidade da peça. A pretendida dificuldade de montar se deve a dois fatores: primeiro, pela falta de um elemento de fixação e posicionamento da peça proporcionados pelos parafusos nas ligações parafusadas; segundo, pelas necessidades inerentes a soldagem, ou seja: disponibilidade de energia elétrica, soldadores qualificados, armazenagem de eletrodos, fatores climáticos, tempo de execução e controle de qualidade.

Por outro lado, afirma-se que estruturas parafusadas são difíceis de fabricar e fáceis de montar. Quanto à fabricação, a dificuldade alegada se baseia na necessidade de execução da furação em ambas as peças e eventualmente em algum calço. Na montagem, a facilidade se basearia na rapidez de execução, tanto na fixação provisória e posicionamento, quando na introdução e aperto dos parafusos.

Contra estas e outras alegações, poderiam ser apresentados alguns contra-argumentos:

a) Facilidades na execução de entalhes – Quase sempre estes entalhes serão executados por processos semi-automáticas ou essencialmente manuais, demandando massiva aplicação de mão-de-obra.

b) Dificuldades na execução das furações – Com a disponibilidade de máquinas operatrizes informatizadas que executam furações puncionadas com extrema rapidez, é possível executar furações com grande facilidade. Mesmo os processos manuais de furação broqueada não são inviáveis, dependendo do vulto da obra.

c) Dificuldades na soldagem de campo – A disponibilidade de energia pode ser obtida com geradores. A maior parte das ligações não exige qualificação dos soldadores em todas as posições. Existem eletrodos que não exigem estufas para armazenagem ou ressecagem. O posicionamento das peças pode ser proporcionado por berços de apoio agregados a peça principal na fabricação ou na montagem. A fixação provisória da peça (para que se possa liberá-la do guindaste), será resolvida com a presença de um soldador em cada ponto de apoio. Neste caso será executado um filete de solda com a resistência necessária para suportar os esforços do peso próprio e do vento, até que se proceda a soldagem completa da ligação. Após isso o guindaste estará liberado para buscar a próxima peça. O tempo de execução deste filete será semelhante ao da execução completa de ligação equivalente parafusada.

Não há portanto, a priori, um processo de ligação melhor do que outro. Existem características peculiares a cada fábrica, a cada canteiro de obras e principalmente de cada estrutura que induzirão a uma solução soldada ou parafusada.

5.2 Ligações soldadas

5.2.1 Introdução

Um método de ligação das estruturas é a execução de emendas estruturais por soldagem. O método consiste em transformar a energia elétrica em calor, por meio de um arco de grande resistência no local a ser trabalhado. O calor gerado funde simultaneamente o eletrodo e a peça a ser soldada. O metal utilizado no eletrodo deve ser compatível com as características do metal-base da peça, de acordo com a tabela abaixo:

Processo de Soldagem	Consumíveis (Classe AWS)	ASTM A36 ASTM A572-50-1 USI-CIVIL-350	USI-SAC-300 USI-SAC-350
Eletrodos Revestidos	Eletrodo	E7018 E6013	E7018-G E7018-W1 E8018-C3
MIG/MAG	Arame	ER70S-3 ER70S-6	ER80S-G ER80S-Ni1
	Gás	CO_2 ou misturas	Ar + 1-5% O_2
Arame Tubular	Arame	E70T-1, E71T-1, E70T-4	E71T8-Ni, E81T1-W2, E81T1-Ni1
	Gás	CO_2	CO_2
Arco Submerso	Combinação Arame/Fluxo	F7AZ – EL12 F7AZ – EM12K F7A4 – EM12K	F7AZ – EB1-B1 F7AZ – EW-W F8A6-ECW-W F8AZ-EL12-G F8AZ-EM12K-G

Fonte: Usiminas

Como fonte de energia, a solda utiliza a energia elétrica comercialmente fornecida por concessionárias ou geradores (quando não estiver disponível a energia de concessionárias), podendo estes serem movidos à gasolina ou a óleo diesel. A energia elétrica fornecida pelas concessionárias é a corrente alternada, onde a direção do fluxo elétrico se reverte 60 vezes por segundo.

A corrente alternada é utilizada em máquinas de solda conhecidas como transformadores, retificadores ou inversoras. A corrente é fornecida para soldagem por terminais localizados na parte externa da máquina de solda: o terminal positivo e o negativo. Estas designações indicam que a direção do fluxo elétrico é para fora no terminal positivo e para dentro da máquina no pólo negativo. A direção do fluxo elétrico durante a soldagem poderá ser modificada pela troca dos terminais.

Para a soldagem se realizar, um dos pólos da máquina estará interligado a um cabo elétrico flexível fortemente isolado em cuja extremidade está instalada uma tenaz, (no caso dos eletrodos revestidos) na qual será preso o eletrodo de solda. Ao outro pólo estará conectado outro cabo, chamado de cabo-terra, que possui o grampo de aterramento na outra extremidade a ser ligada ao corpo da estrutura. O circuito seria fechado caso se tocasse a peça com a ponta do eletrodo, mas antes disso será gerado um arco elétrico na forma de um fluxo luminoso entre a ponta do eletrodo e a peça no local em que estiverem próximo o suficiente para a ocorrência do fenômeno.

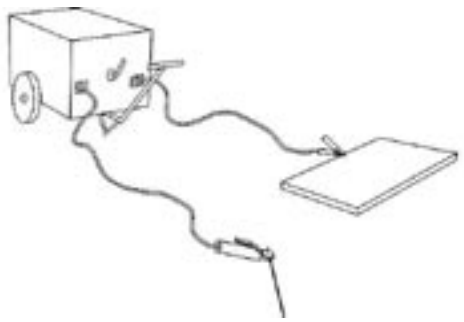


Figura 5.1 – Montagem de máquina de solda

Quando o cabo do eletrodo é conectado ao terminal negativo, a maior parte do calor é desenvolvida no metal de base e não tanto no eletrodo, sendo esta chamada de polaridade direta. Quando o eletrodo é conectado ao pólo positivo, em polaridade reversa, a produção de calor também é revertida. Esta reversão de calor não pode ser obtida na corrente alternada, pois cada pólo está sendo alternadamente positivo e negativo em rápida sucessão. De qualquer forma, o retificador pode modificar a corrente alternada para corrente contínua, possibilitando a reversão.

5.2.2 Processos de soldagem

Existem diversos processos de soldagem, cada qual com suas características próprias:

a) Eletrodo Revestido (SMAW – MMA) – É o processo mais utilizado para a execução das ligações durante a montagem. Também chamada de solda manual, depende principalmente da habilidade do operador, pois a abertura do arco elétrico, o movimento do eletrodo, o controle da fusão e a remoção de escórias são totalmente manuais. O eletrodo é formado por duas partes:

• O arame interno que será fundido e transferido para a peça;

• O revestimento que entrará em combustão criando uma proteção gasosa ao redor da poça de soldagem, protegendo a solda contra o oxigênio e o nitrogênio da atmosfera, que são prejudiciais.

Os eletrodos fornecem metal de deposição para preencher os espaços existentes nos entalhes entre as peças ou nas soldas de filete. Eles são fornecidos em composições de acordo com o aço a ser soldado, e são divididos em geral em grupos, que possuem diferentes características. As composições do metal do arame (alma) e do revestimento fornecem o tipo de eletrodo, de acordo com as especificações AWS A5.1 e A5.5.

Quando se indica o diâmetro de um eletrodo, sempre se está referindo ao diâmetro do arame interno. Os diâmetros comerciais mais comuns são: 2,5mm; 3,25mm; 4mm; 5mm e 6mm. São vendidos em latas metálicas estanques que garantem a proteção mecânica e contra a umidade do ar. Alguns eletrodos são fornecidos em embalagens de papelão, não sendo recomendados para juntas de responsabilidade, ainda que isto seja possível se forem tomados os cuidados necessários na ressecagem. Os eletrodos são vendidos por peso, sendo que o peso de cada embalagem varia com o diâmetro e também com o fabricante.

Os tipos de revestimentos mais comuns são apresentados a seguir:

• Revestimento Celulósico: O revestimento de pequena espessura possui alto teor de celulose. A quantidade de escória produzida é pequena formando uma fina camada. Possui grande penetração, quando comparado a outros tipos de revestimento, em todas as posições. Estes eletrodos são particularmente recomendados para soldagens fora da posição plana, tendo grande aplicação na soldagem circunferencial de tubulações. Na execução de passes de raiz, requer menos material de adição devido à boa penetração.
Exemplos: E6010, E6011, E7010 e E8010.

• Revestimento Rutílico: Estes eletrodos produzem cordões de excelente acabamento. Seu revestimento contém grandes quantidades de rutilo (TiO_2 - óxido de Titânio), e produz uma escória abundante e de fácil remoção. Caracterizam-se por serem de fácil manipulação, e por poderem ser utilizados em qualquer posição. Bons resultados mesmo em condições adversas como ferrugem, operadores inexperientes e chapas finas. São consi-

derados de grande versatilidade e de uso geral.
Exemplos: E7014, E7024 e E6013.

• Revestimento Básico: Estes eletrodos são mais utilizados em aços de alta resistência mecânica, devido à característica fornecida pelo baixo teor de hidrogênio no arame. Seu revestimento contém pó de ferro, proporcionando uma produtividade superior aos outros eletrodos. São indicados para aplicações de alta responsabilidade, para soldagens de grandes espessuras e para estruturas de elevado grau de rigidez. Este é o revestimento mais higroscópico de todos, o que requer o armazenamento em estufas logo após a abertura das embalagens.
Exemplos: E7018, E7018-G, E8018 e E9018.

Manutenção e Cuidados com os Eletrodos

Caso não sejam tomados os adequados cuidados no armazenamento e manuseio, os eletrodos revestidos podem se danificar. Parte ou todo o revestimento pode se quebrar, principalmente nos casos de dobra ou choque do eletrodo. Sempre que se observar qualquer alteração no estado do eletrodo, este não deve ser utilizado em operações de responsabilidade.

A umidade em excesso no revestimento dos eletrodos (principalmente os básicos), é de uma forma geral, prejudicial à soldagem. Ela pode levar a instabilidade do arco, formação de respingos e porosidades principalmente no início do cordão e também provocar a fragilização e fissuração pelo Hidrogênio.

Para se conservar os eletrodos revestidos sem a presença de umidade, existem dois tipos de providências que deverão ser tomadas:

• Ressecagem – Eliminação da umidade existente nos eletrodos, pela armazenagem em estufas apropriadas a temperaturas que podem chegar a 350°C, com uma permanência de até 2 horas;

• Manutenção – Para a manutenção dos níveis de secagem adequados os eletrodos básicos e rutílicos, por exemplo, devem ser armazenados em estufas antes de serem distribuídos aos soldadores. Estes, por sua vez, logo que recebam os eletrodos, os manterão em estufas portáteis (cochichos) até sua utilização final.

A ressecagem deve ser adotada obrigatoriamente para os eletrodos básicos, é desejável nos rutílicos e proibida nos celulósicos.

Tipo de Eletrodo	Ressecagem		Manutenção	Locais de Aplicação
	Temperatura Efetiva no Pacote de Eletrodos (ºC)	Tempo Real na Temperatura Efetiva (h)	Temperatura (ºC)	Temperatura (ºC)
Básicos	325±25	1,5 ± 0,5	125±25	115±35
Altíssimo Rendimento	275±25	1,5 ± 0,5	110±10	100±20
Rutílicos	80±10	1,5 ± 0,5	60±10	60±10

Tabela 5.2 - Tempo e temperaturas de Ressecagem e Manutenção - Esab

b) Arame Tubular (FCAW)

A solda por arame tubular utiliza um arco entre um eletrodo de arame contínuo preenchido internamente por fluxo e a poça de fusão. O eletrodo é sempre tubular, de acordo com as especificações da AWS A5.20 e A5.29. No núcleo do arame existe uma combinação de materiais que podem incluir pó metálico e outros minerais que forneçam gases de proteção, desoxidantes e materiais formadores de escória. O processo do arame tubular pode ser automático ou semi-automático.

A proteção do arco pode ser proporcionada apenas pelo fluxo interno (Innershield) ou deste em combinação com um gás de proteção (Outershield). Os gases ricos em CO_2 são os mais comuns, embora outras misturas de gás possam ser utilizadas, por exemplo, argônio/CO_2. As funções principais do gás de proteção são proteger a poça de fusão, o arame tubular e o arco elétrico contra a ação dos gases atmosféricos, principalmente o oxigênio, cuja presença na solda geraria descontinuidades, prejudicando a integridade e as propriedades mecânicas da junta.

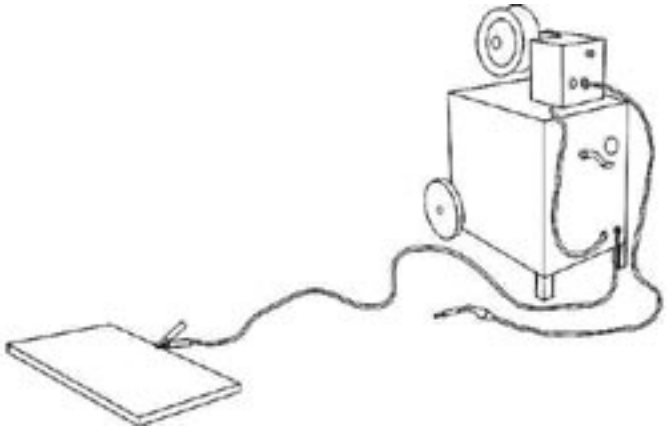


Figura 5.2 – Máquina de solda para arame tubular

Arames tubulares autoprotegidos podem ser empregados sob ventos moderados com perturbações mínimas na atmosfera protetora em torno do arco, o que possibilita sua utilização durante a montagem de estruturas a céu aberto.

A solda por arco elétrico por arame tubular oferece duas vantagens distintas sobre a solda com eletrodo revestido:

- O eletrodo é contínuo, o que elimina as paradas e reinícios inevitáveis para a troca dos eletrodos. Isto não só representa uma vantagem operacional, como contribui para reduzir as descontinuidades da solda.

- Outra vantagem importante é que acréscimos na amperagem nas soldas com arame tubular, correspondem a um aumento na taxa de deposição e produtividade.

c) Arco submerso (SAW)

A soldagem pelo processo do arco submerso difere de outros pela utilização de um fluxo granular para a proteção do arame de solda na poça de fusão. O arco é obtido entre a peça e um eletrodo de arame nu, cuja ponta é submersa no fluxo. Os eletrodos são fabricados de acordo com as especificações da AWS A5.17 e A5.23. A solda é completamente coberta pelo fluxo, não sendo visíveis o clarão, o splash e as faíscas que caracterizam os processos de arco aberto. A natureza do fluxo é tal que muito pouca fumaça ou fumos visíveis são lançados para o ambiente.

Tipicamente, o processo é completamente mecanizado, embora operação semi-automática seja freqüentemente utilizada. O arame é mecanicamente alimentado para a tocha ou cabeçote de solda. É um processo de soldagem típico de fábrica, utilizado principalmente na confecção de perfis soldados, mas é também utilizado com vantagens na montagem de tanques de armazenamento e em outras estruturas que possuam grandes extensões de solda nas posições plana e horizontal.

d) Processo de arame com proteção gasosa (MIG/MAG - GMAW)

Este processo utiliza equipamentos bastante similares aos utilizados no arame tubular.

Realmente, os dois processos são bem semelhantes. As maiores diferenças são: o processo MIG/MAG utiliza um arame sólido cobreado (ou não) e não deixa uma quantidade apreciável de escória. Outra diferença é o preço relativamente inferior ao do arame tubular, ainda que seja obrigatória a utilização de gás de proteção. Os arames são fabricados de acordo com as especificações da AWS A5.18 e AWS A5.28.

Uma variedade de gases ou misturas de gases podem ser usados para os processos de soldagem de arame com proteção gasosa. O gás carbônico (CO_2) é o mais barato, mas ainda que seja aceitável para soldagem de aço carbono, ele não é inteiramente inerte, sendo ativo em temperaturas elevadas. Isto deu origem à denominação em inglês, cuja sigla é MAG (gás metal-ativo). Quando misturas predominantemente baseadas em argônio são utilizadas, a sigla é MIG (gás metal-inerte).

Existem arames tubulares desenvolvidos com o interior metálico, não constituído de ingredientes geradores de escória. O resultado é uma solda virtualmente livre de escória, de maneira similar as outras formas de MIG/MAG. Permitem o uso de amperagens elevadas que não podem ser utilizadas com arames sólidos, resultando em taxas de deposição potencialmente mais altas.

Estes processos são utilizados predominantemente na fabricação das estruturas, com ótimos resultados, principalmente quanto à produtividade em comparação com os eletrodos revestidos. Entretanto, a obrigatoriedade da proteção gasosa dificulta a soldagem em presença de ventos fortes, o que torna sua utilização na montagem das estruturas menos prática que o processo manual de eletrodo revestido.

Figura 5.3 – Máquina de solda para processo MIG

Armazenamento de arames tubulares

Os arames tubulares, a exemplo de outros consumíveis de solda devem ser protegidos contra a exposição atmosférica a fim de manter os níveis de hidrogênio tão baixos quanto possível, prevenir a ferrugem e evitar a porosidade durante a soldagem.

Para melhores resultados, os arames de solda devem ser consumidos o mais rápido possível após a abertura das embalagens. Uma vez que a embalagem seja aberta, o arame estará sujeito a contaminação por umidade atmosférica. A condensação da umidade sobre a superfície do arame já pode ser suficiente para degradar o produto, mesmo que o fluxo interno não seja atingido.

5.2.3 Máquinas de solda

Conforme abordado no item 5.2.1, a soldagem por arco elétrico depende de uma fonte de energia para a realização do processo. Estes equipamentos são genericamente denominados de máquinas de solda. Existem diversos tipos de máquinas de solda disponíveis no mercado, sendo que cada modelo objetiva a atender uma cerca faixa de utilizações dentro de cada processo de soldagem. Os tipos mais comuns utilizados na soldagem de estruturas em aço são os Transformadores; os Retificadores; as Fontes Inversoras eletrônicas dentre outros derivados destes. A variedade de fabricantes, modelos e tipos de máquinas de solda é mui-

to grande e torna-se tarefa difícil definir tipos de processos mais ou menos adequados de forma genérica. Entretanto, em linhas gerais, sem a pretensão de classificações rígidas, são apresentadas abaixo as características mais marcantes de cada tipo de fonte de energia:

a) Retificadores – De modo geral os retificadores se dividem em três modelos principais, conforme o processo de soldagem a que se destinam:

• Retificadores de corrente constante destinados à soldagem por eletrodo revestido e a goivagem por eletrodo de grafite. São os mais utilizados para a montagem das estruturas. Isto se deve a sua robustez e facilidade de instalação, além de se destinarem ao processo dos eletrodos revestidos. Sua finalidade dupla de realizar a goivagem é outra vantagem suplementar. Normalmente são alimentados por rede elétrica trifásica 220/380/440 - 60;

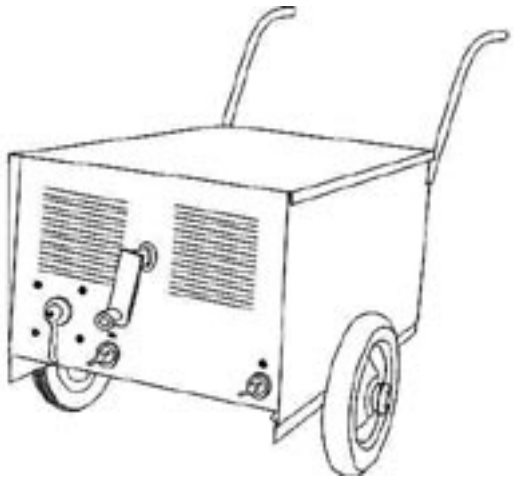


Figura 5.4 – Retificador de solda

• Retificadores de tensão constante utilizados como fonte de energia para conjuntos semi-automáticos, com cabeçotes de alimentação de arame para soldagem MIG/MAG. São máquinas com um investimento inicial mais elevado, além de dependerem da proteção gasosa para o processo de soldagem. Por isso, são mais utilizadas na fabricação das estruturas, tendendo a superar o processo de eletrodo revestido pelos ganhos de produtividade que representa. Alimentados por rede trifásica;

• Fonte Retificadora de tensão constante para soldas automatizadas, destinadas principalmente à soldagem pelo processo de arco submerso. São utilizadas exclusivamente na fabricação de estruturas. Alimentada por rede trifásica;

b) Transformadores – São máquinas de solda geralmente de menor porte que os retificadores. Se destinam a soldagem pelo processo de eletrodo revestido e normalmente não possuem ventilação forçada. Os modelos menores, que não chegam a operar com um fator de trabalho de 100%, são muito utilizados em serralherias com eletrodos de pequeno diâmetro e baixa amperagem. Os transformadores maiores são utilizados na fabricação e na montagem de estruturas. A alimentação elétrica normalmente é a dois condutores fase, mais o aterramento.

c) Inversoras – São máquinas eletrônicas de última geração, destinadas à soldagem pelos processos de eletrodo revestido, MIG/MAG, TIG e corte a plasma. Sua característica mais marcante é o tamanho e peso reduzidos se comparadas aos retificadores e transformadores. Algumas possuem alças para serem carregadas pelo operador, enquanto outras maiores possuem rodízios. Alimentação monofásica ou trifásica, dependendo do modelo e fabricante.

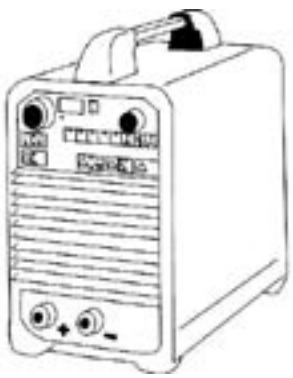


Figura 5.5 – Máquina inversora

5.2.4 Características das ligações soldadas

Apesar da habilidade requerida para sua execução, a soldagem possui reais vantagens. Uma viga projetada para ser engastada em uma coluna pode ser soldada de maneira contínua ao outro membro sem necessidade de peças acessórias na ligação. Treliças formadas por membros soldados entre si, possuem menor peso em aço, pois as peças soldadas não perdem parte de suas seções transversais, como é o caso dos furos necessários nas ligações parafusadas. Juntas onde a estanqueidade é essencial como no caso de tanques e esferas, a solda não só promove a ligação entre as chapas como também garante a impermeabilidade do conjunto.

A abertura entre as peças a serem unidas, a existência dos entalhes e a posição destes, variam de acordo com a espessura e a posição relativa das peças. Para completar a união entre os dois elementos pode ser necessário somente um passe ou diversos passes de solda, em camadas sucessivas. Cada passe possui aproximadamente 3 mm de espessura por 6 mm de largura. Antes de cada passe seguinte ser iniciado, o anterior deverá estar totalmente livre de escórias, o que se obtém por meio de impactos com a picadeira manual ou outra ferramenta mecânica.

a) Fator de Trabalho

O fator de trabalho de um equipamento de soldagem significa que a máquina pode fornecer a sua corrente de soldagem máxima durante um determinado período, devendo este ser seguido de um período de descanso. Isto pode ser repetido sem que a temperatura dos componentes internos ultrapasse os limites previstos por projeto. Um fator de 40% significa um período de 4 minutos de trabalho seguido de 6 minutos de pausa. O fator de trabalho de 100% significa que a máquina pode fornecer uma determinada corrente de soldagem ininterruptamente durante 10 minutos. Normalmente a capacidade de operar com 100% de fator de trabalho é atingida com amperagens menores que a máxima.

b) Posições de Soldagem

Na figura 5.6 abaixo estão mostradas algumas posições de trabalho ou teste. A nomenclatura segue a adotada pela Norma ASME IX, em que a posição e o tipo de solda são identificados respectivamente por um algarismo e uma letra. A letra F corresponde a solda de filete e a letra G (groove) a solda de entalhe.

O primeiro tipo de solda é na posição plana, que usa polaridade direta, onde a maior parte do calor e o metal fundido estão abaixo, na poça de fusão, onde é mais fácil controlar devido ao efeito da gravidade. As soldas nas posições horizontal, vertical e sobre-cabeça são progressivamente mais difíceis de serem executadas. Quando a polaridade reversa é usada na solda sobre-cabeça, a maior parte do calor é formada na ponta do eletrodo, abaixo do local da solda. Este método tem a vantagem de aproveitar a tendência do material de fusão ser carreado para cima de encontro ao metal de base sob a influência do fluxo da corrente elétrica naquela direção.

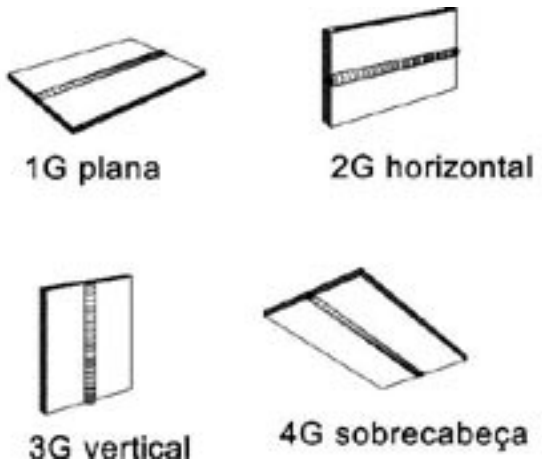


Figura 5.6 – Algumas posições de solda de topo

c) Proteção do operador de solda

O arco elétrico da solda emite um clarão que pode lesar os olhos do soldador. A radiação produzida e partículas incandescentes

que são projetadas à distância podem provocar queimaduras na pele durante o processo. Desta forma, torna-se necessário utilizar uma máscara de solda dotada de uma lente escura, que não só proteja a face como permita somente uma parcela da luz atingir o olho do operador. Além disso, para prevenir queimaduras, o soldador deverá vestir avental, paletó, luvas longas e perneira de raspa de couro.

d) Distorções

O metal se expande em todas as direções quando aquecido e reassume seu tamanho original quando resfriado. Se as extremidades estiverem unidas a dois elementos, quando esfriada a peça, haverá uma tendência a puxá-los para dentro. Quando a peça for aquecida em somente um lado, este irá se expandir e tenderá a se contrair quando resfriado. Em peças soltas, a peça irá apresentar contração, após o resfriamento, sempre para o lado onde houver maior aquecimento. Para combater as distorções pode-se utilizar alguns métodos: alternar a solda de ambos os lados; executar filetes alternados por espaços livres que serão preenchidos após o resfriamento dos anteriores; colocar membros provisórios de contenção para impedir que a peça se feche ou se expanda com o calor desenvolvido na soldagem.

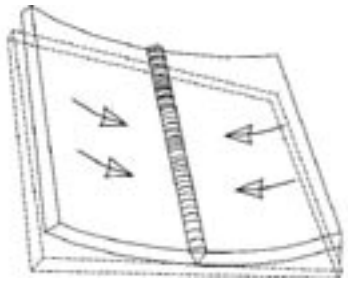


Figura 5.7 – Distorção de solda de topo

5.2.5 Controle e garantia da qualidade

Antes de serem executadas, as soldas de responsabilidade nas estruturas em aço devem possuir garantias sobre a sua qualidade. Os materiais utilizados nos eletrodos, nos fluxos e arames devem estar de acordo com as normas citadas. A embalagem, transporte, armazenagem e conservação dos eletrodos devem garantir as características necessárias ao trabalho de soldagem.

Entretanto, a maneira de soldar, a técnica empregada, o equipamento e a amperagem utilizadas devem estar em harmonia com o consumível utilizado e este com o metal-base a ser unido. Estas e outras variáveis características farão parte de uma Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS). As EPS's indicarão o número de passes de solda, a voltagem e amperagem de cada passe, o tipo de junta, a posição em que será executada, a espessura e o tipo do eletrodo. As normas AWS (American Welding Society), da ASME (American Society of Mechanical Engineers) ou as especificações da API (American Petroleum Institute) são as mais conhecidas e aceitas mundialmente no que prescrevem para a qualificação de procedimentos de soldagem.

A responsabilidade sobre a qualidade da solda será sempre do fabricante ou do montador, embora haja inspetor ou empresa credencia pelo contratante para a fiscalização. Quando exigido, o fabricante deve fornecer uma EPS completa, que descreva todas as variáveis essenciais, não essenciais e, quando forem requeridas, as variáveis suplementares para cada processo de soldagem, como por exemplo:

a) Processo de soldagem (Manual, arco-submerso, etc.);
b) Tipo de junta e sua configuração;
c) Especificação e espessura do material base;
d) Especificação e classe do material de deposição;
e) Temperatura de pré-aquecimento (mínima);
f) Temperatura entre passes (máxima);
g) Número aproximado de passes;
h) Parâmetros de soldagem (voltagem, amperagem, velocidade);
i) Controle do material de solda.

As informações acima (que podem estar em formato escrito ou na forma de tabela) po-

dem constar em um Registro de Qualificação de Procedimento (RQP). Este será o documento onde estarão consolidadas as características da solda. Também devem ser registrados no RQP os tipos de ensaios, o número de testes de cada tipo e os resultados dos mesmos.

a) Qualificação dos Procedimentos de Soldagem

Para que possam ser utilizados, os EPS devem ter sua adequação e qualidade avaliados por testes específicos. Para a qualificação dos procedimentos os testes mais comumente usados são os de tração e dobramento de face, dobramento de raiz, dobramento lateral além do teste de impacto.

Existem procedimentos de soldagem que são considerados pré-qualificados desde que atendam as exigências da norma AWS D1.1. Estes procedimentos são aqueles em se julgou existir um histórico de aceitabilidade e de desempenho, não estando sujeitos aos testes de qualificação impostos as outras EPS. De qualquer maneira, sempre que exigidos, serão efetuados testes não-destrutivos mesmo nas juntas pré-qualificadas procurando-se seguir as orientações da norma.

A norma AWS D1.1, cobre os requisitos de soldagem aplicáveis a estruturas soldadas de aço carbono e aços de baixa liga. Mesmo quando o procedimento for aprovado pela entidade competente, continua sendo unicamente do fabricante a responsabilidade pela qualidade da junta soldada. Os cortes e entalhes que receberão deposição de solda, não devem ter estrias que permitam inclusões de impurezas.

b) Qualificação dos Soldadores

Não basta entretanto os procedimentos e materiais corretos se a execução for deficiente. As vantagens da soldagem só podem ser obtidas com pessoal treinado. Alguns testes de qualificação são exigidos dos operadores, conforme a complexidade dos procedimentos de solda, de acordo com as normas nacionais e internacionais. Geralmente estes testes são baseados nas prescrições da AWS B2.1 ou da ASME seção IX. Os soldadores qualificados possuirão um certificado que especificará as posições e tipos de junta nas quais está qualificado e o prazo de validade do documento. Para qualificar um soldador utiliza-se um procedimento qualificado, no qual se especifica quais corpos de prova devem ser preparados e executados e as posições de teste exigidas pelo trabalho a ser realizado. A seguir os corpos de prova serão fatiados e submetidos a ensaios visuais macrográficos, de raios-X, tração ou dobramento, conforme o caso. Estes testes serão realizados e analisados em laboratórios credenciados. Quando está qualificado para as posições mais complexas (5G e 6G, por exemplo), normalmente o soldador se qualifica para as posições mais simples automaticamente (1G, por exemplo).

c) Inspeção de Soldas

A inspeção das soldas deve ser feita de acordo com os requisitos da AWS D1.1. A inspeção visual que for necessária deverá ser especificada nos documentos de licitação e do projeto. Quando forem necessários ensaios não destrutivos (END's), o processo, a extensão, a técnica e os padrões de aceitação deverão ser claramente definidos nos documentos de licitação e do projeto.

5.2.6 Ensaios não destrutivos

Todas as soldas possuem descontinuidades, pois não existem soldas perfeitas. O que existem são descontinuidades que são aceitáveis e outras que não são aceitáveis. Os Ensaios Não Destrutivos (END) são realizados nas soldas das estruturas em aço para verificar a qualidade das mesmas, detectando a presença, posição e extensão das descontinuidades. São chamados de não destrutivos porque são ensaios que não alteram as características das soldas ensaiadas. Isto permite que a qualidade da solda seja averiguada conforme padrões estabelecidos que classificam os defeitos, sua localização e extensão, bem como os critérios de aceitação pertinentes. Caso as exigências

de qualidade sejam atingidas, a solda será aceita; caso contrário, serão indicados os locais e a extensão dos reparos necessários.

Os critérios de aceitação devem estar definidos no contrato de fornecimento e montagem das estruturas, em harmonia com a complexidade da obra. Serão delimitados levando-se em consideração qual nível apropriado de qualidade se requer para o tipo de junta, sua responsabilidade, a finalidade da estrutura e suas condições de utilização durante sua vida útil. Não se deve esquecer que o objetivo dos ensaios é determinar a qualidade da solda, para que se possa avaliar se a mesma possui características que garantam a transmissão dos esforços de projeto e que não levem a ocorrência de defeitos futuros que comprometam a durabilidade da estrutura. Os efeitos de fadiga causados por esforços alternados exigem mais robustez do que seria exigível simplesmente pela transmissão momentânea dos esforços mecânicos.

Os métodos de inspeção não destrutiva mais utilizados nas estruturas em aço são:

- Ensaio visual;
- Ensaio por líquidos penetrantes;
- Ensaio por ultra-som;
- Ensaios radiográficos;
- Ensaios por partículas magnéticas;
- Ensaios de estanqueidade.

A exemplo dos processos de soldagem e dos operadores de solda, os ensaios não destrutivos deverão ser realizados por pessoas qualificadas e de acordo com procedimentos normalizados. Os equipamentos de medição e detecção dos defeitos de solda deverão estar aferidos e calibrados.

Um aspecto importantíssimo a ser definido a respeito dos END's é a amostragem, ou seja, a extensão de solda que será objeto dos ensaios. Devem também estar definidos, após os resultados dos ensaios, quais e quantos defeitos serão aceitáveis, e em qual extensão. E, por outro lado, o que será inaceitável e deverá obrigatoriamente ser removido e refeito.

a) Ensaio visual

A inspeção visual é sem dúvida o mais poderoso método de inspeção disponível. Por causa de sua relativa simplicidade e ausência de equipamento sofisticado, algumas pessoas menosprezam sua importância. Porém, é o único método de inspeção que realmente pode melhorar a qualidade de fabricação e montagem reduzindo a ocorrência de defeitos de soldagem. É o primeiro a ser realizado.

A inspeção visual começa muito antes do arco ser aberto. Todas as juntas de ligações a serem soldadas serão previamente inspecionadas, visando a limpeza da junta, posicionamento das peças entre si, pré-aquecimento do metal base, seqüência de soldagem, tratamento da raiz, ponteamento para fixações dos elementos, etc.

A menos que haja outra especificação, as superfícies a serem soldadas no campo, numa faixa de 50 mm de cada lado da solda, devem estar isentas de materiais que impeçam a soldagem adequada ou que produzam gases tóxicos durante a operação de soldagem. A pintura destas áreas deve ser evitada. Após a soldagem tais superfícies deverão receber a mesma limpeza e proteção previstas para toda a estrutura.

O ensaio visual analisará os seguintes quesitos da solda, dentre outros:

- Aspecto externo geral da solda;
- Porosidades superficiais;
- Presença de escória na superfície;
- Mordeduras;
- Respingos excessivos;
- Trincas visíveis;
- Falta de penetração quando visíveis pelo lado oposto;
- Desalinhamentos;
- Entalhe sem reforço ou mal preenchido;

• Comprimento ou garganta de solda em desacordo com o projeto.

b) Líquido Penetrante

Ensaio de Líquido Penetrante envolve a aplicação de um líquido que por sua ação capilar revela através da superfície possíveis descontinuidades, como trincas ou porosidade. Quando o excesso de líquido penetrante for cuidadosamente removido da superfície, um revelador é aplicado, que absorverá o líquido penetrante contido na descontinuidade. Isto resulta em uma mancha no revelador, mostrando que uma descontinuidade está presente. Este ensaio é limitado a detectar descontinuidades superficiais. Não tem nenhuma capacidade de descobrir descontinuidades mais profundas, mas é altamente efetivo em identificar as continuidades que podem ser omitidas ou serem muito pequenas para serem identificadas com inspeção visual. É o ensaio seguinte a ser especificado quando a inspeção visual não é suficiente para garantir um nível mínimo de qualidade.

c) Partículas Magnéticas

A inspeção de partícula magnética (MT) utiliza a mudança em fluxo magnético que acontece quando um campo magnético cruza com uma descontinuidade. Esta mudança na densidade de fluxo magnético aparecerá como um padrão diferente quando um pó magnético for aplicado na superfície da solda. O processo é efetivo em localizar descontinuidades, tanto na superfície quanto sub-superficiais. Para estruturas em aço, a inspeção por partícula magnética é mais efetiva que a de líquido penetrante, e conseqüentemente, é preferida na maioria das aplicações. A inspeção por partícula magnética pode revelar trincas próximas à superfície, inclusões de escória, e porosidade.

A inspeção por partícula magnética é mais efetiva quando a região é inspecionada duas vezes: uma vez com o campo localizado paralelamente, e outra com o campo perpendicular ao eixo da solda. O ensaio é realizado com a criação de um campo magnético através de um equipamento portátil com duas pontas articuladas que são ligadas a peça, chamado “Yoke”.

d) Ensaios Radiográficos

A inspeção por ensaios radiográficos utiliza raios-x ou raios gama que atravessam a solda e sensibilizam um filme fotográfico exposto no lado oposto da junta. Radiografias são produzidas por geradores de alta voltagem, enquanto as gamagrafias são produzidas por desintegração atômica de isótopos radioativos.

Sempre que radiografia é usada, precauções devem ser tomadas para proteger os operadores do excesso de exposição à radiação.

Os ensaios radiográficos contam com a capacidade dos materiais de reterem parte da energia dos raios em seu interior quando são atravessados por eles. Diferentes materiais possuem taxas de absorção diferentes e materiais finos absorvem menos radiação que materiais espessos. Quanto mais alta a densidade do material, maior a taxa de absorção. Como níveis diferentes de radiação atravessam os materiais, o filme será exposto em diferentes regiões em maior ou menor grau. Quando o filme é revelado, o resultado da radiografa mostrará uma imagem projetada no plano do filme, mostrando a estrutura interna da peça.

Uma radiografia é na realidade um negativo. As descontinuidades, que representam as regiões onde os raios foram menos absorvidos, aparecerão mais escuras que o restante da solda. Partes mais finas aparecerão mais escuras nas radiografias. A porosidade será revelada como pontos pequenos, escuros e circulares. A escória também é geralmente mais escura, e parecerá semelhante a porosidade, mas será irregular em sua forma. As trincas aparecem como linhas escuras. Falta de fusão aparecerá como lugares escuros e o reforço excessivo resultará em uma região mais clara.

Os ensaios radiográficos são mais aplicáveis a soldas de entalhe de penetração total, não sendo muito adequados a soldas de penetração parcial ou de filete. Ensaio aplicado em soldas de grande responsabilidade devido ao alto custo.

e) Ultra-Som

A inspeção por ultra-som conta com a transmissão de ondas sonoras de alta freqüência através dos materiais. Os materiais livres de descontinuidade transmitirão o som ao longo de sua espessura de um modo ininterrupto. Um transdutor “ouve” o som refletido na face oposta da peça que está sendo inspecionada. Se uma descontinuidade existir entre o transdutor e o lado de trás da peça, uma resposta diferente do nível de referência será enviada para o receptor indicando a presença desta descontinuidade. Os pulsos são convertidos em sinais eletrônicos e mostrados na tela LCD ou em um tubo de raios catódicos do aparelho. A magnitude da perturbação recebida da descontinuidade é proporcional a quantidade de som refletido. O aparelho de ultra-som é um dispositivo sofisticado e muito efetivo em localizar até pequenas descontinuidades.

As dimensões reais das descontinuidades podem ser estimadas com uma razoável precisão, fornecendo meios para que a peça possa ser aceita ou rejeitada, baseando-se em critérios de aceitação das normas aplicáveis. Trata-se de um ensaio poderoso e relativamente mais barato que as radiografias.

5.3 Ligações parafusadas

5.3.1 Generalidades

As ligações parafusadas das estruturas se prestam a unir duas peças para formar um novo grupo ou o conjunto da estrutura. Pode-se construir treliças cujos membros – cordas, diagonais e montantes – estão unidos entre si por meio de ligações parafusadas. Trata-se de um grupo de peças, que sendo pré-montadas previamente no canteiro de obras, formarão uma peça única maior, a ser içada para sua posição final na estrutura. Esta treliça por sua vez poderá ser interligada às colunas ou outro tipo de apoio, também por meio de parafusos.

As ligações parafusadas são obtidas pela execução de furos nas duas peças a serem unidas. Estas peças serão aproximadas durante a montagem de tal forma que uma se alinhe a outra, conforme previsto no projeto. Prossegue-se com a aproximação até que se toquem e sejam ajustadas de forma que cada furo da ligação numa peça coincida com o seu correspondente na outra peça. Este ajuste poderá ser auxiliado por meio de uma espina ou chave de ponta.

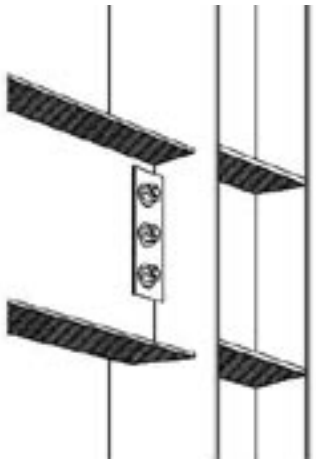


Figura 5.8 – Ligação parafusada viga-coluna

A ligação será iniciada pela introdução de alguns parafusos nos furos, inseridas as arruelas (que devem estar no lado a ser girado no aperto) e ajustadas as porcas. Após, deverá ser dada a condição de pré-torque que é definida como o aperto obtido após poucos impactos aplicados por uma chave de impacto, ou pelo esforço máximo aplicado por um operário usando uma chave normal. Após esta operação inicial, devem ser colocados parafusos nos furos restantes e tais parafusos também levados a condição de pré-torque. Conforme o tipo de parafuso e de ligação, será obrigatória a aplicação de torque adequado a cada conjunto parafuso-porca, de acordo com os procedimentos explicitados a seguir.

A quantidade de parafusos, seu diâmetro,

resistência e aperto necessários para a transferência dos esforços de uma peça para outra serão encargos do projetista. Cabe ao responsável pela montagem dotar o canteiro dos equipamentos necessários para a colocação e aperto dos parafusos, e executar o torque dos parafusos conforme especificado em projeto.

Um trabalho por vezes negligenciado na montagem é a separação precisa dos parafusos por tipo, diâmetro e comprimento. É bastante comum a ocorrência na mesma obra de parafusos de mesmo tipo e diâmetro, com comprimentos ligeiramente diferentes. Se não houver uma separação e aplicação dos parafusos criteriosamente nos lugares corretos, podem ocorrer grandes atrasos simplesmente por aplicar o parafuso mais longo no lugar do mais curto. Quando chegar o momento de montar as peças onde seriam exigidos os mais longos, só restarão os mais curtos que possivelmente não atenderão as condições mínimas de aperto.

A preparação das superfícies para a colocação dos parafusos de alta resistência (tipo fricção) deverá ser cuidadosa, de maneira que as superfícies em contato na montagem, incluindo cabeças de parafuso e arruelas, estejam todas completamente livres de tinta, óleo, sujeira, ferrugem, carepa, rebarbas, etc. , que poderão impedir o contato perfeito das partes.

5.3.2 Tipos de parafusos

Existem três tipos de parafusos estruturais utilizados nas ligações:

1. Parafusos Comuns ou A-307, utilizados nas ligações secundárias das estruturas. Não requerem processo de torque controlado e funcionam sempre por cisalhamento entre a superfície do parafuso e as laterais dos furos, em ligações por contato;

2. Parafusos de alta resistência tipo A-325, utilizados na maioria das estruturas em ligações principais. São aplicados tanto nas ligações por atrito quanto nas ligações por contato; nas ligações por atrito devem obrigatoriamente ser instalados com torque controlado. O aperto normal poderá ser aplicado nas ligações por contato nas quais o escorregamento é permitido ou quando estiverem sujeitos à tração ou tração e corte, quando não houver flutuações de carga que causem afrouxamento ou fadiga dos parafusos;

3. Parafusos de alta resistência de aço-liga tipo A-490, possuem resistência superior mas são menos utilizados que os anteriores. Devem ser instalados com controle de torque nos tipos de ligação por atrito ou por contato.

5.3.3 Modalidades de Ligações

Parafusos de alta resistência em ligações por contato ou parafusos comuns não podem ser considerados trabalhando em conjunto com soldas. Por exemplo, em uma ligação a momento de uma viga com uma coluna em que as mesas da viga estiverem soldadas e a alma parafusada, estes parafusos somente serão considerados se forem de alta resistência com torque controlado em ligação por atrito. Caso contrário, as soldas das mesas resistirão sozinhas ao total das solicitações da ligação, sendo os parafusos desprezados.

a) Solda das mesas e parafusos na alma

Conta-se com o fácil posiciomanento proporcionado pelos parafusos na alma e com a simplicidade representada pela solda das mesas diretamente ao corpo da coluna, sem necessidade de elementos de ligação. O fato de se desprezarem ou não os parafusos nos cálculos depende da capacidade das soldas das mesas de resistirem também aos esforços de cisalhamento e da conveniência ou não de se aplicar torque controlado nos parafusos.

b) Solda de mesas e alma

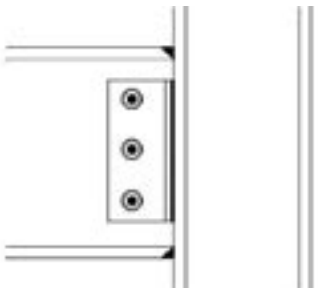


Figura 5.9 – Solda das mesas e parafusos na alma

Depende de algum dispositivo de ligação provisória e de posicionamento viga-coluna, para que se possa liberar o equipamento de içamento para a próxima peça. Além disso, esta ligação totalmente soldada demanda mais tempo para ser executada no canteiro;

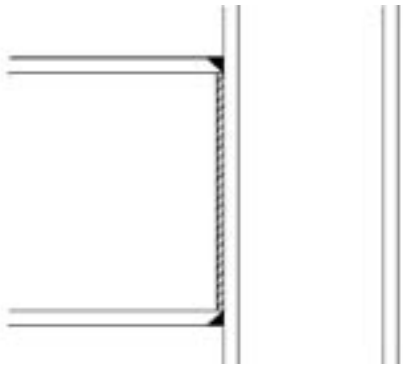


Figura 5.10 – Solda das mesas e alma

c) Parafusos em mesas e alma

Ligação de fácil posicionamento, liberando rapidamente o guindaste. Entretanto, as ligações parafusadas das mesas são complexas e dependem de solda de fábrica em chapas de ligação e calços para serem confeccionadas. Em última análise, acabam por se tornarem ligações mistas com parafusos e solda;

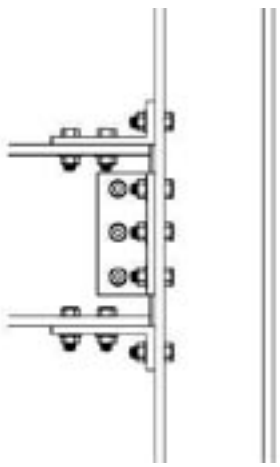


Figura 5.11 – Parafusos em mesas e alma

d) Parafusos em mesas e solda na alma – Ligação de difícil ocorrência por somar as dificuldades de posicionamento da alma com a complexidade das mesas parafusadas.

5.3.4 Controle de torque

A parafusagem das conexões estruturais, é feita com chaves manuais ou de impacto. Em muitas conexões usam-se parafusos ASTM-A307, quando permitido pelas especificações. Estes parafusos podem ser apertados a mão, com chaves manuais, girando o parafuso ou a porca até que as partes conectadas estejam perfeitamente assentadas. Entretanto, o uso de chaves de impacto operadas a ar comprimido é mais econômico. Parafusos de alta resistência ASTM-A325 ou A490 são amplamente usados em conexões onde as cargas são relativamente altas ou sujeitas a flutuações dinâmicas, como em pontes.

Os parafusos de alta resistência devem ser apertados de forma a se obter uma força mínima de tração (Tm) adequada a cada diâmetro e tipo de parafuso usado. Quando a porca é apertada, ela tende a aproximar as peças entre si até que se toquem. À partir do momento que as peças se encontram coladas uma à outra, qualquer aperto na porca provocará um esforço de tração no corpo do parafuso, alongando-o. Portanto, a tração no corpo do parafuso e a conseqüente força de atrito entre as peças dependem da intensidade do torque aplicado no conjunto parafuso-porca. Este torque e a força de tração mínima é fornecida na tabela 5.3 para os parafusos ASTM e equivale a aproximadamente 70% da resistência característica à tração do parafuso.

Se necessário, em função das condições de acesso ao parafuso e das folgas para manuseio da ferramenta, o aperto pode ser dado girando-se a cabeça do parafuso e impedindo a porca de girar. Quando forem usadas chaves de impacto, sua capacidade deverá ser adequada e seu suprimento de ar (quando utilizada máquina de torque pneumática) deverá ser suficiente para obter-se o aperto desejado de cada parafuso em aproximadamente 10 segundos.

Diâmetro do Parafuso			A 325								A 490							
		Ap	Fu	Ft	Tração mínima Tm		Tração Recomendada para calibragem		Torque Aproximado		Fu	Ft	Tração mínima Tm		Tração Recomendada para calibragem		Torque Aproximado	
pol.	cm	cm²	kN/cm²	kN	tf	kN	tf	kN	kgm	Nm	kN/cm²	kN	tf	kN	tf	kN	kgm	Nm
½	1,27	1,27	82,5	59	5,4	53	5,7	56	14	135	103,5	74	6,7	66	7,1	69	17,9	176
5/8	1,59	1,98	82,5	92	8,7	85	9,1	89	28	270	103,5	115	10,8	106	11,3	111	36,0	353
	1,60	2,01	82,5	93	9,3	91	9,7	96	30	291	103,5	117	11,6	114	12,2	120	39,0	383
¾	1,91	2,85	82,5	132	12,7	125	13,4	131	49	476	103,5	166	15,9	156	16,7	164	63,3	624
	2,00	3,14	82,5	146	14,5	142	15,2	149	58	568	103,5	183	18,2	179	19,2	188	76,6	752
	2,20	3,80	82,5	176	17,9	176	18,8	185	79	774	103,5	221	22,5	221	23,7	232	104,1	1021
7/8	2,22	3,88	82,5	180	17,6	173	18,5	182	78	769	103,5	226	22,0	216	23,1	227	102,8	1008
	2,40	4,52	82,5	210	20,9	205	21,9	215	100	984	103,5	263	26,2	257	27,5	270	132,0	1295
1	2,54	5,07	82,5	235	23,1	227	24,3	238	118	1153	103,5	295	28,8	283	30,3	297	153,9	1510
	2,70	5,73	72,5	233	27,2	267	28,6	280	147	1442	103,5	333	34,0	334	35,7	351	193,0	1894
1 1/8	2,86	6,41	72,5	262	25,5	250	26,8	263	146	1429	103,5	373	36,4	357	38,2	375	218,4	2142
	3,00	7,07	72,5	288	33,2	326	34,9	342	199	1956	103,5	412	41,6	408	43,7	428	262,0	2570
1 ¼	3,18	7,92	72,5	323	32,3	317	33,9	333	205	2013	103,5	461	46,2	453	48,5	476	307,9	3020
1 3/8	3,49	9,58	72,5	391	38,7	380	40,7	399	271	2654	103,5	558	54,8	538	57,6	565	402,2	3946
	3,60	10,18	72,5	415	48,4	475	50,8	499	349	3420	103,5	593	60,7	595	63,7	625	458,5	4498
1 ½	3,81	11,40	72,5	465	46,9	460	49,2	483	357	3505	103,5	659	67,2	659	70,5	692	537,5	5273

Tabela 5.3 - Força de protensão mínima e valor de torque em parafusos ASTM

5.3.5 Métodos de protensão dos parafusos de alta resistência

Existem três processos principais de torque para se atingir a força de tração adequada:

a) Aperto pelo método da rotação da porca;

b) Torque controlado por aplicação de uma chave de impacto calibrada;

c) Indicador direto de tração.

a) Método de giro da porca

Quando for utilizado o método de aperto pela rotação da porca para aplicar a força de protensão mínima, deve haver número suficiente de parafusos na condição de pré-torque, de forma a garantir que as partes estejam em pleno contato. A condição de pré-torque é definida como o aperto obtido após poucos impactos aplicados por uma chave de impacto, ou pelo esforço máximo aplicado por um operário usando uma chave normal. Após esta operação inicial, devem ser colocados parafusos nos furos restantes e tais parafusos também levados a condição de pré-torque.

À seguir uma marca será feita na face da porca e na haste do parafuso para indicar o ponto de início do giro adicional, a fim de mostrar as posições relativas entre eles. Os parafusos receberão então o aperto adicional através do giro da porca, especificado conforme a tabela 5.4 abaixo. Esta operação deverá começar na parte interna da ligação e prosseguir em direção às bordas livres.

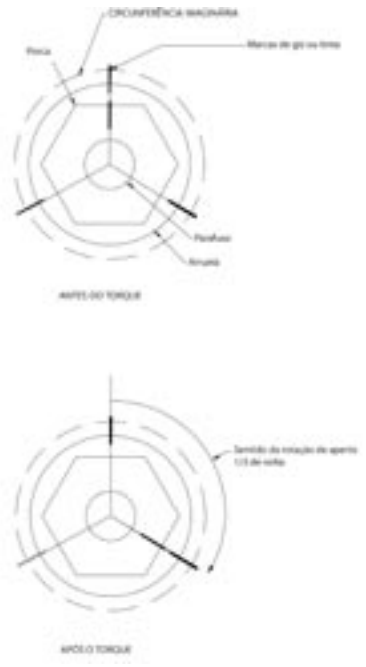


Figura 5.12 – Método do giro da porca

Comprimento do parafuso (medido da parte inferior da cabeça à extremidade)	Disposição das faces externas das partes parafusadas		
	Ambas as faces normais ao eixo do parafuso	Uma das faces normal ao eixo do parafuso e a outra face inclinada não mais que 1:20 (sem arruela biselada)	Ambas as faces inclinadas em relação ao plano normal ao eixo do parafuso não mais que I:20 (sem arruelas biseladas)
Inferior ou igual a 4 diâmetros	1/3 de volta	1/2 volta	2/3 de volta
Acima de 4 diâmetros até no máximo 8 diâmetros, inclusive.	1/2 volta	2/3 de volta	5/6 de volta
Acima de 8 diâmetros até no máximo 12 diâmetros. 2)	2/3 de volta	5/6 de volta	1 volta
NOTAS: 1) A rotação da porca é considerada em relação ao parafuso, sem levar em conta o elemento que está sendo girado (porca ou pa - dos com 2/3 de volta ou mais, a tolerância na rotação é de mais ou menos 45°. 2) Nenhuma pesquisa foi feita para estabelecer o procedimento a ser usado para aperto pelo método da rotação da porca, para comp - tivo adequado que meça a tração. simulando as condições reais.			

Tabela 5.4 – Método do Giro da Porca

b) Método de torque controlado

Neste caso o aperto será dado pelo uso de uma chave de impacto (torque) que aperta o parafuso até obter a tensão pré-determinada. As chaves de impacto (elétricas ou pneumáticas) devem ser calibráveis de forma a aplicarem a força de torque especificada.

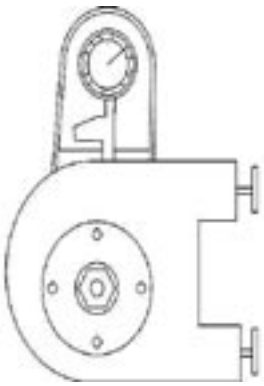


Figura 5.13 – "Skidmore" para aferição de máquinas de torque

As chaves serão calibradas em um dispositivo tipo "skidmore" capaz de aferir o torque produzido, que deve ser pelo menos 5% superior à protensão mínima dada na tabela 5.3. As chaves devem ser calibradas pelo menos uma vez por dia de trabalho, para cada diâmetro de parafuso a instalar.

A calibração deve ser feita através do aperto de três parafusos típicos de cada diâmetro, retirados do lote de parafusos a serem instalados, em um dispositivo capaz de indicar a tração real no parafuso.

Outra possibilidade é a utilização de chaves manuais com torquímetro, que indicam quando o torque foi atingido, seja por indicação de mostrador analógico, digital ou por meio de um estalo característico. Neste processo, o torque deve ser atingido com as porcas em movimento de aperto. Durante a instalação de vários parafusos na mesma ligação, aqueles já apertados previamente devem ser testados com a chave e reapertados caso tenham "folgado" durante o aperto de parafusos subseqüentes, até que todos os parafusos atinjam o aperto desejado.

c) Método indicador de carga

Através de um dispositivo conhecido como arruela indicadora de carga ou pela aplicação de um tipo específico de parafuso com controle de tensão. No primeiro caso, o torque é atingido quando pequenas protuberâncias indicadoras de carga na superfície da arruela sofrem esmagamento. A folga resultante deve ser aferida por um calibre apalpador introduzido entre as saliências. Em todos os casos, a folga deverá ser previamente especificada. A arruela comum continua sendo utilizada. Outro tipo de arruela indicadora de carga utiliza material plástico colorido em sua superfície. O plástico extravasa da arruela, indicando quando foi atingido o nível de aperto desejado.

No segundo caso, sabe-se que o torque necessário foi atingido quando ocorre a ruptura da espiga ranhurada na extremidade do parafuso, pela aplicação de uma parafusadeira elétrica especial. Após encostar manualmente a porca e a arruela, encaixa-se o soquete interno da máquina na espiga e o soquete externo na porca. Acionando-se a máquina, o soquete externo apertará a porca até seja atingido o torque necessário, o que será indicado pelo rompimento da espiga da ponta do parafuso, por cisalhamento.

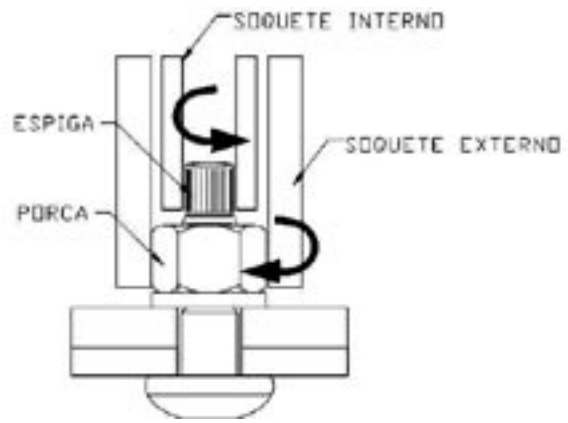


Figura 5.14 – Parafuso com indicação de torque por rompimento de espiga ranhurada

O processo de torqueamento pelo giro da porca é o mais simples pois pode ser utilizado com parafusos comuns, com ferramentas manuais e que freqüentemente promove torque

superior ao mínimo. Entretanto, o processo é lento e pode tornar-se inviável em grandes obras.

O torqueamento pela chave de impacto calibrada executado com ferramentas elétricas ou pneumáticas proporciona grande rapidez e agilidade a montagem. As máquinas de torque devem ser aferidas com certa freqüência, de acordo com as exigências das normas. O aperto com torquímetro de estalo pode tornar-se pouco prático, dependendo da posição e do número de ligações.

Os métodos de indicação direta de torque são muito práticos, principalmente com parafusos tipo TC, mas não dispensam a inspeção necessária para qualquer tipo de ligação cujo torque seja imprescindível.

Sempre é bom lembrar que nas ligações por contato os parafusos de alta resistência tipo ASTM A-325 não necessitam de controle de torque.

5.4 Corte à maçarico

5.4.1 Generalidades

A maneira mais comum de promover o corte do aço é através da erosão térmica. Outros processos de corte são baseados na abrasão ou corte à frio, como serras circulares, de lâmina ou tesouras. O processo predominante de corte por fusão é o de chama oxi-corte. Um corte regular e preciso é possível com a aplicação da chama oxi-acetilênica, mesmo ao ar livre. Outros processos de corte por fusão são o corte à plasma e o corte Laser, com a necessidade de equipamento elétrico.

5.4.2 O aparelho de maçarico

O aparelho de maçarico, conhecido como caneta, é formado por dois tubos unidos a um misturador onde ocorre a união do gás oxigênio com o combustível. Um tubo é destinado ao oxigênio e outro ao gás combustível. Na entrada de cada tubo existe uma válvula que possibilita a abertura ou fechamento do fluxo. A chama é formada num bico na extremidade da caneta, dotado de um ou mais orifícios. O maçarico é ainda formado por um gatilho que aumenta o fluxo de oxigênio diretamente no bico durante a operação de corte.

Os bicos de corte são fornecidos em numerações de 0 a 4 para as espessuras mais freqüentes na montagem, sendo os números menores utilizados para as chapas mais finas.

O procedimento de corte à maçarico é relativamente simples. O aço é rapidamente pré-aquecido por uma chama neutra, sem pressionar o gatilho. O ajuste da chama é obtido pela regulagem das válvulas. O aparelho é posicionado perpendicularmente ao plano de trabalho com a extremidade do bico a aproximadamente 3 mm da superfície a ser cortada. Quando neste ponto se inicia a fusão do material, o gatilho deve ser pressionado provocando um jato de excesso de oxigênio, que aumenta o calor da chama e remove o metal fundido, realizando o corte. Logo que iniciada a fusão, a caneta deve ser movida a uma velocidade constante para manter a fusão contínua. Porções de metal fundido são retiradas da peça durante a fusão. Se a ação for muito lenta, o corte vai apresentar irregularidades. Se a velocidade for muito grande, o metal não será cortado, o mesmo acontecendo se a pressão do gás não estiver adequada.

A claridade emitida pelo corte na extremidade do bico pode lesar os olhos do operador que devem ser protegidos por óculos escuros apropriados. Da mesma forma, pingos de metal fundido podem ser projetados à distância. O operador deve estar usando luvas de proteção, manga e avental para se proteger.

O maçarico é uma ferramenta essencial tanto na fabricação quanto na montagem das estruturas. Na montagem é utilizado para alterações, correção de erros e de empenos, para o pré-aquecimento de chapas grossas, etc.

O aparelho de corte tem outros elementos complementares além da caneta que é o maçarico propriamente dito: para que funcione adequadamente haverá um cilindro de oxigênio e um outro cilindro de gás combustível, que pode ser o acetileno, o gás liquefeito de petróleo (GLP) ou ainda uma mistura de gases.

Na parte superior de cada cilindro existirá um regulador de pressão, dotado de manômetros que indicam a pressão interna do fluido e a pressão de saída para a mangueira. Esta pressão de saída deverá ser regulada dependendo da intensidade do corte. A pressão interna é importante para determinar a quantidade de gás ainda existente no interior do cilindro. Normalmente na saída do regulador de pressão é instalada uma válvula de segurança para evitar o refluxo das chamas para dentro do cilindro, com riscos de explosão. Na saída do dispositivo de segurança serão instaladas as mangueiras de oxigênio e do cilindro de gás combustível, formando um par geminado, na cor verde para o oxigênio e na cor vermelha para o gás.

Estas mangueiras encaminham os gases até o maçarico. Tanto na entrada do oxigênio quanto na entrada de gás são instaladas válvulas de retenção para evitar o refluxo das chamas para o interior das mangueiras. As mangueiras são afixadas por braçadeiras ao dispositivo de segurança do cilindro.

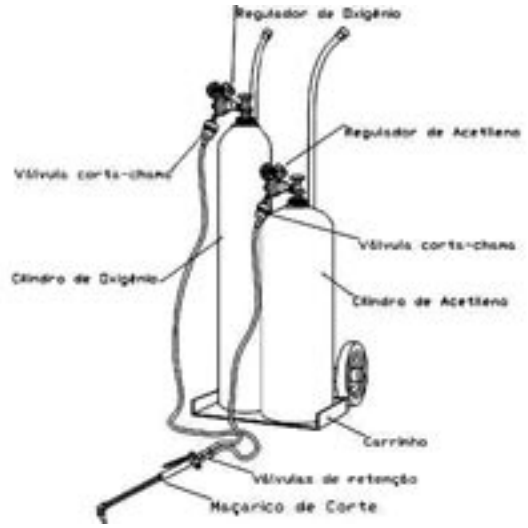


Figura 5.15 – Aparelho de maçarico oxi-corte

Para limpeza dos bicos existem os agulheiros, que são um conjunto de agulhas de diversos diâmetros utilizadas para a desobstrução dos orifícios do bico.

Os cilindros de oxigênio são altos e normalmente pintados de preto. Os cilindros de acetileno são pintados em vermelho, e os de GLP em prata ou dourado. Os cilindros mais utilizados são os de 10 m³ de oxigênio; de 9 kg de acetileno e o de 45 kg de GLP.

Este conjunto formado por dois cilindros, mangueiras e maçarico é instalado em um carrinho, que promove a proteção dos cilindros, o acondicionamento das mangueiras e da caneta quando não utilizadas, e facilita o deslocamento para próximo do local de trabalho. Estas pequenas unidades de corte a maçarico são bastante usuais principalmente na montagem de campo, onde não compensa a instalação de unidades fixas e tubulações permanentes para a execução do trabalho. Estas centrais de gases são viáveis somente dentro das fábricas para prover o suprimento de gases para cortes manuais e cortes múltiplos realizados em máquinas pantográficas.

Capítulo 6

Montagem de Edifícios e Galpões

6.1 Introdução

Os edifícios constituem no tipo mais comum de estrutura existente. Seja para abrigar atividades comerciais, seja para formar prédios de apartamentos, são muito mais numerosos que qualquer outro tipo de estrutura. Inclusive a construção de casas constituídas de estruturas de quadros de aço ganha aceitação crescente. Portanto, é natural iniciar as considerações sobre a montagem das modalidades de estruturas pelos edifícios. As pequenas estruturas térreas dificilmente apresentam problemas de montagem, podendo-se extrapolar para estas as considerações feitas a seguir para as estruturas maiores.

6.2 Tipos de edifícios

Cada tipo de edifício possui peculiaridades e cuidados específicos durante a montagem. Uma apresentação resumida dos tipos de edifícios será útil para uma abordagem sobre estes problemas. Os edifícios podem ser divididos pelo tipo de utilização, por exemplo:

1. Edifícios residenciais, destinados a apartamentos;
2. Edifícios comerciais, destinados a shoppings e escritórios;
3. Edifícios industriais, destinados a indústrias e oficinas.

Podem ser classificados também pelo tipo de estrutura, por exemplo:

1. Edifícios de múltiplos andares - formados por colunas verticais e vigas horizontais em diversos planos superpostos;
2. Galpões - formados por filas de colunas interligadas transversalmente por pórticos e longitudinalmente por vigas de beiral e/ou de rolamento.

A abordagem estrutural é mais adequada para se analisar a montagem de edifícios. Existem edifícios comerciais com andares múltiplos, como também na forma de galpões. Assim como há edifícios industriais destinados ao suporte de equipamentos que possuem múltiplos andares formando diversas plataformas superpostas. Neste trabalho, portanto, será adotada a segunda classificação acima.

6.3 Montagem de edifícios de múltiplos andares

As estruturas de edifícios de múltiplos andares são características quanto a sua morfologia, por apresentar, na maior parte das vezes, a aparência de um reticulado ortogonal. Este tipo de edifício é tipicamente formado por habitáculos superpostos (pavimentos). É comum a exigência de uma área construída maior do que a oferecida pelas dimensões do terreno. Estes pavimentos, ou andares, são formados pela sucessão de lajes situadas umas sobre as outras, afastadas pelo pé-direito necessário. Sobre as lajes estarão distribuídas as cargas de móveis, pessoas, equipamentos, a própria laje e outros materiais da própria construção. As lajes serão dimensionadas para suportar estas cargas, dentro de certos limites de vão livre. Quanto maiores os vãos das lajes, maiores serão as solicitações de flexão a que estas estarão submetidas. Para limitar os vãos, as lajes serão apoiadas nos quatro lados sobre vigas horizontais formando placas de formato retangular. As cargas das lajes serão suportadas pelas vigas, que apresentam uma solicitação predominantemente de flexão. Cada vão de viga deve estar apoiado nas duas extremidades. Estes apoios poderão ser outras vigas ou colunas. No caso de uma viga estar apoiada sobre outra viga, será uma viga secundária. As apoiadas sobre colunas serão vigas principais. As colunas destinam-se a levar até as fundações as cargas vindas de cada pavimento e suportam esforços principalmente de compressão vertical.

Figura 6.1 – Estrutura de Edifício em aço

Entretanto, os edifícios possuem outros tipos de solicitação, principalmente as devidas ao vento. As forças devidas ao vento são laterais e tendem a tombar o edifício de lado, ocasionando outros tipos de solicitações nas vigas e principalmente nos pilares. Conforme o tipo de ligação entre as vigas e os pilares; destes com as fundações; e a existência ou não de estruturas de contraventamento, os elementos da estrutura estarão submetidos a determinada combinação de esforços.

Estas considerações serão feitas pelo engenheiro calculista para o dimensionamento da estrutura. Entretanto, durante a montagem, a estrutura não só estará incompleta – com ligações por executar, peças por montar e contraventamentos por atuar - como também não estará ainda sendo submetida à maioria dos esforços de projeto. Durante a montagem (é bem razoável afirmar), será outra estrutura submetida a outra combinação de esforços.

6.3.1 Verificação das fundações

As estruturas do edifício deverão ser montadas nos eixos e fileiras assinaladas nos desenhos, nos seus níveis correspondentes e dentro das tolerâncias especificadas. O montador sempre é o responsável pela correta locação e elevação da estrutura montada. A precisão das fundações é um dos fatores que mais influem na qualidade dimensional da montagem, ao lado do detalhamento e da fabricação das estruturas. Chumbadores, insertos ou outros aparelhos de fixação das colunas às bases podem ser instalados por terceiros, mas devem ser verificados pelo montador antes deste iniciar a montagem. As fundações são executadas em concreto armado, normalmente por pessoal não familiarizado com a precisão requerida pelas estruturas de aço. Daí serem comuns os erros de alinhamento, nível, esquadro e distâncias nas bases de concreto. O melhor procedimento é orientar o construtor antes que ele execute as fundações, chamando a atenção para a precisão necessária.

O montador das estruturas deve constatar se existem erros, e verificar se estes se situam em uma faixa de tolerância que ainda possibilite a montagem sem problemas. Erros demasiadamente grandes podem inviabilizar a montagem, exigindo talvez a execução de novos blocos de fundação, vigas de equilíbrio ou mesmo a cravação de novas estacas. Em certos casos pode ser necessária a fabricação de novas peças da estrutura ou a alteração das existentes para viabilizar a montagem.

6.3.2 Alinhamento

Quando a placa de base de uma coluna recai fora do bloco de fundação correspondente, mesmo que parcialmente, o cliente deve ser comunicado do problema. Erros de alinhamento que deslocam uma coluna em relação a uma adjacente de uma distância maior que a folga do furo do chumbador na placa de base da coluna, devem ser examinados com cuidado. Grandes deslocamentos em relação ao projeto criam excentricidades que introduzem esforços não considerados, prejudicando a segurança.

O montador deve considerar o fornecimento, ao construtor, de gabaritos para espaçamento e locação dos chumbadores, que evitaria um tipo de erro comum. Os chumbadores devem permanecer aprumados e firmemente instalados durante a concretagem das bases.

Estes gabaritos dever estar fixados na parte superior das formas, e estas firmemente contidas de modo a não se deslocarem antes ou durante a concretagem. Para se garantir que dos chumbadores não saiam do prumo, as extremidades inferiores (mergulhadas no concreto) devem manter a distância correta entre si e em relação as formas. Isto se obtém pela introdução de barras de vergalhão, por exemplo, no interior do bloco, de forma que estejam travadas de encontro às faces internas da forma e entre os chumbadores, fixadas por pontos de solda.

Figura 6.2 – Chumbadores com gabarito

6.3.3 Nivelamento

As estruturas devem ser montadas a partir de um mesmo plano horizontal de referência. As fundações devem ser verificadas topograficamente antes de iniciada a montagem, preferencialmente antes da mobilização do canteiro. O nivelamento das bases é feito em termos da diferença de nível medida, de cada base no nível do concreto bruto, em relação ao plano de referência. Se a diferença da base mais alta para a mais baixa exceder a uns 90mm, pode ser necessária alguma intervenção, seja para complementar as bases mais baixas, seja para reduzir a altura das mais altas. Ainda assim deve ser verificado se os chumbadores das bases mais baixas ainda estarão em condições de fixar as porcas das placas de base levando-se em conta sua perda de comprimento.

Corrigidos os erros mais graves, o montador irá então providenciar calços de nivelamento a serem assentados sobre o concreto bruto de cada base, de forma que suas faces superiores correspondam ao plano de referência. As placas de base das colunas ao serem montadas sobre estes calços, teoricamente estarão partindo de um mesmo plano de referência, evitando-se assim problemas de ajustes entre as peças da estrutura e de nivelamento das lajes.

Quando no projeto for especificado o grauteamento (entre a placa de base e o concreto bruto), este serviço só deverá ser feito depois do alinhamento corrigido e o aperto final dos chumbadores

Figura 6.3 – Base grauteada

6.3.4 Esquadro

Sugere-se uma verificação geral do esquadro entre os blocos de fundação. Isto pode ser verificado topograficamente com o auxílio de distanciômetros que verifiquem se duas diagonais possuem a mesma medida. Pequenas distâncias podem ser verificadas com trenas metálicas de precisão. Poços de elevador devem ser examinados com precisão de cima a abaixo para assegurar as limitações de tolerância.

6.3.5 Prumo

Cada base pode receber dois ou mais calços, que devem estar perfeitamente nivelados entre si para não introduzir erros de prumo nas colunas. Entretanto, a despeito das precau-

ções, as colunas podem ficar fora de prumo após o aperto dos chumbadores. Para a correção de pequenos erros nos calços, cunhas de aço podem ser confeccionadas e introduzidas entre a placa de base e o concreto bruto até que se obtenha o aprumamento da coluna.

6.3.6 Montagem

As primeiras peças a serem montadas são as colunas. Existem dois tipos principais de ligações das colunas com as fundações: a esgastada e a rotulada. Na ligação engastada a coluna está transmitindo os esforços de flexão da estrutura para a fundação; trata-se portanto de uma ligação de grande rigidez. No outro tipo, ligação rotulada, pretende-se um vínculo entre a coluna e a fundação sem a transmissão de momento; é uma ligação de menor rigidez. O que ocorre na prática, entretanto, é que a maioria das ligações rotuladas não constituem numa rótula perfeita. Assim como as ligações engastadas, as rotuladas suportam certa ordem de grandeza de carga momento, de valor bem menor que a coluna engastada equivalente. Uma rótula perfeita seria uma articulação pinada, como dobradiça, o que é raro de se encontrar nas estruturas mais comuns de edifícios.

Uma coluna rotulada poderá funcionar (durante a montagem), provisoriamente, como engastada e livre. Isto permite que se libere a coluna sem o risco de que a mesma venha a tombar. O tipo mais comum de ligação rotulada, formada por placa de base e dois chumbadores, constitui na verdade, uma ligação semi-engastada em uma direção (com um pequeno braço de alavanca proporcionado pelos chumbadores) e rotulada na outra. Entretanto, para que esta “rotula” funcione como tal, a placa de base deverá sofrer uma rotação em torno dos chumbadores, o que somente será possível pelo esmagamento do concreto da base na região comprimida pelo momento, conjugada com o escoamento dos chumbadores por tração. A possibilidade deste tipo de colapso deve ser examinada levando-se em conta que a própria coluna muitas vezes possui maior inércia e rigidez justamente nesta direção em que é rotulada.

Outra possibilidade de tombamento da coluna seria o colapso da solda entre o perfil da coluna e sua placa de base, o que é difícil de ocorrer, pois esta solda é equivalente aquela das colunas engastadas na maioria dos projetos, ou seja: é superdimensionada para ligação rotulada. Isto quer dizer que as colunas rotuladas poderão ser liberadas do guindaste durante a montagem, sem que para isso seja obrigatória a instalação de estais nas duas direções. Entretanto, devem ser impostos certos limites a este procedimento.

Para que não ocorram excessos perigosos a segurança da montagem, enumeram-se abaixo algumas recomendações a título de orientação:

- Iniciar a montagem da estrutura pelo núcleo de contraventamento, progredindo a montagem a partir deste módulo estável;
- Caso não seja possível iniciar a montagem pelo módulo contraventado, criar estruturas provisórias de contraventamento na primeira parte da estrutura a ser montada;
- O índice de esbeltez da coluna “rotulada”, considerada engastada e livre (durante a montagem), com comprimento efetivo de flambagem igual ao dobro do comprimento real, não deve ultrapassar a 360; caso ameace ultrapassar este limite, montar a coluna com comprimento menor (menos pavimentos de altura) ou instalar estais nas duas direções;
- Imediatamente após a montagem da coluna, providenciar a montagem das vigas que a interligam a outras colunas nas duas direções, formando pórticos mais estáveis, e que reduzem o comprimento de flambagem; iniciar pelas vigas inferiores;

• Eliminar a possibilidade de algum choque de equipamentos ou veículos na coluna, seja antes, seja depois de sua estabilização definitiva (proporcionada pela montagem das vigas de interligação): antes, poderá ocorrer o colapso desta coluna; depois, poderá ocorrer o colapso de toda a estrutura;

• Sempre concluir a jornada de montagem com todas as colunas estabilizadas, não deixando colunas totalmente livres de um dia para o outro ou no intervalo para refeição;

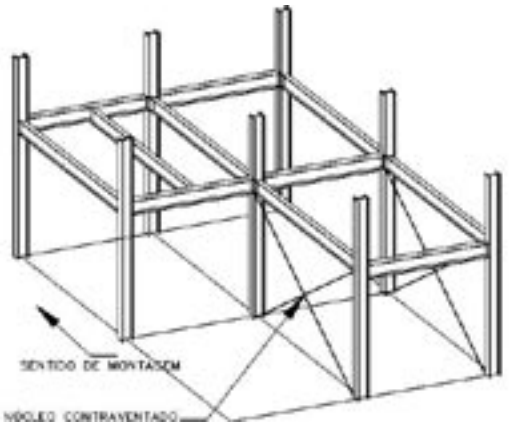


Figura 6.4 – Núcleo contraventado em estrutura de edifício

A ocorrência de flambagem lateral de uma coluna submetida apenas as cargas de montagem é bastante improvável, principalmente pelas limitações de esbeltez impostas pelas normas de dimensionamento estrutural. O limite imposto acima baseado na esbeltez não se deve ao risco de flambagem da coluna, e sim, visa a criar um parâmetro que expresse a tendência ao tombamento baseada na robustez da peça. É intuitivo perceber que quanto mais curta e compacta uma coluna, mais difícil será tomba-la.

A experiência demonstra que a força de um homem, ou mesmo do vento, dificilmente será capaz de tombar uma coluna chumbada nas fundações. Todavia, existe algo que possui força mais que suficiente e atua justamente na direção horizontal, mais propícia para fazer uma coluna tombar: um caminhão ou guindaste transitando descuidadamente junto a estrutura. Patolas extendidas e que por comodidade não foram recolhidas são as principais causadoras deste tipo de colapso. São os equipamentos que possibilitam a montagem que, paradoxalmente, também são capazes de fazer tudo ruir.

Todas as considerações acima a respeito de colunas rotuladas visam a dotar a montagem das estruturas de agilidade sem prejuízo da segurança necessária.

Para as colunas realmente engastadas de projeto, com quatro ou mais chumbadores externos ao perfil, as recomendações acima continuam válidas, porém com atenuantes.

As partes superiores das colunas, ou seja, aquelas a serem montadas sobre segmentos inferiores já montados, deverão estar firmemente ligadas ao segmento inferior antes de se soltar do guindaste. Será recomendável a existência de talas de fábrica no segmento inferior, para auxiliar no posicionamento e estabilização do segmento superior. O tipo de ligação mais comum, solda de topo, será parcialmente executada possibilitando a liberação do guindaste logo que possua solda suficiente para resistir aos esforços de montagem. As talas fornecerão parte da estabilidade requerida pela peça.

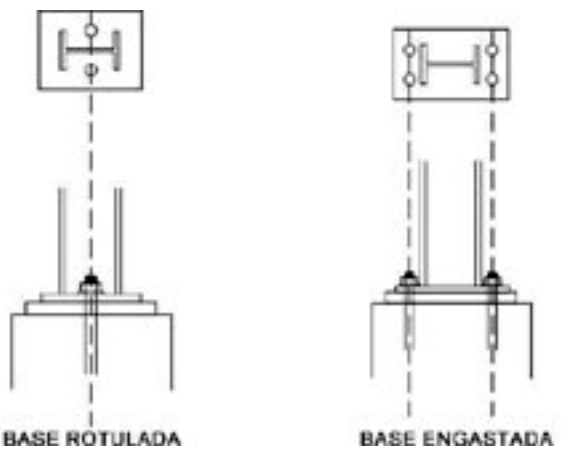


Figura 6.5 – Principais tipos de base das colunas

Antes de se montar o segmento superior das colunas, todas as vigas de interligação ao segmento inferior deverão estar montadas. Isto auxilia a estabilidade do conjunto como também cria pontos de acesso aos montadores.

A montagem das estruturas deve ser determinada por um plano de montagem a ser seguido no canteiro. O plano de montagem deve conter os seguintes pontos:

- Núcleo de contraventamento a ser montado primeiro;
- Plano de rigging com o dimensionamento do equipamento, seu posicionamento para a montagem das peças principais e dimensionamento dos acessórios de içamento;
- Seqüência de montagem a partir do núcleo inicial, com as colunas, vigas e contraventamentos em ordem estrita;
- Dimensionamento, posicionamento e tipo das estruturas provisórias de estabilização, se existirem.

Para a determinação da seqüência de montagem deverão ser seguidas certas premissas básicas. A primeira delas será em função do apoio de cada peça, ou seja: primeiramente as colunas, em seguida vigas principais e finalmente vigas secundárias. As vigas secundárias só podem ser montadas se as vigas principais que lhe fornecem apoio já estiverem presentes. Da mesma forma as vigas principais dependem das colunas de apoio em cada extremidade para serem montadas. A segunda premissa diz respeito ao trajeto: peças anteriormente montadas não devem obstruir o acesso das seguintes, seja por interceptar a lança do guindaste, seja por impedir a passagem da próxima peça no trajeto entre o solo e a posição final. A terceira premissa é relativa ao acesso do pessoal de montagem, que devem ter um caminho seguro para alcançar o ponto de ligação da peça ao restante da estrutura.

A seqüência lógica de montagem das estruturas de edifícios será:

- Montar algumas colunas do núcleo de contraventamento;
- Montar as vigas principais que interligam as colunas umas às outras;
- Montar as estruturas de contraventamento entre as colunas;
- Montar as vigas secundárias que se apoiam nas vigas principais;
- Verificar prumo, alinhamento e esquadro;
- Torquear ligações parafusadas;
- Soldar ligações soldadas;
- Progredir com a montagem à partir deste núcleo.

6.3.7 Plano de “rigging”

Ao elaborar o planejamento de montagem de um edifício, deve-se compatibilizar o peso das peças a serem içadas com a capacidade dos equipamentos disponíveis, e com a localização destes no canteiro de obras. Isto induzirá à elaboração de um plano específico denominado plano de “rigging”, na forma de um procedimento, onde a movimentação vertical das peças desde o local da armazenagem até a sua posição final na estrutura é detalhada.

Para a elaboração do plano são necessárias as seguintes informações básicas :

- planta de situação do canteiro e locação das fundações;
- projeto da estrutura com dimensões e especificação das peças;
- listas de material com o peso das peças;
- acesso para a peça e o equipamento;
- seqüência de montagem;
- pré-dimensionamento do equipamento com tabelas de carga.

Para o pré-dimensionamento do guindaste deve-se conhecer o peso, a distância e a altura de montagem de cada peça. A partir destes dados, procede-se à determinação dos seguintes parâmetros relativos ao guindaste:

• O comprimento necessário da lança em função da cota de montagem e da localização do equipamento;

• a capacidade necessária em função do peso bruto;

• escolher o guindaste a partir dos itens acima e em função do raio de operação;

Repetir o procedimento com diversas peças e escolher o guindaste de forma a atender os piores casos tanto em relação a alcance quanto a capacidade.

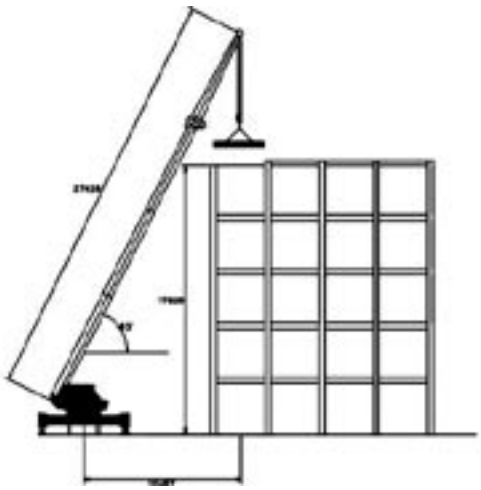


Figura 6.6 – Determinação de altura de montagem

Escolhido o guindaste procede-se às verificações de utilização, determinando :

• Altura do gancho: é igual à cota de montagem, somada a distância vertical dos cabos de içamento, com a altura total da peça mais uma folga de segurança;

• Raio de giro: É a distância do centro de giro da máquina ao centro de gravidade da peça;

• Ângulo da lança: É o ângulo de trabalho determinado no ponto de movimentação da lança e o plano horizontal;

• Capacidade: Determinada na tabela de carga, sendo função do comprimento da lança e o raio de giro. A capacidade deverá ser superior ao peso bruto da carga, com uma margem de segurança.

Determinadas as premissas básicas para

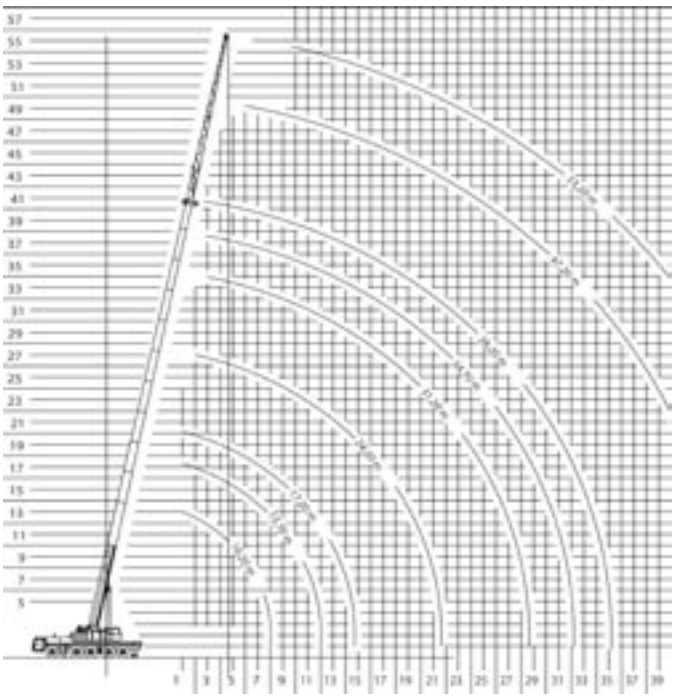


Figura 6.7 – Diagrama lateral de operação de um guindaste

a operação, como o guindaste e sua posição no canteiro, procede-se à apresentação do plano de “rigging”,contendo:

• Planta mostrando a situação do guindaste, a posição inicial da peça e o seu trajeto até a posição final;

• Desenho em elevação, em escala, mostrando o equipamento, a peça (com indicação do peso bruto), os cabos de içamento com as folgas existentes, bem como as estruturas já montadas nesta fase;

• Dimensionamento dos acessórios: estropos (diâmetro, comprimento e ângulo de lingada), manilhas, balancim, olhais, etc.;

• Forma de patolamento e taxa de trabalho do terreno;

• Cordas de segurança, cabos de estaiamento, contraventamentos provisórios, andaimes, etc.;

• Pessoal e localização dos profissionais envolvidos;

• Recomendações quanto à segurança da operação e dos operários;

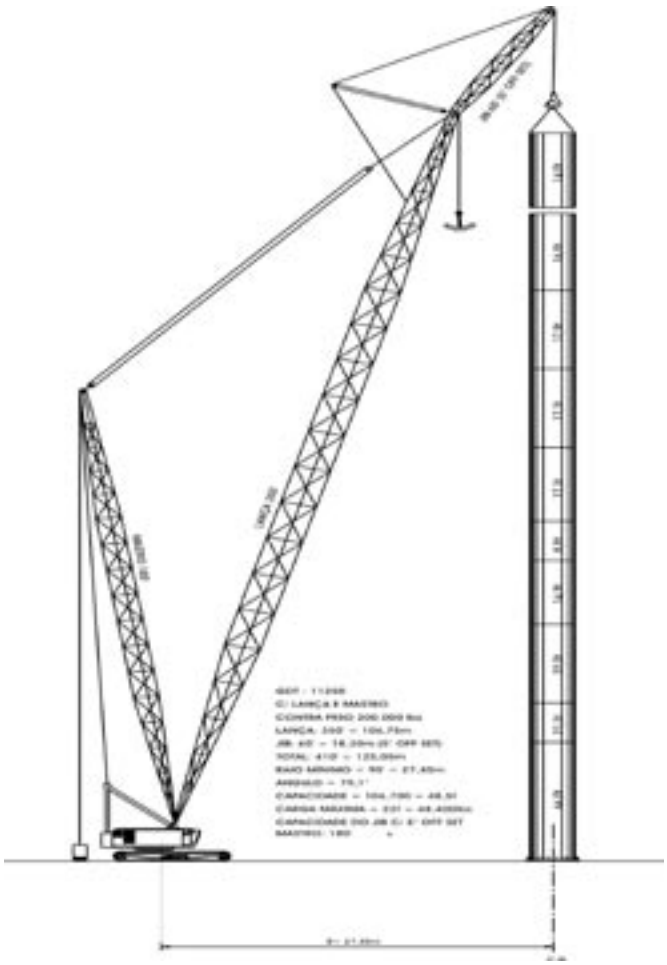


Figura 6.8 – Plano de rigging

6.4 Montagem de galpões

As estruturas de galpões possuem, dentre outras, uma característica peculiar: alguns de seus elementos dependem de outros para permanecerem estáveis durante e após a montagem. Certas tesouras de cobertura são totalmente instáveis se abandonadas sobre os pilares sem um eficiente travamento da corda superior. Da mesma forma algumas vigas de pórtico dependem de travamentos intermediários para promover a sua estabilidade. Isto pode parecer banal, mas pode exigir um segundo guindaste na montagem do travamento estrutural, enquanto o primeiro sustenta a tesoura principal. Cabos de aço de estaiamento podem ser instalados em pequenos galpões, mas são inviáveis em grandes alturas. Outra característica dos galpões é o possível colapso de toda a estrutura pelo “efeito dominó”: pela formação linear das naves dos galpões, a ocorrência de tombamento de um pórtico podem fazer ruir toda a estrutura naquele sentido.

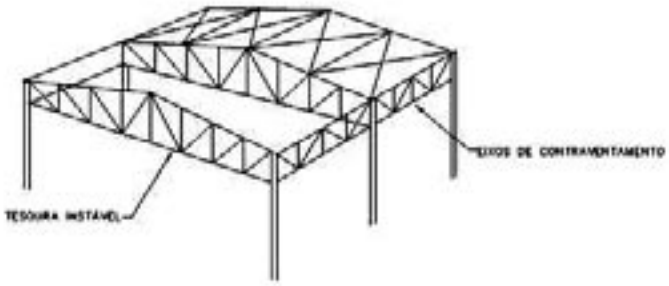


Figura 6.9 – Estrutura de Galpão em aço

Estabilidade Lateral

O primeiro problema descrito acima invoca a necessidade da estabilidade lateral. A estabilidade lateral é a capacidade da peça permanecer alinhada quando submetida tanto ao seu peso próprio quanto ao carregamento de outras peças. Certas peças não resistem nem sequer ao seu próprio peso sem que se dobrem ao meio, com o risco de acidentes e danos permanentes a peça. Isto se deve as forças de compressão que surgem em certas regiões ou elementos de peças submetidas a flexão. As forças resultantes de compressão e tração dependem da ordem de grandeza e da configuração do momento fletor atuante. Os elementos comprimidos, se possuírem grande esbeltez, poderão apresentar flambagem lateral como se fosse uma coluna subdimensionada. Quando estas peças (tesouras, por exemplo) estão integradas ao conjunto da estrutura, possuem diversos elementos (como terças, contraventamentos, mãos-francesas,

treliças longitudinais, etc.) que lhe fornecem a estabilidade lateral necessária. Quando faltam estes travamentos laterais, a peça tende a flambar lateralmente. Isto pode ocorrer logo no içamento da peça, caso os pontos de pega introduzam uma configuração de momentos suficiente.

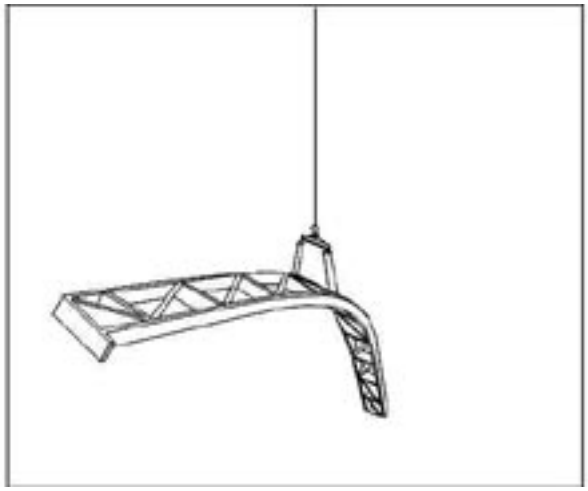


Figura 6.10 – Treliça dobrada por flambagem lateral

Existem duas soluções possíveis:

1. Dotar a peça principal de contensão lateral, antes que seja liberada do guindaste;
2. Alterar a configuração de momentos fletores através da mudança dos pontos de apoio.

A contensão pode ser definitiva ou provisória. Definitiva é a contensão atuada pelas peças da própria estrutura, que são montadas nos seus locais definidos em projeto. Cabos de aço de estaiamento, peças de reforço agregadas à peça principal, travamentos temporários, são exemplos de contensões provisórias.

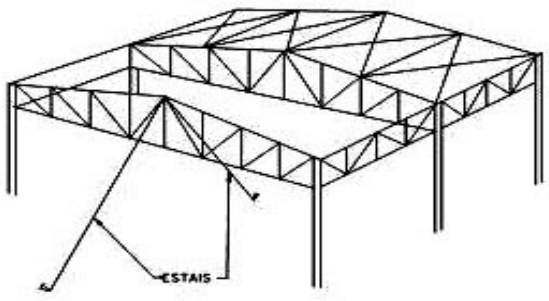


Figura 6.11 – Montagem de galpão

A mudança dos apoios pode ser obtida por apoios provisórios (torres, por exemplo) situados em pontos determinados. Durante o içamento, a solução pode ser apenas a utilização de vigas equalizadoras ou balancins, afastando ou aproximando os pontos de pega.

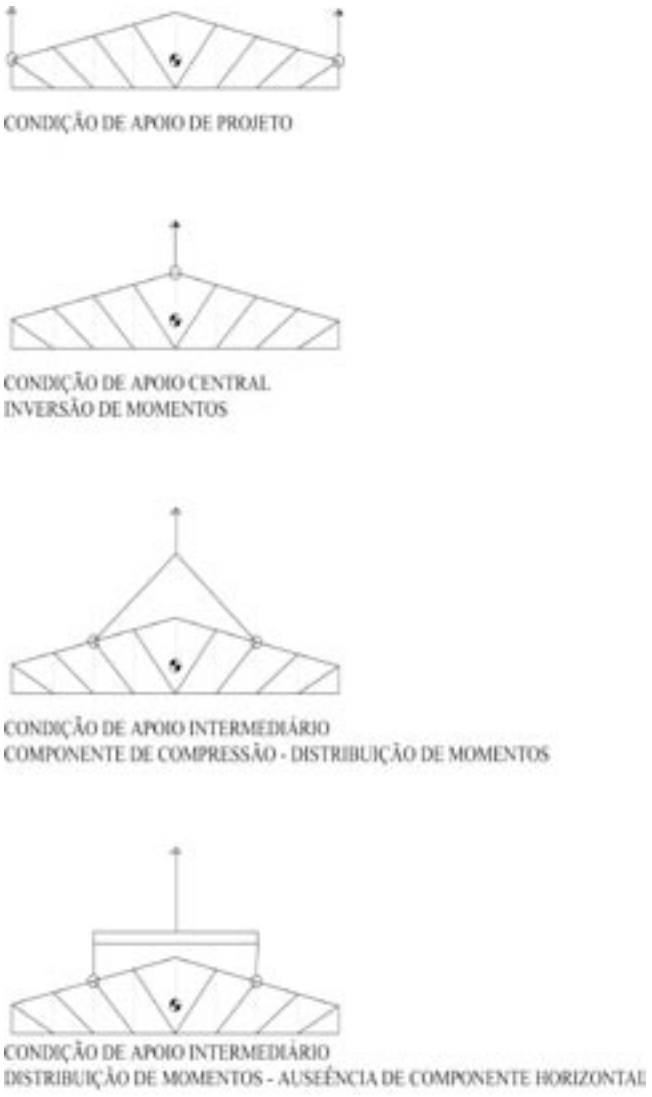


Figura 6.12 – Posições de içamento de treliças

Para garantir a estabilidade do conjunto da estrutura, a montagem de galpões deve seguir a seguinte seqüência:

1. Montagem das colunas do vão de contraventamento;
2. Montagem dos contraventamentos verticais;
3. Montagem das vigas de beiral e de

tapamento de interligação entre as colunas;

4. Montagem da viga de pórtico entre as colunas do primeiro eixo;

5. Estaiamento deste pórtico;

6. Montagem da segunda viga de pórtico;

7. Interligação do primeiro e do segundo pórticos com as terças de cobertura;

8. Montagem dos contraventamentos do plano da cobertura;

9. Remoção dos estais; Montagem dos demais eixos seguindo repetindo a seguinte seqüência:

10. Montagem das colunas vizinhas ao vão de contraventamento;

11. Montagem das vigas de beiral e de tapamento de interligação entre as colunas;

12. Montagem da viga de pórtico entre as colunas;

13. Interligação do núcleo contraventado com o novo pórtico montando as terças de cobertura;

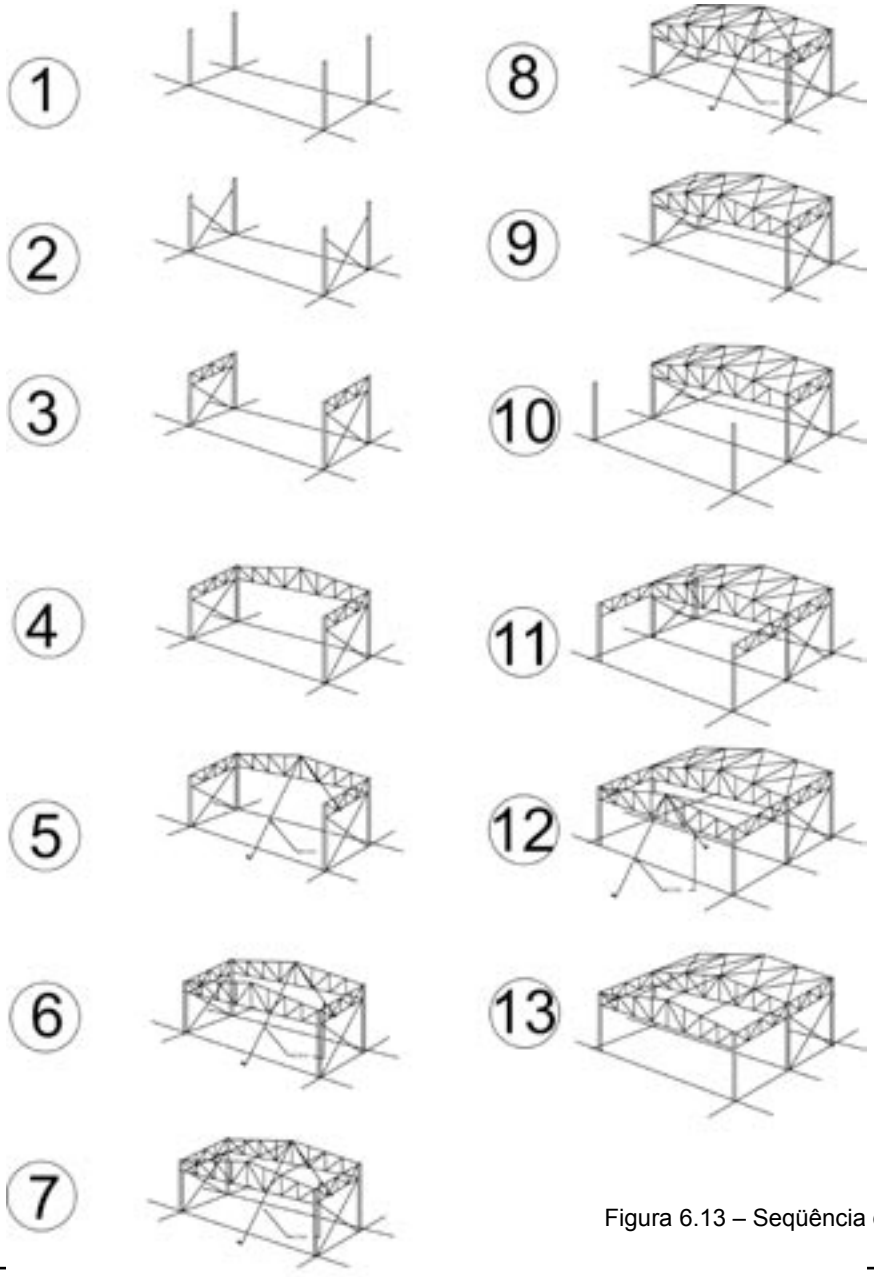


Figura 6.13 – Seqüência de montagem de galpões

6.5 Medidas e tolerâncias

Segundo Colin Taylor (in TAYLOR, apud Steel Designer's Manual), "comparando-se com outros materiais estruturais, as estruturas em aço podem ser feitas economicamente com tolerâncias bem mais rigorosas. E comparadas com peças mecânicas, entretanto, não é nem econômico nem necessário alcançar exatidão tão extrema.

Há inúmeras razões para que tolerâncias devam ser consideradas. É importante ficar bem claro quais tolerâncias devem ser realmente aplicadas em cada caso, particularmente quando se decidem os valores a serem especificados, ou o que fazer quando não atingidos.

Segurança Estrutural	Dimensões (particularmente de seções transversais, alinhamentos, etc.) associadas com a resistência e a segurança da estrutura.
Requisitos de Montagem	Tolerâncias necessárias para se permitir a união das peças fabricadas.
Ajustes	Requisitos para fixação de elementos não-estruturais, como painéis de fechamento, na própria estrutura.
Interferências	Tolerâncias para assegurar que a estrutura não interferirá com paredes, portas ou aberturas de janelas e instalações, etc.
Gabaritos	Folgas necessárias entre as estruturas e partes móveis, tais como pontes rolantes, elevadores, etc. ou linhas férreas, e também entre a estrutura e outros elementos em planta.
Divisas	Divisas de terreno devem ser respeitadas por razões legais. Além da posição em planta, devem incluir limitações na inclinação das faces externas de edifícios altos.
Limites de Utilização	As lajes devem ser suficientemente planas e regulares, trilhos de pontes rolantes perfeitamente alinhadas, capacitando a estrutura a cumprir a sua função.
Aparência	A aparência de um edifício requer limites em verticalidade, alinhamento e nivelamento, embora geralmente as tolerâncias estipuladas para outros requisitos já amarram o suficiente.

As várias razões para especificar tolerâncias são delineadas na Tabela. Em todo caso, nenhuma tolerância mais rigorosa que as realmente necessárias devem ser especificadas, ainda que a exatidão adicional possa ser alcançada, pois geralmente aumentam os custos desproporcionalmente.

Terminologia

'Tolerância' de forma geral significa um intervalo permitido de valores. Outros termos que necessitam definição são dados na Tabela abaixo

Desvios	A diferença entre um valor especificado e o valor medido real, expresso em módulo (como um valor positivo ou negativo).
Desvios permitidos	O limite especificado de desvio para um requisito particular.
Faixa de tolerância	A soma dos valores absolutos dos desvios permitidos para cada lado de um valor especificado.
Limites de tolerância	Os desvios permitidos cada lado de um valor especificado, por ex. ± 3.5 mm ou +5 mm -0 mm.

As Classes de Tolerância

A Tabela define as três classes de tolerâncias reconhecidas pelo Eurocode 3.

Tolerâncias normais	Limites que são geralmente necessários para todos os edifícios. Pertencem a esta classe os necessários para segurança estrutural, juntamente com tolerâncias estruturais de montagem.
Tolerâncias particulares	Tolerâncias que são mais rigorosas que tolerâncias normais, mas que se aplicam só a certos componentes ou só a certas dimensões. Podem ser necessários em casos específicos por razões de ajustes, interferências ou para respeitar folgas ou divisas.
Tolerâncias especiais	Mais rigorosas que tolerâncias normais, e que se aplicam a uma determinada estrutura ou a um projeto. Podem ser necessários em casos específicos por razões de utilização ou aparência, ou possivelmente por razões estruturais especiais (tais como carga dinâmica ou cíclica, ou ainda critério crítico de projeto), ou para requisitos especiais de montagem.

É importante chamar a atenção a qualquer tolerância particular ou especial que vier a ser proposta, pois elas normalmente implicam aumento de custos. Onde nada é especificado, cada fabricante automaticamente suporá que somente as tolerâncias normais são requeridas.

Tipos de tolerâncias

Para estruturas em aço há três tipos de tolerâncias dimensionais:

1. Tolerâncias Industriais, tal como espessura de chapas e as dimensões de perfis laminados.

2. Tolerâncias de Fabricação, aplicável nas oficinas.

3. Tolerâncias de Montagem, relevante para trabalhos no canteiro."

Conforme o Projeto de Revisão da NBR 8800, a locação dos chumbadores não pode variar

em relação às dimensões indicadas nos desenhos de montagem, além dos seguintes limites:

a) 3mm de centro a centro de dois chumbadores quaisquer dentro de um grupo de chumbadores, onde grupo de chumbadores é definido como o conjunto que recebe uma peça única da estrutura;

b) 6mm de centro a centro de grupos adjacentes de chumbadores;

c) valor máximo acumulado entre grupos igual a 6 mm, para cada 30 metros de comprimento medido ao longo da linha estabelecida para os pilares através de vários grupos de chumbadores, porém, não podendo ultrapassar um total de 25mm; a linha estabelecida para os pilares e a linha real de locação mais representativa dos centros dos grupos de chumbadores, como locados na obra, ao longo de uma linha de pilares;

d) 6mm entre o centro de qualquer grupo de chumbadores e a linha estabelecida para os pilares, que passa por esse grupo;

e) Para pilares individuais, locados no projeto fora das linhas estabelecidas para pilares, aplicam-se as tolerâncias das alíneas b), c) e d), desde que as dimensões consideradas sejam medidas nas direções paralela e perpendicular à linha mais próxima estabelecida para pilares;

f)13mm para variação na altura do chumbador em relação ao topo da fundação.

E continua Taylor:

“Conexão de componentes não-estruturais

É boa prática assegurar que todos os outros itens ligados à estrutura possuam meios adequados de adaptação em seus acessórios de fixação que absorvam os efeitos de todas as tolerâncias da estrutura mais as variações permitidas nas dimensões de cada elemento estrutural.

Onde necessário, tolerâncias suplementares podem ser necessárias para atender movimentos estruturais devidos ao carregamento e expansões diferenciais provocadas por mudanças de temperatura.

Onde possível, o número de pontos de fixação deve ser limitado a três ou quatro, onde somente um deveria ser imóvel, com todos os outros possuindo furo rasgado ou outro meio de adaptação.

Capítulo 7

Montagem de pontes, viadutos e passarelas

7.1 Introdução

As montagens de pontes e viadutos estão entre as mais complexas e exigentes em termos operacionais e de engenharia. As peças envolvidas são de peso elevado, o acesso de equipamentos é dificultado (principalmente nas pontes) e os riscos são grandes. O processo de montagem, mesmo que de maneira geral, deve ser escolhido quando da elaboração do orçamento, antes da apresentação da proposta. Portanto, o orçamentista deve ter conhecimentos suficientes do local, das estruturas, bem como das condições de prazo, para que não cometa erros de avaliação fatais para o sucesso do empreendimento.

Classificam-se abaixo os tipos de pontes segundo alguns critérios:

7.2 Classificação quanto ao tipo de estrutura suporte

7.2.1 Pontes com longarinas de perfis de alma cheia

São as pontes mais comuns e de simples concepção. As longarinas são constituídas de perfis soldados ou laminados, podendo estes ser de inércia constante ou de inércia variável. As pontes são constituídas de duas ou mais longarinas interligadas entre si por diafragmas transversais. Estes diafragmas desempenham diversos papéis estruturais, como contensão lateral das vigas, formar uma grelha plana com as longarinas e divisão dos vãos da laje do tabuleiro em lajes menores. As pontes mais simples são formadas por vigas mistas bi-apoiadas de inércia constante; tabuleiros de lajes de concreto armado pré-moldadas ou concretadas no local sobre pré-lajes; pilares e encontros em concreto. As pontes de inércia variável normalmente são concebidas como vigas contínuas, e funcionam como mistas em alguns trechos com a colaboração das lajes. A tendência mais geral é que as emendas das longarinas sejam executadas por solda no canteiro e os diafragmas sejam parafusados a enrijecedores verticais localizados nas laterais das vigas principais.

Figura 7.1 – Ponte em perfis de alma cheia

7.2.2 Pontes aporticadas com longarinas de perfis de alma cheia

São pontes semelhantes as anteriores, mas que possuem também os pilares em aço e estes estão rigidamente ligados as longarinas. Funcionam estruturalmente como um pórtico rígido, normalmente articulado nas bases.

Figura 7.2 – Viaduto de pórtico rígido

7.2.3 Pontes com longarinas tipo caixão

São variantes das pontes de vigas de alma cheia do item 7.2.1. A diferença reside na chapa horizontal de união entre as mesas in-

feriores das longarinas, formando uma seção transversal fechada. O fechamento superior da seção caixão é feito pela laje do tabuleiro. Esta seção fechada se presta bem a absorção de esforços de torção em pontes e viadutos curvos, apesar de existirem estruturas retas deste tipo. As superestruturas de pontes pênseis e estaiadas adotam também o caixão, desta feita com uma concepção mais aerodinâmica. Quando o tabuleiro é também em aço, chamar-se-á placa ortotrópica. Este tipo de seção possui bom desempenho em vigas contínuas, tanto de inércia constante quanto de inércia variável.

Figura 7.3 – Viaduto em viga caixão

7.2.4 Pontes com longarinas treliçadas

Estruturas de pontes em longarinas treliçadas tendem a ser utilizadas em vãos de maiores proporções que os tipos anteriores. Estas estruturas reticuladas geralmente pesam menos que as equivalentes em alma cheia, para uma certa faixa de vãos livres. Os elementos constituintes das longarinas são as cordas inferior e superior, as diagonais e os montantes. Estes elementos são solicitados axialmente, por forças de tração e compressão, que podem se alternar conforme a posição da carga sobre o tabuleiro. São formadas normalmente por duas treliças interligadas entre si por diafragmas também treliçados e transversinas de alma cheia. Uma dificuldade estrutural é a contensão lateral dos elementos comprimidos, principalmente a corda superior. Uma tendência que tem tido aceitação é a utilização de tubos na formação das treliças, dotando os elementos comprimidos de maior resistência à flambagem.

Figura 7.4 – Lançamento de ponte treliçada

7.2.5 Pontes em arco

O princípio do arco, ou seja, possuir uma forma que o leva a ser solicitado apenas axialmente à compressão quando carregado de maneira uniforme, é conhecido há milhares de anos. Mesmo atualmente as estruturas em arco causam fascínio, principalmente em obras de arte como pontes e viadutos concebidos com preocupação arquitetônica. Os arcos são constituídos de seções fechadas, tubulares, circulares ou não. Eles sustentam o tabuleiro, seja inferiormente, seja em posição superior através de tirantes. Na realidade, são os arcos que sustentam as longarinas da ponte, as quais vencerão os vãos entre os tirantes. Estas longarinas serão de inércia constante, feitas de perfis de alma cheia ou treliças. O apoio do tabuleiro será completado com as transversinas, localizadas no alinhamento de cada par de tirantes.

7.2.6 Pontes estaiadas

Ainda raras no Brasil, este tipo de estrutura possui grande aceitação, tanto na Europa quanto em países asiáticos. Estas pontes são utilizadas nos casos em que apoios intermediários sobre o leito de rios e braços de mar são muito difíceis de serem executa-

dos. Resultam daí a necessidade de grandes vãos, apoiados em poucos pilares. A característica mais marcante das pontes estaiadas é possuírem grandes torres, de onde partem os cabos ou estais de sustentação do tabuleiro. Ao contrário das pontes pênseis, os cabos possuem um trajeto retilíneo, ancorados à torre e inclinados. A concepção estrutural das pontes estaiadas é bastante inteligente, visto que procura aproveitar as características dos materiais com grande eficiência. As torres são equilibradas, por sustentarem dois vãos vizinhos da ponte, um de cada lado, dispensando grandes blocos de ancoragem. O esforço resultante é de compressão sobre torres em sua maioria construídas em concreto armado, material que se presta muito bem a este tipo de solicitação. Os estais são cabos de aço tracionados, que são materiais muito singelos e de alta resistência à tração. O tabuleiro será sustentado por longarinas ou seções caixão de pequena inércia, pois vencerão os pequenos vãos existentes entre um estai e outro. Isto resulta em estruturas capazes de vencer longos vãos livres sem grande consumo de materiais. No ponto de ancoragem dos cabos sempre existirão transversinas, que completam o apoio para a laje do tabuleiro ou transferem o apoio dos estais as longarinas.

Figura 7.5 – Ponte estaiada em construção

7.2.7 Pontes pênseis

As justificativas estruturais que levam a construção de pontes pênseis são semelhantes aos das pontes estaiadas: a necessidade de vencer grandes vãos sobre rios, baías ou canais. A concepção estrutural é semelhante as estaiadas: grandes vãos ladeados por torres altas que sustentam o tabuleiro por meio de cabos de aço. Entretanto, este tipo de ponte necessita de imensos blocos para ancoragem dos cabos principais que pendem de uma torre à outra. Isto leva a outra característica freqüente destas pontes: a existência de somente um vão entre duas únicas torres, visto a predominância dos blocos de ancoragem serem localizados em terra firme. As pontes estaiadas, ao contrário, freqüentemente possuem vãos sucessivos. Dos cabos principais das pontes pênseis pendem os tirantes verticais de sustentação das longarinas. Uma preocupação nestas pontes é o efeito da carga lateral devida ao vento, o que leva a tabuleiros com formatos aerodinâmicos resultantes de análises em túneis de vento.

Figura 7.6 – Ponte pênsil

7.3 Classificação quanto ao tipo de tabuleiro

7.3.1 Pontes com tabuleiro em Concreto armado

É o tipo de tabuleiro mais comum, utilizado em pontes pequenas com duas ou mais longarinas que dão sustentação à laje.

7.3.2 Pontes com tabuleiro em Concreto protendido

Possibilita a utilização de maiores vãos na laje do tabuleiro sem aumento do peso próprio da estrutura. Viabiliza a construção de pontes com somente duas longarinas. Este tipo de tabuleiro vem substituindo progressivamente o concreto armado convencional.

7.3.3 Pontes com tabuleiro em Placa ortotrópica

Possui esta denominação devido a sua constituição com uma chapa de aço fina formando o piso. Esta chapa deve ser enrijecida na face inferior nas duas direções, longitudinal e transversalmente ao eixo da ponte. Este tipo de tabuleiro é utilizado em grandes vãos, em pontes levadiças, estaiadas e pênseis para redução do peso próprio da estrutura.

7.3.4 Pontes com tabuleiro em Madeira

Estes tabuleiros são utilizados em pontilhões, pontes provisórias desmontáveis de emergência, passarelas e pontes ferroviárias.

7.4 Classificação quanto a posição relativa do tabuleiro

7.4.1 Pontes com tabuleiro superior

Tabuleiro acima da superestrutura de sustentação.

7.4.2 Pontes com tabuleiro intermediário

Tabuleiro a meia altura em relação a superestrutura.

7.4.3 Pontes com tabuleiro inferior

Tabuleiro apoiado na parte inferior das longarinas.

7.5 Montagem de pontes

Generalidades

A montagem de pontes e viadutos apresenta um problema fundamental: preservar a integridade da estrutura durante a montagem, visto que normalmente ocorrem nesta fase esforços bem diferentes daqueles previstos no projeto da estrutura.

Um problema típico da montagem de pontes é a necessidade de estruturas auxiliares de custo relativamente elevado, e que devem ser padronizadas de modo a poderem ser utilizados em outras obras. Em alguns casos são necessárias verdadeiras estruturas secundárias para viabilizar a montagem da estrutura principal. Certas pontes exigirão inclusive fundações provisórias entre dois pilares da mesoestrutura.

A capacidade da estrutura de suportar as sobrecargas durante a montagem depende antes de tudo da diferença entre os esquemas estáticos de montagem e o da estrutura em serviço, bem como a proporção do peso próprio em relação às cargas acidentais e permanentes (ex: veículos, tabuleiro, etc.), inexistentes durante a montagem.

Ao se iniciar o planejamento de montagem de uma ponte, o primeiro aspecto que é analisado é a característica da obra. O segundo aspecto é o acesso e tipo dos equipamentos necessários para a execução da montagem. Nesta primeira análise, deve-se enumerar alguns tópicos relativos ao tipo da estrutura e o local, a fim de tentar convergir para uma ou duas soluções de montagem:

a) Tipo de Ponte: Número de vãos; Vigas bi-apoiadas ou contínuas; Estrutura formada por perfis de alma cheia ou treliçada; de inércia variável ou constante; Longarinas retas ou curvas; Estrutura contraventada no plano horizontal ou travada no plano vertical (diafragmas);

b) Acesso de equipamentos: Condições de operação e acesso de equipamentos e estruturas auxiliares; se pelo solo, pela própria estrutura, via aérea ou sobre a água;

c) Verificar o peso próprio das peças e determinar os equipamentos compatíveis;

d) Observar se o greide da ponte está num plano horizontal, possui alguma rampa ou contra-flecha;

e) Verificar se o curso d'água possui calado suficiente para uma balsa;

f) Observar se existe espaço disponível nas margens para eventuais pré-montagens;

Dependendo das características enumeradas nos tópicos acima, o planejamento de montagem terá início, analisando-se as várias alternativas de processos de montagem. É importante não adotar logo a primeira idéia sem antes analisar todas as possibilidades. A montagem de estruturas é sempre um processo de eliminação de problemas. A diferença entre uma boa solução e uma ruim não é somente o desabamento ou não da estrutura. Uma boa solução certamente será bem planejada; de simples concepção; segura tanto para a estabilidade da estrutura quanto para o pessoal; sem interrupções.

7.6 Processos de montagem de pontes

7.6.1 Montagem pelo solo

Esta técnica de montagem se aplica aos viadutos, passarelas e aos trechos secos das cabeceiras das pontes. É o processo mais simples pois normalmente não exige estruturas auxiliares e o pessoal e equipamentos trabalham em terra firme. Esta montagem é feita por meio de guindastes localizados no solo, na posição mais favorável possível; ou seja: próxima da posição a ser ocupada pelas vigas da estrutura, em sua projeção.

Figura 7.7 – Montagem pelo solo

Dependendo das cargas envolvidas, as longarinas serão montadas uma a uma ou em duplas, sobre os apoios definitivos, em seu comprimento final ou em partes sobre apoios provisórios. Nesta técnica é desejável que a pré-montagem se faça sob o vão, o mais próximo possível da posição final, para facilitar o içamento em uma só operação. Caso isto seja impossível, se faz necessária a pré-montagem em um canteiro centralizado, de onde as longarinas serão transportadas por cavalos mecânicos acoplados em doles ou carretas.

7.6.2 Montagem por balsa

Sempre que a estrutura estiver sobre um curso d'água, este tipo de montagem deve ser analisado. A montagem se faz transportando-se as peças e um equipamento de içamento sobre uma balsa chata. Em determinados casos o equipamento ocupa uma balsa e as peças

outra balsa. Existem equipamentos marítimos flutuantes fabricados exclusivamente para as operações de içamento no mar: as cábreas. Uma atenção suplementar deve ser dada ao equilíbrio da chata quando o guindaste estiver com a carga içada. Algumas balsas especiais possuem compartimentos estanques no casco que são lastreados com água para manterem o equilíbrio em qualquer situação de distribuição de cargas. A água será bombeada para dentro, para fora ou de um compartimento para outro em função da necessidade. Em balsas mais sofisticadas este processo é feito automaticamente.

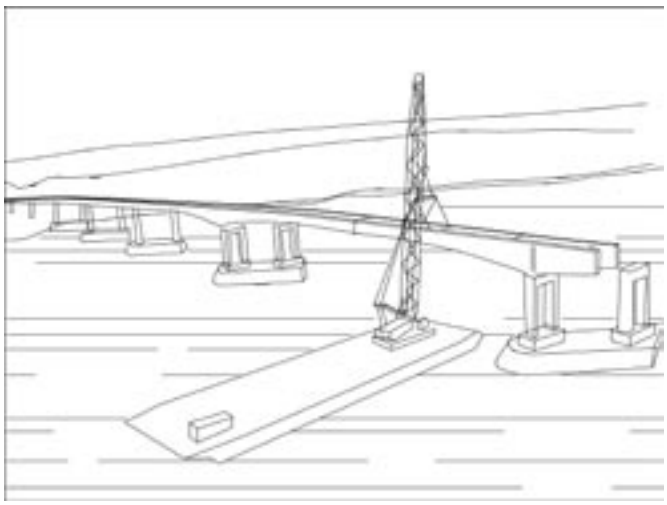


Figura 7.8 – Montagem por balsa

A montagem por balsa quase sempre se faz em locais onde há ondas ou correnteza. Nesta situação as balsas devem ser ancoradas às margens ou a base da ponte para manterem a posição e a estabilidade, principalmente quando a peça da ponte estiver para ser depositada sobre os pilares. Qualquer movimento imprevisto neste momento pode representar grave risco para os montadores. Estes mesmos cabos de contensão e ancoragem muitas vezes são também utilizados para rebocar as balsas mais simples que não possuem propulsão própria desde a margem de um rio, por exemplo, até a posição de montagem. Os cabos serão puxados por guinchos localizados nas margens. Quando o trajeto a ser percorrido pela balsa for longitudinal ao curso d'água, um rebocador será necessário.

7.6.3 Montagem de pontes por lançamento

A montagem por lançamento consiste em pré-montar as longarinas da ponte sobre o terreno em uma das margens, e fazer a ponte inteira se deslocar sobre apoios deslizantes até sua posição final sobre o rio. Normalmente é necessário um bico de lançamento que é usado como prolongamento provisório da ponte, em conjunto com um contrapeso para evitar o tombamento da ponte sobre a água. O tabuleiro, normalmente de concreto, será instalado após o lançamento da ponte.

Existem diversos processos de lançamento:

- A ponte desliza sobre roletes estacionários - para a utilização deste processo de lançamento, as longarinas deverão possuir a superfície da mesa ou da corda inferior isentas de quaisquer saliências.
- A ponte é dotada de rodas e desloca sobre trilhos; pontes com vigas de inércia variável ou com parafusos salientes na corda inferior serão lançadas por este método. Nestes casos irão necessitar de peças agregadas as longarinas para promover o nivelamento dos troles com as rodas. Os trilhos chegam somente até a primeira margem, sendo este um processo utilizado para vencer somente um vão por vez;
- A ponte é dotada de roletes e estes deslizam sobre canaletas – Semelhante ao anterior.

Figura 7.9 – Montagem de ponte por lançamento

O processo de montagem por lançamento apresenta diversas vantagens, sendo a principal o fato de exigir equipamentos de pequeno porte para o içamento das peças, pois a pré-montagem se faz junto a uma das margens do curso d'água. A descarga das peças da estrutura será feita nesta mesma margem, eliminando a necessidade de transportar as peças sobre a água.

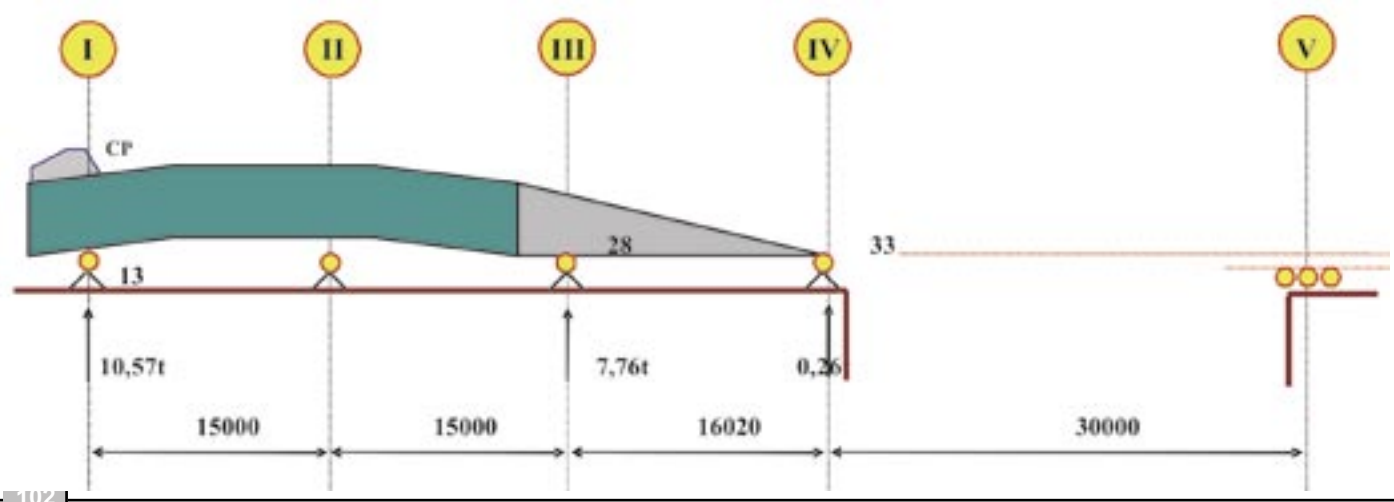
Isto significa uma grande economia, devido à concentração na área de pré-montagem de todas as operações que envolvem a execução das soldas de emendas e do lançamento, com a instalação de guindastes, máquinas de solda, compressores, guinchos e geradores, num mesmo local. Além disso, o fator segurança é excepcional, pois os operários trabalham sobre terra firme, ao contrário de outros processos.

Apesar destas facilidades, se fazem necessárias diversas verificações da estrutura frente aos esforços que agirão sobre a mesma durante o lançamento. Quando a ponte é autoportante durante o lançamento, é indiferente a altura dos pilares e consequentemente das longarinas ao solo. Entretanto, se as estruturas não resistirem ao lançamento, serão necessários reforços estruturais, apoios intermediários ou ambos ao mesmo tempo. Estes apoios serão localizados entre os pilares da ponte de forma a promover a redução do vão livre e dos esforços sobre as longarinas. Ora Dependendo da altura da estrutura ao solo (ou à superfície da água), estes apoios intermediários encarecerão muito este processo. O ideal é que a ponte seja projetada pensando-se no processo de montagem, evitando-se que se descubra tardiamente a necessidade de apoios ou outras estruturas provisórias.

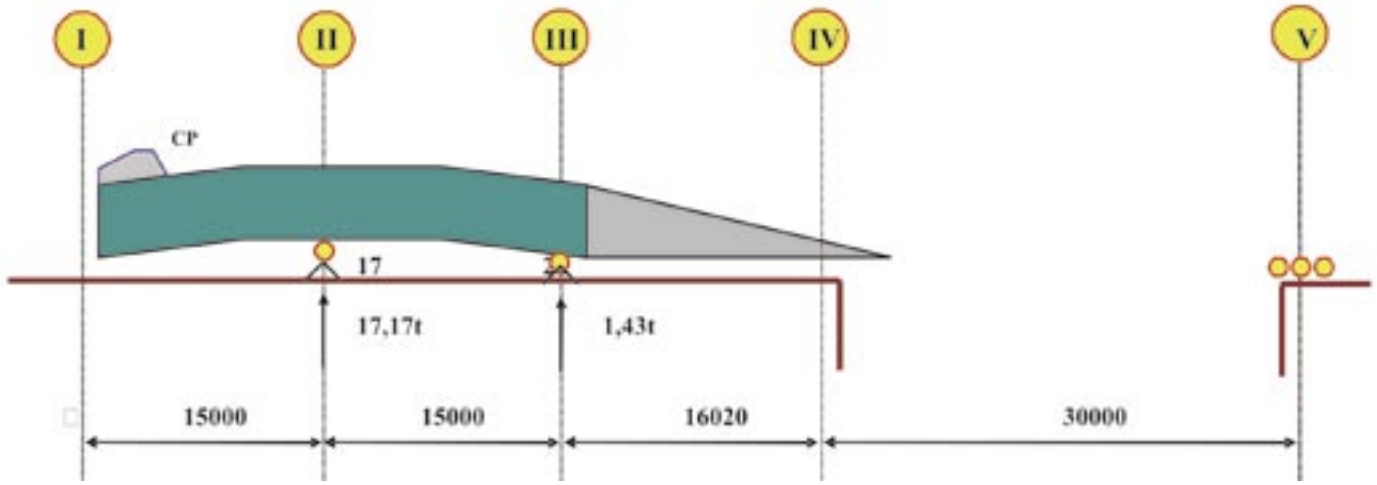
O princípio fundamental do lançamento é o equilíbrio da viga sobre dois ou mais pontos de apoio. Para haver estabilidade durante o lançamento, o peso sobre a margem deve ser superior ao peso sobre o vazio, mais um coeficiente de segurança que garanta a não ocorrência do tombamento sobre o vazio. Isto se calcula pela determinação dos momentos de tombamento em torno da última lagarta ou rolete localizado na margem. Para que o momento de tombamento sobre o vazio seja bem menor que o momento de tombamento sobre o terreno da área de pré-montagem, o peso do bico de lançamento deve ser menor que o peso da estrutura, e um contrapeso deverá ser instalado à ré da ponte.

Qualquer ponte contínua com mais de um vão pode ser lançada sem contrapeso e com um pequeno bico de lançamento. Basta que o peso das longarinas sobre a margem seja bem superior ao peso das estruturas projetadas sobre o vazio. Tudo vai depender dos estudos do tombamento feitos para cada caso específico.

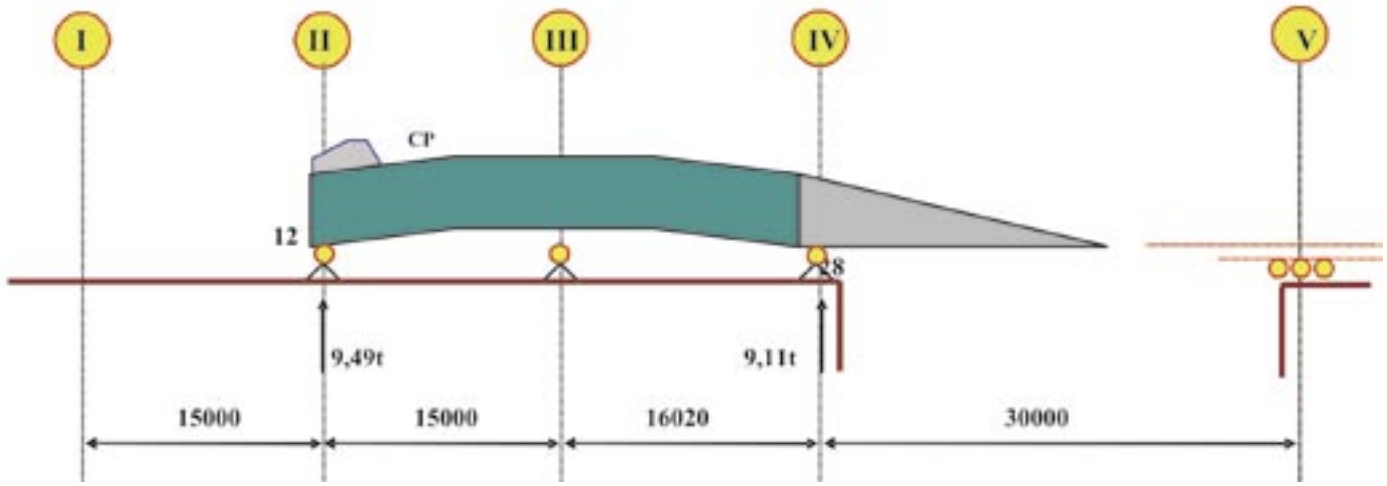
FASE 1



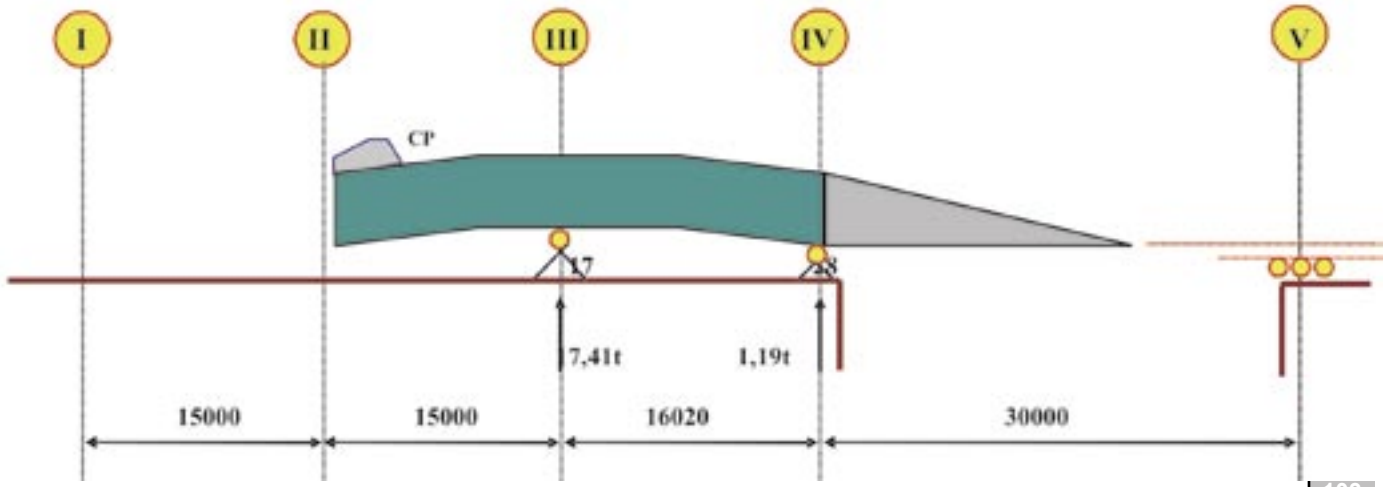
FASE 2



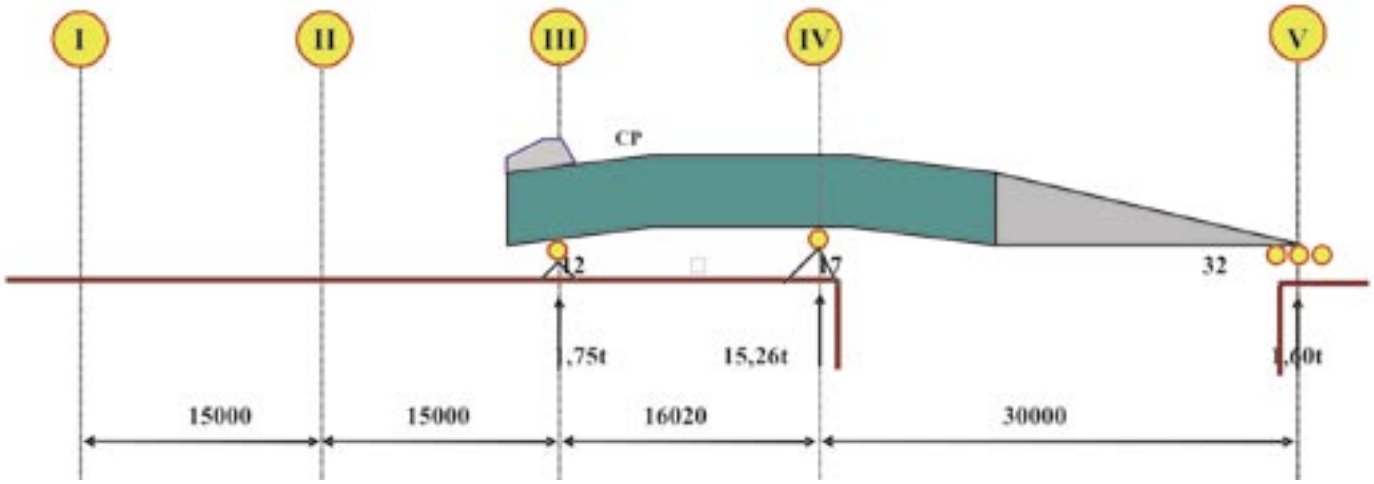
FASE 3



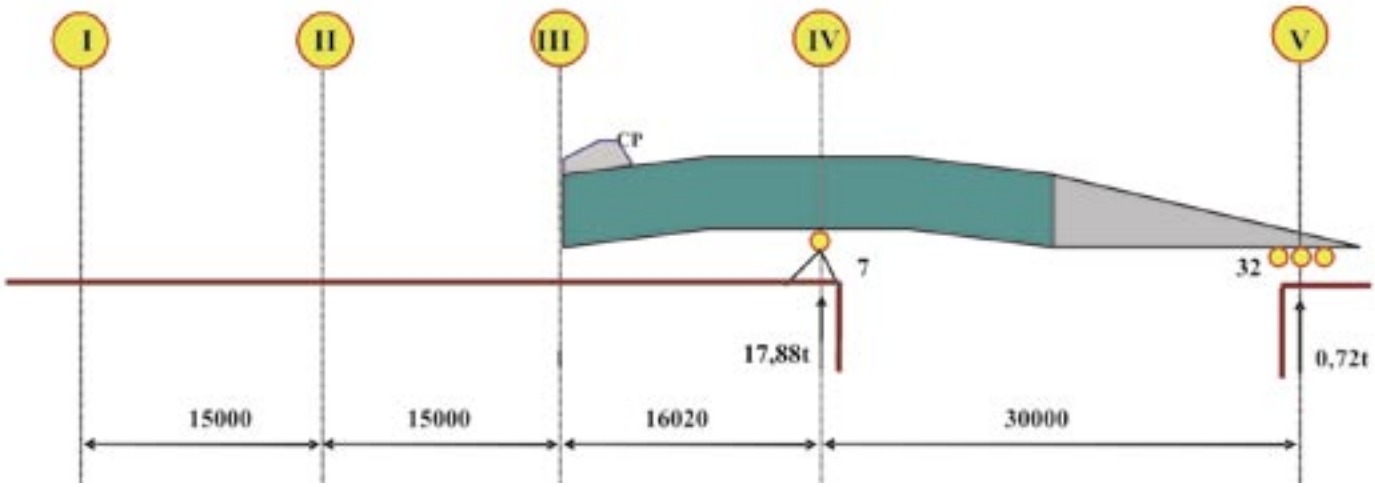
FASE 4



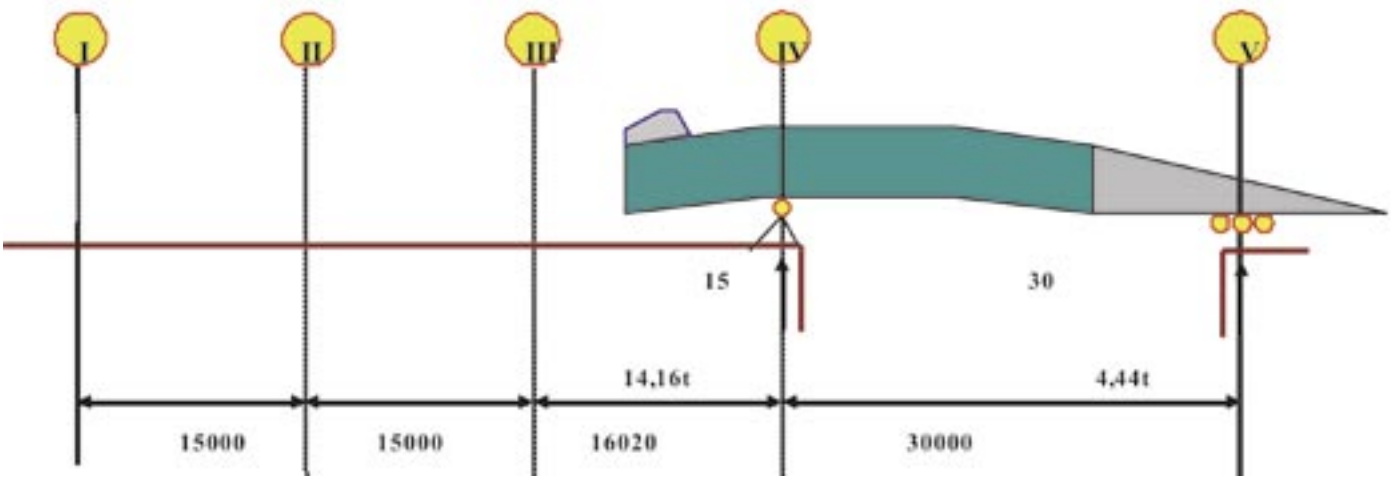
FASE 5



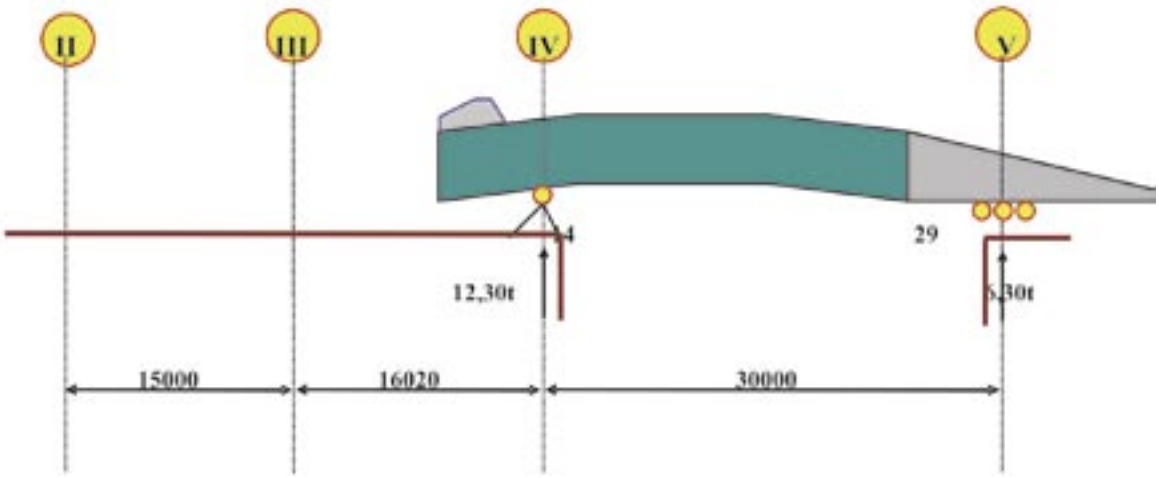
FASE 6



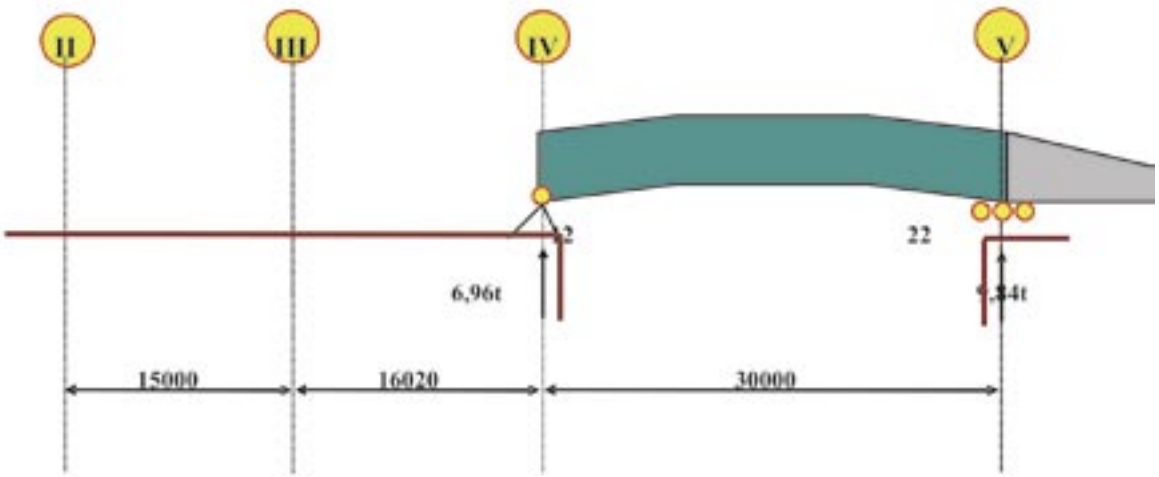
FASE 7



FASE 8



FASE 9



Aparentemente, a ponte e o bico poderão ser montados sobre a margem e deslocados de uma só vez para a outra margem. No entanto, a operação de lançamento exige uma série de providências preparatórias para que a mesma tenha sucesso.

A montagem por lançamento se inicia pela instalação de um freio eficiente à ré da ponte, para evitar que a mesma deslize acidentalmente. Em seguida, procedem-se à remoção dos skids provisórios utilizados para o apoio das partes de longarinas antes da execução das soldas das emendas. Após, instala-se o aparato de tração da ponte, que pode ser um dos seguintes:

• Guinchos instalados à frente, ou como é mais freqüente, instalados à ré. O tipo de guincho mais utilizado são os movidos por motor a diesel, que estão entre os de maior capacidade. Os cabos de tração devem ser instalados com redução ded diversas roldanas, permitindo o arraste de cargas maiores e reduzindo a velocidade de arraste. A instalação do guincho

à ré depende da colocação de roldanas na margem oposta;

• Macacos instalados à ré, acionados por centrais hidráulicas, permitindo o movimento para trás ou para frente, conforme a necessidade. Para o funcionamento destes macacos, são necessários furos no flange inferior da longarina ou mordentes no macaco;

• Tirfors instalados à frente, na margem oposta, com capacidade e número suficiente para vencer a força de atrito. Os tirfors podem ser instalados com reduções nos cabos por meio de roldanas, ou ligados diretamente à ponte. Aplicável somente a pequenas pontes de um só vão;

• Tração por meio de veículos, como por exemplo, um trator sobre esteiras. Este tipo de solução não é o mais adequado por ser de difícil operação nas baixas velocidades recomendáveis para lançamentos. Aplicável somente a pequenas pontes de um só vão;

Recomendações Gerais de Lançamento

• É totalmente irregular lançar a ponte com algum sobrepeso não previsto no cálculo do lançamento, seja sobre a ponte ou sobre o bico.

• Deve-se engraxar todos os mancais dos roletes, lagartas (roletes múltiplos) e berços. Pode-se engraxar também os pinos laterais dos berços de montagem, destinados a manter as cordas inferiores sobre os roletes. Os contatos eventuais dos flanges das cordas com as abas dos roletes de montagem também serão vencidos mais facilmente se estas partes forem engraxadas.

• Não se deve amarrar o cabo de tração por baixo do flange inferior, nem fixá-lo em peças frágeis do bico. O ponto ideal é na extremidade externa do flange inferior da ponte, um ou dois metros atrás da emenda com o bico.

• Temendo-se que sobrevenha ventania durante o lançamento, deve-se amarrar lateralmente a ponte por meio de contenções laterais e com tirfors se necessário. Estes devem ser mantidos ajustados. Não é prudente lançar-se a estrutura com vento muito forte, muito menos interromper um lançamento. Se for imperiosa esta interrupção, é preciso estaiar firmemente todo o conjunto.

• Quando a ponta do bico de lançamento alcançar o berço da margem oposta (ou pilar intermediário), ainda há um coeficiente de segurança contra o tombamento bastante razoável. Este é o momento de se transferir a carga para o berço e dar prosseguimento ao avanço do bico sobre ele. Em geral, um avanço de poucos metros fará com que o conjunto “tombe” suavemente sobre o berço. Neste momento o centro de gravidade do conjunto estará no vão livre entre as duas margens, e não se correrá o risco da ponte tombar para trás quando pender livremente à ré.

• No momento em que a emenda bico-ponte se aproximar do ponto de momento máximo, pouco depois da metade do vão, estará em seu ponto mais crítico. Assim é recomendável que a cauda da ponte existente à ré sirva de contrapeso, tendendo a levantar a parte do bico e da ponte sobre o vão aliviando aquela emenda. Este alívio é indispensável para o bico. A hipótese de tombamento para trás não pode ser desprezada pelos cálculos. O contrapeso poderá eventualmente ser cuidadosamente retirado, dependendo do plano de montagem e dos cálculos.

• É muito importante nunca permitir três

apoios simultâneos em lançamentos de pontes de um só vão. Caso seja uma ponte com diversos vãos, deve-se evitar a ocorrência de um vão entre roletes maior que o próprio vão da ponte. Se isso ocorrer, o bico poderá não resistir e a ponte tombar dentro do rio. Caso parte da carga descansar sobre outros roletes da primeira margem, além de diminuir a compensação do contrapeso e o braço de alavanca, o vão fica aumentado. A liberdade da cauda se obtém pela colocação elevada dos berços de lançamento antes da montagem ou removendo-se os roletes de ré.

• Se a extremidade da ponte estiver tocando no chão, é necessário cavar sob ambos os lados da ponte um sulco de profundidade e comprimento tal que evite o arrastamento dos flanges. É o último recurso para garantir a condição de liberdade de toda a cauda da ponte. Neste momento, o bico suporta, na margem oposta, cada vez mais peso da ponte que se aproxima.

• Fazer as amarrações dos eixos longitudinais e transversais de cada base, com pontos e bandeirolas, facilitando o posicionamento correto das placas de base nas colunas. Todas as medidas deverão ser exatas de acordo com as medidas contidas no desenho da obra. Assentar corretamente os calços de apoio das placas de base (caso existam), dentro da cota do projeto. Os Skids que servirão de apoio para as longarinas, deverão estar alinhados, esquadrejados e nivelados já com a contra-flecha, de tal forma a não coincidir com as emendas soldadas da viga.

• As longarinas deverão ser alinhadas, niveladas, esquadrejadas de acordo com sua contra-flecha, antes da solda das emendas e serem conferidas após a solda. Caso haja desconformidade na montagem, reconferir as medidas e o comprimento das peças problemáticas, bem como os vãos nos quais serão montadas as longarinas.

• Os serviços topográficos deverão ser anotados em caderneta para posterior apresentação de relatórios, contendo croquis da vista superior das longarinas e detalhes dos mesmos.

• Amarrar os eixos longitudinais e transversais da obra, com pontos topográficos e bandeirolas nos blocos de apoio das longarinas. Posicionar corretamente as torres e roletes, de acordo com o alinhamento do eixo central longitudinal da obra de tal forma que sua posição não coincida com o local de emenda da solda da longarina.

• Os roletes deverão estar alinhados, espaçados e nivelados de acordo com o planejamento do lançamento. Normalmente os roletes são colocados em nível perfeitamente horizontal, a despeito da contra-flecha. Durante o estudo do lançamento deve, por isso, ser estudada cuidadosamente a possibilidade de o vão entre os pontos apoiados ser maior que o vão da ponte. O que ocorre é que, com a contra-flecha, a ponte descolará de algum rolete por não estar submetida a esforços suficientes para abaixar a longarina, anulando a contra-flecha.

• Verificar se o cabo do guincho está posicionado no eixo central, tanto no conjunto a ser deslocado, quanto na roldana guia do cabo, instalada no lado aposto ao lançamento. Instalar o aparelho topográfico no eixo central da obra e em lugar seguro, para acompanhar o lançamento, verificando se o conjunto está se deslocando no eixo. Caso ocorra desvio, posicionar novamente o conjunto no eixo central.

• O peso total do contrapeso pode ser calculado levando-se em conta os pesos da ponte, dos travamentos e do bico de lançamento. O coeficiente de segurança contra o tombamento não deve ser inferior a 1,5 em nenhuma situação. Os momentos de tombamento no vão e os momentos estabilizantes sobre a margem são tomados em relação ao eixo central do rolete da margem de lançamento.

• O contrapeso, ao se aproximar dos roletes de lançamento na margem, é cada vez menos eficiente mais ineficiente. É lógico que ele não deve ultrapassar além dos roletes ou lagartas da margem. O peso pode ser formado por pranchões, sacos de areia, tambores cheios de água ou o que é preferível, as próprias lajes pré-moldadas do tabuleiro em número, peso e localização estudados no plano de montagem. Não se deve descuidar da capacidade limitada dos roletes de montagem.

• A carga sobre os roletes fica aliviada pela tendência que o contrapeso tem de levantar a ponte no vão. O que limita este recurso é a capacidade dos berços de lançamento. O centro de gravidade do conjunto deve ser mantido entre os primeiros roletes e os berços de lançamento na margem. A remoção do peso da cauda faz o conjunto tombar para o vão.

• Após o bico ultrapassar os berços da margem oposta, inicia-se a desmontagem do bico e do contrabico. À seguir executa-se o abaixamento da ponte sobre os apoios definitivos. Esta operação exige perfeito sincronismo nos quatro apoios, de forma a não desnivelar a ponte. Para descer a ponte são necessários quatro macacos hidráulicos, (dois em cada extremidade). Por prudência, deve-se colocar pequenas fogueiras sob o lado que estiver baixando (um lado de cada vez) e retirá-las gradualmente. Os macacos devem descer por igual.

7.6.4 Montagem por balanços sucessivos

A montagem por balanços sucessivos consiste na técnica de progredir a montagem das longarinas por seções parciais que se ligam às anteriormente montadas. Parte-se de uma das margens, de um apoio intermediário ou de um vão secundário.

Aplica-se nos casos de pontes estaiadas, pontes em arco ou de inércia variável, pontes pênseis ou pontes treliçadas que não apresentem condições de serem montadas por lançamento ou por balsa. Isto pode ser determinado seja por vãos de grandes proporções, seja pelas grandes cargas envolvidas.

As principais diferenças entre as várias aplicações da montagem por balanços sucessivos se devem, antes de tudo pelo tipo de estrutura, mas também pela parte inicial da ponte da qual se partirá o avanço, o sistema de alimentação dos elementos da ponte e o tipo de equipamento que fará o içamento e o posicionamento das peças na extremidade do balanço.

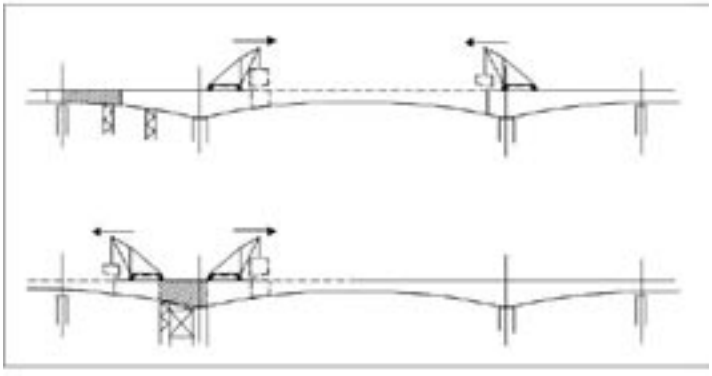


Figura 7.11 – Montagem por balanços sucessivos

Os problemas comuns a todas as modalidades de montagem por balanços sucessivos são os seguintes:

• O posicionamento dos elementos, a execução da ligação entre eles e o con-

trole desta operação se desenvolvem na extremidade do balanço. Isto representa uma grande parte dos trabalhos de campo, executados freqüentemente em condições difíceis (sobretudo para se resguardar da ação dos ventos), pondo como prioritário o problema da segurança do pessoal envolvido.

• A área de trabalho é limitada ao perímetro das seções a serem ligadas. A montagem se desenvolve em ciclos, com grande interdependência entre as fases: uma só inicia quando a anterior for executada por completo. Por isso, procura-se multiplicar as frentes de avanço para se minimizar o prazo da obra, o que vem a onerar os custos finais de montagem.

Pode-se enumerar algumas modalidades de montagem por balanços sucessivos, sem no entanto pretender esgotar o assunto :

a) Balanços sucessivos montados por meio de guindastes ou de derricks sobre o próprio tabuleiro da ponte. A alimentação das peças pode ser feita sobre o tabuleiro já montado, sendo transportadas a partir das margens através de cavalos mecânicos; ou transportadas por balsa sobre a água na projeção do vão. Neste caso as longarinas são “pescadas” pelo equipamento de içamento.

b) Balanços sucessivos montados por meio de guindaste situado sobre uma balsa. As peças estarão sobre a mesma balsa e serão içadas até a extremidade do balanço. Algumas limitações desta modalidade são a capacidade portante das balsas disponíveis, a lança do guindaste em função da altura de içamento, a profundidade do curso d’água e a presença de correntezas fortes.

c) A montagem por balanços sucessivos por meio de troles suspensos em cabos de aço que atravessam todo o rio é aplicada nos casos de pontes pênseis. Os próprios cabos que sustentarão a ponte servem de cabos mensageiros para os trolleys, que são dotados de mecanismos de içamento e se movimentam sobre os cabos. Assim, as peças são alimentadas por balsas e “pescadas” pelo trolley, que as ligam às peças já montadas.

7.7 Equipamentos utilizados na montagem de pontes

7.7.1 Introdução

Para a execução da montagem de pontes e viadutos, são necessários equipamentos especiais para o içamento das peças que compõem as estruturas. Sem estes equipamentos, torna-se impossível qualquer operação de montagem, devido às elevadas cargas envolvidas.

Entre os principais equipamentos de montagem destacam-se os guindastes, os derricks, as gruas e os guinchos, estes utilizados quase sempre como tracionadores em montagens por lançamento. Nos últimos 40 anos houve uma extraordinária evolução dos equipamentos de montagem. Ao tradicional Derrick foram se somando outras máquinas, com maior mobilidade, capacidade portante e sistemas computadorizados de comando.

A partir de um estudo aprofundado quanto aos custos e prazos envolvidos, ao desempenho de cada equipamento, ao peso próprio e reações máximas, às situações específicas durante a obra; chega-se à conclusão que equipamentos atendem satisfatoriamente ao problema.

Os equipamentos mais comuns como gruas e guindastes são apresentados no Capítulo 3. Descrevem-se abaixo os equipamentos de içamento mais específicos utilizados na montagem de pontes e não apresentados naquele capítulo.

7.7.2 “Derricks”

Os derricks são equipamentos de grande capacidade portante que são formados por um mastro - que permanece na vertical e sustenta a lança - e por uma lança; que possui o movimento de levantar e abaixar e de onde pende a carga içada. Existem dois tipos principais de derricks: o Guy Derrick, cujo mastro é sustentado na vertical por cabos de aço ligados ao solo; e o Stiffleg Derrick, que sustenta o mastro por meio de dois membros rígidos ligados ao solo.

a) Guy Derrick

É essencialmente estacionário mas possui grande capacidade de carga. Existem derricks com alturas superiores a 100 m e capacidades de 100 t. Os derricks se compõem de duas partes principais: O mastro, colocado em posição vertical atirantado na estrutura onde se apoia, e a lança que possui movimentos que lhe dão grande capacidade de manusear cargas. Seu uso mais recomendado é na prémontagem de pontes em pátios de operações onde não se necessita de mobilidade do equipamento.

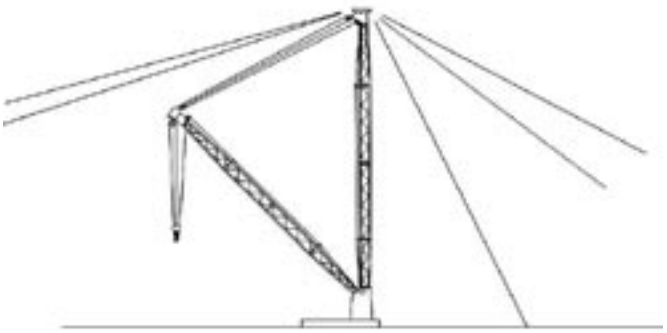


Figura 7.12 – Derrick estaiado (guy derrick)

Stiffleg Derrick

O mastro é mantido na posição vertical por um par de hastes que formam em planta um ângulo de 90°. Este mastro e a lança são em tudo similares aos de um derrick estaiado (guy derrick), mas não existem mais os problemas de interferências da lança com os estais, e nem tampouco as limitações quanto à mobilidade, visto que os stiffleg derricks são estruturas independentes e estáveis não necessitando dos estais ligados ao solo, podendo ser dotados de mecanismos deslizantes. O mastro é mais curto que a lança, o que fornece a este equipamento maior versatilidade.

O derrick de hastes (stiffleg derrick) não requer ancoragem a grande distância como os estaiados, mas se observa por outro lado que a lança trabalha em planta sobre um ângulo não superior a 260° não podendo operar na região entre as hastes.

Este equipamento é utilizado em montagens progressivas, como por exemplo, sobre pontes montadas por balanços sucessivos.

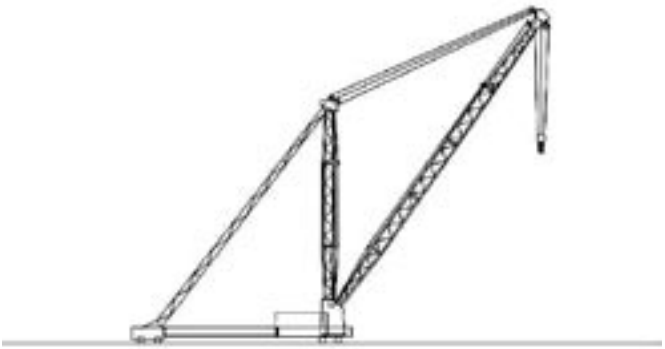


Figura 7.13 – Derrick de hastes

7.7.3 Travellers

São estruturas provisórias deslizantes utilizadas em montagens por balanços sucessivos. São utilizadas para o içamento e sustentação das novas peças, além de proporcionarem uma plataforma de trabalho aos montadores. O traveller se apoia sobre a extremidade já montada da ponte e se projeta em parte sobre o vazio para o início do próximo ciclo. A vantagem sobre os derricks é sua simplicidade, além de servir de sustentação às formas do tabuleiro quando este for em concreto moldado no local.

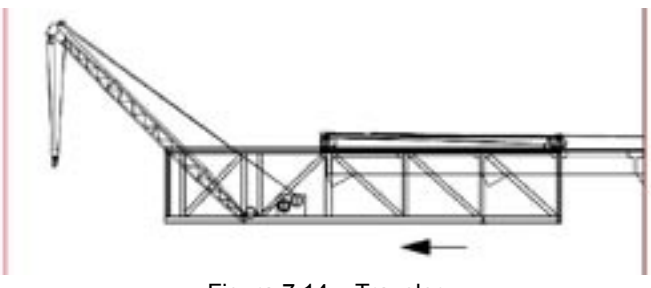


Figura 7.14 – Traveler

7.7.4 Treliça lançadeira

As treliças lançadeiras são equipamentos na forma de grandes treliças, que operam sobre apoios deslizantes, ocupando o vão no qual a estrutura será montada. Essas treliças são mais utilizadas na montagem de estruturas de concreto protendido devido ao grande peso próprio das vigas. Caso não se disponha de treliça lançadeira, a montagem de vigas de concreto protendido exigirá guindastes de altas capacidades, mesmo assim limitado à hipótese de montagem sobre o solo, no caso de viadutos.

Por outro lado, a montagem por lançamento convencional de vigas de concreto é proibitiva pela inversão de momentos durante o processo, incompatível com este tipo de estruturas. Daí o fato de a treliça lançadeira ser praticamente a única solução de montagem de estruturas de concreto protendido, sendo uma alternativa para as estruturas em aço em certos casos.

Na parte superior da treliça e transversalmente a ela, existem duas pontes rolantes munidas de guinchos, dimensionadas para suspenderem e transladarem as vigas. O conjunto destas duas pontes rolantes e mais a cabine onde estão o gerador, o quadro de comando e o motor, deslocam-se longitudinalmente, em cima da treliça transportando a viga.

Cada conjunto de apoio da treliça é constituído de dois carrinhos com balancins, sobre os quais deslizam os trilhos dos banzos inferiores da treliça. Estes carrinhos, por sua vez, deslizam transversalmente à treliça, em cima de trilhos, permitindo o deslocamento transversal das vigas.

7.7.5 Guinchos

Os guinchos são equipamentos de tração, utilizados para puxar cargas na horizontal. Com o auxílio de roldanas, também podem ser utilizados para içamentos na vertical. Os guinchos podem ser acionados por motores elétricos, a diesel ou por ar comprimido.

Geralmente os guinchos movidos a diesel são os que possuem as maiores capacidades, sendo por isso os preferidos na montagem de pontes por lançamento, devido às grandes cargas envolvidas. Para se tirar maior proveito do equipamento, é usual a utilização de jogos de roldanas para se reduzir a força de tração no cabo de acionamento, e consequentemente, a capacidade necessária do guincho.

7.7.6 Macacos trepadores

Estes equipamentos são utilizados como auxiliares da montagem de grandes cargas, exclusivamente na vertical. Por isso, se prestam ao içamento de vãos inteiros de pontes, à partir das extremidades.

7.8 Montagem de passarelas

7.8.1 Generalidades

A montagem de passarelas é bastante semelhante à montagem das pontes, mas com a ocorrência de peças muito mais leves e equipamentos consequentemente menores. Todas as técnicas descritas acima para as pontes e viadutos se aplicam às passarelas. A possibilidade de realizar a montagem de grandes vãos da estrutura de uma só vez, é real no caso das passarelas. Como as peças possuem peso reduzido, será possível transportar a passarela quase pronta de fábrica para o local da montagem. Com uma rápida pré-montagem, iça-se uma grande parte da estrutura com equipamento de custo relativamente baixo num curto espaço de tempo. Esta característica permite a utilização de passarelas de estruturas de aço sobre movimentadas avenidas quase sem interrupção do trânsito.

Figura 7.15 – Passarela de pedestres em aço

7.8.2 Recomendações

• Verificar no desenho o local e a posição da passarela, amarrando o eixo longitudinal e transversal de cada base com pontos, bandeirolas, etc. Estas marcações serão de preferência em cor vermelha.

• Alinhar, nivelar e conferir o vão de eixo a eixo entre os chumbadores, verificando seu alinhamento e nivelamento antes de liberar para a montagem.

• Todas as medidas deverão ser exatas de acordo com as cotas contidas no desenho da obra. Assentar corretamente os calços de apoio das placas de base, dentro da cota do projeto.

• Se a passarela for treliçada, alinhar, nivelar e esquadrejar os skids de tal forma que as emendas onde serão aparafusadas ou soldadas não coincida com os skids.

• A treliça deverá ser alinhada, esquadrejada e nivelada. Caso haja contra-flecha na peça, nivelar os skids de acordo com a mesma. Verificar a contra-flecha após a soldagem.

Uma tendência na concepção de passarelas é a soldagem de fábrica e ligações parafusadas de campo. Devido à possibilidade de execução de pré-montagem de oficina, a soldagem das peças levará a uma economia no consumo de materiais. A soldagem se presta muito bem em ambiente protegido de intempéries, possibilitando a utilização de processos com proteção gasosa de grande rendimento. Além das facilidades proporcionadas pela fábrica com disponibilidade de todos os recursos em um mesmo local. A passarela poderá ser transportada em grandes segmentos para o campo, devido ao peso reduzido e as dimensões compatíveis com os veículos mais utilizados. Para a montagem, entretanto, todos os recursos devem ser mobilizados pela montadora.

Características mais comuns das obras de passarelas:

• montagem sobre via com trânsito pesado devendo-se minimizar ao máximo as interrupções e a permanência no local;

• período curto de obra, não compensando a aquisição de transformadores ou solicitação de ligações provisórias de energia por parte da concessionária;

• possibilidade de utilização de ferramentas pneumáticas alimentadas por compressores de ar movidos a óleo diesel.

Deve-se optar pelas ligações parafusadas no campo, pela rapidez de execução e facilidade das ferramentas pneumáticas, que não necessitam de energia elétrica.

Capítulo 8

Outros tipos de estrutura

8.1 Introdução

Neste capítulo são abordadas as estruturas não classificadas como de edificações nem como de obras de arte, já abordadas em capítulos anteriores. São estruturas peculiares que demandam técnicas construtivas bem diversas entre si. Dentro de cada modalidade, formam verdadeiras especialidades no ramo das estruturas em aço, são elas: torres, tanques e esferas de armazenamento, chaminés, vasos de pressão, estruturas espaciais. As empresas fabricantes de torres de transmissão dificilmente oferecem também a fabricação de tanques de armazenamento, ou ainda, montadoras de estruturas espaciais não executam normalmente a montagem de esferas. Esta especialização se verifica em toda a cadeia produtiva, partindo do projeto estrutural, equipamentos necessários à fabricação, matéria-prima aplicada e também pelo processo de montagem e equipamentos necessários. Uma mesma empresa tende a atuar somente em um ou dois segmentos onde as estruturas são similares, precisamente pela tecnologia e logística necessárias para a execução serem similares, por exemplo: Tanques e chaminés possuem certa semelhança tanto na fabricação e matéria-prima quanto na montagem, apesar das diferenças existentes serem evidentes.

8.2 Montagem de torres

As torres são estruturas altas com seção transversal pequena em relação à altura, destinadas a elevar do solo algum equipamento ou utilidade. As solicitações devidas ao vento rivalizam em importância com as cargas verticais, muitas vezes superando-as. Pode-se classificar as torres quanto ao partido estrutural ou pelo material empregado: torres constituídas de cantoneiras e outros perfis leves abertos e torres formadas por tubos fechados; torres de seção transversal variável e outras de seção contínua (postes); torres constituídas de diversos elementos esbeltos interligados formando uma treliça espacial e torres formadas por um único elemento tubular; torres estaiadas (mastros) e as engastadas na base, chamadas de autosuportadas.

Figura 8.1 – Montagem de torre de transmissão de energia elétrica

a) Torres treliçadas autosuportadas – É o tipo mais comum de torre destinada a suporte de cabos de transmissão de energia elétrica em alta tensão e as destinadas a suportar equipamentos de telefonia fixa. Estas torres são constituídas de cantoneiras galvanizadas parafusadas entre si. Suas peças são muito leves e fáceis de serem transportadas para os locais de montagem. Pela característica de sua utilização atravessando grandes extensões territoriais, as torres de transmissão se situam em pontos de difícil acesso para veículos e equipamentos. A solução ideal de montagem deste tipo de torres é a pré-montagem manual de subconjuntos da estrutura, ao nível do solo, e o posterior içamento destes por meio de um guindaste. Entretanto, nem sempre será possível o acesso de um guindaste ao local. Neste caso, o içamento dos subconjuntos será feito com o auxílio de paus de carga instalados provisoriamente na própria estrutura, e deslocados para cima à medida que a montagem progride. O “facão” (pau de carga) é dotado de uma polia instalada na parte superior, por onde passa a corda de fibra ou cabo para o içamento das peças. Na parte inferior o facão possui uma garra que se apóia junto a um nó da estrutura já previamente montada. O cabo de içamento

será passado por diversas polias de mudança de direção até que esteja alinhado com o equipamento de tração. Para a tração poderá ser utilizado um trator ou outro veículo adequado ao terreno. O içamento é feito afastando-se lentamente o trator da torre. No içamento de peças ou conjuntos maiores serão necessários dois ou mais cabos de içamento. Para isto deve ser instalado um pau-de-carga para cada linha de içamento, interligando cada um ao veículo trator através de olhais e manilhas.

Figura 8.2 – Montagem de torre de transmissão de energia elétrica

b) Torres tubulares engastadas na base (postes) – Muito utilizadas para suporte de equipamentos de telefonia celular. São constituídas de um único tubo cônico de seção circular ou poligonal de chapa de aço. A torre será dividida em algumas seções de comprimento adequado ao transporte, normalmente de seis metros. As seções serão interligadas entre si por meio de conexões de encaixe, flangeadas ou parafusadas. Este tipo de torre é eminentemente urbano, facilitando a utilização de guindastes na montagem. A torre poderá ser prémontada na horizontal e verticalizada por um guindaste desde que suporte bem este tipo de solicitação. Outro processo de montagem será pelo içamento seção por seção. Neste caso, pode ser utilizado um pau-de-carga colocado entre torres de andaimes montadas em torno da torre. Os postes treliçados poderão ser montados pelos mesmos processos.

Figura 8.3 – Montagem de torre de transmissão de energia elétrica

c) Torres estaiadas (mastros) – São estruturas muito esbeltas articuladas na base, que contam com cabos de aço interligados em diferentes pontos de sua altura e ancorados no solo para sua estabilização. Este tipo de torre se presta principalmente para locais com grande disponibilidade de espaço, pois os estais são ancorados distantes da estrutura. São utilizadas para suporte de equipamentos de rádio

transmissores e linhas de energia. Podem ser treliçadas ou tubulares, na forma de poste ou aporticada. Sua característica principal é o peso reduzido e conseqüente economia de material devida a utilização dos estais. Desde que suportem os esforços, poderão ser verticalizadas com o auxílio de um guincho, basculando sobre a própria base. Podem ser utilizados mastros para aumento do ângulo de içamento. Os estais já devem estar previamente instalados à torre, porém ainda não ancorados às bases. Os estais instalados à ré servirão de freio para a verticalização.

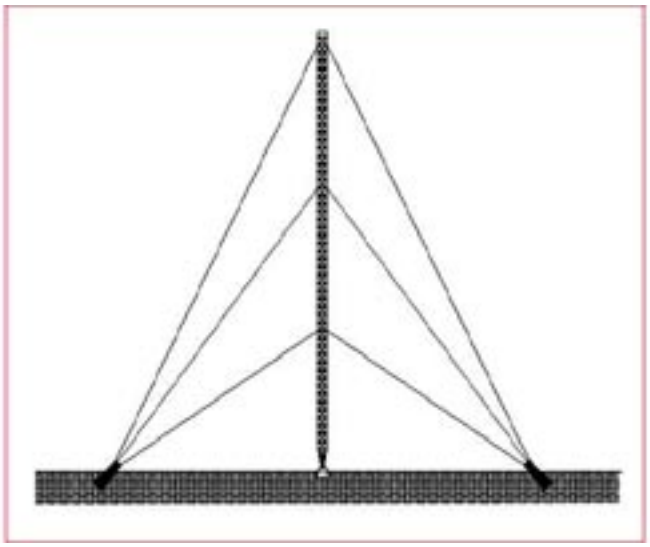


Figura 8.4 – Torre estaiada

8.3 Montagem de tanques e reservatórios

Os tanques de armazenamento são estruturas cilíndricas formadas por chapas de aço carbono, destinadas a armazenamento de produtos líquidos ou a granel. Os tanques maiores possuem o eixo na vertical, e os pequenos tanques o eixo na horizontal. Seu tipo de carga promove sob a superfície das paredes laterais um esforço de tração proporcional a altura do líquido, conjugado com a flexão. A forma cilíndrica resulta em pequenas espessuras das paredes, tanto pela grande resistência à tração do aço quanto pela resistência a flexão da forma das paredes.

Figura 8.5 – Montagem de tanque de armazenamento

Os principais tipos de reservatórios são:

Tanques de teto fixo - São reservatórios de água, álcool ou derivados de petróleo submetidos a pressão atmosférica e construídos sobre o solo. O fundo é formado por tiras de chapas de aço superpostas, unidas atreavés de soldas de filete. O costado (parede lateral) é formado por anéis de chapas de aço, cuja espessura é maior junto ao fundo e decresce nos anéis superiores até chegar ao teto. As chapas do costado podem ser posicionadas de topo, com ou sem chanfro e ligadas por meio de solda horizontal e vertical. O teto é levemente cônico e formado por tiras de chapas, que devem estar apoiadas em uma estrutura suporte. A estrutura interna é formada por diversas colunas apoiadas sobre o fundo, interligadas por vigas radiais e circunferenciais. Conforme a utilização o tanque possuirá bocais flangeados de inspeção, portas de visita, extravasor, descargas de fundo e entrada de produto. A junção entre o costado e o teto possui um anel de reforço de contraventamento. A escada de acesso ao teto poderá ser do tipo marinheiro com guarda-corpo ou espiral soldada ao costado.

Figura 8.6 – Montagem de tanque de armazenamento

A fabricação dos tanques cilíndricos se limita a calandragem do costado, a preparação das bordas das chapas, bocais flangeados, estrutura do teto e acessórios. As demais atividades se desenvolvem no campo durante a montagem. As fundações são formadas por uma cinta cincunferencial em concreto armado sob o costado. Normalmente a carga do fundo se distribui diretamente sobre o terreno compactado e impermeabilizado. Inicia-se a distribuição das chapas do fundo sobre a base. As soldas do fundo serão normalmente por justaposição com traspasse de uma chapa sobre a outra, com soldas de filete na espessura da chapa superior. O fundo possui um anel de chapas sob o costado, que deve estar bem nivelado para um perfeito assentamento das chapas do costado . Chama-se anel anular. As juntas transversais são executadas por primeiro, formando tiras de chapas. As juntas longitudinais devem ser executadas de forma a se evitarem as deformações provenientes das contrações de soldagem. A montagem do costado se faz pelo içamento das chapas horizontalmente e posicionadas sobre o anel do fundo. Para o içamento das chapas do costado podem ser utilizados os seguintes processos:

• Pau-de-carga situado em um ponto próximo do costado, que levanta uma chapa por vez. Durante a montagem do primeiro anel o pau-de-carga será deslocado para o centro de cada chapa a ser verticalizada. Após o fechamento do primeiro anel do costado, o pau-de-carga poderá ficar estacionário junto ao primeiro anel para o içamento das demais chapas. As chapas do segundo anel serão içadas uma a uma e deslocadas para sua posição por meio de roletes que deslizam sobre o topo e a lateral das chapas do anel inferior.

• Derrick situado no centro do tanque, apoiado sobre o fundo. A lança deste derrick terá comprimento suficiente para alcançar as chapas estocadas e içar uma a uma sobre o anel inferior. O mastro vertical do derrrick poderá ser a própria coluna central da estrutura do teto.

• Utilização de um guindaste para o içamento das chapas do costado.

Devem ser instalados previamente batoques metálicos no fundo para o posicionamento do primeiro anel do costado. As chapas vizinhas são ajustadas umas as outras por cunhas de atracação antes do primeiro passe de solda. Após o posicionamento e soldagem do primeiro anel, se faz o içamento das chapas do segundo anel do costado de forma a não coincidir as juntas verticais com as juntas do anel inferior. As chapas do segundo anel serão atracadas de topo sobre as chapas do primeiro. Após a soldagem das juntas verticais e complementação da atracação de um anel sobre o outro, será feita a solda circunferencial horizontal. Esta solda poderá ser executada por equipamento automático pelo processo de arco submerso, de grande rendimento, que desliza sobre as chapas do segundo anel. Para os demais anéis do costado o método se repete. Para a montagem do teto, é necessária a montagem prévia da estrutura suporte. Após, as chapas são içadas sobre a estrutura do teto.

Tanques de teto flutuante – São reservatórios de derivados de petróleo de alta volatilidade como a gasolina. O fundo e o costado são similares aos de tanques de teto fixo. A característica principal deste tipo de tanque é o

seu teto de tipo flutuante constituído de tiras de chapas de pequena espessura circundadas por um anel flutuador. O teto flutua sobre o líquido armazenado, variando sua altura de acordo com o nível deste. Possui juntas especiais de vedação ao redor do anel flutuador no contato com o costado. Para a montagem destes tanques adotam-se os mesmos procedimentos do tipo de teto fixo para o fundo e o costado. Antes do fechamento total do costado a estrutura do teto deverá estar montada sobre estrutura suporte provisória instalada sobre o fundo.

8.4 Montagem de esferas

Esferas são utilizadas para o armazenamento de produtos sob alta pressão, como gases por exemplo. Possuem a forma esférica ideal para a distribuição uniforme das pressões internas. São formadas por grossas chapas de aço encurvadas, normalmente na forma de fusos, formando faixas que se estreitam à partir do equador para os pólos. As chapas dos fusos podem ou não se encontrarem nos pólos. Neste caso, haverá um grupo de chapas transversais aos fusos formando calotas polares. formando As esferas são suspensas pelo equador por um grupo de colunas que se alinham em forma circular sobre o solo. As colunas são contraventadas entre si fornecendo grande estabilidade ao conjunto.

Figura 8.7 – Montagem de colunas de esfera de armazenamento

Processos de Montagem de Esferas – As esferas são montadas por guindastes. Primeiramente as primeiras seções das colunas serão montadas sobre as fundações. Enquanto isso, a seção superior de cada coluna será soldada no fuso correspondente. Após, os fusos superiores das colunas serão montados sobre a seção inferior já previamente montada. Em seguida o hemisfério será completado com os fusos restantes entre os previamente montados. Os fusos vizinhos são ajustados uns aos outros por cunhas de atracação antes do primeiro passe de solda. O hemisfério superior será montado fuso por fuso e cada chapa atracada ao fuso inferior antes do içamento do fuso seguinte. As peças dos polos serão montadas no final, primeiramente o inferior e depois o superior. Devido ao grande acúmulo de tensões causado pelas soldas das juntas, as esferas são submetidas a um tratamento térmico de alívio de tensões. O controle de qualidade das soldas é o mais rigoroso.

Figura 8.8 – Montagem de esfera de armazenamento

8.5 Montagem de chaminés e vasos de pressão

As chaminés se prestam a encaminhar gases de queima para alturas superiores para maior dissipação. São invólucros de chapas de aço de forma cilíndrica, semelhantes aos tanques de armazenamento, porém com a altura bem maior que o diâmetro. O costado é também formado por chapas de aço calandradas,

reforçadas internamente por “aranhas” para manterem a circularidade. Devido a grande altura destas estruturas e as dificuldades de soldagem anel por anel, é preferível a fabricação de alguns trechos formados por vários anéis de chapas calandradas, resultando em comprimento adequado para o posterior transporte para o campo. Os segmentos maiores formados pela união dos trechos menores deverão ser verticalizados antes do posicionamento sobre as bases e também sobre os segmentos já previamente montados. As chaminés são construídas em chapas mais finas e são relativamente mais altas e esbeltas que os vasos de pressão e não suportariam a verticalização completas. Esta verticalização dos segmentos deverá ser feita com dois guindastes. Um primeiro equipamento faz o içamento da parte superior, enquanto um segundo, capaz de se deslocar com a carga, faz o arraste da parte inferior até o aprumamento do conjunto. Também os vasos de pressão são fabricados em segmentos menores a serem transportados para o canteiro. Após a chegada no canteiro, executa-se a soldagem dos trechos entre si com o eixo do vaso de pressão na horizontal, junto ao solo. Neste caso poderá ser viável a verticalização de toda a peça completa, o que deverá ser estruturalmente verificado. O processo de verticalização poderá ser o mesmo aplicado aos segmentos das chaminés ou ainda outro: Torres situadas em ambos os lados promovem o içamento da parte superior por meio de macacos trepadores enquanto a inferior desliza sobre trilhos ou é deslocada por um guindaste sobre esteiras.

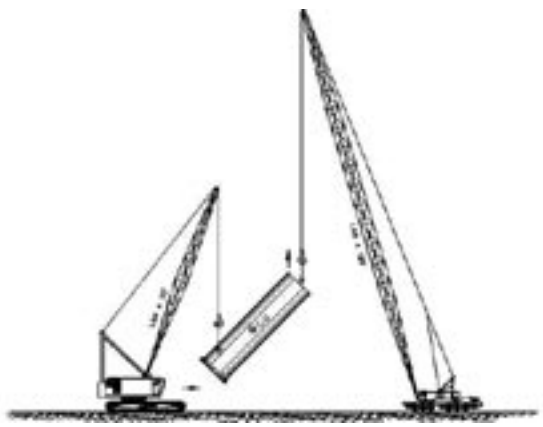


Figura 8.9 – Içamento em tandem de segmento de chaminé

8.6 Montagem de estruturas espaciais

As estruturas espaciais se caracterizam por seu baixo peso se comparadas com as estruturas planas. São formadas normalmente por tubos e nós padronizados que se entrelaçam em um reticulado espacial segundo um padrão definido. Pode se definir as estruturas espaciais como uma placa composta destes elementos, cuja a dispersão lateral e a localização estratégica dos apoios leva a uma otimização de sua resistência e a um aproveitamento ótimo do material.

A montagem das estruturas espaciais em si é bastante simples, bastando unir-se os vários elementos a cada nó da estrutura, formando os módulos básicos que se repetirão conforme a região da cobertura. Entretanto, seria dispendioso a montagem de cada pequeno tubo por meio de guindaste, já na posição que ocuparia na estrutura. No caso das estruturas espaciais os elementos e nós possuem pequeno peso e poderão ser montados manualmente ou por pequenos guinchos, formando toda a estrutura sobre cavaletes ao nível do solo. Após a montagem de toda a estrutura em torno dos pilares, na sua projeção, faz-se o içamento de todo o conjunto por meio de talhas e paus-de-carga localizadas nas regiões dos pilares. Somente as diagonais principais, que descarregam as cargas da estrutura sobre os pilares, serão montadas no alto. O restante da montagem se fará ao nível do piso.

Capítulo 9

Planejamento e orçamento de montagem

9.1 Introdução

Toda atividade de engenharia deve ser executada seguindo um planejamento previamente elaborado e dentro dos parâmetros contidos em um orçamento detalhado. Neste capítulo será abordada a montagem de estruturas sob os prismas econômico e operacional. As obras de montagem de estruturas em aço devem possuir um planejamento que dará origem ao orçamento itemizado e distribuído ao longo do tempo. Este orçamento planejado será útil para atender a três objetivos principais:

1. Conhecimento dos recursos necessários a execução da montagem;
2. Informações para o cálculo do preço de venda a ser apresentado numa proposta comercial para o cliente;
3. Facilitar o controle físico-financeiro durante a obra através de comparações entre planejado e realizado.

Seria desejável que as atividades de montagem se comportassem com certa regularidade e que a partir de uma observação e anotações atentas se formasse um banco de dados confiável baseado no desempenho das obras realizadas. Observa-se, entretanto, que nem todos os funcionários possuem a mesma experiência, como também nem todas as horas do dia são totalmente produtivas. Em certas ocasiões toda a equipe está ociosa devido a chuva, em outras os soldadores estão parados aguardando sua vez de atuarem. Observa-se que a quantidade de toneladas montadas varia conforme o tipo de ligação, as condições do local, a região do País, a época do ano, o tipo de peça montada neste período da obra, etc.

Não se quer com isso afirmar a inviabilidade de se formar o citado banco de dados, mas chamar a atenção para a dispersão das informações dele obtidas, que sempre devem ser adotadas com cuidado. Somente com uma análise qualitativa criteriosa feita por orçamentista experiente se pode extrapolar a produtividade de uma obra realizada para outra ainda em análise. Mesmo porque é difícil se elaborar orçamentos de obra que não sejam baseados em experiências anteriores. Por mais original que seja certa estrutura, sempre se procurarão certas semelhanças com outras para se ter um ponto de partida. Entretanto, se tais semelhanças forem falsas ou irreais, os erros cometidos na elaboração do orçamento serão equivalentes a aqueles que se cometem quando se parte de pouca ou nenhuma experiência anterior. Ou seja, é preferível utilizar o bom senso ao se analisar uma obra nova do que se servir de extenso banco de dados com informações inadequadas para o caso. Sem se esquecer de que as melhorias devem ser sempre buscadas para um aumento da competitividade da empresa frente as concorrentes, sendo portanto, desejável em certos casos, que se adotem novos métodos de montagem diferentes dos adotados nas experiências anteriores.

A montagem de estruturas é uma atividade de risco. O montador deve possuir habilidades para galgar a estrutura com desenvoltura. Sua tarefa é chegar primeiro onde ninguém jamais esteve. Os riscos, entretanto, devem ser reduzidos ao máximo possível. O engenheiro de montagem é o gerente do impossível, pois lida todo o tempo com incertezas entre fatores intervenientes, muitos destes além de suas possibilidades. Sua tarefa é trocar problemas por soluções. Possui duas certezas: a primeira, de que o planejamento e o orçamento não serão cumpridos à risca; a segunda, de que sem eles sua tarefa seria destinada ao fracasso. Também aqui os problemas devem ser reduzidos a um mínimo inevitável. Os orçamentos das obras de montagem são o reflexo da atividade em si: possui riscos e incertezas o suficiente para que alguém se arrisque a executá-la sem planejamento.

9.2 Definição do Processo de Montagem

A fim de se fazer uma primeira aproximação com fins ao orçamento e planejamento de uma obra, é necessária a definição do processo de montagem. A especificação do equipamento principal de içamento, a seqüência básica de progressão e a existência ou não de pré-montagem constituem as principais características do processo escolhido.

Para qualquer obra existem vários fatores que podem interferir na escolha do processo de montagem. Muitas vezes esta escolha fica limitada em face das dificuldades de montagem ou devido ao seu alto custo, impondo condições que determinam ou influem na elaboração do projeto. Esta definição deve ser fruto de cuidadosos estudos, tendo-se em conta os equipamentos disponíveis, o acesso à obra, as condições topográficas locais e o prazo desejado pelo cliente, a fim de se obter a solução mais viável e econômica.

Processos de montagem semi-mecanizados utilizando ferramentas manuais podem ser econômicos em pequenas estruturas, mas impraticáveis em obras maiores. Por outro lado, mobilizar uma grua de torre para utilizá-la por um período de poucos dias também se mostra inviável pelos custos de mobilização. Deve-se procurar o equilíbrio entre o porte da obra e os equipamentos principais de içamento, devido a grande participação destes nos custos.

O orçamentista deve dispor de informações à respeito do local da obra, sobre as condições que encontrará na ocasião da montagem e outros detalhes da cidade. É necessário levar em conta o tipo, as dimensões da estrutura, e as possíveis interferências com outras operações. Com freqüência algumas proibições locais limitam os horários de carga e descarga. Deve-se considerar ainda a influência dos fatores climáticos no acesso dos equipamentos.

Estes dados devem ser obtidos de preferencia em uma visita pessoal ao local da montagem. Alguns exemplos de informações sobre o local:

(a) Espaço físico e disponibilidade de área para o canteiro e para a estocagem de peças;

(b) Condições de circulação de peças e equipamentos de montagem;

(c) Disponibilidade de energia elétrica e água potável;

(d) Edificações próximas;

(e) Interferências aéreas, subterrâneas e na superfície;

(f) Disponibilidade que materiais consumíveis no mercado local;

(g) Disponibilidade de equipamentos para locação;

Para a escolha do processo de montagem também são necessárias informações sobre a estrutura, como por exemplo:

(a) Estrutura verticalizada ou horizontalizada;

(b) Colunas engastadas ou rotuladas nas bases;

(c) Estruturas aporticadas ou contraventadas;

(d) Ligações de campo soldadas ou parafusadas;

(e) Vigas e colunas de perfis de alma cheia ou treliçadas;

(f) Peça mais pesada;

(g) Peça mais longa;

(h) Maior momento de tombamento;

(i) Prazo exigido pelo cliente;

(j) Quantidade de peças e peso total.

9.3 Planejamento de montagem

O planejamento da obra parte de uma listagem de todas as atividades necessárias à produção da obra, a começar pelas mais gerais. Cada atividade principal poderá ser subdividida em atividades menores, e assim cria-se um segundo nível, e assim por diante. Esta a definição de quantos níveis o planejamento deve ter será feita segundo a necessidade do orçamento. Cabe ao profissional de planejamento discernir até qual nível de atividades representativas da obra se descerá sem recair em superficialidades ou em detalhismo.

No nível inferior está a unidade básica de trabalho que, que se chama “tarefa”.

Esta listagem de atividades poderá ser apresentada na forma de uma estruturação hierarquizada, semelhante a um organograma, chamada de Estrutura Analítica do Projeto. Para cada linha horizontal da EAP, corresponderá a um nível de atividades.

Sequencia das atividades

Após a definição de todas as tarefas numa estrutura hierarquizada, o próximo passo será organizar as tarefas em uma estrutura que identifique a seqüência na qual elas devam ser executadas. Além disso, existe uma inter-relação entre as atividades. Certas tarefas só podem ser iniciadas quando outras estiverem concluídas. Outras poderão ser iniciadas antes da conclusão total das anteriores. É necessária também uma definição das relações entre as atividades indicando quais atividades podem ser iniciadas a qualquer tempo ou dependem de outras de alguma forma.

Esta rede com as relações de predecessoras/sucessoras entre as atividades permite que identifiquemos o caminho crítico da obra: seqüência de tarefas relacionadas entre si que definem a duração total do projeto.

Tipos de relações entre as tarefas

a) FIM-INÍCIO: Esta é a relação padrão, onde a atividade sucessora é iniciada logo que a predecessora é completada. Em alguns casos, uma defasagem de tempo é adicionada, significando que a atividade sucessora pode iniciar após um certo período de tempo do término da predecessora.

b) INÍCIO-INÍCIO: data de início da atividade sucessora depende da data de início da predecessora.

c) FIM-FIM: A data de término da atividade sucessora depende da data de término da predecessora.

d) INÍCIO-FIM: O final da atividade sucessora depende do início da atividade predecessora.

Duração das Atividades

Como ponto de partida para o plano de

montagem pode-se quantificar a mão-de-obra necessária para cada atividade. A quantidade básica será expressa em HomemXhora, (Hh), que expressa numericamente o consumo total de horas trabalhadas por todos os operários envolvidos na execução das atividades.

A duração de algumas atividades depende do número de recursos alocados para a sua realização. Suponhamos que o período de tempo necessário para que dois operários completem uma atividade seja de 10 dias. Se aumentarmos o número de operários para quatro, a atividade deverá durar apenas 5 dias. Neste tipo de atividade, se modificamos os recursos alocados, modificamos a duração final da atividade.

Outro aspeto que comanda a duração final de uma atividade é o tempo disponível para a sua realização. Como tempo disponível entendemos o número de horas da jornada de trabalho e quantos dias por semana serão trabalhados. Dez funcionários trabalhando 44 horas semanais, significam 440 Hh disponibilizadas por esta equipe em uma semana.

Para cada atividade existe uma quantidade adequada de liderados por mestre e assim, define-se o tamanho da equipe básica. A equipe básica de montagem, ou seja, o pessoal necessário para o içamento e posicionamento das peças será composta pelo mestre ou encarregado, pelos profissionais envolvidos (montadores, soldadores, maçariqueiros, etc.) e um certo número de ajudantes. Haverá uma equipe para cada equipamento de montagem, por exemplo: Para cada guindaste existirá um mestre, dois a quatro montadores sobre a estrutura, eventualmente dois soldadores além de dois ou três ajudantes para estropar as peças no solo.

À partir de dados históricos e do banco de dados da empresa, determina-se quantos Hh serão necessários para cada atividade.

A melhor maneira de se aferir a produção da equipe será conferindo a quantidade de estruturas montadas num período de tempo. A quantidade de estruturas montadas por esta equipe básica durante um período de tempo pode ser expressa numericamente em toneladas, por exemplo. Se dividir-se o consumo de horas de toda a equipe pela quantidade de estruturas montadas resulta em uma quantidade de Hh consumida por tonelada.

Este consumo relativo de Hh/t é denominado de produtividade. Esta produtividade varia enormemente entre os diversos tipos de estrutura, condições locais, tipo de equipamento, etc. É na adoção deste número que reside o segredo do sucesso. Quanto maior o consumo de Hh por cada tonelada de estrutura montada, menor a produtividade e maiores serão os custos relativos de mão-de-obra. Não significa que os custos totais serão maiores ou não, pois dependem de outros fatores.

Durante a montagem de um galpão, por exemplo, no início dos serviços a produtividade é relativamente grande pois as colunas são montadas nesta fase. As colunas estão entre as peças mais pesadas dos galpões e o consumo de Hh na montagem de cada uma será dividido por um grande peso de estrutura. Todavia, no final da montagem estarão sendo montadas as terças da cobertura que são peças muito leves, resultado em um maior consumo de Hh por tonelada. Constata-se que durante uma mesma obra a produtividade varia entre as diversas atividades. Significa que a adoção de um Hh/t médio para toda a obra é adequado para se estimar sua duração total, mas resultaria em distorções para o cálculo de cada atividade distinta. Portanto, o mais correto será a adoção de uma produtividade para cada atividade ou tipo de peça.

EXEMPLO: Calcular a duração e a produtividade de uma atividade constituída pela montagem de 160 colunas de um galpão, considerando:

a) Cada coluna pesa 1200kg;

b) A montagem de cada coluna consome 30 minutos, em média;

c) Utilizar uma equipe básica (MOD) de 7 homens;

d) Considerar 44 horas de trabalho por semana, 5 dias por semana, por homem;

e) Considerar 6,5 horas úteis de trabalho por dia útil.

Solução:

Horas necessárias para a montagem das colunas:

$$\frac{160col. \times 30\,\text{min.}}{60\,\text{min.}} = 80\,\text{h}$$

Duração da montagem das 160 colunas:

$\frac{80H}{6,5H} = 12,3$ dias úteis = 2,46 semanas de 5 dias úteis. Passando para semana de 7 dias corridos, vem: 2,46 semanas de 7 dias corridos ≅ 17 dias corridos

Horas por dia corrido de toda a equipe de montagem:

$$\frac{44H \times 7\,pes.}{7dias} = 44\ \text{Hh}$$

Consumo total de Hh para a execução da atividade:

$$17dias \times 44Hh = 748Hh$$

Peso total das colunas:

$$160col \times 1200kg = 192.000kg = 192t$$

Produtividade em Hh/t:

$$\frac{748Hh}{192t} = 3,89Hh/t$$

Nos casos em que se aplicam as equipes básicas, os recursos de mão-de-obra são implementados aos saltos. Por exemplo, segundo o exercício acima, caso fossem utilizados dois guindastes, passariam a se utilizar duas equipes ao invés de somente uma, portanto o N. de homens passaria de 7 para 14 e a quantidade de horas disponíveis por dia útil saltaria de 44 Hh para 88 Hh.

9.4 Recursos

A obra de montagem necessita de diversos recursos para ser executada. São recursos que podem ser divididos em três categorias:

1. Recursos humanos: Envolve a mão de obra diretamente empregada nos trabalhos de montagem das peças da estrutura, etc.;

2. Recursos materiais: São os equipamentos, materiais, ferramentas e consumíveis necessários para a montagem, etc.;

3. Recursos diversos: Construção e manutenção do canteiro de obras, veículos, fretes, supervisão, sub-empreiteiras, taxas, combustíveis, alojamentos, segurança do trabalho, controle de qualidade, etc.

As duas primeiras categorias influem diretamente no andamento da montagem. A terceira constitui a logística necessária, e dependerá do vulto da obra e da quantidade dos recursos humanos e materiais alocados. Por exemplo, uma coluna para ser içada e fixada sobre a base demanda mão-de-obra da equipe diretamente envolvida, um guindaste, andaimes, porcas e arruelas, um cabo de aço, ferramenta para aperto dos chumbadores e uma corda para conter a peça. Além disto, necessita de uma ferramentaria, engenheiro supervisor, refeições, uniformes, óleo diesel, etc.

Nota-se pelo exemplo acima que os prazos influem nos recursos e a disponibilidade de recursos tem reflexo nos prazos. A alocação de recursos é uma fase importantíssima na elaboração do planejamento:

1) Identificar os recursos necessários para completar cada atividade. Listar os materiais, equipamentos, mão de obra e outros recursos necessários.

2) Estimar os quantitativos básicos de cada atividade (toneladas, m2, peças).

3) Qualificar a razão entre as quantidades de unidades de recursos serão necessários por unidade de cada atividade (ex.: Hh/t).

4) Quantificar os recursos necessários para a execução de cada atividade.

5) Comparar os recursos necessários com os recursos disponíveis.

6) Determinar o prazo da atividade e alocar recursos em função deste prazo ou viceversa.

Estabelecendo Recursos

O primeiro passo para a alocação de recursos é a identificação de quais serão necessários e estabelecer o custo por unidade ou equipe para a conclusão da atividade. A seguir, considerar o número máximo de unidades disponíveis de cada recurso. Após se estabelecer as necessidades e limites dos recursos necessários, compara-se a demanda com a disponibilidade. É provável que existam períodos onde as necessidades excedem a disponibilidade e em outros ocorra capacidade ociosa. Haverá a necessidade de nivelamento dos recursos ao longo do tempo de forma a se utilizar o máximo possível a disponibilidade.

Para a execução de uma obra de montagem poderão estar presentes os seguintes recursos:

• Mão-de-obra indireta : constituída do engenheiro residente ou do gerente do contrato; supervisores técnicos e administrativos; auxiliares de apoio e de administração; controle de qualidade, segurança do trabalho, pessoal dos serviços de manutenção, etc.

• Mão-de-obra direta : formada pelos líderes de equipe; mestres ; encarregados e por todos os profissionais envolvidos diretamente na execução dos serviços, como: montadores, maçariqueiros, soldadores, topógrafos, ajudantes, eletricistas, etc.

• Equipamentos : Guindastes, guindastes veiculares, gruas, guinchos, compressores, geradores, máquinas de solda, andaimes, etc.

• Ferramental : estropos, esticadores, manilhas, patescas, talhas-catraca, talhas-tirfor, chaves manuais, máquinas de torque, cordas e cabos de aço, porta-eletrodos, conjunto oxi-acetileno, estufas, lixadeiras, cabos de solda, extensões elétricas, etc.

• Canteiro de obras : Transformadores, barracões, conteineres, escritórios, refeitório, alojamentos, banheiros e sanitários, ferramentaria e almoxarifado, guarita, telefones, móveis, materiais de expediente, cercas, tapumes, etc.

• Veículos : automóveis, caminhonetes, caminhão-carroceria, ambulância, etc.

• Materiais e consumíveis : eletrodos de solda, eletrodos de grafite, discos de corte e de desbaste, bicos de corte, cilindros de oxigênio, GLP ou acetileno, tintas e solventes, rolos e trinchas, equipamentos de proteção individual, material de expediente, óleo diesel, gasolina, etc.

Nivelamento de Recursos

Ao se distribuir os recursos humanos ao longo do tempo podem haver algumas “janelas” sem utilização. Durante a obra de montagem, não se pode mandar o trabalhador para casa nestes dias ociosos e chamá-lo novamente depois. Para efeito de custos portanto, no caso da montagem, o recurso ocioso continuará custando, pois em seguida o trabalhador será necessário novamente. São recursos que não se pode desmobilizar. Uma grua por exemplo, pode ficar uma semana sem ser utilizada. Todavia, não é viável desmontá-la para economizar nos custos de aluguel de alguns

dias. A grua estará a disposição até que se possa desmobilizá-la definitivamente. Até que isso seja possível, os custos de aluguel da grua serão contínuos, devendo permanecer no planejamento e no orçamento todo o período a disposição da obra. Desta forma, os recursos devem ser alocados sem janelas que, na prática, não ocorrerão.

9.5 Cronogramas

Para que se possa analisar as atividades graficamente ao longo do tempo e em termos de inter-relações entre si, apresenta-se o planejamento físico na forma de cronograma, onde no eixo das ordenadas apresentam-se as tarefas e no eixo das abscissas a linha do tempo.

Geralmente os cronogramas são apresentados na forma de diagrama de barras ou gráfico de GANTT, como é conhecido. Cada atividade parcial é listada normalmente na ordem cronológica de execução, de cima para baixo e à direita, indica-se por unidade de tempo, a duração da atividade por meio de uma barra horizontal.
(ver figura 9.2 - Exemplo de cronograma)

Histograma de mão-de-obra

O objetivo do Histograma de mão-de-obra é propiciar a visualização das funções e o número de profissionais de cada uma por unidade de tempo. Geralmente é apresentado na forma de planilha, onde constam as especialidades à esquerda e o número de cada uma à direita.
(ver Figura 9.3 - Exemplos de histogramas)

Histograma de equipamentos

O Histograma de equipamentos é semelhante ao de mão-de-obra e o objetivo é descrever ao longo do tempo a quantidade de cada equipamento. Logicamente, um e outro são frutos do planejamento da obra, que por sua vez devem ser compatíveis com o orçamento.

Os histogramas são muito úteis para o nivelamento de recursos, facilitando a visualização de janelas e superposições. Também para a elaboração dos orçamentos são importantes, tanto para a listagem dos recursos quanto para cálculo do tempo de permanência de cada um.

9.6 Orçamento

Cada orçamentista cria o seu próprio método de trabalho. A empresa montadora de estruturas decide de que maneira irá apropriar os custos das obras e este fato determina o modo como os mesmos serão calculados na fase de orçamento.

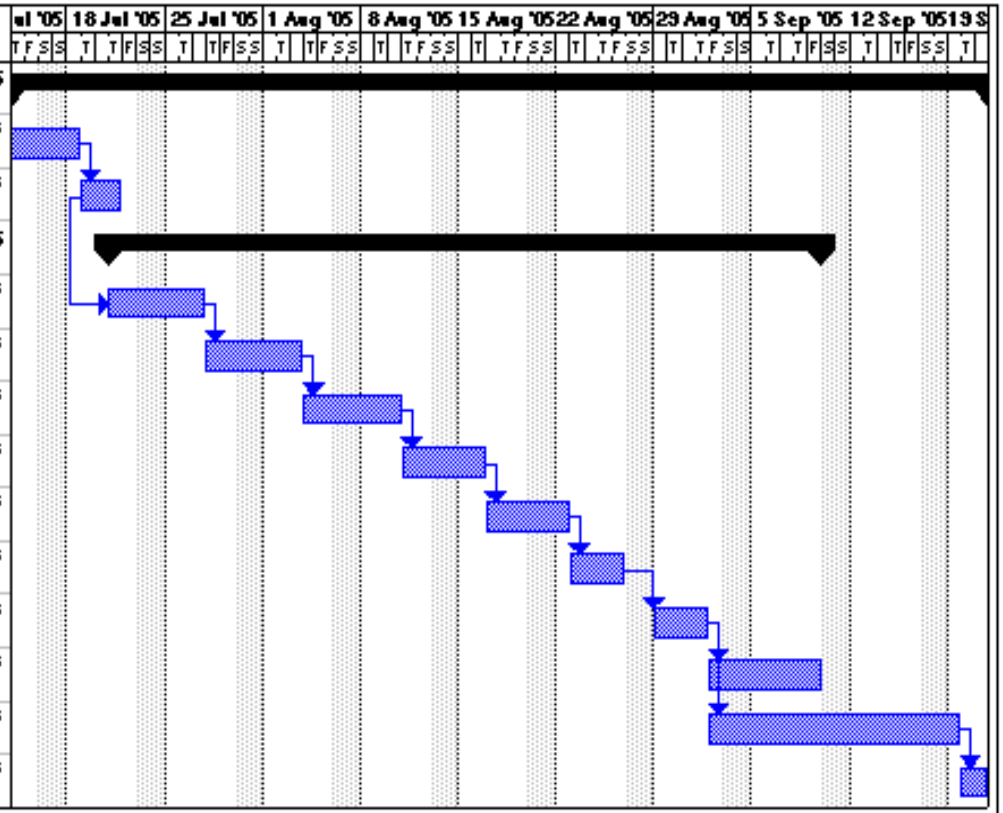
O orçamento deve ser abrangente, não desprezando nada de relevante e ser isento de contingenciamentos. A forma dada ao orçamento deve em tudo ser compatível com a maneira e a característica do controle a ser exercido após o início da obra.

Outro aspecto relevante é a qualidade e a quantidade das informações disponíveis a respeito da obra na ocasião do orçamento. A superficialidade nas informações é a responsável por muitos insucessos.

São apresentados abaixo alguns métodos de elaboração do orçamento de montagem:

1. O orçamento poderá ser elaborado detalhadamente, contemplando todos os itens necessários à sua realização, baseando-se as quantidades adotadas em dados históricos da empresa, e os custos unitários de mão-de-obra e equipamentos levantados junto ao mercado. Deve-se estimar a duração de cada atividade, somando-se as horas trabalhadas de todos os trabalhadores envolvidos diretamente bem como os custos de todos os demais recursos necessários.

ID	Task Name	Duration	Start	Finish
1	**MONTAGEM DE EDIFÍCIO**	**50d**	**14/7/05**	**21/9/05**
2	MOBILIZAÇÃO DO CANTEIRO	3d	14/7/05	18/7/05
3	DESCARGA DE ESTRUTURAS	3d	19/7/05	21/7/05
4	**MONTAGEM DAS ESTRUTURAS**	**37d**	**21/7/05**	**3/9/05**
5	MONTAGEM EIXOS 1 @ 2	5d	21/7/05	27/7/05
6	MONTAGEM EIXOS 2 @ 3	5d	28/7/05	3/8/05
7	MONTAGEM EIXOS 3 @ 4	5d	4/8/05	10/8/05
8	MONTAGEM EIXOS 4 @ 5	4d	11/8/05	16/8/05
9	MONTAGEM EIXOS 5 @ 6	4d	17/8/05	22/8/05
10	MONTAGEM EIXOS 6 @ 7	4d	23/8/05	26/8/05
11	MONTAGEM EIXOS 7 @ 8	4d	29/8/05	1/9/05
12	MONTAGEM EIXOS 8 @ 9	6d	2/9/05	9/9/05
13	MONTAGEM DE TELHAS DE COBERTUR	12d	2/9/05	19/9/05
14	DESMOBILIZAÇÃO	2d	20/9/05	21/9/05



Project:
Date: 14/7/05

Task
Progress
Milestone
Summary
Rolled Up Task
Rolled Up Milestone
Rolled Up Progress

Page 1

Figura 9.2 - Exemplo de cronograma

MONTAGEM DE EDIFÍCIO DE ESTRUTURAS DE AÇO

HISTOGRAMA - MÃO-DE-OBRA

unidade de tempo: semana

Prazo: 50 dias

ESPECIFICAÇÃO	semanas	dias	Hh	01	02	03	04	05	06	07
Mestre	7	49	308	1	1	1	1	1	1	1
Montador	14	98	616	2	2	3	3	3	3	2
Maçariqueiro	9	63	396	1	1	2	2	2	2	1
Pintor	24	168	1056	0	0	5	5	5	5	4
Soldador	20	140	880	1	2	3	4	4	5	4
Ajudante	24	168	1056	3	3	4	5	6	5	4
Total			**4312**	**08**	**09**	**18**	**20**	**21**	**21**	**16**

HISTOGRAMA - EQUIPAMENTOS

unidade de tempo: semana

Prazo: 50 dias

ESPECIFICAÇÃO	semanas	dias	Hh	01	02	03	04	05	06	07
CAMINHÃO MUNCK	4	28	176	0	0	1	1	1	0	1
MÁQUINA DE SOLDA 250 A	7	49	308	1	1	1	1	1	1	1
MÁQUINA DE SOLDA 425 A	23	161	1012	1	2	3	4	4	5	4
CONTEINER	10	70	440	2	2	2	2	2	2	2
ESMERILHADEIRA	18	126	792	1	2	4	4	4	4	2
MAÇARICO DE CORTE	9	63	396	1	1	2	2	2	2	1
FURADEIRA MANUAL	6	42	264	0	0	0	0	2	2	2
FURADEIRA BASE MAG.	3	21	132	1	1	1	1	1	0	0
Total			**3520**	**7**	**9**	**14**	**15**	**17**	**16**	**13**

Figura 9.3 - Exemplos de histogramas

2. Baseando-se no peso estimado para a estrutura e de posse do valor de mercado, arbitrar um custo unitário por tonelada (deduzindo-se o BDI) que deverá ser obtido quando da execução da obra.

3. Adotar uma produtividade em Hh/t conforme o tipo de obra e calcular o consumo total de Hh baseado no peso da estrutura. Obter um custo do Hh que contemple a mão-de-obra direta, indireta, canteiro, equipamentos, consumíveis, taxas, etc. Multiplicar o total de Hh pelo custo unitário obtido.

No final, o orçamentista extrairá os índices físicos (Hh/t) e os índices econômicos (R$/t, R$/Hh) e verificará se estão de acordo com as suas expectativas. O orçamentista deverá ter uma expectativa quanto aos valores de mercado. Estruturas idênticas podem ter custos de montagem totalmente diferentes apenas por apresentarem diferenças quanto às condições locais.

Para execução da montagem, a montadora contará com os seguintes profissionais:

1. Engenheiro – responsável pela obra em todos os aspectos;
2. Mestre ou encarregado – é o líder da equipe de montagem;
3. Topógrafo – verificará topograficamente as medidas, esquadro, nivelamento, prumo, etc.
4. Mestre de solda – é o líder da equipe de soldadores quando o tipo de solda exigir.
5. Administrativo – auxiliará o engenheiro nas tarefas de administração do canteiro.
6. Ferramenteiro – responsável pela guarda e distribuição de ferramentas, consumíveis e EPIS.
7. Montador – executará o içamento, ajuste e fixação das peças através de parafusos ou ponteamento. Nas ligações parafusadas que exigirem, executará o torque.
8. Maçariqueiro – profissional que operará o maçarico de corte.
9. Pintor – profissional responsável pela pintura das estruturas, preparação de tintas, limpeza de superfícies e lixamento.
10. Soldador – também chamado de operador de solda, executará a soldagem das peças entre si utilizando máquinas retificadoras/transformadoras de solda.
11. Ajudante – auxilia todos os demais.

Para a elaboração do orçamento detalhado apresenta-se abaixo um listagem dos itens a serem apropriados na montagem de estruturas:

Custos do grupo Recursos Humanos:
(a) Salários ;
(b) Encargos obrigatórios;
(c) Diárias e ajudas de custo;
(d) Equipamentos de proteção individual/uniformes;
(e) Autônomos;
(f) Horas extras;
(g) Refeições;
(h) Vale-transporte;

Custos do grupo Materiais:
(a) Depreciação de equipamentos próprios;
(a) Materiais de consumo;
(b) Aluguel de equipamentos;
(c) Equipamentos auxiliares;
(d) Reposição de ferramentas;
(e) Manutenção de equipamentos;
(f) Custos de operadores;
(g) Oxigênio, GLP, acetileno.

Custos do grupo diversos:
(b) Construção do canteiro de obras;
(i) Passagens e despesas de viagens;
(h) Transporte de equipamentos
(i) Veículos;
(c) Manutenção do canteiro de obras;
(d) Despesas com mobilização e desmobilização;
(e) Telefone, energia elétrica, água potável;
(f) Sub-empreiteiras;
(j) Alojamentos;

(g) Materiais de expediente;
(h) CREA, Taxas municipais;
(i) Exames admisionais, demissionais, periódicos;
(j) Combustíveis para veículos.

9.7 Cálculo do preço de venda e proposta

A obtenção dos preços de venda das obras é resultante de todo o trabalho dos diversos profissionais envolvidos no orçamento de custos e na solução técnica de montagem. Seu objetivo é o de ser apresentado para a apreciação do cliente visando a contratação da montagem. Na formação do preço de venda estarão todos os custos apurados no orçamento, além dos impostos incidentes, lucro e despesas administrativas.

• Preços de Serviços

Os contratos de prestação de serviços são aqueles fornecimentos que não se limitam ao fornecimento de materiais, nos quais existe o fornecimento de mão-de-obra. A prestação de serviços de montagem fica patente sobretudo quando as estruturas de aço são fornecidas por terceiros ou mesmo quando a matéria prima é adquirida pelo cliente.

Por exemplo, na montagem de estruturas, eventualmente a montadora irá executar as juntas soldadas utilizando eletrodos de solda de seu fornecimento. Mas a incidência destes materiais é minoritária em relação ao objeto principal, ou seja a prestadora de serviços não está vendendo eletrodos, mas sim serviços de montagem. Os eletrodos não constarão sequer em uma nota fiscal discriminados como tal. Assim, ainda que possam envolver o consumo de materiais, a prestação de serviços é uma atividade eminentemente de fornecimento de mão-de-obra.

• Proposta

Após a elaboração do orçamento, o departamento de vendas irá elaborar uma proposta a ser enviada ao cliente. Trata-se de um documento no qual a empresa enumerará todos os serviços ofertados e as condições de fornecimento. Estas condições são solicitadas pelo cliente em uma carta convite ou similar. Quando o cliente for um órgão público, o processo de concorrência deverá seguir a Lei de Licitações.

A proposta poderá ser dividida em duas: Proposta comercial, onde a proponente irá apresentar os preços dos serviços, e a proposta técnica onde informará as especificações dos serviços e produtos ofertados.

• BDI

O preço de venda será ainda formado pelos custos apurados no orçamento e pelo chamado BDI, benefícios e despesas indiretas. Em algumas empresas os impostos fazem parte do BDI, em outras não. Neste exemplo o BDI será apresentado sendo formado apenas pelo lucro e as despesas administrativas. Concebemos o BDI composto de duas partes principais:

I. Lucro
II. Despesas administrativas

O lucro é a remuneração que a empresa, como pessoa jurídica, obterá com a execução da obra. Este montante de recursos irá para o caixa da empresa e servirá para o seu crescimento, para remunerar o capital investido pelos acionistas e seus colaboradores.

As despesas administrativas são os custos indiretos decorrentes do funcionamento da empresa e que não estão diretamente envolvidos nos trabalhos de campo durante a montagem. De certa forma, estas despesas podem ser interpretadas como os custos fixos que a empresa incorre ao longo do mês e que não aumentam nem diminuem necessariamente com a produção. Estes custos administrativos em muitos casos são os custos daqueles departamentos de apoio às atividades de produção, sem os quais não seria possível realizá-los:

I. Salários de pessoal de escritório;
II. Encargos sociais obrigatórios;
III. Encargos financeiros;
IV. Tarifas bancárias;
V. Retiradas dos sócios e remuneração da diretoria;
VI. Honorários diversos;
VII. Materiais de limpeza, expediente, manutenção, café, etc.
VIII. Aluguéis de imóveis;
IX. Despesas com veículos;
X. Propaganda, feiras e eventos;
XI. Despesas de viagens;
XII. Despesas de elaboração de propostas e de vendas;
XIII. Empresas terceirizadas;
XIV. Despesas com vale-transporte, refeições, planos de saúde, exames admissionais do pessoal da administração.

Estes custos deverão ser reembolsados pelas obras executadas, pois caso contrário, os lucros destes contratos estarão prejudicados. Ainda que os custos de execução da montagem estejam dentro dos orçamentos previstos, se as despesas administrativas não forem apropriadas adequadamente, as obras poderão dar prejuízo. Há duas maneiras mais comuns de apropriação das despesas administrativas:

• Levantamento de um percentual a ser considerado por dentro dos preços de venda dos serviços;

• Reembolso destas despesas por fora dos custos de comercialização, como verba prevista de um rateio previamente definido.

Impostos

Existe em nosso país um considerável aparato tributário e fiscal, de aplicação obrigatória. Os impostos devem ser embutidos nos preços pois certamente significam menos recursos a ingressarem nos cofres da empresa.

Ainda que o recolhimento dos impostos não ocorra simultaneamente com o faturamento, o fato de embuti-los nos preços funciona como um aprovisionamento de verbas a serem utilizadas no futuro. Entretanto, o número de retenções efetuadas no ato da emissão das notas fiscais já está tão elevado, que a parcela a ser recolhida futuramente está cada vez menor. Para estes tributos, a empresa cria uma reserva financeira que deverá existir na oportunidade em que efetivamente fizer o recolhimento.

Existem tributos e contribuições incidentes sobre o faturamento e outros que dependem dos lucros auferidos no futuro e devem ser estimados.

Proposta Técnica

A segunda parte da proposta possui um conteúdo técnico. Nestes documentos a proponente irá demonstrar sobretudo conhecimento sobre as características técnicas da obra, apresentando:

a) Lista dos equipamentos a serem utilizados;
b) Histograma dos equipamentos;
c) Histogramas de mão de obra;
d) Lay-out do canteiro de obras;
e) Cronograma físico das fases da obra;
f)Descritivo do processo construtivo;
g) Organograma do canteiro de obras;
h) Currículos dos profissionais alocados no organograma;
i) Certificado de visita técnica;

Qualificações

Com o intuito de se prevenir contra problemas futuros com maus fornecedores, os clientes exigem uma série de qualificações prévias das proponentes. Poderíamos classificar estas qualificações em três grupos:

• Qualificação Fiscal;
• Qualificação jurídica;
• Qualificação técnica.
• Qualificação Fiscal

A qualificação fiscal é formada por certidões negativas de débito junto às fazendas Federal, estadual e municipal. As proponentes devem provar por meio da posse destes documentos, que pagam os impostos como ISSQN, ICMS, PIS, contribuições como a COFINS, INSS e ao FGTS. Neste quesito incluem-se os balancetes e demonstrativos quanto à situação de saúde financeira da empresa.

Qualificação Jurídica

A qualificação jurídica é formada pelas provas de inscrição da empresa junto à prefeitura, ao Estado e ao CNPJ (Ministério da Fazenda); alvará de funcionamento, inscrição no Conselho de Engenharia, Arquitetura e Agronomia.

Qualificação Técnica

A qualificação técnica é a comprovação de acervo técnico registrado no CREA, de execução de serviços similares aos do objeto; prova de possuir nos seu quadro de funcionários profissionais habilitados e com acervo técnico compatível com o objeto do contrato.

Estas qualificações serão exigidas em concorrências públicas, entretanto é crescente o número de empreendedores privados que exigem igualmente documentação semelhante. As propostas são analisadas após a fase de qualificação estar atendida.

9.8 Contrato

Escolhida a empresa ganhadora da concorrência, será elaborado o contrato que espelhará todas as negociações feitas com o cliente. Nas contratações por parte de entidades privadas, o contrato é baseado na proposta da proponente e modificado nos pontos que forem acertados entre as partes. Quando o contrato é celebrado com algum órgão da administração pública, o próprio edital freqüentemente já traz a minuta do contrato, com o qual a proponente concorda tacitamente ao participar da licitação.

Os contratos são compostos de cláusulas e parágrafos, repetindo-se de maneira geral os tópicos abordados nas propostas. Entretanto, como instrumento jurídico que é, o contrato deve contemplar as circunstâncias onde poderá ser rescindido, as penalidades e multas previstas na inobservância de uma ou mais cláusulas por uma das partes.

A proposta poderá ser citada como referência contratual, ou ser substituída por ele. As cláusulas do contrato servirão para regular todos os aspectos da relação entre o cliente e a empresa de construção metálica. Um bom contrato deverá possuir cláusulas sobre os seguintes tópicos:

1) Identificação da Contratante e da Contratada;
2) Representantes legalmente habilitados;
3) Documentação de referência;
4) Caracterização da obra, Objeto;
5) Os quantitativos básicos e a planilha de preços;
6) Prazo de execução;
7) Obrigações da contratante;
8) Obrigações da contratada;
9) Forma de pagamento;
10) Critérios de medição;
11) Penalidades;
12) Reajustamento;
13) Foro.

• Formas de Remuneração dos Contratos

(a) Preço Global

Também chamado de contrato por empreitada por preço global, deve ter o objeto muito bem definido. Este tipo de contrato dá tranqüilidade ao contratante pois dá uma visão clara do custo total da obra. A contratada tem um grande interesse em cumprir os prazos contratuais, visto que uma maior permanência no canteiro de obras aumentaria seus custos, além de incorrer em multas contratuais. Serviços fora do escopo, além do objeto original, são de difícil negociação.

(b) Preço Global com Itemização

Semelhante ao anterior mas com os itens que formam o preço global listados de forma clara quanto às especificações, quantidades e preços unitários. Desta forma, continua existindo uma previsão do preço total, mas com maior facilidade de negociação de quantidades diferentes das contratuais.

(c) Preços Unitários

O contrato é complementado por uma planilha de preços unitários na qual se itemizará toda a obra, com uma descrição resumida e a quantidade prevista de cada item, o preço unitário e o subtotal resultante.

Neste tipo de contrato existe uma grande liberdade de alteração das quantidades originais, visto que os preços unitários são os valores que comandam o contrato. Antes do início da obra, obviamente, existem quantidades previstas para cada item que, dependendo da exatidão inicial, pouco vão variar até o final do contrato. Semelhante ao anterior.

No caso das estruturas em aço, as quantidades são medidas em peso, por quilograma ou por tonelada. Ainda que de aplicação e acompanhamento muito facilitados, estas quantidades expressas em peso não fazem parte dos parâmetros comuns aos empreendedores, que costumam raciocinar em termos de custos por metro quadrado. É conveniente sempre expressar a obra de estruturas de aço para edifícios também em quantidades relativas por metro quadrado, ou seja, kg/m².

• Formas de Pagamento

A definição da forma de pagamento é muito importante para o equilíbrio econômico do contrato. O equilíbrio é desfeito quando o contratante incorre em maiores despesas ou, como é mais comum, o empreiteiro gasta em itens não previstos em seus orçamentos anteriormente.

Uma obra por preço global por exemplo, possui um valor único. Ora, para a realização da obra sabemos que será necessário um período de tempo, e que em cada dia a empreiteira irá aplicar recursos seus para realizá-la.

Alguns custos da montadora serão pagos ao final do mês civil, como os salários dos funcionários; outros, ao final de um período de 15 ou 30 dias, independentemente do calendário civil. Outros custos serão quase aleatórios como despesas do canteiro de obras; alguns custos serão necessários antes do início da obra; outros custos ocorrerão após seu término.

Assim, a montadora terá de elaborar um cronograma físico-financeiro com os gastos distribuídos ao longo do tempo, para que possa avaliar um adequado cronograma de faturamento, ou forma de pagamento do contrato. Afinal, em todos os preços ofertados ao cliente, devem estar embutidos os seus custos e o lucro. Se acaso durante algum período o faturamento não cobrir os custos, o construtor terá que lançar mão de empréstimos bancários, sob o risco de não honrar seus compromissos e comprometer faturamentos futuros.

Formas de medição da Montagem

Como a montagem é executada no local da obra, é extremamente simples constatar ou não a execução da montagem das estruturas para a elaboração das medições. Os pagamentos da montagem serão baseados nas quantidades efetivamente montadas à partir de medições a cada 15 ou 30 dias, por exemplo.

A montagem caracteriza-se por ser uma prestação de serviços executada no local da obra, com a união das peças constantes dos diagramas de montagem. A quantidade de cada peça e seu respectivo peso consta dos desenhos de detalhe. Para se calcular as quantidades efetivamente montadas basta contar quantas peças foram montadas e multiplicar pelos seus pesos de desenho.

- Fiscalização

Para garantir o cumprimento das cláusulas contratuais por parte da contratada, a contratante credencia uma pessoa física ou jurídica para fiscalizar as diversas fases da obra. Esta fiscalização é exercida durante a montagem das estruturas em aço, observando-se as tolerâncias, a observância dos procedimentos qualificados de execução e os ensaios não-destrutivos.

Estes ensaios darão origem a relatórios de inspeção que devem ser elaborados por técnicos qualificados por órgão qualificador reconhecido, e aprovados pelo supervisor do controle de qualidade e pelo fiscal.

Durante os trabalhos de montagem no canteiro de obras a fiscalização exige a abertura de um livro de registro do relatório diário de obra. Neste documento serão anotados os equipamentos, o efetivo, os serviços executados, bem como deverá servir de comunicação entre o responsável pela obra e o fiscal.

Todos os certificados dos materiais, certificados dos inspetores, operadores de solda, procedimentos qualificados de execução, planos de montagem, procedimentos de solda, relatórios de inspeção e de liberação, “as-built”, projetos e diários de obra serão reunidos no final no “Data Book”.

Ao final dos serviços a fiscalização dará o aceite final das estruturas. Após atendidas eventuais exigências da fiscalização, a mesma fornecerá sem ônus um atestado de realização dos serviços, à contratada.

Bibliografia

LIVROS

• CAMPBELL, B. Mobile Crane Today. Toronto, Canada: Operating Engineers Training Institute of Ontario: 1996.

• DAL PONT, E.; NASCÈ, V. Tecniche di Montaggio. Milão, Itália: CISIA Editrice, 1975.

• DICKIE, D. Rigging Manual. 2ª impressão revisada. Etobicoke, Canada: Construction Safety Association of Ontario, 1997.

• GARBY, R. IPT's Crane and Rigging Handbook. Alberta, Canada: IPT Publishing and Training Ltd., 1997.

• OPPENHEIMER, S. Erecting Estructural Steel. Nova York, EUA: McGraw-Hill Book Company, 1960.

• OWENS, GRAHAM W.; KNOWLES, PETER R. Steel Designers' Manual. Fifth edition. The Steel Construction Institute.

• BELLEI, ILDONY H.;PINHO, FERNANDO O.;PINHO, MAURO O. Edifícios de Múltiplos Andares em Aço. 1ª edição. Pini, 2004.

• PODOLNY, WALTER;SCALZI, JOHN Construction and Design of Cable-Stayed Bridges. John Willey and Sons. NY.1976.

• MUKHANOV, K. Estruturas em aço. Tradução ASRYANTZ,K. Mir.Moscou.1980.

• BELLEI, ILDONY H. Edifícios Industriais em Aço. 4ª Edição. Pini. São Paulo. 2003.

MANUAIS TÉCNICOS

• General Erection Manual – Ace Metal Buildings.

• Manual do Engenheiro Globo - Eletricidade. Ed. Globo.1951.

• Galpões para Usos Gerais – CBCA.Reedição 2003.

• Manual de Projetos e Construção – ABCEM. 2000.

• Fabricators' and Erectors' Guide to Welded Steel Construction – The James F. Lincoln Arc Welding Foundation. BLODGETT, OMER W. et al. 1999.

• Steel Bridge Fabricaton Guide Specification. AASHTO/NSBA.2002.

• Guia de Soluções para Soldagem com Eletrodos Revestidos. Gerdau.

• Apostila Arames Tubulares – ESAB.2004.

• Apostila Arco Submerso – ESAB.2004.

• Apostila Metalurgia da Soldagem – ESAB.2004.

• Apostila Soldagem de Tubulações – ESAB.2003.

• Controle da Qualidade I – Curso de Soldagem. Fatec/SP. ANDREUCCI, RICARDO. 2003.

• Controle da Qualidade II – Curso de Soldagem. Fatec/SP. ANDREUCCI, RICARDO. 2002.

• Easy Welding Guide – Technical Information. Duragal/Tubemakers of Austrália.2001.

• Manual para Solda pelo Arco Elétrico. Siemens/Schuckert S.A. MELLER, KARL. Tradução: Bucken, Francisco. Rio de Janeiro. 1939.

• Oxicorte – Coleção Soldagem. AirLiquide/ SENAI. ALMEIDA, MARIO B. Q. Rio de Janeiro.2000.

• Manual de Construção de Pontes Metálicas-FEM. BORGES, CYRO A. Rio de Janeiro. 1986.

• Manual de Tolerâncias Dimensionais para Edifícios de Estruturas em aço. COBRAPI. MOTTA, ALVARO F. A . 1973.

• O Manual do Montador - FEM- Tradução SILVA, MARCIA; RICARDO, NILTON. RDL/ AUEW Manual. 1980.

• Manual Brasileiro de Construção Metálica - COBRAPI/AÇOMINAS /SIDERBRÁS. 1981.

• Ligações em Estruturas em aço – CBCA. Reedição 2003.

• Manobras no Canteiro – Curso de Monta-

gem de Plantas de Processo. IBP. CRISI, GIOVANNI. 1993.

• Arc Welding Fundamentals – Lincoln Electric. 1994.

ARTIGOS TÉCNICOS

• Cost Based Engineering and Production of Steel Constructions – AISC –Conections IV Proceedings. EVERS, H. G.; MAATJE, I. 2002.

• Veículos e Suas Características- Escola de Engenharia de São Carlos. USP. WIDMER, JOÃO A. 2003.

• DTI – Instalation / Inspect for Ironworkers and Other Bolt Installers. Applied Bolting Technology Inc. 1999.

• Logística – Otimização do Transporte e Estoques na Empresa. Curso de Pós-graduação – UFRJ. GOEBEL, DIETER. Vol I . 1996.

• Ensuring Weld Quality in Structural Applications. James F. Lincoln Arc Welding Foundation. Cleveland-Ohio.

• Estruturas em aço Compactas de 69KV em Perímetro Urbano-Vantagens técnico-econômicas. AES Sul. HOMRICH, CLAITON A.R. XV SENDI. 2002.

• Common Steel Erection Problems and Suggested Solutions. Structural Steel Educational Council. PUTKEY, JAMES J. 1993.

• Utilização e Aplicação do GLP no Sistema de Oxi-corte. AMAZONAS, HEINTZ.

• Uma Contribuição ao Estudo da Soldagem a Arame Tubular Autoprotegido em Corrente Pulsada. XXIV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem. BRAGA, EDUARDO M. et al. 1998.

• Noções Básicas de Processos de Soldagem e Corte. SENAI-ES/CST.1997.

CATÁLOGOS

• AGA – Conjuntos e gases para solda e corte.

• Alfra – Furadeiras de base Magnética.

• Balmer/merkle – Máquinas de soldagem.

• Bambozzi – Máquinas de soldagem.

• Bethlehem Steel – Cabos de aço.

• Ciser – Parafusos Estruturais e conectores de cisalhamento.

• Cabotec – Cabos de aço.

• Cebora – Máquinas de soldagem.

• Columbus McKinnon – Acessórios de içamento.

• Comercial Gerdau. – Produtos siderúrgicos.

• Condor - Equipamentos e consumíveis para corte e solda.

• Cormach – Guindastes hidráulicos veiculares.

• Crosby Group. Acessórios de içamento.

• DeWalt – Ferramentas e Compressores.

• ESAB – Equipamentos e consumíveis para soldagem.

• Even Products - Tanques Metálicos.

• Gerdau – Produtos siderúrgicos.

• Gedore – Ferramentas.

• Grove Crane - Guindastes Telescópicos.

• Gunnebo – Acessórios e Cintas para içamento.

• Kato Works - Guindastes Telescópicos.

• Kock Metalúrgica - Acessórios de içamento.

• Luna – Guindastes Telescópicos.

• Liebherr – Guindastes Telescópicos.

• Lincoln Electric – Consumíveis de solda.

• Madal Palfinger – Guindastes hidráulicos veiculares.

• Mannesmann Dematic – Guindastes Móveis

• Maquigeral – Grupos geradores.

• Metabo – Máquinas Elétricas.

• Miller Electric – Máquinas de soldagem.

• Morsing – Cabos de aço.

• MQ Power Generators – Geradores.

• Neade – Acessórios de içamento/ cabos de aço.

• Ormig – Guindastes Telescópicos.

• PHD - Guindastes hidráulicos veiculares.

• Randon – Carrocerias Rodoviárias.

• Rental Center – Manual de equipamentos de construção.

• Seccional Brasil S/A – Torres para linhas de transmissão.

• Senebogen - Guindastes Móveis.

• Skidmore-Wilhelm – Calibradores Hidráulicos.

• Snap-on – Ferramentas.

• Squiter – Arruelas indicadoras de torque.

• Stabila – Ferramentas.

• Tractel group – Talha de alavanca.

• Tecnotextil/Levtec – Cintas de Poliéster.

• White Martins - Equipamentos e consumíveis para soldagem e corte.

REVISTAS

• Modern Steel Construction- Economy in Steel –. CARTER, CHARLES J. et al. Abril/2000.

• Welding Innovation – Non Destructive Inspection and Responsibility. CAMPBEL, HARDY H.III.Vol. XVIII. N.º1,2001.

• International Cranes – Intermat Crane Guide – April/2000.

• Tank Storage Magazine – May-2005.

NORMAS TÉCNICAS

• Occupational Safety and Health Administration – Safety standards for Steel Erection; Proposed Rules. PartII. 1998.

• AISC – Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges.2000.

• AISC – LRFD Especification for Structural Steel Buildings.1999.

• DNER – Resolução 2264/81.

• DNER – Resolução 12/98.

• ABNT – Projeto e Execução de Estruturas de Aço a de Estruturas Mistas Aço-concreto de Edifícios – Projeto de revisão da NBR 8800 – Ago 2003.

SITES INTERNET

• www. antt. gov. br – Agência Nacional de Transportes Terrestres.

• www. feiradeciencias.com.br – Máquinas Simples.

• www. canaldotransporte.com.br – Tipos de Cargas.

• www. casamercosul.org.br – Transportes.

• www. vfco.com.br – Tipos de vagões.

• www. eduquenet . net – Equilíbrio dos corpos.

• www. esab.com.br/literatura – Ressecagem de eletrodos revestidos.

• www. centro-atlantica.com.br - Tipos de vagões.

• www. enerpac.com – Viaduto de Milleau.

• www. dhn.mar.mil.br/bhm/publicação – Marinha do Brasil: Navegação Fluvial.

• www. revistaferroviaria.com.br – Vagões , rodo-trens e malha ferroviária.

• www2. uol.com.br/caminhosdaterra/reportagens – A Era do Trem.

• www. enerpac.com – Viaduto de Milleau.

• www. enerpac.com – Viaduto de Milleau.

• www. enerpac.com – Viaduto de Milleau.

• www. enerpac.com – Viaduto de Milleau.

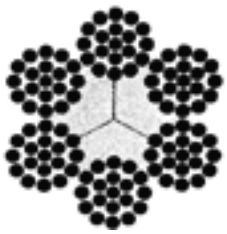
Anexos

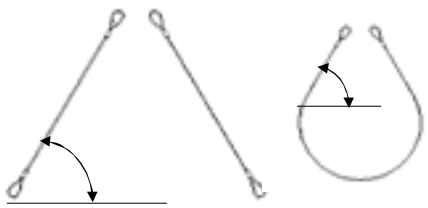
Tabela A.1 ESTROPOS

Laços de cabo de aço Polido -

Classe 6 X 19 - alma de fibra - Carga

Mínima de Ruptura 180/205 Kgf/mm²



• do Cabo de Aço	• do Cabo de Aço	CAPACIDADE MÁXIMA EM kN (Fator de Segurança = 5)					
		Simples Vertical	Simples Enforcado	Simples Cesta	Dois Estropos em ângulo ou Cesta com Pernas inclinadas		
					60°	45°	30°
							
pol	**mm**	**kN**	**kN**	**kN**	**kN**	**kN**	**kN**
3/16"	4,8	2,7	2,0	5,4	4,8	3,9	2,7
1/4"	6,4	5,0	3,7	10,0	8,6	7,0	5,0
5/16"	8,0	7,5	5,7	15,0	12,9	10,7	7,5
3/8"	9,5	10,9	8,2	21,8	18,8	15,4	10,9
7/16"	11,1	14,5	10,9	29,0	25,2	20,4	14,5
1/2"	13,0	20,0	15,0	39,9	34,5	28,1	20,0
9/16"	14,3	24,0	18,1	48,1	41,7	34,0	24,0
5/8"	16,0	29,9	22,5	59,9	51,7	42,4	29,9
3/4"	19,0	43,1	32,2	86,2	74,8	60,8	43,1
7/8"	22,0	58,1	43,5	116,1	100,7	82,1	58,1
1"	26,0	75,8	56,7	151,5	131,1	107,0	75,8
1 1/8"	29,0	96,2	72,1	192,3	166,5	136,1	96,2
1 1/4"	32,0	118,8	89,4	237,7	205,9	167,8	118,8
1 3/8"	35,0	147,0	110,2	293,9	254,5	207,7	147,0
1 1/2"	38,0	174,2	130,6	348,4	301,6	246,3	174,2
1 5/8"	41,0	205,0	153,8	410,1	355,2	289,9	205,0
1 3/4"	45,0	235,9	176,9	471,7	408,2	333,4	235,9
1 7/8"	48,0	275,8	206,8	551,6	477,6	390,1	275,8
2"	52,0	306,6	230,0	613,3	531,2	433,6	306,6
2 1/4"	57,0	381,0	285,8	762,0	660,0	538,9	381,0
2 1/2"	64,0	471,7	353,8	943,5	816,9	666,8	471,7
2 3/4"	70,0	553,4	415,0	1106,8	958,5	782,5	553,4

Nota: Os valores tabelados são válidos para laços dotados de sapatilhas nas duas extremidades, trançado flamengo com presilhas de aço. Consultar tabelas dos fabricantes para valores exatos.

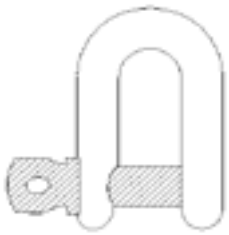


Tabela A.2 MANILHAS

• da Alça	• do Pino	Capacidade	Peso
pol.	pol.	kN	Kg
1/4"	5/16"	2,5	0,04
5/16"	3/8"	4	0,09
3/8"	7/16"	6	0,17
1/2"	5/8"	10	0,37
5/8"	3/4"	16	0,76
3/4"	7/8"	25	1
7/8"	1"	32	1,9
1"	1 1/8"	40	2,5
1 1/8"	1 1/4"	50	2,900
1 1/4"	1 3/8"	63	4,000
1 3/8"	1 1/2"	80	5,500
1 1/2"	1 5/8"	100	8
1 3/4"	2"	125	13,000
2"	2 1/4"	160	19,000
2 1/4"	2 5/8"	200	28,000
2 1/2"	2 3/4"	250	36,000
2 3/4"	3"	320	50,000
3"	3 3/8"	400	62,000

Observação Importante: Para valores exatos, consultar tabelas dos fabricantes.

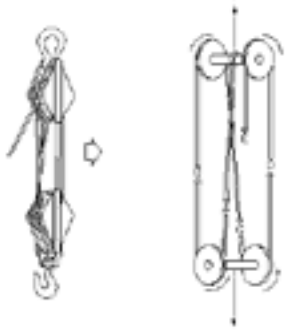
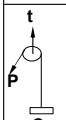
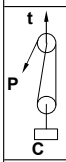
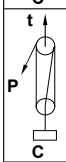
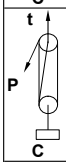
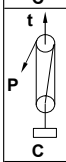
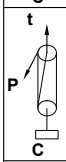
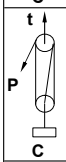
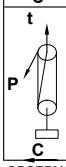


Tabela A.3 Cálculo dos Esforços em Jogos de Roldanas

DIAGRAMA	NÚMERO DE ROLDANAS	NÚMERO DE LINHAS DE CABO DE AÇO	TRAÇÃO DE SUSPENSÃO	FATOR DE MULTIPLICAÇÃO	VANTAGEM MECÂNICA	TRAÇÃO NO CABO
	n	N	t	F	R	P
	1 0	1	2,05	1,05	0,95	1,05
	1 1	2	1,55	1,10	1,81	0,55
	2 1	3	1,39	1,16	2,59	0,39
	2 2	4	1,30	1,22	3,29	0,30
	3 2	5	1,26	1,28	3,92	0,26
	3 3	6	1,22	1,34	4,48	0,22
	4 3	7	1,20	1,41	4,97	0,20
	4 4	8	1,18	1,48	5,41	0,18

OBSERVAÇÕES:

1- Coeficiente de atrito de 5% para utilização de cabo de aço e roldanas com buchas de bronze.

2- Carga suspensa C considerada unitária.

3- Para cargas C diferentes da unidade, multiplicar pelos valores da tabela.