

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TULIO PESSOA SOUTO MAIOR DE OLIVEIRA

Sistemas de escoramentos para lajes de edifícios:

Um olhar sobre as torres de escoramento

RECIFE / 2012

TULIO PESSOA SOUTO MAIOR DE OLIVEIRA

Sistemas de escoramentos para lajes de edifícios:
Um olhar sobre as torres de escoramento

Trabalho de conclusão de curso apresentada à
Universidade Federal de Pernambuco para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Professor Bernardo Horowitz

RECIFE / 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

ENGENHARIA CIVIL

TULIO PESSOA SOUTO MAIOR DE OLIVEIRA

**Sistemas de escoramentos para lajes de edifícios:
Um olhar sobre as torres de escoramento**

Trabalho de conclusão de curso submetida ao corpo docente do Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Pernambuco, aprovada em 12 de Junho de 2012.

Banca examinadora

Bernardo Horowitz (UFPE)

Doutor pela University of Illinois at Urbana Champaign.

José Jeferson Rêgo e Silva (UFPE)

Doutor pela Wessex Institute of Technology Portsmouth University.

Paulo de Araújo Régis (UFPE)

Doutor pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Catálogo na fonte

Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

O48s

Oliveira, Tulio Pessoa Souto Maior de.

Sistemas de escoramentos para lajes de edifícios: um olhar sobre as torres de escoramento / Tulio Pessoa Souto Maior de Oliveira. - Recife: O Autor, 2012.

104 folhas; il., tabs.

Orientador: Prof. Bernardo Horowitz.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Curso de Engenharia Civil, 2012.

Inclui Referências.

Sumário

ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE EQUAÇÕES	10
LISTA DE SÍMBOLOS.....	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
INTRODUÇÃO	14
1. SISTEMAS DE ESCORAMENTOS PARA LAJES	16
1.1 Torre de Carga LTT - SH	17
1.1.1 Vigas Secundárias e Principais.....	18
1.1.2 Perfil C em Aço	19
1.1.3 Perfil de Alumínio - AL15.....	21
1.1.4 Perfil de Madeira SH20.....	21
1.1.5 Corneta.....	22
1.1.6 Forcado Regulável	23
1.1.7 Quadros LTT	29
1.1.9 Base Regulável.....	33
1.2 Torre de Carga MILLSTOUR – MILLS.....	35
1.2.1 Vigas	37
1.2.2 Forcados	40
1.2.3 Flautas	42
1.2.4 Haste.....	46
1.2.5 Quadros.....	47
1.2.6 Travessa de base	49
1.2.7 Diagonal.....	50
1.2.8 Placas de base	53
2. TORRES DE ESCORAMENTO	55
2.1 Ligações	55
2.1.1 Ligações da Torre LTT – SH.....	61
2.1.2 Ligações da Torre MILLSTOUR – MILLS	67
2.2 Contraventamentos	72
3. VERIFICAÇÕES SEGUNDO AS NORMAS VIGENTES.	77
3.1 Fator de flambagem	77
3.2 Requisitos da NBR 15696/2009.....	82

3.3	Verificação segundo a NBR 8800/2008.....	82
4.	REESCORAMENTO	85
4.1	Requisitos segundo a NBR 15696/2009.....	87
4.2	Ciclo de escoramento/Reescoramento.....	88
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	102
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Acidente na fábrica de cultura - Fonte: www.globo.com	15
Figura 2 - Modelo genérico de escoramento	16
Figura 3 - Elementos da torre LTT	17
Figura 4 - Propriedades mecânicas dos perfis - Fonte: Catálogo SH 2010/11	18
Figura 5 – Distribuição das vigas secundárias e principais.....	19
Figura 6 - Organização dos perfis de acordo com comprimento e cor - Fonte: Catálogo SH 2010/11.	20
Figura 7 – Perfis indicados para as vigas primárias	20
Figura 8 - Perfil de Alumínio - Fonte: Catálogo SH 2010/11	21
Figura 9 – Perfil de Madeira- Fonte Catálogo SH 2010/11.....	21
Figura 10 – Detalhes da corneta – Fonte: Catálogo SH 2010/11	22
Figura 11 – Detalhes dos furos da corneta.....	22
Figura 12 – Detalhes do forçado – Fonte: Catálogo SH 2010/11	23
Figura 13 – Conexão do forçado com as vigas	24
Figura 14 – Conexão do forçado com a corneta	24
Figura 15 – Acunhamento das vigas.....	25
Figura 16 – Placas de base em terrenos desnivelados.....	26
Figura 17 – Viga como base.....	26
Figura 18 – Placas de base e vigas como base	27
Figura 19 – Torres apoiadas em vigas	28
Figura 20 – Dimensões dos quadros 136 LTT – Fonte: Catálogo SH 2010/11.....	29
Figura 21 – Dimensões dos quadros 200 LTT – Fonte: Catálogo SH 2010/11.....	30
Figura 22 – Quadros montados em obra	30
Figura 23 – Detalhes da cruzeta – Fonte: Catálogo SH 2010/11.....	31
Figura 24 – Cruzetas montadas na torre.....	342
Figura 25 – Posicionamento das cruzetas na torre	342
Figura 26 – Cruzetas conectadas a torres em terrenos desnivelados.....	343
Figura 27 – Detalhes das placas de base – Fonte: Catálogo SH 2010/11.....	343
Figura 28 - Furos de fixação da placa de base.....	344
Figura 29 – Erro de conexão, chapa de madeira entre o forçado e a viga.....	344
Figura 30 – Base regulável mal apoiada.....	345
Figura 31 – Torre de carga MILSTOUR	346
Figura 32 – Variações da torre MILSTOUR – fonte: Catálogo MILSTOUR	347
Figura 33 – Viga de alumínio	348
Figura 34 – Montagem das vigas.....	349
Figura 35 – Escoramento da laje	349
Figura 36 – Conexões dos forçados com as vigas	40
Figura 37 – Detalhes do forçado – Fonte: catálogo MILSTOUR	41
Figura 38 – Detalhes da haste rosqueada do forçado – Fonte: Catálogos MILSTOUR	41
Figura 39 – Uso alternativo do forçado.....	42
Figura 40 – Detalhes da flauta – Fonte: Catálogos MILLSTOUR.....	43
Figura 41 – Inversor de Flauta – Fonte: Catálogos MILLSTOUR.....	43

Figura 42 – Conexão das flautas com os forcados	44
Figura 43 – Estoque de flautas	44
Figura 44 – Conexão das flautas com os quadros	45
Figura 45 – Outro ângulo da conexão da flauta com os quadros	45
Figura 46 – Posicionamento usual das hastes nas torres.....	46
Figura 47 – Posicionamentos dos quadros nas torres	47
Figura 48 – Detalhes e tipos de quadros Fonte: Catálogos MILLSTOUR.....	48
Figura 49 – Estoque de quadros.....	49
Figura 50 – Detalhes da travessa e base	50
Figura 51 – Travessa de base na torre de escoramento	50
Figura 52 – Detalhes da Diagonal - Fonte: Catálogos MILLSTOUR.....	51
Figura 53 – Estoque de Diagonais.....	51
Figura 54 – Diagonal na torre de escoramento.....	52
Figura 55 – Diagonais aplicadas nas torres	53
Figura 56 – Dimensões da placa de base	54
Figura 57 – Detalhes da placa de base ajustável.....	54
Figura 58 – Placa de base na obra.....	54
Figura 59 – Comportamento de ligações metálicas caracterizado por curvas moemnto fletor-rotação (M ϕ) – Fonte: Estruturas Metálicas - Ligações	56
Figura 60 – braçadeiras fixas.....	57
Figura 61 – braçadeiras fixas.....	57
Figura 62 - luva	58
Figura 63 – Chave dinâmica dinamométrica – Fonte: www.custojusto.pt	58
Figura 64 – Chave comum em uso na obra	59
Figura 65 – Conexão lateral por encaixe	60
Figura 66 – Ligação por luva.....	61
Figura 67 – Vista lateral da conexão por luva	61
Figura 68 – Conexões do quadro.....	62
Figura 69 – Conexão com o pino.....	63
Figura 70 - Vista frontal da conexão com o pino.....	63
Figura 71 - Ligação da corneta com o forçado	64
Figura 72 - Ligação do forçado com a viga sem o acunhamento	65
Figura 73 - Ligação de vigas com o forçado	66
Figura 74 - Ligação das vigas	66
Figura 75 - Ligações da placa de base	67
Figura 76 - Outro ângulo das ligações da placa de base	68
Figura 77 - Ligação do quadro com hastes verticais	69
Figura 78 - Ligação do quadro com a travessura de base	69
Figura 79 - Erro de ligação do forçado com as vigas	70
Figura 80 – Ligação correta do forçado com as vigas.....	70
Figura 81 – Acunhamento correto da viga.....	71
Figura 82 – Contraventamento dos quadros	73
Figura 83 – Contraventamento dos nós dos quadros	72
Figura 84 – Contraventamento do nó inferior do quadro	72
Figura 85 – Torres contraventadas	74

Figura 86 – Planta baixa do contraventamento de torres com pé direito alto – Fonte: Manual SH de fôrmas para concreto e estruturas metálicas	75
Figura 87 – Contraventamento de torres com pé direito alto	75
Figura 88 – Ligação do contraventamento.....	76
Figura 89 – Vista posterior do contraventamento	76
Figura 90 – Modelagem da torre	78
Figura 91 – Cargas na torre	79
Figura 92 –Detalhes das ligações no modelo computacional	80
Figura 93 – Deformação da torre no modelo computacional.....	81
Figura 94 – Vista lateral da obra	86
Figura 95 – Laje escorada	89
Figura 96 – Laje reescorada.....	89
Figura 97 – Sugestão de ciclo	91
Figura 98 – Fatores de carga para 02 pavimentos escorados e 02 pavimentos reescorados $k=2$	93
Figura 99 - Estudo de Grundy e Kabailn (1963) considerando E_c variável e $m=3$	94
Figura 100 – Execução do ciclo de escoramento e reescoramento.....	95
Figura 101 - Procedimento de retirada de pontaletes em lajes apoiadas em vigas - Fonte: ABRASFE	96
Figura 102 – Procedimento de retirada de pontaletes em lajes com balanço – Fonte: ABRASFE.....	96
Figura 103 – Planta baixa, modelo genérico	97
Figura 104 – Corte genérico	98
Figura 105 – Outro corte genérico	99
Figura 106 – Exemplo de planta baixa de projeto de escoramento	100
Figura 107 – Planta baixa ampliada	100
Figura 108 - Faixas de reescoramento em projeto	101
Figura 109 - Corte de projeto.....	101

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Diâmetro interno do tubo.....	833
Equação 2 - Área efetiva do tubo.....	83
Equação 3 - Flambagem local do tubo	833
Equação 4 - Índice de Esbeltez.....	833
Equação 5 - Fator de redução	844
Equação 6 - Esforço normal resistente	84

LISTA DE SÍMBOLOS

cm: Centímetro

E: Módulo de elasticidade longitudinal do aço

Eci: Módulo de elasticidade tangente inicial do concreto

Fy: Tensão de escoamento do aço

Fu: Tensão de ruptura do aço

Kg: Quilograma

Kgf: Quilograma-força

kN: QuiloNewton

m: Metro

mm: Milímetro

Q: Fator de flambagem local do tubo

tf: Tonelada-força

ν : Coeficiente de Poisson

γ_{a1} : Coeficiente de minoração

γ_f : Coeficiente de majoração

λ : Índice de esbeltez reduzido

χ : Fator de redução associado à resistência à compressão

RESUMO

O presente estudo apresentou alguns procedimentos dos sistemas de escoramentos utilizados para lajes de edifícios, mostrando suas peças, ligações, formas de efetuar sua montagem e detalhes construtivos. Em que pese existam diversos tipos de escoramento, o foco deste trabalho recaiu nas torres, as quais são os sistemas mais utilizados atualmente. Foi apresentado, ainda, um modelo de dimensionamento básico, abrangendo seus conceitos e as considerações a respeito dos reescoramentos. Para tanto, abordou-se, inicialmente, as considerações acerca das condições de contorno em que se encontram as referidas estruturas, os carregamentos aplicados nas mesmas, e os aspectos que devem ser observados segundo as normas vigentes, quais sejam: NBR 8800/08 e NBR 15696/09. Por se tratar de estruturas secundárias ainda não existem muitos estudos a respeito do comportamento dos escoramentos, entretanto, em virtude de muitos acidentes, essa visão vem mudando gradativamente. Assim, chegou-se ao entendimento de que os escoramentos necessitam de um projeto/planejamento e devem ser executados conforme foram dimensionados afim de que seja agilizado o processo de montagem das fôrmas para a concretagem e evitados os já mencionados acidentes.

Palavras-chave: Escoramento, Reescoramento, Torres metálicas,

ABSTRACT

The present study exhibits some procedures of shoring systems used for slabs of buildings, showing its pieces, joinings, ways to make their assembly and construction details. In spite of the fact that there are various types of shoring, the focus of this study fell in the towers, the most widely used systems nowadays. It was presented, also, a model of basic dimensioning , including its concepts and considerations regarding the reshoring. To this end, we dealt, initially, with the considerations of the boundary conditions in which these structures are, the loads applied thereto, and the aspects that must be observed according to current standards, which are: NBR 8800/08 and NBR 15696/09. There are not many studies about the behavior of falseworks yet because it is a secondary structure, however, due to the many accidents, this view has been gradually changing. Thus, it was the understanding that the falseworks needs a design / planning and must be executed as they were scaled in order to streamline the assembling process of molds for concreting, and avoid the said accidents.

Key-words: Shore, Reshoring, metal towers.

INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento econômico e industrial do país, os empresários veem uma oportunidade de lucrar mais com a rápida execução de seus empreendimentos. Uma das formas de aceleração das obras são os sistemas de escoramentos padronizados tanto para vigas quanto para lajes. Esses sistemas de escoramentos podem ser as simples escoras metálicas tradicionais, a mesa voadora e as torres de escoramento as quais são o objeto desse trabalho.

Por serem estruturas provisórias, os escoramentos não são muito estudados na graduação pelos estudantes, também não há muitos estudos sobre essas estruturas e não são levadas muito em consideração pelos engenheiros responsáveis pela execução do empreendimento, muito em parte também pelos engenheiros que projetam a obra em concreto armado e não apresentam o projeto de escoramento.

Em virtude de obras cada vez mais arrojadas, pelos motivos já citados, acidentes têm acontecido com mais frequência. Podemos citar o que aconteceu mais recentemente na construção da fábrica de cultura em São Paulo no dia 12/01/2012, figura 1, matando 01 funcionário e ferindo mais 11. A provável causa do acidente foi a falha de escoramento da laje como podemos observar a seguir.



Figura 1 - Acidente na fábrica de cultura - Fonte: www.globo.com

Com esses tipos de acontecimentos, os profissionais que estão em contato direto com essas estruturas estão começando a trabalhar com o pensamento que os escoramentos são estruturas que devem passar por um processo mais rigoroso de dimensionamento e de critérios para sua escolha.

Portanto, a visão sobre os cimbramentos vem mudando não só pelos engenheiros de obras, mas também pelos projetistas, com exigência de projetos, procedimentos de execução, cuidados na montagem e desmontagem entre outros. Vale salientar que a maioria dos projetos de cimbramentos são fornecidos justamente pelas empresas que fornecem as peças de escoramento.

Devido ao modo como ainda se encontra o meio acadêmico, é difícil introduzir assuntos mais específicos como esse para que os novos engenheiros tomem ciência do que os espera. Entretanto já houve um início em relação a esse ponto, com algumas pesquisas de iniciação científica.

Então o presente trabalho vem com o intuito de ajudar aos profissionais da área que necessitam de alguma fonte de informação sobre o tema, apresentando alguns tipos de escoramentos, suas peças, detalhes e processo construtivo. Também apresenta um modelo básico de dimensionamento e considerações sobre processos de escoramento e reescoramento.

1. SISTEMAS DE ESCORAMENTOS PARA LAJES

Independentemente de qual tipo de sistema de escoramento seja utilizado, as premissas básicas dos escoramentos são o assoalho das lajes se apoiam nas vigas secundárias, que por sua vez estão apoiadas nas vigas principais e por fim transmitem esse esforços para as torres, o qual é foco deste trabalho, ou para escoras simples ou então para a mesa voadora.

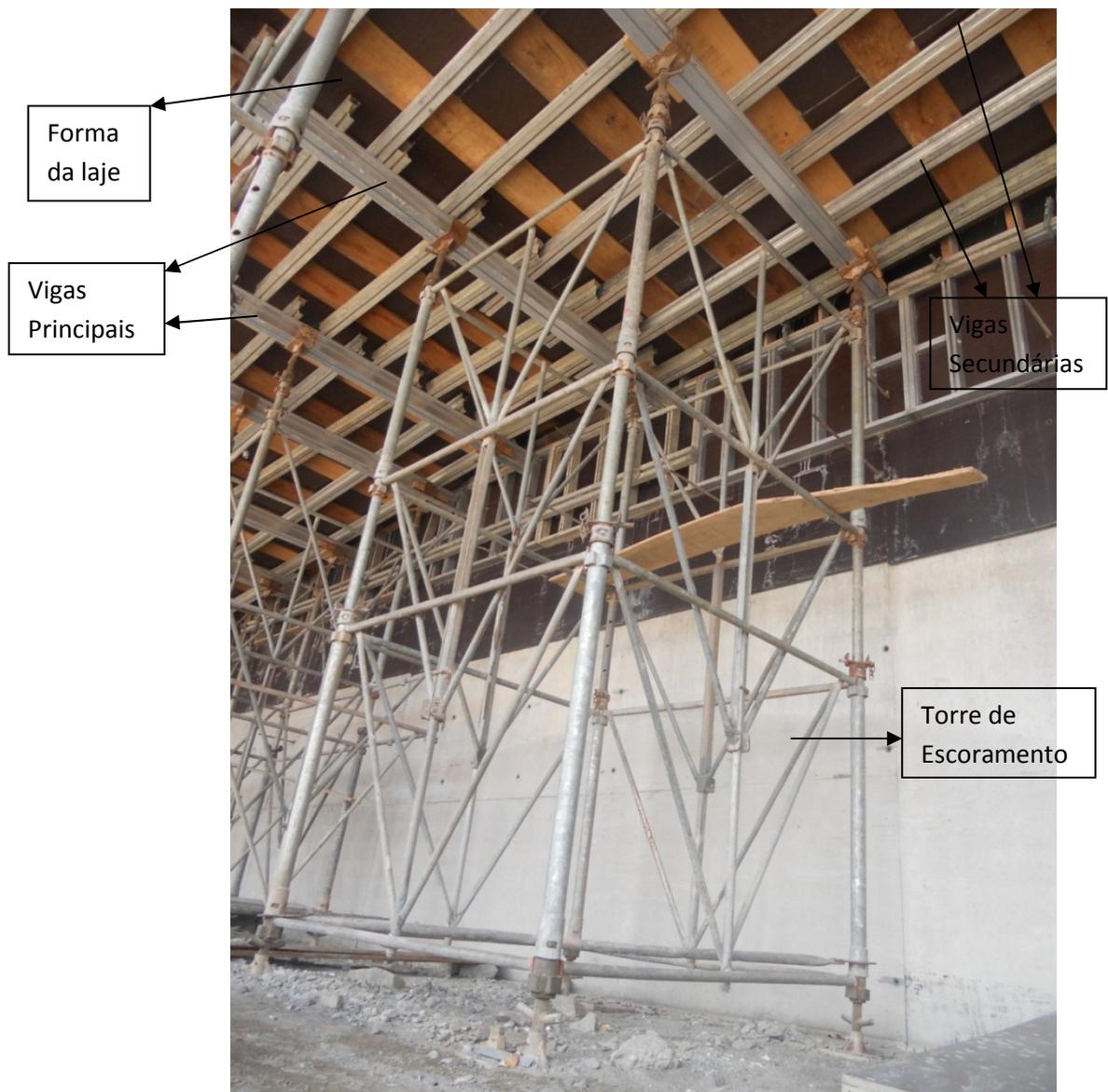


Figura 2 - Modelo genérico de escoramento

1.1 Torre de Carga LTT - SH

A Torre de Carga LTT faz parte do patrimônio da empresa SH Fôrmas Andaimes e Escoramentos, possibilitando montagens com modulações de 1,00 x 1,25m a 1,00 x 2,50m, e suportando uma carga de até 12 toneladas, 3 toneladas por postes, independentemente da altura desejada, desde que obedidas as condições de contraventamentos.

Os elementos que constituem essas Torres serão apresentados com as vigas secundárias, onde as fôrmas se apoiam, transmitindo os esforços para as vigas principais, que, por sua vez, também repassam os esforços aos forcados. Estes forcados, nada mais são que os primeiros elementos efetivos da Torre de Carga. Por fim, serão apresentadas as placas de base, que acabam por transmitir os esforços para as lajes, pisos, dentre outros.

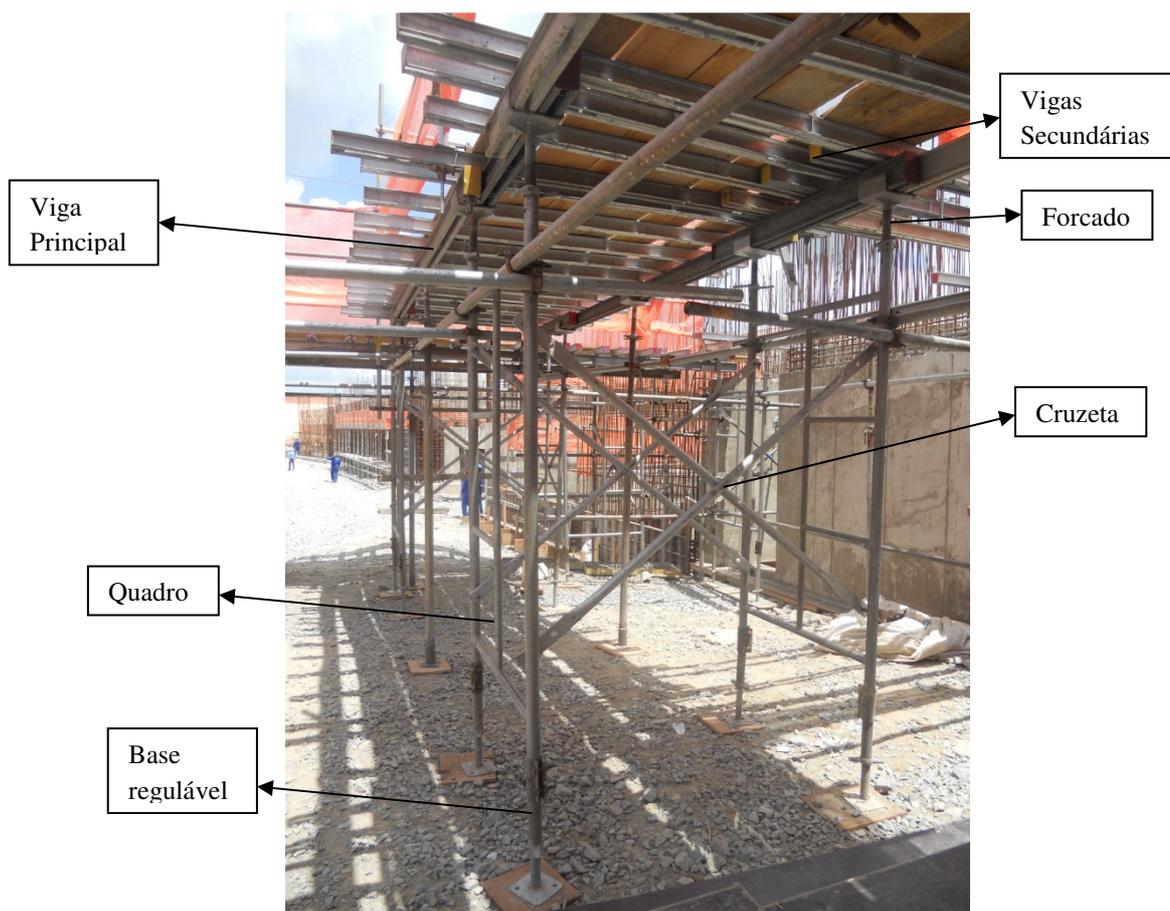
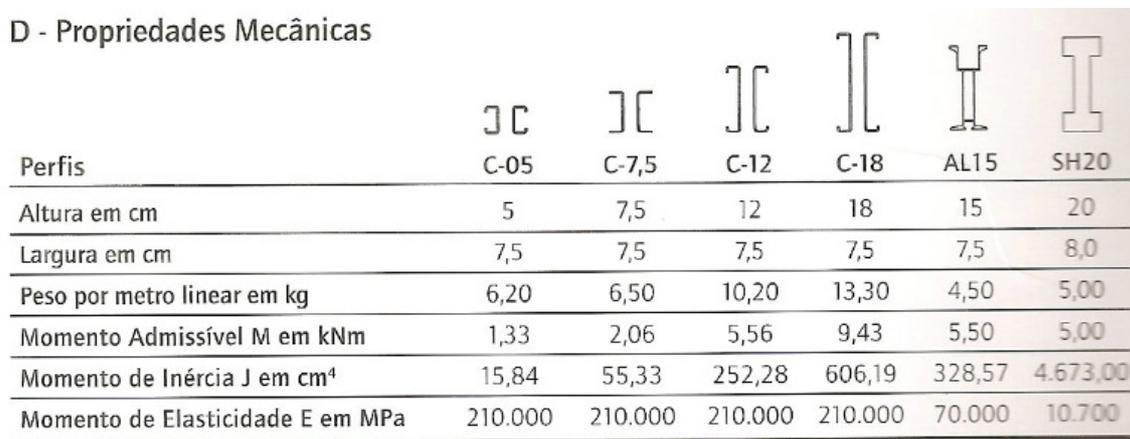


Figura 3 - Elementos da torre LTT

1.1.1 Vigas Secundárias e Principais

A SH Fôrmas Andaimos e Escoramentos trabalha com os mais variados tipos de vigas. No entanto, a escolha do tipo a ser utilizado - secundário ou principal - depende sempre da consideração de alguns fatores, como por exemplo: capacidade de carga, padronização e controle do uso e do estoque da obra. As vigas utilizadas são as seguintes: os perfis C metálicos, perfis de alumínio e de madeira. Isto posto, haja vista a variedade de vigas que podem ser utilizadas, a SH Fôrmas Andaimos e Escoramentos, dispõe de tabela com as propriedades mecânicas dos perfis para o seu dimensionamento, conforme a figura 4.

D - Propriedades Mecânicas



Perfis	C-05	C-7,5	C-12	C-18	AL15	SH20
Altura em cm	5	7,5	12	18	15	20
Largura em cm	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	8,0
Peso por metro linear em kg	6,20	6,50	10,20	13,30	4,50	5,00
Momento Admissível M em kNm	1,33	2,06	5,56	9,43	5,50	5,00
Momento de Inércia J em cm ⁴	15,84	55,33	252,28	606,19	328,57	4.673,00
Momento de Elasticidade E em MPa	210.000	210.000	210.000	210.000	70.000	10.700

Figura 4 - Propriedades mecânicas dos perfis - Fonte: Catálogo SH 2010/11

Avançando, pode-se observar, através da imagem que se segue (figura 5), que a viga de concreto ainda está escorada, apoiando-se nas vigas com marcas em amarelo, as secundárias, que são espessadas em no máximo 50 cm, onde, por sua vez, são apoiadas mediante vigas de maior rigidez, chamadas de vigas principais por se apoiarem diretamente na Torre.



Figura 5 - Distribuição das vigas secundárias e principais

De acordo com o "*Manual SH de Fôrmas para Concreto e Escoramento Metálicos*", o perfil secundário necessariamente deve possuir alma de madeira, para pregar o compensado da forma. Já para o perfil primário, por sua vez, tal requisito torna-se facultativo, contudo, a possibilidade de pregar é bastante útil em muitos casos, devendo sempre existir um transpasse.

1.1.2 Perfil C em Aço

O Perfil C Metálico, apresenta resistências e alturas variadas, onde suas cores definem a modulação dos seus comprimentos, conforme pode-se observar na figura 6.

Comprimento em cm	Cor
75	s/cor
100 - 200 - 300 - 400	Amarelo
150 - 250 - 350 - 450	Vermelho



Figura 6 - Organização dos perfis de acordo com comprimento e cor - Fonte: Catálogo SH 2010/11

Esse Perfil, se classifica de acordo com sua altura em C-05 e C-7,5 recomendados para as vigas secundárias e C-12 e C18, indicados para as vigas principais.



Figura 7 - Perfis indicados para as vigas primárias

1.1.3 Perfil de Alumínio - AL15

O Perfil de Alumínio AL15, é o perfil mais leve entre todos os perfis, o que facilita a montagem da torre aumentando a produtividade do serviço. É recomendado tanto para a viga principal como para a secundária. Possui comprimentos diferentes para a mesma altura.



Figura 8 - Perfil de Alumínio - Fonte: Catálogo 2010/11

1.1.4 Perfil de Madeira SH20

O Perfil de Madeira SH20 caracteriza-se por ser mais leve que os perfis metálicos. Ele é feito com madeira de reflorestamento, podendo ser utilizado como viga principal ou secundária.



Figura 9 - Perfil de madeira - Fonte: Catálogo SH 2010/11

1.1.5 Corneta

A Corneta possui uma placa quadrada de apoio com lado de 10cm com furos para fixação, caso seja necessário, e em sua haste também possui furos para encaixe a cada 8 cm e pesa em torno de 3,22 kg. Sua função é de ajustar a altura do forçado para que ele se conecte com as vigas secundárias. Pode também ser usada na placa de base, por isso há furos de fixação em sua placa, porém não é muito utilizado devido a base ser regulável. É mais fácil ajustar os forçados do que ajustar as bases da torre.

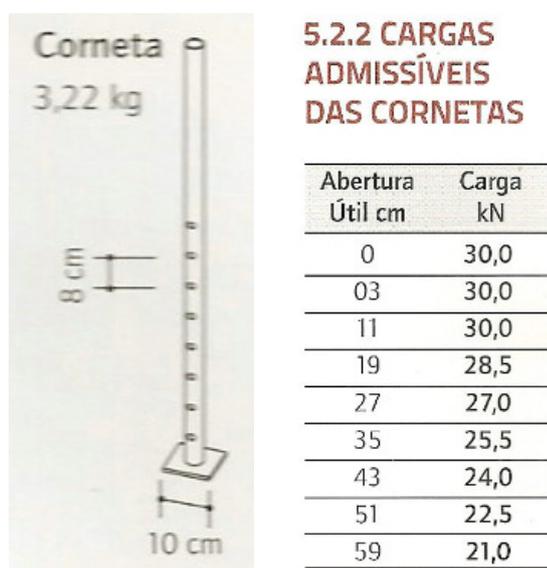


Figura 10 - Detalhes da corneta - Fonte: Catálogo SH 2010/11



Figura 11 - Detalhes dos furos na corneta

1.1.6 Forcado Regulável

O Forcado Regulável recebe as cargas das vigas principais, transmitindo-as diretamente para os quadros ou, dependendo do ajuste que for necessário, para as cornetas e dessas para os quadros. Seu peso é de aproximadamente 7,24 kg, possuindo 16cm de abertura, possibilitando o encaixe das vigas e permitindo um ajuste de até 15cm.

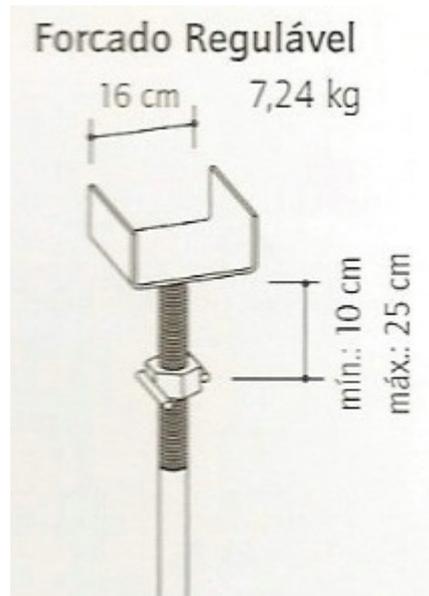


Figura 12 - Detalhes do Forcado - Fonte: Catálogo SH 2010/11



Figura 13 - Conexão do forçado com as vigas

À partir da observação da Figura 14, é possível perceber que o forçado regulável se conecta com a corneta.



Figura 14 - Conexão do forçado com a corneta

Na figura 14, pode-se observar o forçado encontra-se apenas com uma viga e não centrada, o que pode ocasionar o deslizamento ou até mesmo tombamento da viga. Mesmo assim, isto é algo com pouca probabilidade de ocorrer, devido a elevada força de atrito que há no encontro da viga e do forçado. No entanto, para se evitar tais fenômenos, deverão ser executadas medidas, como o acunhamento em barrotes de madeira.



Figura 15 - Acunhamento das vigas

Os forçados, e até mesmo as vigas, também podem servir como base para as Torres, isto se deve a vários fatores, quais sejam: a quantidade de peças da torre; o prazo de concretagem; o desnivelamento do terreno extremo; a altura da estrutura a ser concretada; dentre outros. Essa possibilidade é bem ilustrada através das figuras 16, 17, 18 e 19.



Figura 16 - placas de base em terrenos desnivelados



Figura 17 - Viga como base



Figura 18 - placas de base e vigas como base



Figura 19 - Torres apoiadas em vigas

1.1.7 Quadros LTT

O Quadro LTT é o esqueleto de uma Torre. Com a introdução desse Quadro, a montagem dos cimbramentos se torna mais célere, uma vez que ele acaba por agregar pelos menos quatro hastes soldadas. Essas hastes, soldadas horizontalmente nas hastes verticais, funcionam como contraventamento naquele eixo. Como os dois próximos quadros se fixarão aos outros dois formando um ângulo de 90°, eles funcionarão como contraventamento, fazendo assim com que as hastes verticais sejam contraventadas nos seus dois eixos de flambagem.

Conforme pode-se observar nas figuras 20 e 21, retiradas do Catálogo 2010/11 da SH Fôrmas Andaimes e Escoramentos, a referida empresa possui quatro tipos de quadros, quais sejam: 136 LTT; 136 LTT 2; 200 LTT; e 200 LTT 2. O número indica a altura do quadro, o LTT significando que o contraventamento no plano do quadro é em forma de X, o LTT 2 significa que o contraventamento no plano do quadro está em forma de semi cruz.

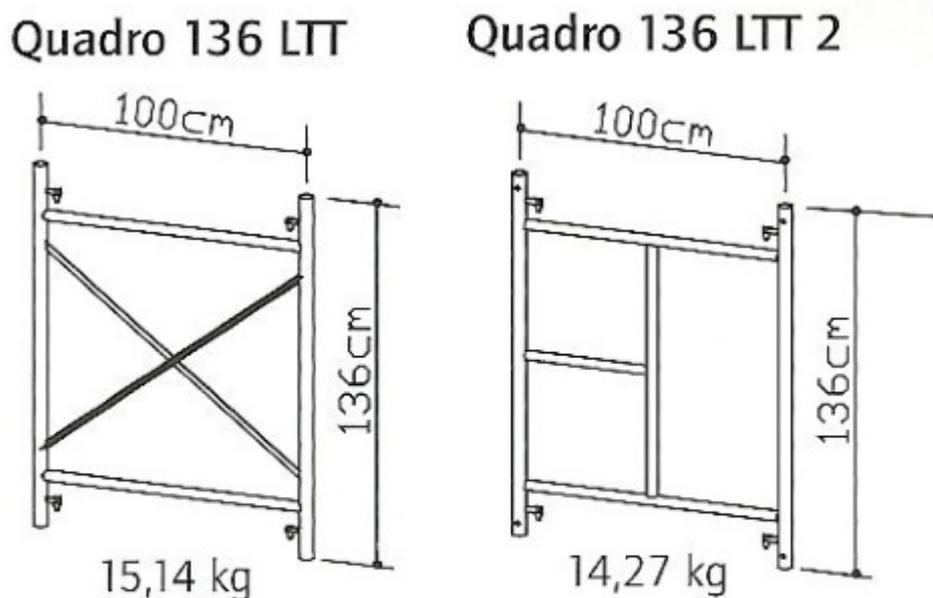


Figura 20 - Dimensões dos quadros 136 LTT - Fonte: Catálogo SH 2010/11

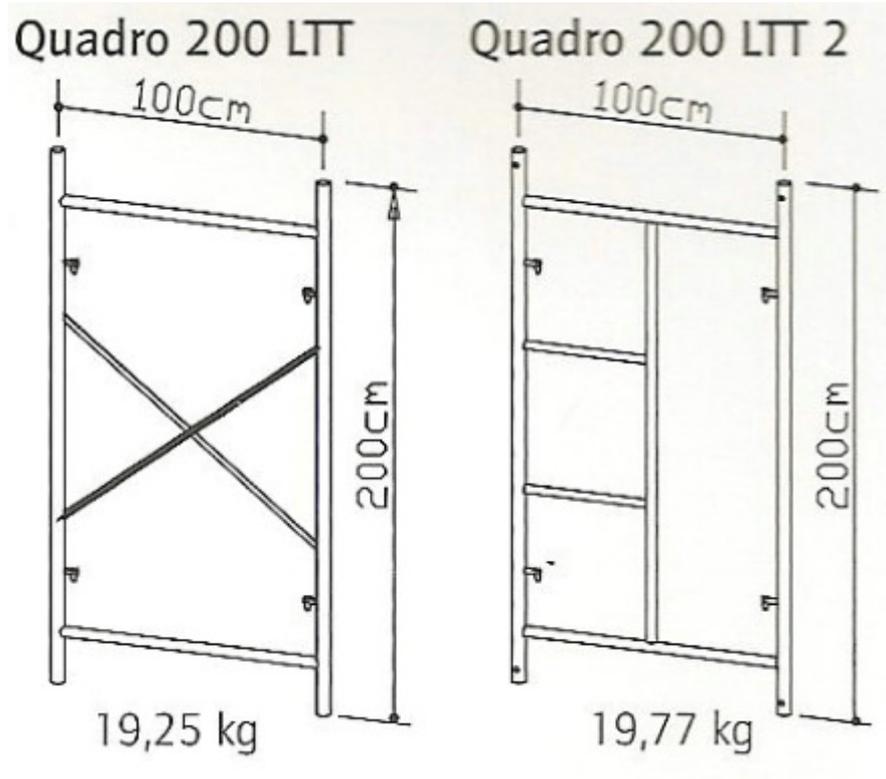


Figura 21 - Dimensões dos quadros 200 LTT - Fonte: Catálogo SH 2010/11

A obra "Arena da Copa de Pernambuco", objeto do presente estudo, utiliza os Quadros 200 LTT e o 200 LTT 2.



Figura 22 - Quadros montados em obra

De acordo com a figura 22, nota-se que esse quadro possui furos em sua extremidade para conexão com as cornetas ou forcados. Por sua vez, possuindo, também, pinos para serem conectados aos travamentos.

1.1.8 Cruzetas

As cruzetas são hastes que servem de contraventamentos para os quadros, conectando-se aos pinos existentes. Essas cruzetas também se interligam no seu ponto médio, como se observa através das imagens seguintes.

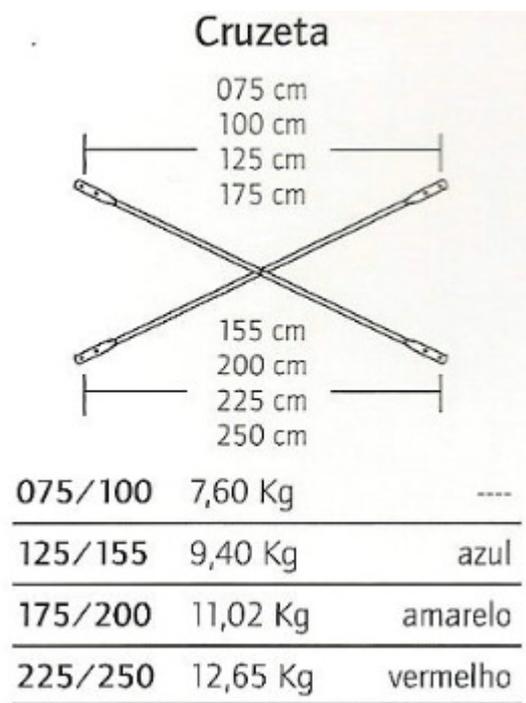


Figura 23 - Detalhes da cruzeta - Fonte: Catálogo SH 2010/11



Figura 24 – Cruzetas montadas na torre



Figura 25 – Posicionamento das cruzetas nas torres



Figura 26 - Cruzetas conectadas a torres em terrenos desnivelados

1.1.9 Base Regulável

A Base Regulável, recebe as cargas dos quadros e transmite-as ao terreno, ou a qualquer peça que funcione como base devido à irregularidade deste. Na obra em estudo foram utilizados recortes em madeira. A SH possui dois tipos de base: a base regulável e a base regulável tubular que é usada na obra. A base regulável tubular possui um ajuste de até 30cm e furos em sua placa de base para fixação, caso seja necessário.

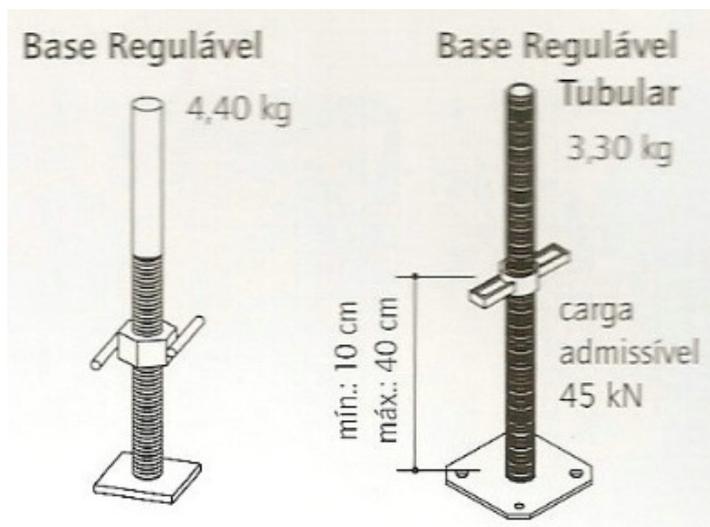


Figura 27 - Detalhes das placas de base - Fonte: Catálogo SH 2010/11



Figura 28 - Furos de fixação da placa de base

Importante ressaltar que, antes de autorizar a concretagem, alguns cuidados devem ser tomados, como por exemplo o fato de que todas as torres devem ser vistoriadas, para que incidentes indesejados sejam evitados. Sendo assim, as figuras 29 e 30 apresenta episódios indesejados, que só aconteceram porque a concretagem ainda não havia sido devidamente autorizada.



Figura 29 - Erro de conexão, chapa de madeira entre o forçado e a viga



Figura 30 – Base regulável mal apoiada

1.2 Torre de Carga MILLSTOUR – MILLS

A Torre de Carga MILLSTOUR pertence a empresa MILLS, é totalmente autotravada e robusta. Cada poste pode suportar uma carga de até seis toneladas, podendo inclusive, dependendo do contraventamento, triplicar.

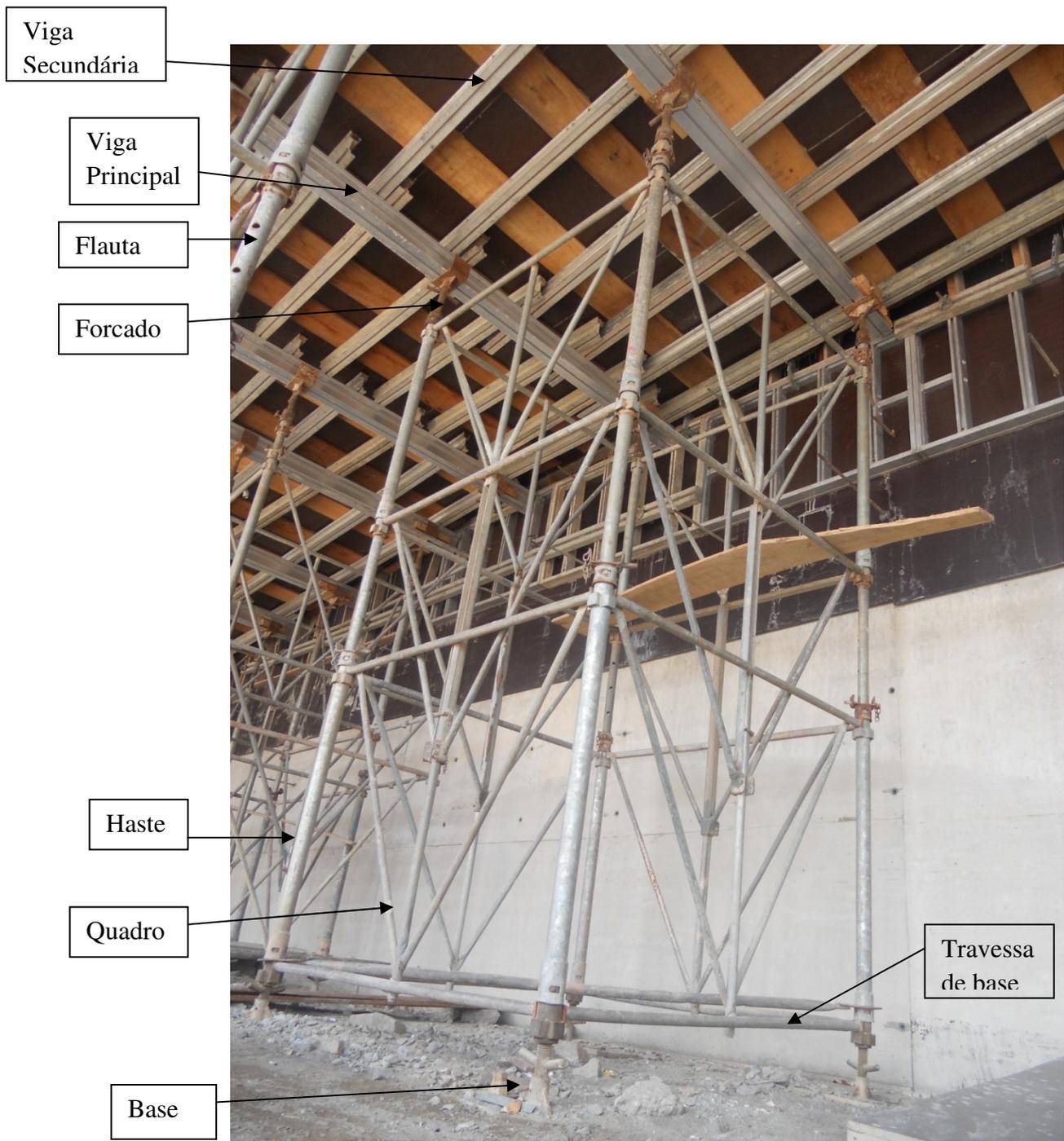


Figura 31 - Torre de carga MILLSTOUR

A figura 32, obtida no catálogo técnico da referida empresa, apresenta algumas variações desse tipo de torre, quais sejam: cota de fundo de laje e apoio variáveis; dobras de poste; e torre tipo Arlequim.

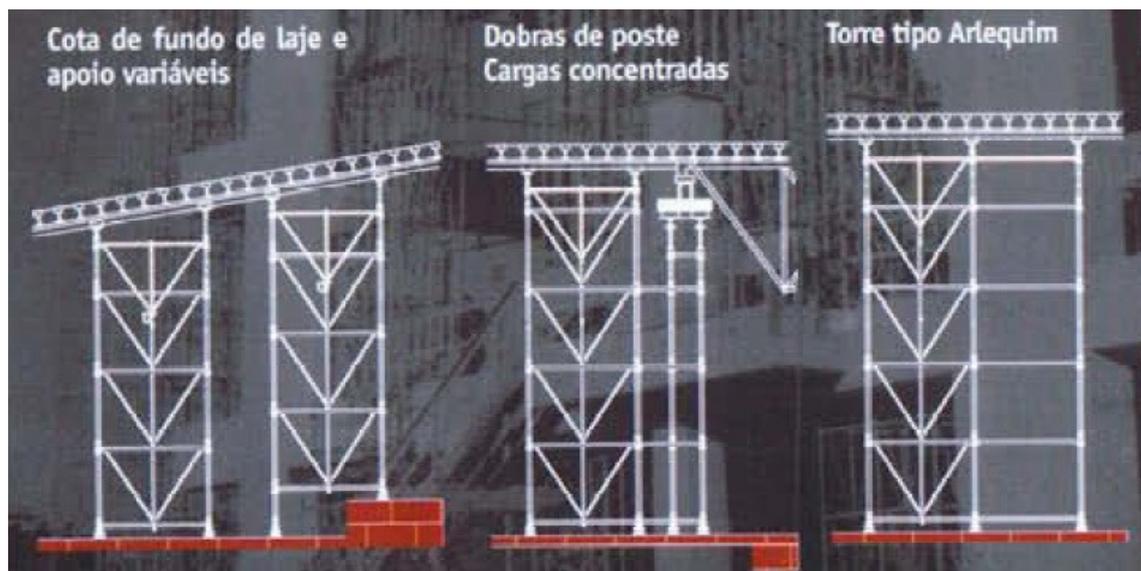


Figura 32 - Variações da torre MILLSTOUR - Fonte: Catálogo MILLSTOUR

Seguindo o proposto inicialmente pelo presente estudo, a apresentação dessa torre dar-se-á da mesma maneira utilizada pela torre da SH Fôrmas Andaimos e Escoramentos. Inicialmente, apresentar-se-á a viga secundária e principal, e por fim a base.

1.2.1 Vigas

As vigas utilizadas pela empresa MILLS são feitas de alumínio com seção I, diferenciando-se das vigas utilizadas pela SH na medida em que essas últimas apresentam além de um perfil I em alumínio, mas também, dois perfis U enrijecidos, onde no meio dos perfis se encontra um outro perfil de madeira para fixação na forma e um perfil I em madeira. A MILLS, por sua vez, caracteriza-se por ter um perfil único, apresentado na figuras 33. A empresa mencionada não possibilitou o acesso as variedades de vigas que possui, entretanto, afirmam obedecer as mesmas prescrições e recomendações que a SH Fôrmas Andaimos e Escoramentos.



Figura 33 - Vigas de Alumínio

Nesse sentido, é importante ressaltar que a MILLS trabalha com o conceito de vigas principais e secundárias, permitindo aos engenheiros responsáveis pelo respectivo projeto de obra, conforme critérios subjetivos, definir quais vigas serão secundárias e quais serão principais. Por fim, destaca-se que todas as vigas utilizadas são de alumínio. As figuras 34 e 35 apresentam as vigas montadas nas torres de escoramento.



Figura 34 - Montagem das vigas



Figura 35 - Escoramento da laje

1.2.2 Forcados

Os Forcados são responsáveis por receber os esforços das vigas principais e retransmití-los para a torre. Essa torre, por sua vez, utiliza-se de dois tipos de forçado: o simples e o duplo. O forçado duplo possui uma largura de 17cm para encaixe das vigas e altura de 12cm, pesando, aproximadamente, 3,50 kg. Já o forçado simples, pesa 2,50 kg, possui 11,2cm de altura e 9 cm de largura para encaixe das vigas, apresentando, ainda, uma abertura no fundo para encaixe do tipo macho fêmea, com sua haste. A Figura 36, a seguir, ilustra, respectivamente, os forcados duplo e simples.



Figura 36 - Conexões dos forcados com as vigas



Figura 37 - Detalhes do forcado - Fonte: Catálogo MILLSTOUR

Conforme apresentado na Figura 38, retirada do Catálogo técnico da MILLSTOUR, a haste do forcado é rosqueada para ajustar a altura desejada, possuindo no fundo, um cabeçote para fixação com as hastes oriundas dos quadros ou das flautas. Qualquer que seja o forcado, ele poderá ser encaixado, podendo, também, servir de base se apoiando em viga, dependendo das condições do local de obra.

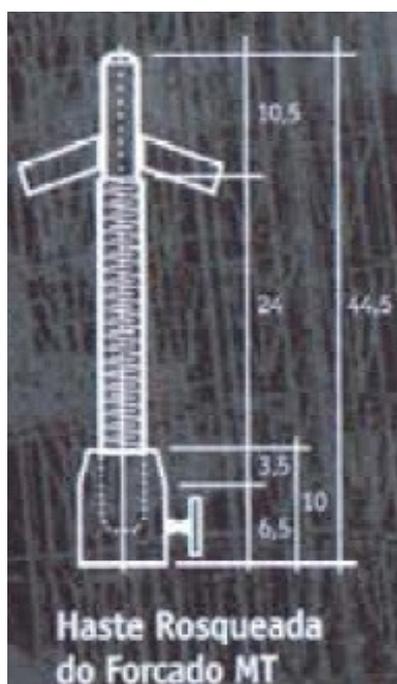


Figura 38 - Detalhes da haste rosqueada do forcado - Fonte: Catálogo MILLSTOUR



Figura 39 - Uso alternativo do forcado

1.2.3 Flautas

As Flautas são elementos que tem como função receber as cargas dos forcados e repassar aos quadros. São introduzidas na torre quando não se tem altura suficiente para a colocação de mais um quadro. Apresentam 1,20m de comprimento, 6,03cm de diâmetro e furos espaçados a cada 15cm, pesando aproximadamente 8,70kg. Essas flautas podem ser utilizadas como ligação da base com o quadro, o que não é recomendado, uma vez que para essa finalidade existe o inversor de flauta. Pode-se observar o supradito nas figuras 40 à 46.

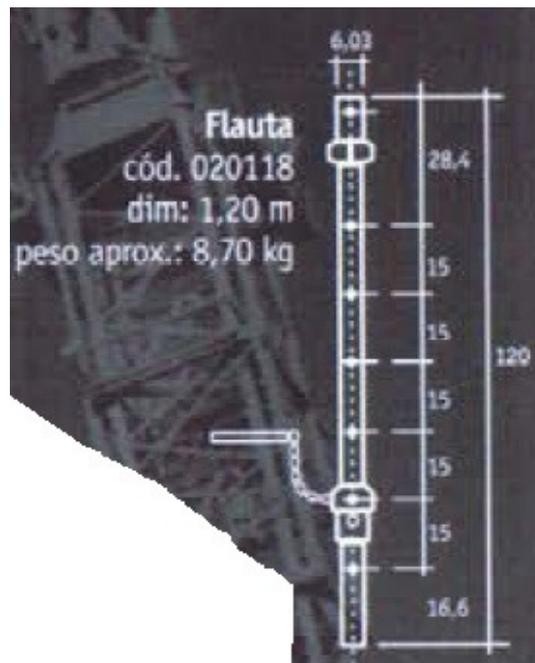


Figura 40 - Detalhes da flauta - Fonte: Catálogo MILLSTOUR

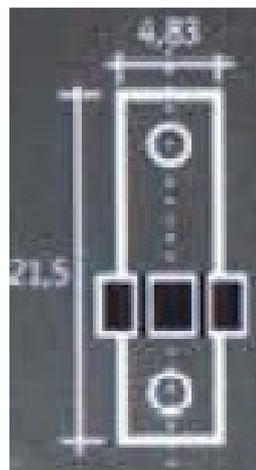


Figura 41 – Inversor de flauta - Catálogo MILLSTOUR



Figura 42 – Conexão das flautas com os forçados



Figura 43 - Estoque de flautas



Figura 44 - Conexão das flautas com os quadros



Figura 45 - Outro angulo da conexão da flauta com os quadros

1.2.4 Haste

Como as flautas são utilizadas para regulagem da altura desejada do escoramento, os postes fazem o papel de compor os locais onde não se necessita de regulagem de altura. Normalmente, esses postes, acompanham os quadros de modulação, sendo suas extremidades diferentes para conexão com a flauta e com as placas de base. Podem, ainda, se conectar com os forcados caso não seja necessário um ajuste da torre. Tem altura de 1,20m e pesam aproximadamente 6,90 kg.



Figura 46 - Posicionamento usual das hastes nas torres

1.2.5 Quadros



Figura 47 - Posicionamento dos quadros nas torres

Os quadros são estruturas montadas por duas peças. A primeira é o quadro propriamente dito de forma triangular. Já a segunda, é uma haste que se conecta com a torre e com o quadro triangular. A conexão dessas peças será melhor vista e detalhada no próximo capítulo. Existe, ainda, dois tipos de quadro: o fixo e o deslizante. Destaca-se que o quadro utilizado na Arena da Copa – PE foi o fixo.

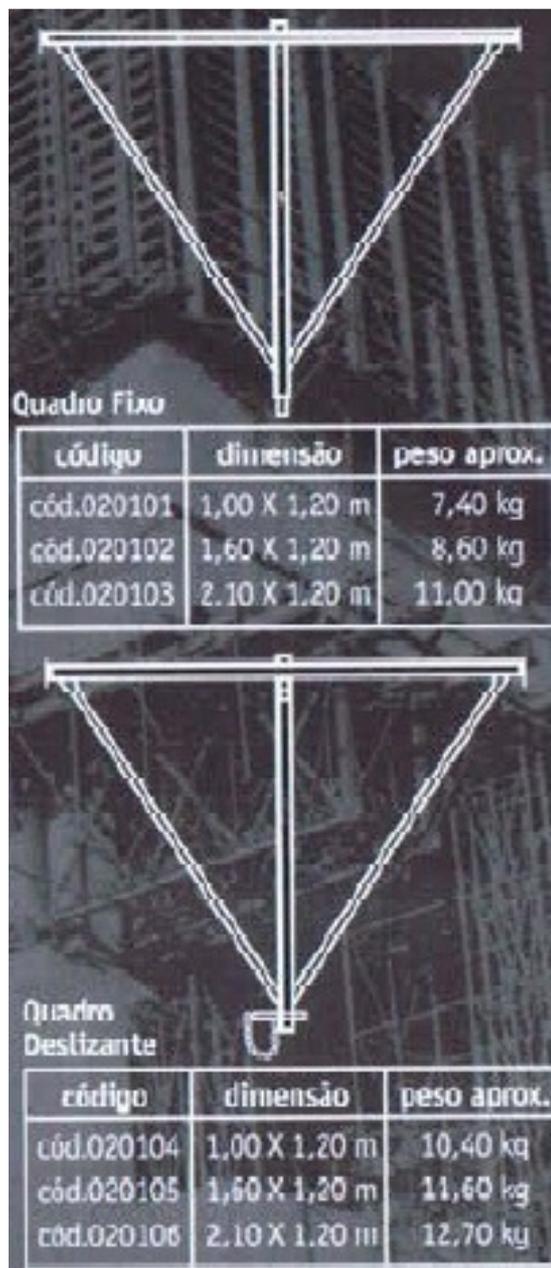


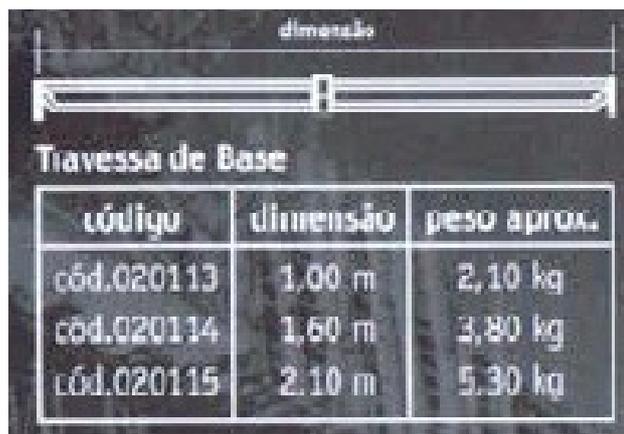
Figura 48 - Detalhes e tipos de quadros - Fonte: Catálogo MILLSTOUR



Figura 49 - Estoque de quadros

1.2.6 Travessa de base

Travessa de base, nada mais é que a haste localizada abaixo do “V” do quadro, apresentando função de travamento ou amarração da estrutura, conforme ilustrado na Figura 51.



dimensão

Travessa de Base

código	dimensão	peso aprox.
cód.020113	1,00 m	2,10 kg
cód.020114	1,60 m	3,80 kg
cód.020115	2,10 m	5,30 kg

Figura 50 - Detalhes da travessa e base



Figura 51 - Travessa de base na torre de escoramento

1.2.7 Diagonal

A diagonal tem função de contraventamento da torre, possuindo diversos tamanhos para se adaptar aos diversos tipos de torres que podem ser montadas. Se encaixa por aberturas em sua extremidade e sua posição é sempre ligar pontos não adjacentes da torre.

dimensão



Diagonal Horizontal

código	dimensão	peso aprox.
cód.020107	1,00 X 1,00 m	4,80 kg
cód.020108	1,00 X 1,60 m	5,90 kg
cód.020110	1,60 X 1,60 m	6,70 kg
cód.020111	2,10 X 1,60 m	8,00 kg
cód.020112	2,10 X 2,10 m	8,70 kg

Figura 52 - Detalhes da Diagonal - Fonte: Catálogo MILLSTOUR



Figura 53 - Estoque de Diagonais



Figura 54 - Diagonal na torre de escoramento

Pode-se observar, através da figura 55, que a diagonal não se encontra a cada quadro que utilizamos. A diagonal irá se encaixar na torre a depender da carga que é solicitada e da altura desejada visto que, a cada vez que a altura da torre alcançar 4 vezes a largura do menor lado da torre, deve-se contraventar a torre nos dois eixos do plano em que se encontra a diagonal. No caso da torre acima, apenas foi preciso de duas diagonais: uma na base e a outra no 4º quadro.



Figura 55 - Diagonais aplicadas nas torres

1.2.8 Placas de base

A MILLS possui dois tipos de placa de base: a placa de base fixa e a placa de base ajustável. A placa de base fixa tem 16,3cm de altura e base de 15 x 15cm. A de base ajustável se diferencia na altura, com 7,5cm. A referida obra se utiliza das placas de base fixas. As placas de base possuem 4 furos para fixação em madeira se necessário.

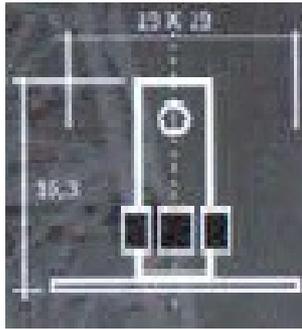


Figura 56 - Dimensões da placa de base



Figura 57 - Detalhes da placa de base ajustável



Figura 58 - Placa de base na obra

2. TORRES DE ESCORAMENTO

O presente capítulo irá detalhar como se conectam as peças das torres de escoramento supracitadas, objetivando apresentar com minúcia suas ligações e seus respectivos contraventamentos.

2.1 Ligações

De acordo com entendimento de BELLEI (2008), ligação, nada mais é do que a união entre dois membros ou peças em qualquer tipo de estrutura e em especial nas estruturas de aço e é de fundamental importância pelo que ela representa, a segurança diversas, tal qual os esforços solicitantes e a rigidez.

As ligações se classificam da seguinte maneira:

- Segundo a rigidez, onde essas mesmas ligações se classificam em ligações articuladas ou flexíveis, rígidas e semi-rígidas;
- Segundo a resistência, onde essas mesmas ligações se classificam em ligações articuladas, resistência total e resistência parcial.

Segundo MARTINS (2011) as propriedades estruturais das ligações devem permitir que sejam satisfeitas as hipóteses formuladas na análise da estrutura e no dimensionamento dos seus elementos. Ainda segundo ele o comportamento das ligações metálicas caracterizam-se, normalmente, por curvas momento fletor-rotação, não lineares, sendo o M o momento fletor atuante e o θ a rotação correspondente (figura 53, sendo θ o ângulo de deslocamento entre a viga e o pilar face à situação inicial).

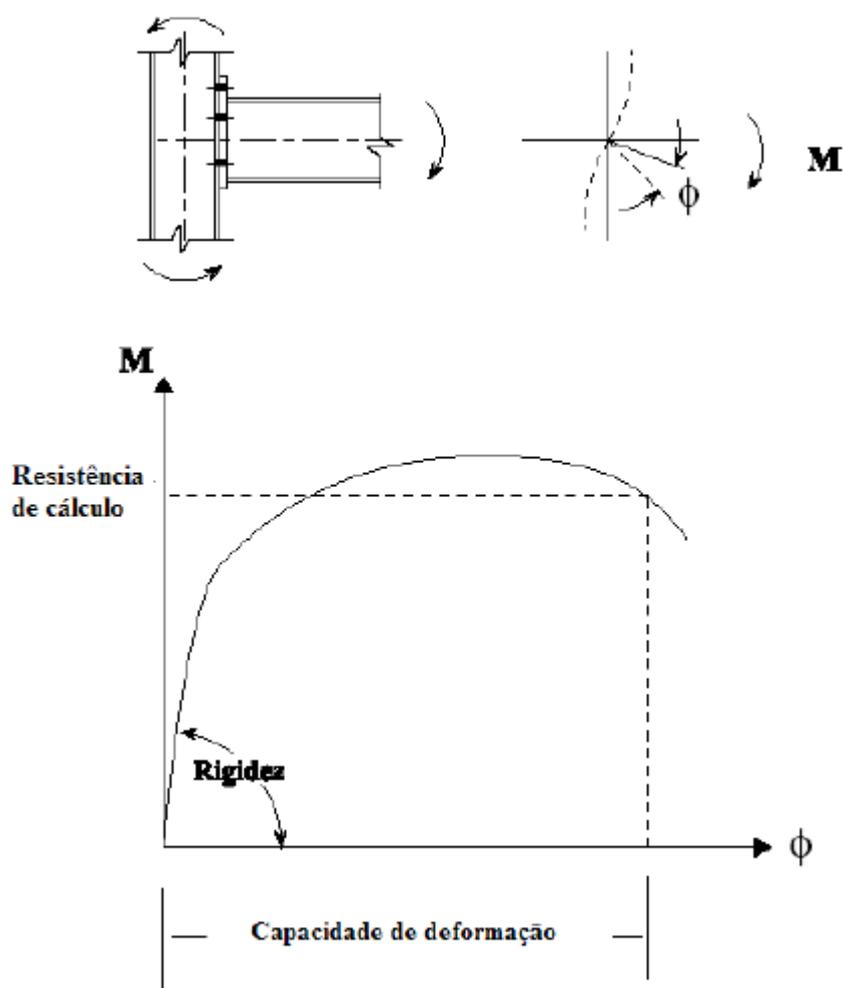


Figura 59 - Comportamento de ligações metálicas caracterizado por curvas momento fletor-rotação ($M\phi$)
 Fonte: Estruturas Metálicas - Ligações

As ligações/conexões, utilizadas com maior frequência nos escoramentos tubulares, são as do tipo macho-fêmea, laterais por encaixe, braçadeiras e luvas. As discriminações a seguir dessa conexões, foram retiradas do livro Cimbramentos do autor Walter Pfeil.

As braçadeiras fixas destinam-se à ligação de dois tubos em ângulo reto. O modelo corretamente fabricado no Brasil é o da figura abaixo, com a estrutura principal formada por duas peças forjadas, dois parafusos curvos com porcas e arruelas. Quando corretamente apertadas, as braçadeiras fixas apresentam uma resistência ao deslizamento da ordem de 15 a 20 kN (1.500 à 2.000 kgf) (PFEIL, 1987).



Figura 60 - braçadeiras fixas

Já as braçadeiras móveis, são destinadas à ligação de dois tubos independente do angulo formado, conforme a Figura abaixo inserida. A estrutura dessa braçadeira é formada por duas peças forjadas, unidas por um pino rebitado que permite a rotação ou o giro (PFEIL, 1987).



Figura 61 - braçadeiras móveis

As luvas destinam-se à ligação de topo de dois tubos, os quais são cortados em ângulo reto em serras especiais com disco de esmeril. Nos tubos com solicitações de tração, as emendas de topo com luvas podem ser reforçadas com um tubo axiliar de 1 m e duas braçadeiras móveis (PFEIL, 1987).



Figura 62 - Luva

Os parafusos das conexões devem ser apertados com um momento de 5kN.cm (500 kgf.cm), correspondente a um esforço de 20 kgf aplicado com um braço de alavanca de 25cm. Para controle no momento aplicado, podem ser usadas chaves dinamométricas, conforme a Figura 62. Logo após alguma prática com estas chaves, os montadores adquirem sensibilidade para aplicar o esforço certo com uma chave comum (PFEIL, 1987).



Figura 63 - Chave dinamométrica - Fonte:www.custojusto.pt

A Chave Dinamométrica é uma ferramenta, usada para ajustar precisamente o torque de um parafuso com uma porca. Tem ainda um tipo de dispositivo dinamométrico que possibilita medir a força rotacional dimensionada em projeto, que permita o máximo de aperto sem o risco de danificar o material.

O parafuso e a porca devem estar limpos e levemente lubrificados. Para acelerar os trabalhos de montagem, e dar maior confiabilidade ao escoramento, seria de grande interesse o emprego de ferramentas pneumáticas de torque regulável para realizar o aperto das braçadeiras e das luvas do material tubular.

A medida em que o tempo passa, os operários acabam adquirindo a força que devem colocar para apertar um parafuso ao torque de 5kN.cm com uma chave comum (PFEIL, 1987). Assim sendo os funcionários acabam por utilizar uma chave comum para o aperto dos parafusos, o que implica na segurança das torres de escoramento pois dessa forma não há como saber se o torque correto foi aplicado aos parafusos.



Figura 64 - Chave comum em uso na obra

As conexões laterais por encaixe são ligadas nos montantes, como já diz o próprio nome, via encaixe, substituindo as abraçadeiras de atrito. Essa ligação se torna mais eficiente, uma vez que se sabe como comporta-se o nó, isto porque com as luvas e abraçadeiras não se tem a confirmação se o funcionário introduziu o momento a ser aplicado nos parafusos, além de tornar-se mais ágil na hora da montagem, pois basta apenas encaixar e travar, e nas abraçadeiras e luvas, ainda teria que apertar os parafusos e conferir se o momento aplicado está correto.



Figura 65 - Conexão lateral por encaixe

2.1.1 Ligações da Torre LTT – SH



Figura 66 - Ligação por luva

As ligações da Torre LTT - SH, começam pela base regulável onde é apoiada diretamente numa laje ou piso. Nos casos em que o piso for extremamente irregular, utilizar-se-ão placas de madeira (Figura 66), a fim de proporcionar estabilidade a torre.

Em seguida, o quadro se encaixa na base regulável de forma macho fêmea, onde posteriormente, para evitar pequenos deslocamentos entre as peças, introduz-se uma luva com dois parafusos de maneira a enrijecer a ligação.



Figura 67 - Vista lateral da conexão por luva

O quadro por ser uma única peça, apresenta todas as ligações internas soldadas, que apesar desse detalhe, não só o quadro como também a torre, funcionam com o comportamento de treliça espacial.

As hastes horizontais do quadro tem como função travar lateralmente em seu sentido longitudinal.



Figura 58 - Conexões do quadro

Está soldado nos quadros, pinos voltados para a parte interna do quadro. Esses pinos irão servir para se conectar com as cruzetas, que por sua vez servirão de contraventamento no eixo a 90° das hastes horizontais do quadro, fazendo assim, com que o quadro tenha suas hastes verticais com comprimento de flambagem definido e limitado aos referidos nós nos seus dois eixos de flambagem.



ERROR: stackunderflow
OFFENDING COMMAND: ~

STACK: