

Projetos

Conheça os critérios de dimensionamento do sistema de escoramento

Cumprimento à risca do projeto e das recomendações dos fornecedores é fundamental para garantir segurança na execução da estrutura

Edição 213 - Dezembro/2014

Leveza e alta capacidade de carga são algumas das vantagens inerentes aos sistemas de escoramento metálico em aço e alumínio, compostos, basicamente, por torres e escoras pontuais. Feito de acordo com as especificidades da obra, o projeto executivo do escoramento determina, por exemplo, o espaçamento de apoios e vigas metálicas em função das cargas atuantes. Seguir à risca as orientações do projetista ou do fornecedor do sistema evita acidentes no trabalho e o colapso estrutural.

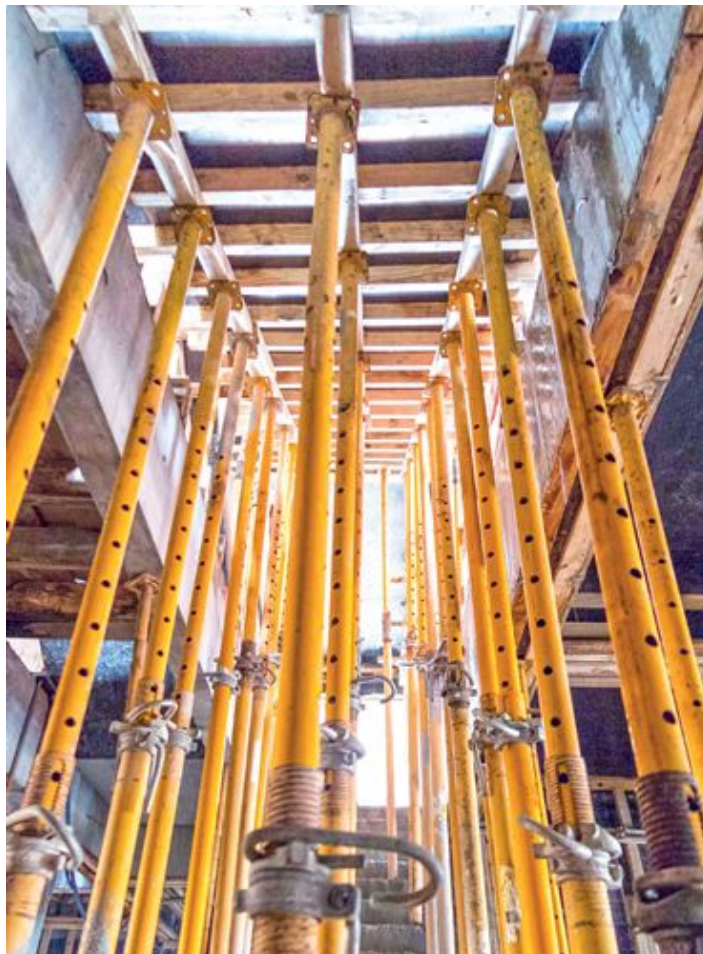
Torres e escoras costumam ser especificadas em conjunto numa mesma obra, associadas às vigas principais e transversinas de perfis metálicos, barrotes e contrabarrotes. A regulagem de altura das torres de escoramento acontece por meio de sapatas na base e forçados no topo. Nos escoramentos pontuais, a regulagem é feita por tubos denominados flautas.

Já a mesa voadora, sistema de fôrmas que atua também como escoramento, reduz a necessidade de mão de obra para a execução da estrutura, pois é içada já montada por grua ou guindaste até o pavimento em questão. "Este sistema é ideal para lajes planas, com poucas vigas ou, preferencialmente, sem vigas de borda", explica o engenheiro Nilton Nazar, professor da Escola de Engenharia Mauá e diretor da Hold Engenharia.

O projeto executivo dos escoramentos metálicos é elaborado pela empresa locatária dos equipamentos a partir do projeto de fôrmas fornecido pela construtora, que também tem a possibilidade de comprar o cimbramento, em vez de alugá-lo. Neste caso, a própria construtora faz o projeto, além da manutenção, da repintura e da soldagem do escoramento, armazenado em local específico.

O projeto executivo de fôrmas e escoras deve ser elaborado de acordo com as necessidades e particularidades de cada obra. Estruturas muito reticuladas podem encarecer e dificultar o projeto de escoramento em função do aumento da quantidade de vigas, acréscimo com a mão de obra, cimbramento e quantidade de fôrmas.

Em pés-direitos altos, superiores a 4 m, o contraventamento é obrigatório para garantir a estabilidade do conjunto



Torres e escoras costumam ser especificadas em conjunto numa mesma obra, associadas às vigas principais e transversinas de perfis metálicos, barrotes e contrabarrotes



O contraventamento é necessário em pavimentos com pé-direito superior a 4 m para que a estrutura não entre em colapso. Tubos e braçadeiras das torres cumprem este papel no edifício Trend Tower, em Barueri (SP)

e evitar o tombamento lateral das vigas, sobretudo quando não se usam torres. As torres também devem ser contraventadas com tubos e braçadeiras caso a relação entre a altura do equipamento e a largura de sua base seja maior que 4 ($H_{\text{torre}}/L_{\text{base}} > 4$).

Os esforços aplicados por vigas de transição, responsáveis pela distribuição das cargas de pilares nelas apoiados, sobre o escoramento merecem atenção especial do projetista. "O projeto de cimbramento e o reescoramento exigem maior cautela quando há vigas de transição, sob pena de um colapso durante a concretagem da estrutura", afirma Nazar.

Sabe-se que, quanto mais fluido o concreto e quanto maior a velocidade de concretagem, maior será a pressão exercida pelo material. No entanto, não há consenso sobre o cálculo das pressões horizontais e de atrito - resultantes do lançamento do concreto na fôrma e da movimentação da bomba, por exemplo -, que precisam estar incluídas no dimensionamento e cálculo do escoramento.

Ao especificar e calcular os cimbramentos, muitas empresas adotam as normas internacionais como as do CEB (sigla em francês do Comitê Euro- Internacional do Concreto), do ACI (sigla em inglês do Instituto Americano do Concreto) e da DIN (sigla em alemão do Instituto Alemão para Normatização) que, segundo Nazar, são mais rigorosas e exigentes do que as normas brasileiras.

Além de estarem no prumo, os escoramentos precisam estar assentados sobre base firme. A colocação de chapas de madeira sobre apoios das torres e escoras ajuda a redistribuir a carga no solo. Mas se este for frágil ou fofo, sem resistência adequada, pode ser necessária a execução de uma base em concreto magro. "Em solos assim, a quantidade de escoras e torres também pode ser aumentada para que haja melhor distribuição da carga, o que deve ser feito sob supervisão de um consultor de solos", acrescenta o engenheiro.



A etapa de concretagem requer a definição prévia dos equipamentos de proteção individuais e coletivos, como bandejas e guarda-corpos

Montagem, desmontagem e segurança

Thiago Marimon, diretor da Plan Zero Segurança do Trabalho, explica que a etapa de concretagem requer definição prévia e criteriosa dos meios de proteção coletiva e individual que serão adotados para a segurança no trabalho. "É comum encontrar obras em que a ausência de planejamento para a execução das proteções impediu a circulação satisfatória dos trabalhadores", diz Marimon. "A realização de inspeções dos encaixes e peças após a montagem dá mais confiabilidade e segurança para as equipes durante a concretagem", acrescenta o diretor.

Para ser feita com eficiência e segurança, a montagem e a desmontagem dos escoramentos devem seguir as normas NR-18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção (com ênfase no item 18.9 -

Estruturas de Concreto) e NBR 15.696:2009 - Fôrmas e Escoramentos para Estruturas de Concreto - Projeto, Dimensionamento e Procedimentos Executivos (com atenção aos subitens 6.3 - Cuidados na Montagem de Fôrmas e Escoramentos, 6.4 - Cuidados na Concretagem e 6.5 - Cuidados na Retirada de Fôrmas e Escoramentos).



Nos pavimentos-tipo do edifício Trend Tower, com pé-direito inferior a 4 m, o cimbramento é feito por meio dos escoramentos pontuais em alumínio

Seguir o projeto e documentação enviados pelo fornecedor ajuda a evitar erros como a não regularização dos apoios, montagem de escoras fora de prumo e espaçamento de torres e escoras maior do que o estipulado pelo projeto. No momento da desmontagem, o equipamento, normalmente, deve ser retirado na ordem inversa em que foi montado, e os travamentos, por sua vez, só podem ser retirados depois que o escoramento for aliviado. Outra recomendação é realizar uma Análise Preliminar de Risco (APR) antes da execução.

Vigas de transição exigem cuidados especiais

Responsável pelo projeto das fôrmas do Trend Tower, construção de uso misto de 30 andares em Barueri (SP), o engenheiro Nilton Nazar também foi encarregado da verificação do projeto de escoramentos metálicos do edifício, estruturalmente marcado pela presença de vigas de transição - uma delas em balanço. Um dos cuidados tomados foi levar o reescoramento até o solo, para não afetar a estrutura dos três subsolos com o peso das vigas de transição.

"Sugiro que a carga máxima por cimbramento ou por pé de torre apoiada no solo não passe de 1

tf", diz o engenheiro, que aconselha a especificação de maior número de escoras para garantir essa carga por apoio. Colocadas entre as escoras e o solo, chapas de madeira de 30 cm x 30 cm garantem melhor distribuição da carga.



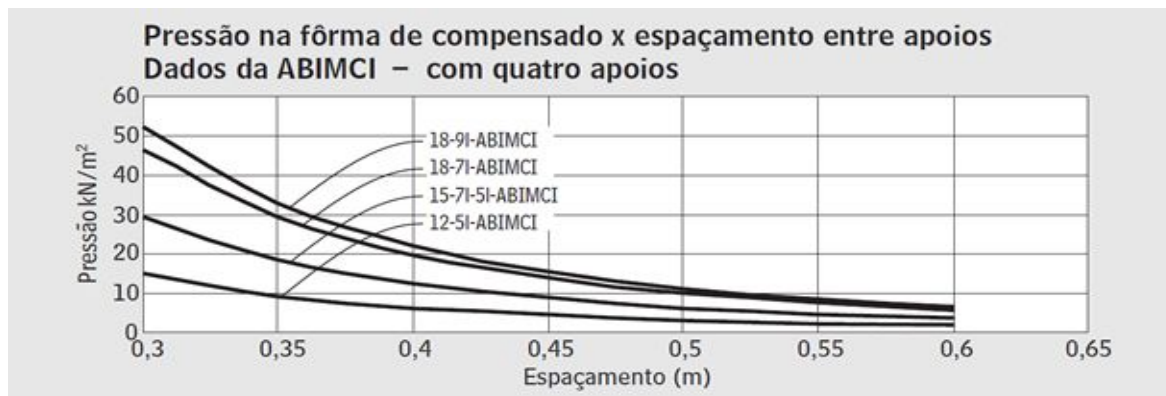
Quando há vigas de transição, o escoramento deve chegar até o solo para não sobrecarregar as estruturas dos pavimentos inferiores, como as dos subsolos do edifício Trend Tower, em Barueri (SP)

Dimensionamento de barrotes e vigas principais

Por [Nilton Nazar](#)

Os espaçamentos máximos entre escoramentos (torres e vigas) são determinados por meio do cálculo estático, que leva em consideração as cargas atuantes (peso próprio do concreto e dos equipamentos, sobrecarga de trabalho etc.) e as capacidades de carga e de absorção do equipamento informadas pelo fabricante. As cargas e sobrecargas a serem adotadas no cálculo são definidas pela NBR 15.696:2009. O cálculo também deve

considerar os esforços horizontais decorrentes, por exemplo, da própria concretagem, sobretudo em pavimentos com pé-direito superior a 3 m. A seguir, veja uma simplificação do cálculo realizado para determinar os espaçamentos entre o escoramento do pavimento-tipo de um edifício composto por uma laje de concreto com altura de 12 cm.



Fonte: Reproduzido do livro *Fôrmas e Escoramentos para Edifícios*

Nilton Nazar. 1ª edição. Editora PINI. São Paulo, 2007. Pág. 105. (Dados da Abimci/Gráfico elaborado pelo autor)

Figura 1 - Curvas indicativas do carregamento máximo para quatro apoios

I) Primeiro, calcula-se o peso próprio do concreto (g_{con}).

Dados:

Massa específica do concreto (γ_{con}):

2.500 kgf/m³

Altura da laje (h_{laje}): 12 cm ou 0,12 m

$$g_{con} = \gamma_{con} \times h_{laje}$$

$$g_{con} = 2.500 \text{ kgf/m}^3 \times 0,12 \text{ m}$$

$$g_{con} = 300 \text{ kgf/m}^2$$

II) Em seguida, calcula-se a carga distribuída total (q_{total}), que inclui a sobrecarga definida em norma.

Dados:

Sobrecarga de norma (q_{cir}): 200 kgf/m²

$$q_{total} = q_{cir} +$$

$$g_{con} \quad q_{total} = 200 \text{ kgf/m}^2 + 300 \text{ kgf/m}^2$$

$$q_{total} = 500 \text{ kgf/m}^2$$







III) Com os valores encontrados em II, determinamos o espaçamento entre os barrotes. A Associação da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (Abimci) fornece, em seus manuais técnicos, parâmetros de referência para o dimensionamento de fôrmas e escoramentos. É o caso da *figura 1*, que indica a relação entre o espaçamento entre apoios, a pressão de trabalho e a espessura do compensado para um sistema com quatro apoios.

IV) Ou seja, o que determina o espaçamento entre os barrotes é a escolha do compensado. Neste caso, foram adotadas fôrmas de compensado de pínus com 18 mm de espessura e nove lâminas. Como vemos no gráfico, precisaremos de um barrote a cada 60 cm, aproximadamente. Como medida prática, adotamos um espaçamento de 50 cm de eixo a eixo, para que pequenas diferenças de colocação na montagem sejam compensadas.

V) Neste exemplo, a obra adota barrotes metálicos. Portanto, o dimensionamento é feito de acordo com os

critérios de cálculo da norma NBR 8.800:2008 - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. Deve-se considerar uma área de influência de 55 cm sobre cada barrote, cujo comprimento é definido em projeto específico. O vão entre as vigas principais (que suportam os barrotes) é $l = 1,70$ m. Por motivos de segurança, o dimensionamento é feito como se os barrotes fossem vigas isostáticas.

Tabela 1 - CARACTERÍSTICAS DAS VIGAS

Viga	Corte	Peso (kgf/m)	EI (kgf.m ²)	Mrd (kgf.m)	Esmagamento (kgf)
Modelo A (secundária)		7,50	13.073	294	5.000
Modelo B (secundária)		10,80	49.294	654	2.900
Modelo X (principal)		7,50	38.640	705	2.250
Modelo Y (principal)		8,20	65.940	960	Com ranhura: 3.750
					Sem ranhura: 2.250
Modelo Z (principal)		5,00	45.000	700	Cortante: 1.100

VI) Agora, na tabela 1, verificamos os dados técnicos fornecidos pelo fabricante do escoramento e escolhemos duas vigas: a viga Modelo A (secundária) e a viga Modelo Y (principal), sem ranhura.

VII) O próximo passo é verificar se as vigas secundárias atendem às condições do item V.

Dados:

Área de influência sobre cada barrote (a):

0,55 m

Vão entre vigas principais (l): 1,70 m

a) Cálculo do carregamento linear (q_{lin})

$$q_{lin} = a \times q_{total} = 0,55 \text{ m} \times 500 \text{ kgf/m}^2$$

$$q_{lin} = 275 \text{ kgf/m}$$

b) Cálculo da flecha máxima permitida por norma ($F_{m\acute{a}x}$)

$$F_{m\acute{a}x} = l/360 = 1,70 \text{ m}/360$$

$$F_{m\acute{a}x} = 0,005 \text{ m}$$

$$M = q_{lin} \times l^2/8 = 275 \text{ kgf/m} \times$$

$$(1,70 \text{ m})^2/8$$

$$M = 105,27 \text{ kgf.m}$$

$M = 105,27 \text{ kgf.m}$ é menor que o valor de Mrd fornecido pelo fabricante (294 kgf.m) para a viga modelo A.

Portanto, o dimensionamento está OK.

d) Cálculo e verificação da força cortante (Q)

$$Q = q_{lin} \times l/2 = 275 \text{ kgf/m} \times 1,70 \text{ m}/2$$

$$Q = 233,75 \text{ kgf}$$

$Q = 233,75 \text{ kgf}$ é menor que o valor de esmagamento fornecido pelo fabricante (5.000 kgf) para a viga modelo A. Portanto, o dimensionamento está OK.

e) Cálculo e verificação da flecha (F), considerando o valor de EI da viga modelo A, fornecido pelo fabricante (13.073 kgf.m^2)

$$F = 5 \times q_{lin} \times l^4/384 EI = 5 \times 275 \text{ kgf/m} \times$$

$$(1,70 \text{ m})^4/384 \times 13.073 \text{ kgf.m}^2$$

$$F = 0,002 \text{ m}$$

$F = 0,002 \text{ m}$ é menor do que a flecha máxima $F_{m\acute{a}x} = 0,005 \text{ m}$ calculada no item b. Portanto, o dimensionamento está OK.

VIII) Por fim, verifica-se o atendimento das vigas principais às condições do item V.

Dados:

Área de influência sobre cada viga principal (a'): $1,70 \text{ m}$

Vão entre escoras (l'): $2,50 \text{ m}$

a) Cálculo do carregamento linear (q_{lin})

$$q_{lin} = a' \times q_{total} = 1,70 \text{ m} \times 500 \text{ kgf/m}^2$$

$$q_{lin} = 850 \text{ kgf/m}$$

b) Cálculo da flecha máxima permitida por norma ($F_{m\acute{a}x}$)

$$F_{m\acute{a}x} = l'/360 = 2,50 \text{ m}/360$$

$$F_{m\acute{a}x} = 0,0069 \text{ m}$$

c) Cálculo e verificação do momento (M)

$$M = q_{lin} \times l'^2/8 = 850 \text{ kgf/m} \times (2,50 \text{ m})^2/8$$

$$M = 665 \text{ kgf.m}$$

$M = 665 \text{ kgf.m}$ é menor que o valor de M_{rd} fornecido pelo fabricante (960 kgf.m) para a viga modelo Y. Portanto, o dimensionamento está OK.

d) Cálculo e verificação da força cortante (Q)

$$Q = q_{lin} \times l'/2 = 850 \text{ kgf/m} \times 2,50 \text{ m}/2$$

$$Q = 425 \text{ kgf}$$

$Q = 425 \text{ kgf}$ é menor que o valor de esmagamento fornecido pelo fabricante (2.250 kgf) para a viga modelo Y (sem ranhura). Portanto, o dimensionamento está OK.

e) Cálculo e verificação da flecha (F), considerando o valor de EI da viga modelo Y, fornecido pelo fabricante (65.940 kgf.m^2)

$$F = 5 \times q_{lin} \times l^4/384 EI = 5 \times 850 \text{ kgf/m} \times (2,50 \text{ m})^4/384 \times 65.940 \text{ kgf.m}^2$$

$$F = 0,0066 \text{ m}$$

$F = 0,0066 \text{ m}$ é menor do que a flecha máxima $F_{m\acute{a}x} = 0,0069 \text{ m}$ calculada no item b. Portanto, o dimensionamento está OK.

Obs.: Caso sejam utilizados barrotes de madeira, os critérios são encontrados na NBR 7.190:1997 - Projeto de Estruturas de Madeira, complementados pela NBR 15.696:2009 - Fôrmas e Escoramentos para Estruturas de Concreto - Projeto, Dimensionamento e Procedimentos Executivos. As cargas destes barrotes são transmitidas às escoras ou torres, cujo dimensionamento é feito conforme essas mesmas normas.

Sistemas de escoramento para sua obra

Sistema de escoramento

O sistema de escoramento da Mekan possui quatro modelos de escoras metálicas de alta capacidade de carga, com alturas que variam de 2 m a 4,50 m. Pode ser usado em vigas e em lajes convencionais, planas, nervuradas e treliçadas. O sistema também conta com painéis de alturas e larguras variadas, sapatas, forçados, diagonais de vários comprimentos, vigas de aço, de madeira e de alumínio, além do material para travamento de fôrmas de vigas e pilares.

Mekan

0800-200-0010

www.mekan.com.br



Escora de alumínio

Especialmente desenvolvida para escoramentos de fôrmas horizontais e pés-direitos grandes, a escora de alumínio Aluprop pode ser movimentada por meio de grua ou carros próprios para a movimentação, sem a necessidade de desmontagem para a nova área de utilização. Também pode ser utilizada como torre conjugada.

Ulma

(11) 4619-1300

www.ulmaconstruction.com.br



Torre de carga

Em alumínio, a torre de carga Lumisystem SH dispõe de travamento de cunhas nos quadros que dispensa ferramentas adicionais, com possibilidade de usar os quadros nas quatro direções do poste, conjugando as torres. A capacidade de carga atinge 13,5 t por poste em condições adequadas de projeto. Também pode ser montado na horizontal e içado posteriormente.

SH Fôrmas

0800-282-2125

www.sh.com.br



Escoramento leve

O sistema de escoramento em alumínio Alumills possui alta capacidade de carga e é 50% mais leve do que um sistema convencional em aço. Permite a formação de torres de vários tamanhos e geometrias, além do reaproveitamento das torres sem a necessidade de desmontagem. É compatível com o sistema Mills Deck por meio da cabeça retrátil "drophead".

Mills

(21) 2132-4338

www.mills.com.br



Desmontagem rápida

Comercializada pela Oeste Fôrmas, o sistema Titan HV de escoramento é composto por vigas principais e secundárias de alumínio e uma escora com uma cabeça de caída ("drop head"). O espaçamento entre as escoras chega a 1,80 m e as vigas são encaixadas e montadas de baixo para cima.

Oeste Fôrmas

(11) 2478-4772

www.oesteformas.com.br



Grandes vãos

O Peri Multiflex é o sistema de escoramento para lajes e vigas de qualquer espessura, geometria e altura. Seus componentes atendem estruturas com grandes vãos, lajes de espessura reduzida, pés-direitos altos e balanços.

Peri

(11) 4158-8188

www.peribrasil.com.br



Sistema para laje nervurada

O sistema de escoramento e apoio de cubetas da Metax possibilita a desenforma rápida, mantendo a laje reescorada. Elimina o uso de madeira e viabiliza a reutilização das cubas, guias e escoras.

Metax

(19) 3729-6000

www.metax.com.br

