

ARTIGOS ABRASFE

Reescoramento em Edifícios de Múltiplos Pavimentos

Critérios de Dimensionamento de Acordo com o ACI 347.2R

Breno Santos

Resumo

Neste artigo abordaremos a concepção, segundo a norma Européia EN 12812 de 2008 das ações que devem ser consideradas em sistemas de escoramentos e fôrmas, devendo estes serem dimensionados para suportar todas as ações que lhes são transmitidas. Os aspectos a considerar no dimensionamento são: a estabilidade do sistema e a curvatura dos elementos, para evitar o colapso da estrutura.

O dimensionamento de fôrmas e escoramentos é análogo ao dimensionamento de qualquer outro elemento estrutural, tendo especial importância as ações a serem consideradas, por estarmos tratando de elementos estruturais provisórios.

O dimensionamento baseia-se nos seguintes passos: primeiro quantificam-se as ações. Através da combinação destas ações calcula-se a carga mais desfavorável. Com esta carga é feita a verificação para o Estado Limite Último e para o Estado Limite de Serviço.

Nomenclatura

Tipologias possíveis para escoras de reescoramento (que afetará o método de distribuição das cargas) e para escora de escoramento:

- **Reescoras Parciais** – Escoras inseridas sob uma laje ou elemento de concreto, após a remoção da fôrma e do escoramento de uma pequena área de cada vez, **sem permitir que a laje ou elemento estrutural deforme**. Deste modo, esta laje ou elemento estrutural não suporta o seu peso próprio ou as cargas de construção dos pavimentos superiores.
- **Reescoras** – Escora inserida sob uma laje ou elemento estrutural após as fôrmas e as escoras terem sido removidas de uma grande área, **requerindo que este elemento estrutural se deforme e suporte seu próprio peso e eventuais cargas de construção existentes antes da inserção das reshores**.
- **Escoras Remanescentes** - Escoras inseridas confortavelmente nas tiras de reescoramento **antes de qualquer escoramento estrutural ter sido removido**. As escoras remanescentes e as tiras de reescoramento permanecem no lugar durante a desfôrma da área.
- **Escoras** – Elementos Verticais ou inclinados concebidos para suportar as cargas da fôrma, concreto, e cargas de construção existentes.

Cargas Construtivas

A sobrecarga de construção geralmente é aplicada à laje superior de concreto durante a concretagem desta laje, e é assumido ser removida quando a concretagem é concluída. Se outras cargas, como equipamentos ou materiais armazenados são conhecidos por estarem presentes nos andares inferiores durante a construção, estas devem ser consideradas. Quando justificado por uma análise das operações de construção, a sobrecarga construtiva usada para o projeto de reescoramento poderá ser reduzidos de acordo com o previsto pela SEI / ASCE 37, Capítulo 4.

- Quando escoras são necessárias para suportar a carga de concreto recém-colocado, estas escoras devem ser mantidas até que o concreto tenha adquirido resistência suficiente para ser auto-portante. **Em escoramentos contínuos ao longo de vários pavimentos, as cargas calculadas sobre estas escoras serão cumulativas, a menos e até que as escoras sejam aliviadas e reapertadas para permitir que a laje em questão suporte seu próprio peso**. Essa liberação não deve ocorrer até que o concreto seja capaz de transportar o seu peso próprio.



Fases Típicas Construtivas

O ACI 347.2R indica quatro fases típicas de construção e as cargas que atuam em cada uma destas fases. Todo o balizamento da norma é realizado com base em reescoras (aplicação das escoras de escoramento após a liberação da laje).

Em um ciclo de construção típico para um edifício de concreto moldado in loco com múltiplos pavimentos onde são usadas escoras e reescoras, há quatro fases de construção:

Fase 1- Montagem das escoras e do assoalho, seguida da concretagem do pavimento

Fase 2- Remoção das escoras e do assoalho, permitindo que a laje se deforme e carregue seu peso próprio

Fase 3- Retirada das reescoras do nível mais inferior

Fase 4- Montagem das reescoras do pavimento onde foi removido o escoramento.

As escoras devem ser inseridas confortavelmente sem nenhuma carga inicial.

Se apenas o escoramento for utilizado, então a terceira e quarta fases são eliminadas. De acordo com o comitê 347 do ACI, as reescoras devem ser instaladas confortavelmente sob a laje, deste modo elas estarão livres de carga no momento da montagem. Este procedimento de desfôrma permite que a laje deforme, sob a ação do peso próprio e as reescoras sejam montadas sem nenhuma pré carga.

A imagem abaixo demonstra as fases de construção para um nível de escoramento e dois níveis de reescoramento:

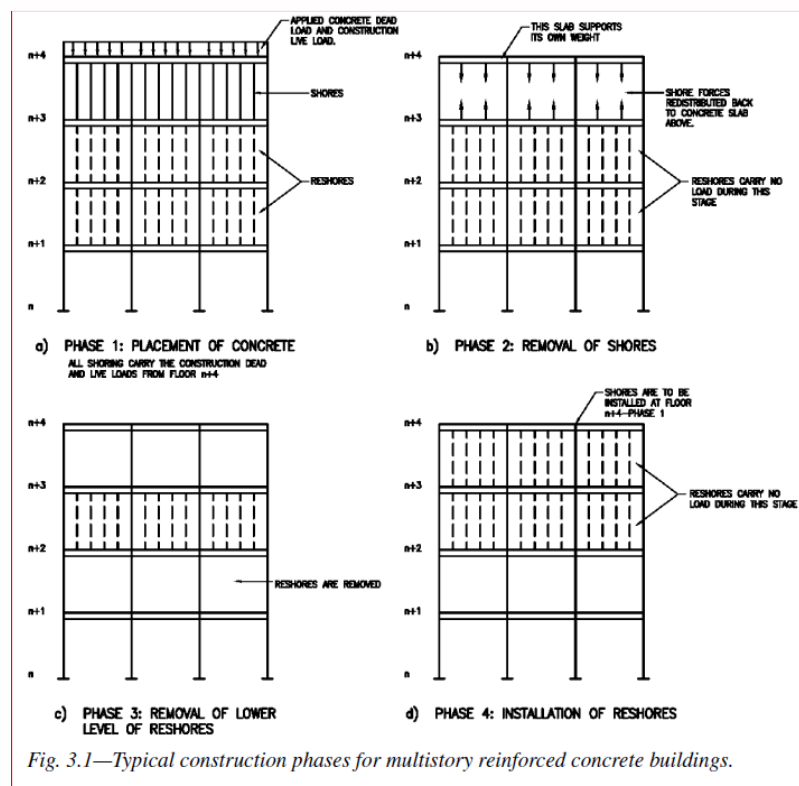


Fig. 3.1—Typical construction phases for multistory reinforced concrete buildings.



ABRASFE

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994

contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br






Distribuição das Cargas Construtivas











O ACI 347.2R se baseia em um estudo publicado em 1963 de Grundy e Kabaila, onde é apresentado um método simplificado de cálculo.

Deste método são disponibilizadas várias tabelas a depender da quantidade de jogos de escoramento e reescoras. O ACI 347-2R incorpora na norma a tabela para um nível de escoramento e dois níveis de reescoras. As demais tabelas podem ser verificadas no ACI SP-4 Formwork for Concrete. As tabelas demonstram as cargas nas escoras, reescoras e na laje de concreto, todas as cargas apresentadas são em função de D (peso próprio da laje). Na tabela abaixo temos carga máxima na escora ou reescora de $1.5D$. Considerando sobrecarga de construção de $0,40 D$ e peso dos elementos de $0,10 D$.

Table 3.1—Simplified analysis of loads on shores and slabs using one level of shoring, two levels of reshoring

D = weight of slab
 Assumed construction live load = $0.4 D$
 Assumed shore and form weight = $0.1 D$
 Reshore weight is neglected

 RIGID SUPPORT AT STARTING LEVEL
 FRESHLY PLACED SLAB
 HARDENED SLAB
 STORY OF RESHORES
 STORY OF SHORES AND FORMWORK

STEP	OPERATION AND REMARKS	STRUCTURE STATUS	Load on slab in multiples of D			Shore/reshore load at end of operation
			At beginning	Change during operation	Total at end of operation	
1	Place Level 1 concrete. Full load is transmitted to ground by shores		0	0	0	$1.5 D$
2	Construction live load is gone. Remove Level 1 shores, allowing Slab 1 to carry its own weight. Then place reshores beneath it, snug but not loaded.		0	$+1 D$	$1 D$	0
3	Form, shore, and place Level 2 concrete. Slab 1 cannot deflect and all added load goes through reshores to ground.		$1 D$	0	$1 D$	$1.5 D$ $1.5 D$
4	Slab 2 hardens and construction live load is gone. Remove the Level 2 forms and shores, allowing Slab 2 to carry its own weight. Then place reshores beneath it, snug but not loaded.		$1 D$	$+1 D$	$1 D$	0 0
5	Form, shore, and place Level 3 concrete, including the $0.5 D$ construction live load and shore load. All added load goes through shores to the ground since slabs can't deflect further.		$1 D$	0	$1 D$	$1.5 D$ $1.5 D$ $1.5 D$
6	Construction live load is assumed removed as Slab 3 hardens. Remove shores beneath Level 3, allowing it to carry its own weight. This leaves no net load in reshores beneath Level 1, and they are removed and installed snugly beneath Level 3. They carry no load.		$1 D$	$+1 D$	$1 D$	0 0 0
7	Form, shore, and place Level 4 concrete with the assumed $0.5 D$ construction live load and shore load. The total new applied load, $1.5 D$, is distributed equally to the three interconnected slabs.		$1 D$	$+0.5 D$	$1.5 D$	$1.5 D$ $1 D$ $0.5 D$ 0
8	Level 4 concrete hardens and the construction live load of $0.4 D$ is removed in equal parts from the slabs to which it was distributed.		$1.5 D$	$-0.13 D$	$1.37 D$	$1.1 D$ $0.73 D$ $0.36 D$
9	Remove shores beneath Level 4, causing that slab to carry its own weight. The load in those shores including their own weight is removed from the slabs to which it had been distributed		$1.37 D$	$-0.37 D$	$1 D$	0 0 0
10	Move reshores beneath Level 2 up, placing them snugly beneath Level 4, where they carry no load. There is no change in system loads. SYSTEM CONDITIONS ARE NOW THE SAME AS AT THE END OF STEP 6, AND WHEN THE LEVEL 5 SLAB IS PLACED, THE CYCLE REPEATS.		$1 D$	0	$1 D$	0 0 0 0



Para o caso de reescoras parciais ou escoras remanescentes teremos cargas totais a depender da quantidade de pavimentos escorados/reescorados. Para um caso típico de um nível escorado e três níveis reescorados teremos um total de $4,75D$, sendo $4D$ (Peso 04 Lajes de Concreto) + $0,50D$ (Sobrecarga Construtiva) + $0,10D$ (Peso Escoramento) + $3 \cdot 0,05D$ (Peso 03 Reescoramentos), o que pode ocasionar flambagem das escoras no níveis mais carregados.

Responsabilidades Estruturais

De acordo com o ACI 318, o contratante é obrigado a produzir cálculo estrutural e dados de resistência do concreto usados no planejamento do escoramento / operações de reescoramento. Esses dados e informações devem ser fornecidas para o engenheiro / arquiteto que deve avaliar os efeitos de cargas de construção para desvios imediatas e de longo prazo. É necessário um esforço de equipe entre o contratante e o engenheiro / arquiteto para evitar problemas de deflexão associados com procedimentos de construção.

Exemplo Teórico

Dimensionamento baseado no ACI 318 e ACI 347

- **Cargas Construtivas Consideradas:**
 - Peso Próprio Laje: $5,39 \text{ kN/m}^2$
 - Sobrecarga: $2,4 \text{ kN/m}^2$
 - Peso da Fôrma e do Escoramento: $0,31 \text{ kN/m}^2$
- **Sistema em Utilização: Um nível de escoramento com:**
 - Dois níveis de reescoras
 - Três níveis de reescoras
- **Distribuição da carga construtiva:** A distribuição da carga entre as lajes de concreto e o sistema de escoramento/reescoramento é avaliada pela utilização do método simplificado indicado pela norma Americana. Os resultados do sistema de escoramento usando um nível de escoramento em combinação com três níveis reescoras estão apresentados na abaixo. Uma tabela semelhante com a distribuição das carga de construção pode ser verificada acima para dois níveis de reescoras. A Tabela abaixo mostra que a carga máxima na laje ocorre na quarta laje durante a concretagem da quinta laje (ver etapa 9). **A carga máxima de construção da laje é $1,38D$, ou $7,43 \text{ kN/m}^2$, para o sistema de três reescoras, e $1,5D$, ou $8,09 \text{ kN/m}^2$, para o sistema de duas reescoras. A máxima carga construtiva de escoramento/reescora é de $1,50D$, ou $8,09 \text{ kN/m}^2$ tanto para o sistema de três reescoras, quanto para o de dois níveis de reescoramento (inclui o peso próprio da laje, a sobrecarga construtiva e o peso da fôrma e do escoramento).**



Table 5.1—Construction example: simplified analysis of load on shores and slabs using one level of shoring, three levels of reshoring

D = weight of slab (112.5 psf [5.38 kPa])
 Construction live load = $0.44 D$
 Shore and form weight = $0.06 D$
 Reshore weight is neglected

RIGID SUPPORT LEVEL:
FRESHLY PLACED SLAB:
HARDENED SLAB:

STORY OF RESHORES:
STORY OF SHORES AND FORMS:

STEP	OPERATION AND REMARKS	STRUCTURE STATUS	Load on slab in multiples of D			Shore/reshore load at end of operation
			At beginning	Change during operation	Total at end of operation	
1	Place Level 1 concrete. Full load transmitted to ground by shores.		0	0	0	$1.5 D$
2	Construction load is gone. Remove Level 1 shores and place reshores snug but not loaded. Level 1 slab carries its own weight.		0	$+1 D$	$1 D$	0
3	Form, shore, and place Level 2 concrete. Slab 1 cannot deflect, so all load goes through reshores to ground.		0	0	0	$1.5 D$
			$1 D$	0	$1 D$	$1.5 D$
4	Slab 2 hardens and construction live load is gone. Remove Level 2 forms and shores, allowing Slab 2 to carry its own weight. Then reshore Slab 2 snugly, but without picking up load in reshores.		0	$1 D$	$1 D$	0
			$1 D$	0	$1 D$	0
5	Form, shore, and place Level 3 concrete. Slabs 1 and 2 cannot deflect and therefore don't pick up any added load. All added load of Level 3 is carried to ground by shores and reshores.		0	0	0	$1.5 D$
			$1 D$	0	$1 D$	$1.5 D$
			$1 D$	0	$1 D$	$1.5 D$
6	Slab 3 hardens and construction live load is gone. Remove shores beneath Level 3, allowing slab to deflect and carry its own weight. Then place reshores beneath Level 3 slab, snug but not loaded.		0	$+1 D$	$1 D$	0
			$1 D$	0	$1 D$	0
			$1 D$	0	$1 D$	0
7	Form, shore, and place Level 4 concrete. All added load including construction live load is carried to the ground through the reshores. Slabs cannot deflect and there is no change in slab loading.		0	0	0	$1.5 D$
			$1 D$	0	$1 D$	$1.5 D$
			$1 D$	0	$1 D$	$1.5 D$
			$1 D$	0	$1 D$	$1.5 D$
8	Slab 4 hardens and construction live load is gone. Remove the Level 4 forms and shores, allowing Slab 4 to carry its own weight. This leaves no net load in the reshores beneath Slab 1, and they are removed and installed snugly beneath Level 4. They carry no load at this stage.		0	$+1 D$	$1 D$	0
			$1 D$	0	$1 D$	0
			$1 D$	0	$1 D$	0
			$1 D$	0	$1 D$	0
9	Form, shore, and place Level 5 concrete. The total new applied load, including construction load, is distributed equally to the four interconnected slabs.		0	0	0	$1.5 D$
			$1 D$	$+0.38 D$	$1.38 D$	$1.12 D$
			$1 D$	$+0.38 D$	$1.38 D$	$0.74 D$
			$1 D$	$+0.37 D$	$1.37 D$	$0.37 D$
			$1 D$	$+0.37 D$	$1.37 D$	0
10	Level 5 concrete hardens and the construction live load of $0.44 D$ is removed in equal parts from the slabs to which it was distributed.		0	0	0	$1.00 D$
			$1.38 D$	$-0.11 D$	$1.27 D$	$0.70 D$
			$1.38 D$	$-0.11 D$	$1.27 D$	$0.52 D$
			$1.37 D$	$-0.11 D$	$1.26 D$	$0.26 D$
			$1.37 D$	$-0.11 D$	$1.26 D$	0
11	Remove forms and shores beneath Level 5, allowing it to carry its own weight. The load in those shores, including their own weight, is removed from the slabs to which it had been distributed, and the reshores under Level 2 are brought up and placed snugly under Level 5, without carrying any load. THE SYSTEM IS NOW IN THE SAME CONDITION AS IN STEP 8 AND THE CYCLE WILL REPEAT WHEN LEVEL 6 CONCRETE IS PLACED.		0	$+1 D$	$1 D$	0
			$1.27 D$	$-0.27 D$	$1 D$	0
			$1.27 D$	$-0.27 D$	$1 D$	0
			$1.06 D$	$-0.26 D$	$1 D$	0
			$1.36 D$	$-0.26 D$	$1 D$	0



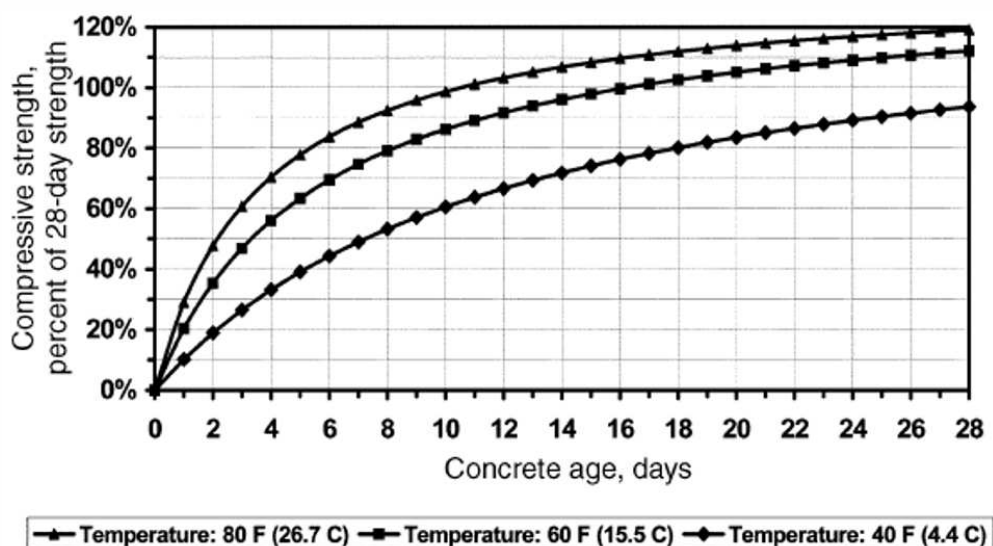
Após este passo o ACI apresenta o gráfico com a curva de crescimento do concreto e o comparativo entre a carga de dimensionamento da laje (pelo projetista estrutural) e as cargas atuantes na laje durante a etapa construtiva. Este indicativo serve para demonstrar o processo de desfôrma prematura (idade necessária do concreto para que possa ser realizada o processo de reescoramento).

Desenvolvimento da Resistência do Concreto:

O ACI 347 demonstra o modelo de evolução simplificado para cálculo da evolução da resistência e o comparativo entre a carga construtiva aplicada na laje x carga dimensionamento da laje.

O engenheiro / arquiteto deve especificar a resistência mínima do concreto a ser alcançado antes da remoção do escoramento. A resistência pode ser determinada por testes em amostras de campo ou curado sobre o concreto no local. Podem ser utilizados outros testes ou procedimentos de avaliação, mas deve ser verificada por meio de amostras curadas em campo e aprovado pelo engenheiro / arquiteto. Para este exemplo, o método de maturidade do concreto é utilizado para determinar o desenvolvimento da resistência do concreto. A relação da resistência das misturas de concreto à maturidade baseia-se no princípio de que a resistência do concreto depende da evolução do tempo e da temperatura do concreto durante o período de cura. Uma descrição pormenorizada do processo de maturação e de aplicação é dada no ACI 228.1R e Carino (2004).

A Figura abaixo mostra o desenvolvimento da resistência à compressão do concreto com base na aplicação do método da maturidade para a mistura assumida no exemplo. Esta figura indica uma diferença significativa para as temperaturas de 4,4°C, 15,5°C, e 26,7 °C nos ambientes de cura. As resistências de concreto dada na figura abaixo só são válidas para a mistura de concreto específico assumido no exemplo e as condições de cura existentes. O método da maturidade pode ser aplicado para prever o desenvolvimento da resistência para outras misturas de concreto e as específicas condições de cura. A curva de desenvolvimento da resistência do projeto para cada mistura de concreto específico devem ser obtidos junto do fornecedor de concreto para o projeto.



Concrete compressive strength development.



ABRASFE

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br

Adequação das Lajes de Concreto:

Capacidade de carga da laje em jovens idades: As lajes de concreto deste exemplo foram projetadas para:

- Peso Próprio Laje: 5,39 kN/m²
- Peso Próprio Equipamentos: 0,96 kN/m²
- Sobrecarga: 2,40kN/m² e 4,80kN/m² (02 estudos)
- Resistência do Concreto: $F_{ck} = 27,60$ mPa

De acordo com o ACI 318 e o método dos estados limites, teremos: $U_{28}=11,44$ kN/m² (para sobrecarga de 2,40kN/m²) e $U_{28}=15,27$ kN/m² (para sobrecarga de 4,80kN/m²)

A resistência a flexão e ao corte do concreto em idades jovens, pode ser realizada de forma conservadora como proporcional a resistência a compressão aos 28 dias. A figura acima apresenta estes coeficientes de proporcionalidade . O coeficiente de proporcionalidade para um ciclo de sete dias é de 0,49; 0,75; 0,89 para temperaturas de 4,4°C, 15,5°C, e 26,7 °C, para ciclos de 10 e 15 dias podem ser obtidos da mesma forma. A carga máxima de dimensionamento da laje é obtida multiplicando estes coeficientes pela carga de dimensionamento da laje. Coeficientes similares podem ser obtidos para o ciclo de dez e quinze dias.

Cargas Construtivas Aplicadas: Para o sistema com dois níveis de reescoras a máxima carga na laje é de $1,50D=8,09$ kN/m² e para o sistema com três níveis de reescoras a carga máxima é de $1,38D = 7,44$ kN/m², como já verificado acima. Aplicando o método dos estados limites (com os consequentes coeficientes majorativos), chegamos a $U_c= 10,5$ kN/m² (02 reescoras) e $U_c=9,15$ kN/m² (03 reescoras).

Na tabela abaixo é feito o comparativo das cargas construtivas e das cargas de dimensionamento da laje para as diferentes temperaturas e diferentes idades do concreto:

Table 5.2—Construction load distribution summary

Construction cycle, days	Design	Available ultimate slab load capacity at selected temperatures, lb/ft ² (kPa)			Maximum slab factored construction load, lb/ft ² (kPa)	
	Live load, lb/ft ² (kPa)	40 °F (4.4 °C)	60 °F (15.5 °C)	80 °F (27.6 °C)	Two reshore levels, lb/ft ² (kPa)	Three reshore levels, lb/ft ² (kPa)
7-day cycle	50 (2.4)	117 (5.60)	179 (8.57)	213 (10.20)	210 (10.5)	191 (9.15)
	100 (4.8)	156 (7.47)	239 (11.44)	284 (13.60)	210 (10.5)	191 (9.15)
10-day cycle	50 (2.4)	146 (6.99)	206 (9.86)	237 (11.35)	210 (10.5)	191 (9.15)
	100 (4.8)	195 (9.34)	274 (13.12)	316 (15.13)	210 (10.5)	191 (9.15)
15-day cycle	50 (2.4)	177 (8.47)	234 (11.20)	239 (11.44)	210 (10.5)	191 (9.15)
	100 (4.8)	236 (11.30)	312 (14.94)	319 (15.27)	210 (10.5)	191 (9.15)

A tabela demonstra que para um ciclo de 07 dias, com sobrecarga de 2,4 kN/m² e com dois níveis de reescoras a laje suporta a carga construtiva apenas para a temperatura de 26,7°C ($U_7=10,20 > U_c=10,5$). As condições em que a laje não suporta a carga construtiva podem ser revertidas alterando o tipo do concreto, elevando a temperatura de cura ou aumentando a quantidade de níveis com reescoras.



Referências

ACI 347.2R-05 Guide for Shoring/Reshoring of Concrete Multistory Buildings

SEI/ASCE 37-02 Design Loads on Structures during Construction



ABRASFE
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 – Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br