

ARTIGOS ABRASFE

Pressão Lateral do Concreto *Verificações de Acordo com o ACI347*

Breno Santos

Resumo

Neste trabalho, práticas atuais no dimensionamento de fôrmas são apresentadas com foco no cálculo normativo baseado na norma americana para pressão do concreto na fôrma. A maioria das normas atuais está dedicada para a concepção da fôrma com utilização do concreto convencional vibrado. Atualmente, as normas estão sendo atualizadas para novas adaptações do concreto convencional, o concreto fluido e o concreto auto-adensável.

Breve Histórico

Nos Estados Unidos, O American Concrete Institute (ACI) Comitê 347, Fôrmas para Concreto, é a autoridade responsável por definir os padrões, não só para fôrmas verticais, mas também para o escoramento e o reescoramento. O comitê é um grupo constituído por construtores, engenheiros, fornecedores da construção civil e educadores, preocupados com a necessidade do contratante, bem como a segurança dos trabalhadores.

O concreto fresco exerce pressão lateral sobre as superfícies verticais das fôrmas, e uma análise apurada desta pressão é necessária para o dimensionamento destas fôrmas. Na teoria mais simplista, o concreto fresco atua como um fluido exercendo pressão hidrostática sobre a fôrma. Isto é razoável, porque o concreto fresco se comporta como um fluido, pelo menos momentaneamente durante a vibração, ou por um período maior se a fluidez da mistura foi aumentada através do uso de aditivos ou da seleção e dosagem de materiais especiais.

É sabido, porém, que o concreto não é realmente um fluido, sendo necessário, um método de avaliação da pressão real do concreto. Avaliar a pressão tem sido uma parte significativa do trabalho do Comitê ACI 347, fôrmas para concreto. Já em 1958, o Comitê 347 (na época Comitê 622) estudou as medições de campo disponíveis de pressão lateral sobre fôrmas, utilizando os dados para desenvolver fórmulas de pressão que poderiam ser usadas com segurança para o dimensionamento das fôrmas. Um relatório foi publicado em 1958, e as fórmulas, com algumas modificações, foram incluídas na primeira norma de fôrmas do ACI, o ACI 347-63. Nos tempos que antecederam o advento computacional, a comissão considerou importante manter as equações simples, raciocinando que isso iria incentivar a sua utilização e minimizar erros matemáticos. Estas fórmulas foram transportadas através de sucessivas normas até a versão normativa de 2001, quando o acúmulo de dados em pressões laterais permitiu que a comissão introduzisse novos coeficientes para a densidade e a química da mistura, ampliando a cobertura das fórmulas para misturas com substituições de cimento, adições, ou ambos. Outras modificações foram posteriormente emitidas no ACI 347-14.

O comitê desenvolveu fórmulas simples que projetistas de fôrmas poderiam aplicar, utilizando os valores dessas variáveis adequadas para a necessidade da utilização. A hipótese existente era que o concreto recentemente colocado, particularmente sob a influência de um vibrador, atua temporariamente como um fluido, produzindo uma pressão hidrostática lateralmente contra as fôrmas verticais. Estas fórmulas originais foram baseadas em medições reais de pressão, realizadas durante as concretagens. Ao longo do tempo, com o constante desenvolvimento dos tipos de cimento, aditivos utilizados, dentre outros fatores, o Comitê ACI 347 trabalhou para ajustar suas fórmulas, porém, incapaz de fazer um grande avanço para lidar com todas as novas condições, finalmente chegou a uma recomendação básica para que o projeto considere a altura de pressão hidrostática completa, $p = \rho gh$, isto é, simplesmente multiplicando a densidade do concreto fluido pela sua altura de concretagem sob a fôrma. A comissão



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

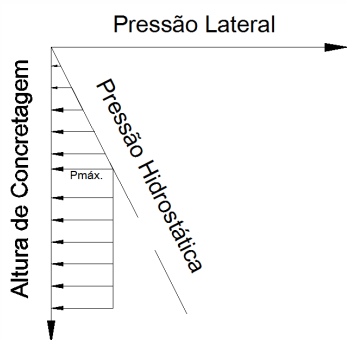
recomendou o uso das fórmulas anteriores somente se o concreto correspondesse às exatas condições de trabalho em que estas formulações foram desenvolvidas.

Esta abordagem conservadora levou ao que alguns consideraram punitivas devido às altas pressões para fôrmas de grandes alturas- um pilar de 10 metros de altura, por exemplo, teria que ser concebido para uma pressão de 250 kN/m², que equivale à densidade típica assumida para o concreto (25 kN/m³) multiplicado pela correspondente altura de concretagem (10 metros). Houve protestos e diferenças de opinião quanto ao fato de que esta premissa seria realmente válida ou necessária. Em seguida, em 1999, um novo estudo que levou em conta tanto a base de dados original (1958) e muitas medições de pressões mais recentes nos Estados Unidos e no exterior foi apresentado à Comissão do ACI 347. Este trabalho, por John Barnes e David Johnston na North Carolina State University, foi aceito pela comissão e serviu como base para as novas equações de pressão que ficaram disponíveis a partir do ACI 347-01, "Guide to Formwork for Concrete".

Dimensionamento da Fôrma de acordo com o ACI 347

A atualização da norma americana de fôrmas lançada no final de 2014, prevê fórmulas padrões para obtenção da pressão, para paredes e pilares. Além disso, são mantidos os coeficientes de peso e químico, CW e Cc (introduzidos na versão de 2001 desta norma), que tornam possíveis aplicar as fórmulas para uma variedade de densidades e misturas de concreto.

O Comitê 347 do ACI (American Concrete Institute) propõe que o diagrama de pressão lateral do concreto seja assumido como sendo de forma trapezoidal, como mostrado na imagem abaixo. O diagrama possui uma distribuição triangular da superfície superior da concretagem até alguma profundidade limitante, para além do qual o valor de pressão atingido é considerado constante até o fundo da fôrma.



Para efeitos de aplicação das fórmulas, o comitê 347 define uma parede como um elemento vertical com pelo menos uma dimensão em planta superior a 2,0 metros e um pilar como um elemento vertical sem dimensão no plano maior do que 2,0 metros. Embora a pressão em qualquer ponto dado dentro da fôrma varia com o tempo, o projetista geralmente não necessita do conhecimento desta variação específica, uma vez que as equações indicam a pressão máxima nas fôrmas. O ACI 347-14 utiliza a altura hidrostática total ($p = \rho gh$) quando a fôrma é concretada em sua altura completa em menos tempo do que necessário para o concreto começar a endurecer, ou para as condições em que os coeficientes não podem ser aplicados. Por exemplo, quando as fôrmas são concretadas a partir do fundo, o ACI 347 recomenda o uso da pressão hidrostática ρgh , além de um incremento de pelo menos 25% devido a pressão de pico da bomba. As pressões



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

máximas e mínimas dadas pelas fórmulas não se aplicam quando a pressão hidrostática, $p = \rho gh$, é utilizado.

Para Pilares: Concreto com slump de 175 mm ou menos e concretados em fôrmas com utilização de vibradores internos a uma profundidade de 1,20 metros ou menos do nível momentâneo de topo. o ACI 347-14 recomenda a seguinte equação para o cálculo da pressão máxima P_{\max} em kN/m²:

$$P_{\max} = C_w C_c \left[7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \right]$$

Com uma pressão mínima de 30 Cw, e nunca maior que ρgh

Para Paredes: O ACI 347-14 fornece duas equações para o cálculo da pressão em paredes. Tal como no caso da fórmula de pilares, ambos são aplicáveis ao concreto com um slump de até 175 mm e de vibração a uma profundidade 1,2 m ou menos. A primeira equação, aplicada às paredes com uma velocidade de concretagem inferior a 2,1 m/h e uma altura de concretagem de 4,2 m ou menos:

$$P_{\max} = C_w C_c \left[7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \right]$$

Com uma pressão mínima de 30 Cw, e nunca maior que ρgh

A segunda equação, aplica-se a todas as paredes com uma velocidade de concretagem de 2,1 a 4,5 m/h, e as paredes concretadas com velocidade menor do que 2,2 m/h, mas tendo uma altura de concretagem superior a 4,2 m:

$$P_{\max} = C_w C_c \left[7.2 + \frac{1156}{T + 17.8} + \frac{244R}{T + 17.8} \right]$$

Com uma pressão mínima de 30 Cw, e nunca maior que ρgh

O comitê 347 não possui dados suficientes sobre a pressão observada a velocidades de concretagem mais elevadas, portanto, a equação acima não se aplica para as velocidades superiores a 4,5 m/h.

As variáveis utilizadas nas fórmulas de pressão são definidas a seguir:

p = Pressão lateral do concreto kN/m²

h = Profundidade do concreto fluido ou plástico medido do topo da concretagem até o ponto de endurecimento, m

w = Densidade do Concreto, kg/m³

R = Velocidade de concretagem, m/h (Metro por hora)

T = Temperatura do concreto durante a concretagem, °C (Grau Celsius)

C_w = Coeficiente de densidade

C_c = Coeficiente químico



As Tabelas abaixo indicam os valores de C_w e C_c .

Densidade do Concreto	C_w
< 2240 kg/m ³	$0,5[1+(w/2320)]$ - não menor que 0,80
2240 até 2400 kg/m ³	1,0
> 2400 kg/m ³	$w/2320$

Tipo de Cimento	C_c
Tipos I, II e III sem retardadores	1,0
Tipos I, II e III com retardadores	1,2
Outros tipos ou misturas sem retardadores que contêm menos que 70% de escória ou menos que 40% de cinzas volantes	1,2
Outros tipos ou misturas com retardadores que contêm menos que 70% de escória ou menos que 40% de cinzas volantes	1,4
Misturas sem retardadores que contêm mais que 70% de escória ou mais que 40% de cinzas volantes	1,4
Misturas com retardadores que contêm mais que 70% de escória ou mais que 40% de cinzas volantes	1,5

Futuro das Fórmulas para Pressão do Concreto

Baseado no trabalho de Barnes e Johnson, o Comitê 347 do ACI introduziu as fórmulas modificadas para pressão lateral, mas este não é o fim da linha. Acredita-se que mais medidas de campo são necessárias, pois as mudanças nos métodos de concretagem e nas misturas do concreto são contínuas. O desenvolvimento destes dados levará a fórmulas melhoradas e avaliações mais precisas de pressão. O advento do concreto auto adensável também clama para novos estudos de pressão. Será que as pressões com concreto auto adensável são significativamente maiores? Qual será o efeito de novos aditivos e materiais cimentícios sobre a pressão do concreto?

Exemplos de cálculos de pressão

Exemplo 1 - Fôrma para Paredes

Calcule a pressão de projeto para uma parede de 4,0 metros, com a velocidade de concretagem igual à 1,0 metro por hora e uma temperatura do concreto de 15 °C. A mistura é um concreto leve pesando 21 kN/m³, feito com cimento tipo I e aditivo retardador de pega.

Coeficiente de Densidade:

$$\begin{aligned}C_w &= 0,5[1+(w/2320)] \\ &= 0,5[1+(2100/2320)] \\ &= 0,95\end{aligned}$$



Coeficiente Químico:
 $C_c = 1,2$ (Cimento Tipo I com retardador)

Pressão Máxima:

Paredes com velocidade de concretagem menor que 2,10 m/h e altura menor que 4,20 metros:

$$P_{\max} = C_w C_c \left[7,2 + \frac{785R}{T + 17,8} \right]$$

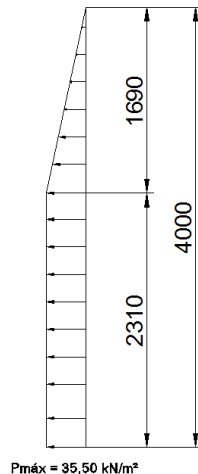
$$P_{\max} = (0,95) * (1,20) * [7,2 + (785 * 1,0) / (15,00 + 17,80)]$$

$$P_{\max} = (0,95) * (1,20) * (7,2 + 23,93)$$

$$P_{\max} = 35,50 \text{ kN/m}^2$$

A pressão é assumida aumentar uniformemente a uma taxa de $w \text{ kN/m}^3$ por metro de profundidade (21 kN/m^3 neste exemplo), até ao máximo de 35,50 kN/m^2 . Qualquer ponto dentro dos primeiros 1,69 metros abaixo da parte superior da fôrma (35,50 $\text{kN/m}^2 / 21 \text{ kN/m}^3$) terá proporcionalmente menos pressão do que o máximo. O máximo de 35,50 kN/m^2 é usado para projeto na altura restante de 2,31 metros.

A figura mostra a envoltória de pressão máxima.



Exemplo 2 - Fôrma para Pilares

Uma fôrma para pilar com 5,50 metros de altura é preenchida a uma velocidade de concretagem de 3,50 metros por hora usando uma mistura de cimento contendo 30% de cinzas, sem retardador de pega. A temperatura da mistura é de 10 °C, e sua densidade é de 23 kN/m^3 .

Coeficiente de Densidade :

$$C_w = 1,00 \text{ (densidade entre } 2240 \text{ e } 2400 \text{ kg/m}^3\text{)}$$

Coeficiente Químico:

$$C_c = 1,2 \text{ (Cimento com menos de } 40\% \text{ de cinzas e sem retardadores)}$$



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

Pilares:

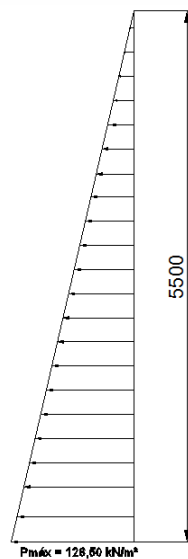
$$p_{\max} = C_w C_c \left[7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \right]$$

$$P_{\max} = (1,00) * (1,20) * [7.2 + (785 * 3,50) / (10,00 + 17,80)]$$

$$P_{\max} = (1,00) * (1,20) * (7,2 + 98,83)$$

$$P_{\max} = 127,25 \text{ kN/m}^2$$

Este valor excede o limite superior indicado em norma, que é equivalente a máxima pressão hidrostática possível ($\rho gh = 126,50 \text{ kN/m}^2$), sendo então considerado este o valor para o dimensionamento.



Exemplo 3 - Fôrma para Pilares

O mesmo pilar descrito acima é preenchido com concreto, a uma temperatura de 20 °C, com todos os outros fatores iguais.

Os coeficientes de densidade e químico permanecem os mesmos do exemplo 2, sendo então a pressão máxima modificada pela maior temperatura do concreto. Neste caso teremos:

$$p_{\max} = C_w C_c \left[7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \right]$$

$$P_{\max} = (1,00) * (1,20) * [7.2 + (785 * 3,50) / (20,00 + 17,80)]$$

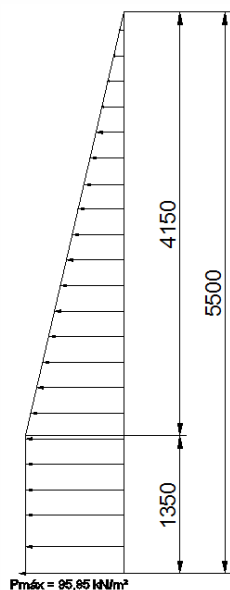
$$P_{\max} = (1,00) * (1,20) * (7,2 + 72,68)$$

$$P_{\max} = 95,85 \text{ kN/m}^2$$

Conforme o exemplo 1, a pressão se desenvolve hidrostaticamente até uma profundidade (medida a partir do topo da concretagem) de 4,15 metros (95,85



$kN/m^2/23kN/m^3$), para o restante da altura (até a base da fôrma) a pressão é mantida constante no valor de 95,85 kN/m^2 conforme demonstrado na imagem abaixo.



Exemplo 4 - Fôrma para Paredes

Fôrma para parede com 3,50 metros é preenchida com concreto de densidade 24 kN/m^3 a uma temperatura de 20 °C. O concreto é do tipo I sem uso de retardador. Concreto irá ser colocado com vibração interna normal a uma profundidade menor do que 1,20 metros. A velocidade de concretagem é de 1,50 m/h.

Coefficiente de Densidade:

$C_w = 1,0$ (densidade entre 2240 e 2400 kg/m^3)

Coefficiente Químico:

$C_c = 1,0$ (Cimento do Tipo I sem retardadores)

Pressão Máxima:

Paredes com velocidade de concretagem menor que 2,10 m/h e altura menor que 4,20 metros:

$$P_{max} = C_w C_c \left[7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \right]$$

$$P_{máx} = (1,00) * (1,00) * [7.2 + (785 * 1,50) / (20,00 + 17,80)]$$

$$P_{máx} = (1,00) * (1,00) * (7,2 + 31,15)$$

$$P_{máx} = 38,35 \text{ kN/m}^2$$

Verificação dos limites superior e inferior:

Limite inferior $P > 30C_w = 30 * (1,0) = 30 \text{ kN/m}^2$



ABRASFE

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

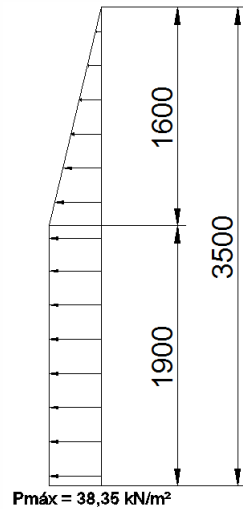
11 2276-7994
contato@abrasfe.org.br

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

www.abrasfe.org.br

$$\text{Limite Superior } P < \rho gh = 2400,00 \cdot (10,00) \cdot 3,50 = 84 \text{ kN/m}^2$$

A pressão máxima calculada está entre o valor mínimo e máximo sugeridos pelo ACI, sendo, portanto o valor adotado para o dimensionamento. A pressão de 38,35 kN/m² irá ocorrer a uma profundidade de $38,35 \text{ kN/m}^2 / 24,00 \text{ kN/m}^3 = 1,60$ metros do topo da como demonstrado no gráfico.



Exemplo 5 - Fôrma para Paredes

Fôrma para uma parede com 2,50 metros de altura é preenchida com concreto de densidade 24 kN/m³ a uma temperatura de 15,5 °C. O concreto é do Tipo I com utilização de retardador e vibração interna a uma profundidade menor que 1,20 metros. A velocidade de concretagem é de 3,00 metros por hora.

Coeficiente de Densidade:

$$C_w = 1,0 \text{ (densidade entre } 2240 \text{ e } 2400 \text{ kg/m}^3\text{)}$$

Coeficiente Químico:

$$C_c = 1,2 \text{ (Cimento do Tipo I com retardadores)}$$

Pressão Máxima:

Paredes com velocidade de concretagem maior que 2,10 m/h e menor que 4,50 m/h:

$$P_{\max} = C_w C_c \left[7,2 + \frac{1156}{T + 17,8} + \frac{244R}{T + 17,8} \right]$$

$$P_{\max} = (1,0) \cdot (1,2) \cdot \{7,2 + [(1156)/(15,50 + 17,80)] + [(244 \cdot 3,00)/(15,50 + 17,80)]\}$$

$$P_{\max} = (1,0) \cdot (1,2) \cdot (7,2 + 34,71 + 21,98)$$

$$P_{\max} = 76,67 \text{ kN/m}^2$$

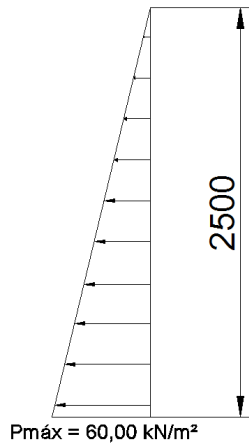


Verificação dos limites superior e inferior:

$$\text{Limite inferior } P > 30C_w = 30 \cdot (1,0) = 30 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Limite Superior } P < \rho gh = 2400,00 \cdot (10,00) \cdot 2,50 = 60 \text{ kN/m}^2$$

A pressão máxima calculada está acima do máximo sugerido pelo ACI, considerando a pressão hidrostática total, sendo portanto o valor da pressão hidrostática total (60 kN/m²) adotado para o dimensionamento.



Exemplo 6 - Fôrma para Paredes

Um muro de concreto tem 2,75 metros de altura, 38 centímetros de espessura e 18,30 metros de comprimento. O concreto irá ser colocado por uma bomba com capacidade de 14 metros cúbicos por hora (m³/h) a uma temperatura de 15,50 °C. A densidade do concreto é 24 kN/m³ a base de cimento tipo I, sem aditivos ou misturas.

A velocidade de concretagem pode ser calculada como:

$$R = [\text{volume bombeado por hora}] / [\text{volume existente em 1,00 metro de altura do muro}]$$

$$\text{Volume de 1,00 m de altura do muro} = (1,00 \text{ m})(0,38 \text{ m})(18,30 \text{ m}) = 6,95 \text{ m}^3 \text{ de concreto por metro de altura}$$

$$\text{Então a velocidade de concretagem é } R = [18 \text{ m}^3/\text{h}] / [6,95 \text{ m}^3 \text{ de concreto por metro de altura}]$$

$$= 2,59 \text{ m/h}$$

$$C_w \text{ e } C_c = 1,0.$$

A velocidade de concretagem é maior que 2,10 metros por hora e menor que 4,5 metros por hora deste modo o cálculo da pressão de concreto é realizado a partir da seguinte equação:



$$p_{\max} = C_w C_c \left[7.2 + \frac{1156}{T + 17.8} + \frac{244R}{T + 17.8} \right]$$

$$P_{m\acute{a}x} = (1,0) * (1,0) * \{7.2 + [(1156)/(15,50 + 17,80)] + [(244 * 2,59)/(15,50 + 17,80)]\}$$

$$P_{m\acute{a}x} = 7.2 + 34,71 + 18,98$$

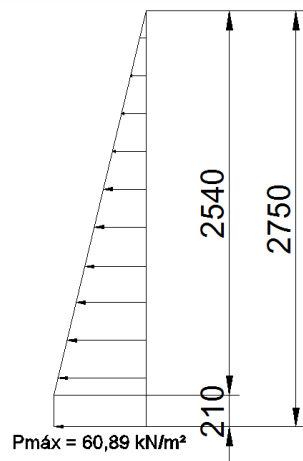
$$P_{m\acute{a}x} = 60,89 \text{ kN/m}^2$$

Verificação dos limites mínimos e máximos da pressão:

Limite inferior $P > 30C_w = 30 * (1,0) = 30 \text{ kN/m}^2$

Limite Superior $P < \rho gh = 2400,00 * (10,00) * 2,75 = 66 \text{ kN/m}^2$

O valor calculado está entre o mínimo e o máximo normativo, sendo o utilizado neste caso. A pressão de 60,89 kN/m² é atingida a uma altura do topo equivalente a $(60,89 \text{ kN/m}^2) / (24 \text{ kN/m}^3) = 2,54$ metros, conforme demonstrado na imagem abaixo.



Exemplo 7 - Fôrma para Pilares

Uma fôrma de pilar com 4,20 metros de altura é preenchida com concreto de densidade 24 kN/m³ a uma temperatura de 10 °C. O conc reto é do tipo I sem retardador. Será utilizada vibração interna normal a uma profundidade menor que 1,20 metros. A velocidade de concretagem é de 2,15 metros por hora.

A partir das tabelas o valor de C_w é 1.0 e o valor do C_c é também 1,0.

A pressão de concretagem em pilares é calculada a partir da seguinte fórmula:

$$p_{\max} = C_w C_c \left[7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \right]$$

$$P_{m\acute{a}x} = (1,0) \cdot (1,0) \cdot [7,2 + (785 \cdot 2,15) / (10,00 + 17,80)]$$

$$P_{m\acute{a}x} = 7,2 + 60,71$$

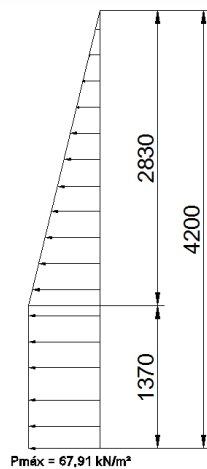
$$P_{m\acute{a}x} = 67,91 \text{ kN/m}^2$$

Verificação dos limites mínimos e máximos da pressão:

$$\text{Limite inferior } P > 30C_w = 30 \cdot (1,0) = 30 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Limite Superior } P < \rho \cdot gh = 2400,00 \cdot (10,00) \cdot 4,20 = 100,80 \text{ kN/m}^2$$

O valor calculado está entre o mínimo e o máximo normativo, sendo o utilizado neste caso. A pressão de 67,91 kN/m² é atingida a uma altura do topo equivalente a $(67,91 \text{ kN/m}^2) / (24 \text{ kN/m}^3) = 2,83$ metros, conforme demonstrado na imagem abaixo.



Exemplo 8 - Fôrma para Pilares

Uma forma de pilar com 3,65 metros de altura é preenchido com concreto cuja densidade é 2400 kN/m³ a uma temperatura de 15,50 °C. O concreto é do Tipo I com retardador. Será utilizada vibração interna normal a uma profundidade menor que 1,20 metros. A concretagem terá duração de 1 h.

$$\text{Velocidade de Concretagem} = 3,65 \text{ metros} / 1 \text{ hr} = 3,65 \text{ metros por hora}$$

De acordo com as tabelas o valor de C_w é 1.0 e o de C_c , 1.2. A pressão exercida pelo concreto na fôrma pode ser calculada através da expressão:

$$P_{\max} = C_w C_c \left[7,2 + \frac{785R}{T + 17,8} \right]$$

$$P_{m\acute{a}x} = (1,0) \cdot (1,0) \cdot [7,2 + (785 \cdot 3,65) / (15,50 + 17,80)]$$

$$P_{m\acute{a}x} = 7,2 + 86,04$$

$$P_{m\acute{a}x} = 93,24 \text{ kN/m}^2$$

Verificação dos limites mínimos e máximos da pressão:



ABRASFE
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994
contato@abrasfe.org.br

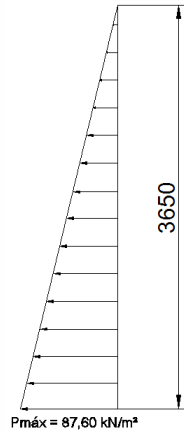
Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br

$$\text{Limite inferior } P > 30C_w = 30 \cdot (1,0) = 30 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Limite Superior } P < \rho gh = 2400,00 \cdot (10,00) \cdot 3,65 = 87,60 \text{ kN/m}^2$$

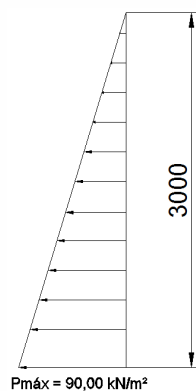
O valor calculado está acima do máximo normativo (que equivale a máxima pressão hidrostática). A pressão de 87,60 kN/m² é atingida a uma altura do topo equivalente a altura total do pilar (87,60 kN/m²) / (24 kN/m³) = 3,65 metros, conforme demonstrado na imagem abaixo.



Exemplo 9 - Fôrma para Pilares

Concreto com uma densidade de 24,00 kN/m³. vai ser bombeado a partir da base de uma fôrma de pilar com 3,00 metros de altura total. Uma vez que o concreto é bombeado a partir da base da fôrma, a pressão lateral máxima do concreto sobre a fôrma é a pressão hidrostática completa mais um incremento mínimo de 25% devido a pressão da bomba. A pressão sobre a fôrma de pilar pode ser calculada como se segue:

$$\begin{aligned} P_{\text{máx}} &= 1,25 \rho gh \\ &= (1,25) \cdot (24,00 \text{ kN/m}^3) \cdot (3,00 \text{ m}) \\ &= 90,00 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$



Referências

Formwork for Concrete Structures - Robert L. Peurifoy, Garold D. Oberlender

Pressure on Wall and Column Forms, ACI issues new guidelines for the formwork designer - M.K. Hurd

SCC Formwork pressure task1: Capturing existing knowledge on formwork pressure exerted by SCC - Kamal Henri Khayat (PI), Université de Sherbrooke David Bonen (co-PI), Purdue University Surendra Shah, Northwestern University Peter Taylor, CTLGroup

Form pressure generated by fresh concrete: A review about practice in formwork design - Tilo Proske • Kamal H. Khayat • Ahmed Omran • Olaf Leitzbach

Lateral Pressures for Formwork Design, A review of the formulas to determine the pressure of fresh concrete - M.K. Hurd

Formwork for Concrete - M.K. Hurd



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