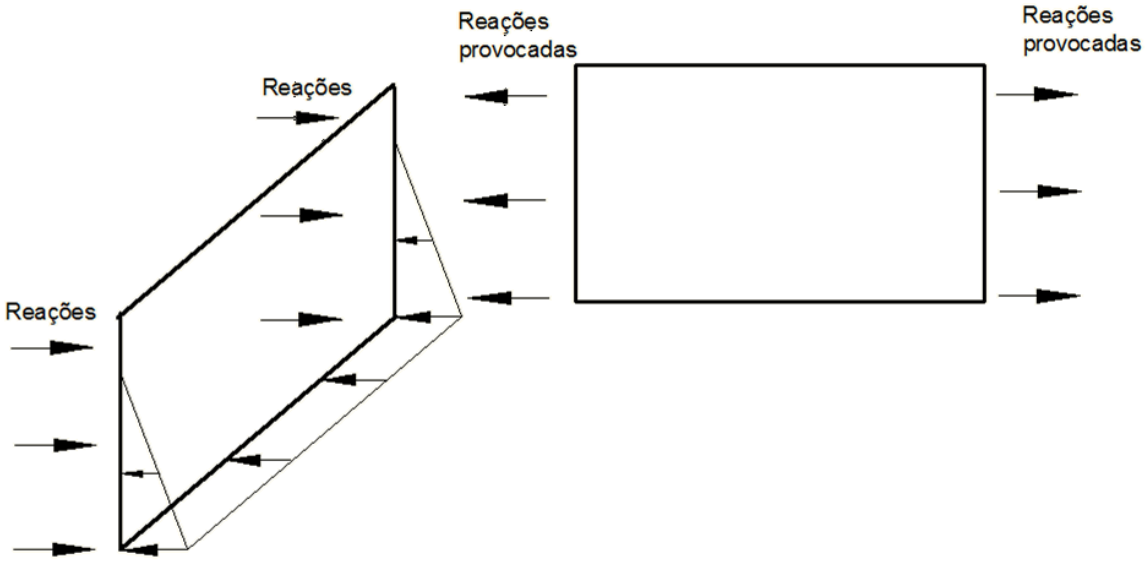
Dimensionamento

Armadura Necessária

O dimensionamento de cada uma das lajes/paredes é feito considerando os esforços sujeitos a combinação de flexo-tração, uma vez que as paredes adjacentes laterais provocam reações de tração, devido ao empuxo de água, conforme figura a seguir.



Com o uso das rotinas de verificação de equilíbrio da seção sujeita aos esforços, obtêm-se as áreas de aço necessárias.

Armadura Mínima

Compara-se a área necessária com a área mínima, que é de:

$$As_{minimo} = 0{,}15\% \cdot b \cdot h = 0{,}15.bw \quad (\mathrm{cm2/m})$$

tomando a maior entre elas.

Detalhamento

Com o uso da tabela de alojamento de ferros de lajes, indicado no arquivo de critérios, define-se o seu detalhamento.

Dimensionamento das Lajes

O dimensionamento das lajes, tampa e fundo, é feito diretamente com os esforços provenientes do modelo de pórtico espacial adotado para a análise estrutural.

Armadura principal a flexão

O dimensionamento da armadura de flexão das lajes é sempre feito com a consideração de armadura dupla, ou seja, é considerado que sempre existe armadura na face inferior e superior das lajes.

Armadura de detalhamento

Dada a armadura (As) calculado no item anterior, é então definido o alojamento (bitola e espaçamento) para detalhamento da laje. Este alojamento tem como base as tabelas de alojamento definidas no arquivo de critérios.

Verificação de Fissuras

Após o detalhamento, caso seja habilitado o critério de verificação de abertura de fissura, calcula-se a abertura para cada uma das regiões de bordo, e, reavaliam-se, iterativamente, as áreas de aço, bitola e espaçamento, até se encontrar uma fissura menor que a limite.

Uma vez escolhidos os diâmetros das barras e seu espaçamento, para os respectivos esforços solicitantes, verifica-se a abertura de fissuras no concreto decorrentes das tensões em serviços nas barras. Os limites de tais aberturas considerados nocivos às estruturas de concreto são especificados no arquivo de critérios de cada edifício, sendo o default igual a 0,20 mm.

O valor característico da abertura de fissuras, w_k, determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor entre os obtidos pelas expressões que seguem:

$$w_k = \frac{\phi_i}{12{,}5\eta_1}\frac{\sigma_{si}}{E_{si}}\frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12{,}5\eta_1}\frac{\sigma_{si}}{E_{si}}\left(\frac{4}{\rho_{ri}}+45\right)$$

O valor de σ_{si} é obtido com os esforços de flexo-tração ou flexo-compressão. Apenas tensões de tração são utilizadas. Estes valores são utilizados no cálculo de abertura de fissuras independente do valor, tornando o processo a favor da segurança.

A fissuração (w) no concreto será considerada nociva se os valores das aberturas calculadas com as expressões apresentadas anteriormente forem acima dos valores limites. Se só um valor ficar acima do limite a fissuração não é considerada nociva.

Caso a armadura adotada até o momento não seja suficiente para evitar a fissuração das paredes/lajes, é então adotado um novo alojamento (com maior área de armadura) e recalculada a fissuração. Este processo iterativo é finalizado quando temos que a fissura calculada é menor que a limite (arquivo de critérios).

Dimensionamento de Paredes

No caso de reservatórios superiores é possível optar pelo dimensionamento das paredes como vigas-paredes, além do dimensionamento para os esforços provenientes do modelo estrutural de pórtico espacial.

Neste caso, o dimensionamento das vigas-paredes é feito com as seguintes etapas:

Armadura de flexão (cargas verticais);
Armadura de flexão (cargas horizontais);
Armadura de suspensão;
Armadura de pele (de alma);
Armadura complementar.

Armadura de flexão (cargas verticais)

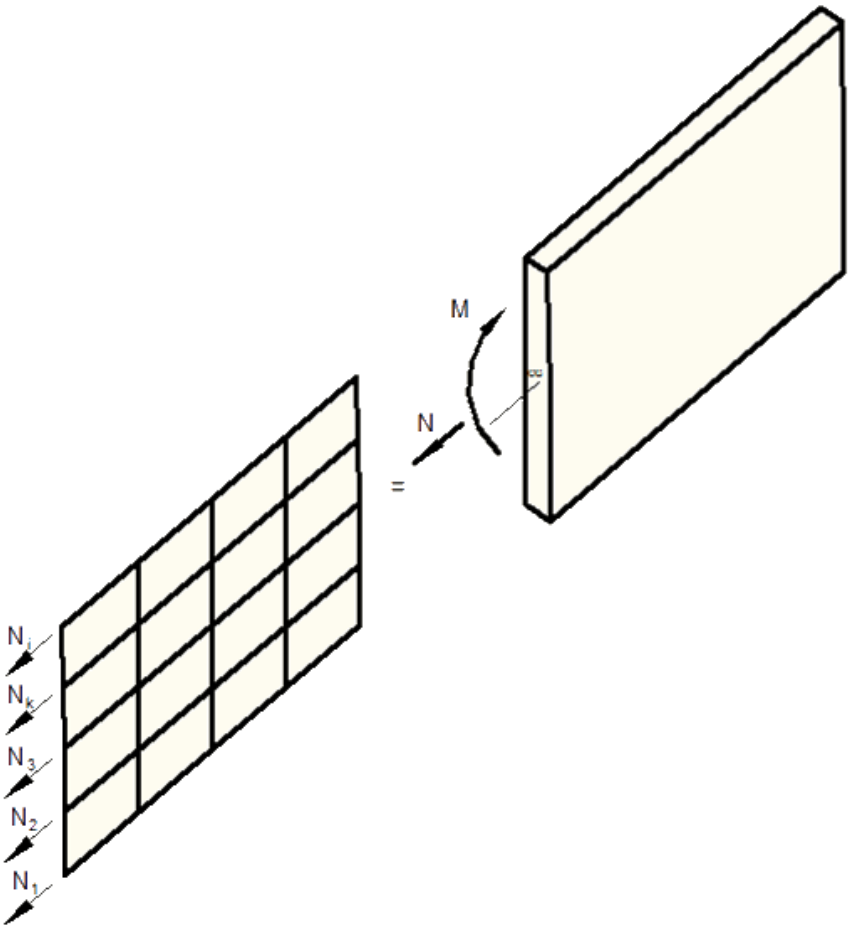
Para as paredes, essas também devem ser dimensionas como elementos de membrana, ou seja, sob a ação das cargas devido a seu peso próprio e as advindas da tampa e fundo. Dessa forma as armaduras longitudinais de cada parede podem ser calculadas de duas maneiras distintas:

Através de integração dos esforços das barras dos modelo estrutural;
Através de processo aproximado.

Reservatórios/Piscinas Enterrados ou Apoiados

Para estes casos, os esforços de momento fletor, normal e cortante são obtidos no centro de gravidade de cada parede, através dos esforços de todas as barras que discretizam a parede. Calcula-se o momento fletor como a soma

dos produtos dos esforços normais das barras horizontais com suas respectivas distâncias perpendiculares com relação ao CG da parede. O esforço normal da parede é dado pela soma desses valores Com esses esforços, empregam-se as rotinas de dimensionamento à flexão composta normal.



$$M_k = \sum_{j=1}^{nbarras_{horizontais}} N_j . d_j$$

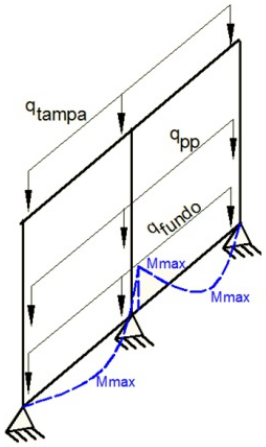
$$N_k = \sum_{j=1}^{nbarras_horizontais} N_j$$

$$V_k = \sum_{j=1}^{nbarras_horizontais} V_j$$

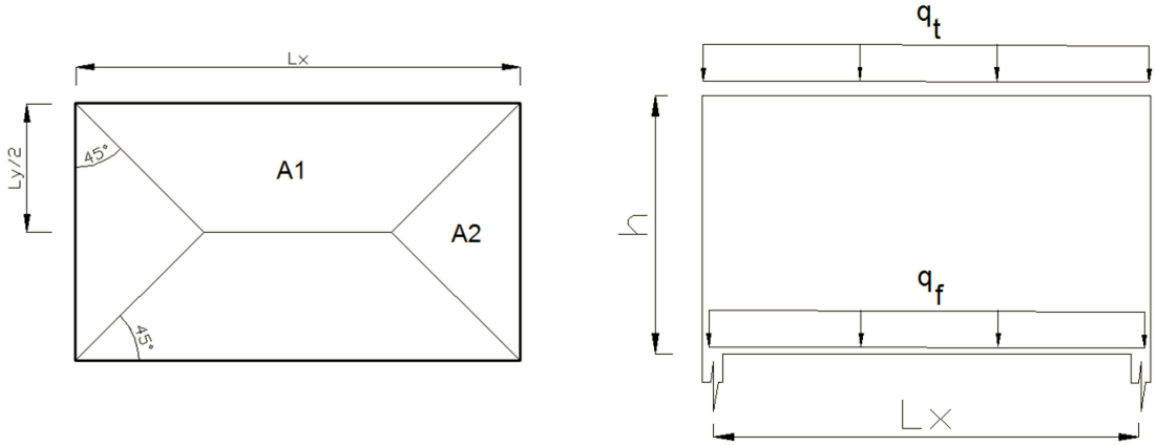
Nas formulas acima, d_j é a distância entre o ponto de aplicação de N_j e o CG da parede.

Reservatórios Elevados

No caso de reservatórios elevados além da opção descrita anteriormente, é possível utilizar o processo simplificado.



Em função da sua geometria (L/h<2), a distribuição das tensões na sua seção transversal não segue mais a teoria de Bernoulli, o que leva ao dimensionamento destes elementos como vigas-paredes. Entretanto, conforme descrito nos trabalhos de Vasconcelos (1998) e Kuehn (2002), pode-se avaliá-la com a teoria de viga clássica, calculando-a como uma viga de um ou dois tramos, conforme quantidade de células.



Calcula-se o momento máximo da viga com a ação das cargas - figura 9 - que foram obtidos da seguinte forma:

$$A1 = 0{,}25 \cdot L_y \cdot \left(2 \cdot L_x - L_y\right)$$

$$A2 = 0{,}25 \cdot L_y^2$$

$$q_{tampa} = q_{peso\ próprio} + q_{sobrecarga}\ (FL^{-2})$$

$$q_{fundo} = q_{peso\ próprio} + q_{sobrecarga} + q_{peso\ água}\ (FL^{-2})$$

$$q_{peso\ próprio} = \gamma_{solo} . h_{parede}\ (FL^{-2})$$

para as paredes paralelas a direção x:

$$q = \frac{A1.(q_{tampa}+q_{fundo})}{L_x} + H_{parede} \cdot q_{peso\ próprio}\ (F\ L^{-1})$$

E para paredes paralelas a direção y:

$$q = \frac{A2.(q_{tampa}+q_{fundo})}{L_y} + H_{parede} \cdot q_{peso\ próprio}\ (F\ L^{-1})$$

ou

$$M_{máximo} = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_{yd}}$$

Os termos A1 e A2 são as áreas de influência das lajes de tampa e fundo que exercem nas paredes, de modo a dividir o seu peso total entre as quatro paredes em contato proporcionalmente.

$z = 0{,}2 \cdot (L_x + 2 \cdot He)$ Em seguida, somam-se as parcelas dessas cargas com o peso próprio de cada parede. Obtém-se então o momento máximo para o qual é dimensionada a armadura longitudinal necessária. O valor de M_d é o momento de cálculo, f_{yd} é a resistência de cálculo ao escoamento do aço e o braço de alavanca obtido nesse caso da seguinte forma:

Viga de um tramo:

$$z = 0{,}2 \cdot (L_x + 1{,}5 \cdot He)$$

Viga de dois tramos:

$$H_e \leq \begin{Bmatrix} Lx \\ H \end{Bmatrix}.$$

Considerando:

Onde H_e é a altura efetiva que é o menor entre o vão teórico e a altura da parede:

Com o uso da tabela de alojamento de ferros de parede, o detalhamento é obtido.

Armadura de flexão (cargas horizontais)

O dimensionamento da armadura de flexão das paredes para os esforços devidos as cargas horizontais é sempre feito com a consideração de armadura dupla, ou seja, é considerado que sempre existe armadura na face inferior e superior das lajes.

Armadura de suspensão

O cálculo dessa armadura pode ser realizado de duas maneiras, a ser escolhido pelo usuário.

Modelo simplificado de viga-parede

A armadura deve ser suspensa parte da ação de peso próprio da parede, Leonhardt (1979) sugere - para cargas pequenas ou distribuídas uniformemente ao longo do vão Lx - que seja adotada uma armadura vertical constituída de estribos com área de:

$$As = \frac{q_d}{f_{yd}} \ (cm^2/cm)$$

O valor de q_d é a carga distribuída. No presente caso, a soma da carga de fundo com metade da carga devido ao peso próprio da parede.

Integração de esforços do modelo de pórtico

Nesse caso, somam-se os esforços normais das barras verticais localizadas na primeira faixa inferior de cada parede e divide-se pelo seu comprimento. Emprega-se a seguinte relação:

$$As = \frac{q_d}{f_{yd}} \ (cm^2/cm)$$

para o dimensionamento dessa armadura. Caso seja de compressão essa resultante, não se calcula essa armadura.

Caso o modelo de cálculo seja o simplificado e o modelo de viga-parede seja o simplificado, a armadura de suspensão será sempre nula.

Armadura de pele (de alma)

Deve-se dispor uma armadura em ambas as faces da viga-parede de no mínimo 0,15% da seção transversal de concreto em cada direção, para absorver as tensões de tração inclinadas não totalmente combatidas pela armadura dos banzos e também visando manter eventuais fissuras com pequena abertura.

Esta armadura de alma (ou de pele) pode ser constituída por estribos verticais ou barras verticais isoladas e barras horizontais.

Admitiu-se a seguinte condição para seu dimensionamento:

$$As_{vertical} = As_{horizontal} = 0{,}0025 \cdot b \ (cm^2/cm)$$

para aço CA-25, e

004aaf8a5b50ada748f37c061e0b8f1c.jpeg

para aço CA-50 e CA-60. Sendo b dado por:

$$b_{nec} = b = \frac{Vd}{0{,}1 \cdot He \cdot f_{cd}}$$

Com V_d o esforço cortante máximo do tramo de cada viga-parede.

Leonhardt (1979) indica como armadura de pele mínima horizontal e vertical:

$$As_{vertical} = As_{horizontal} = 0{,}15\% \cdot b \cdot h = 0{,}15.bw \ (\mathrm{cm^2/m})$$

Armadura complementar

Segundo Montoya (1973), as vigas-parede apoiadas diretamente sobre pilares devem ter, nas regiões de apoios, uma armadura complementar (horizontal e vertical) constituída por barras de igual diâmetro da armadura de alma, intercaladas entre estas até um comprimento de (0,3*He) na horizontal.

Armadura de detalhamento

Para o detalhamento das paredes a seguinte lógica é adotada para definição do alojamento a ser utilizado:

A armadura de $As_{flexao,vertical}$ final pode ser obtida de duas formas, seguindo um critério indicado na aba "detalhamento", se "Consideração do As, suspensão" for:
Somar: As_{det} = Máxima ($As_{flexão}$, $As_{flexão_min}$, As_{pele}) + $As_{suspensão}$;
Comparar: As_{det} = Máxima ($As_{flexão}$, $As_{flexão_min}$, As_{pele},$As_{suspensão}$)
Compara-se $As_{flexao,horizontal}$ com As_{min}; adota-se o maior como As_{det};
Compara-se As_{det} com As_{pele}; adota-se o maior como As_{det};
Com As_{det}, defini-se o alojamento (bitola e espaçamento) a ser utilizado ao longo da parede.
Após a definição do alojamento a ser utilizado, ainda é feita a verificação de fissuração.

Verificação de Fissuras

Como ocorre para as paredes, a armadura de detalhamento das lajes pode ser alterada de modo a diminuir a fissuração deste elemento estrutural. Para maiores detalhes acesse o item "4.4.3 - Verificação de Fissuras".