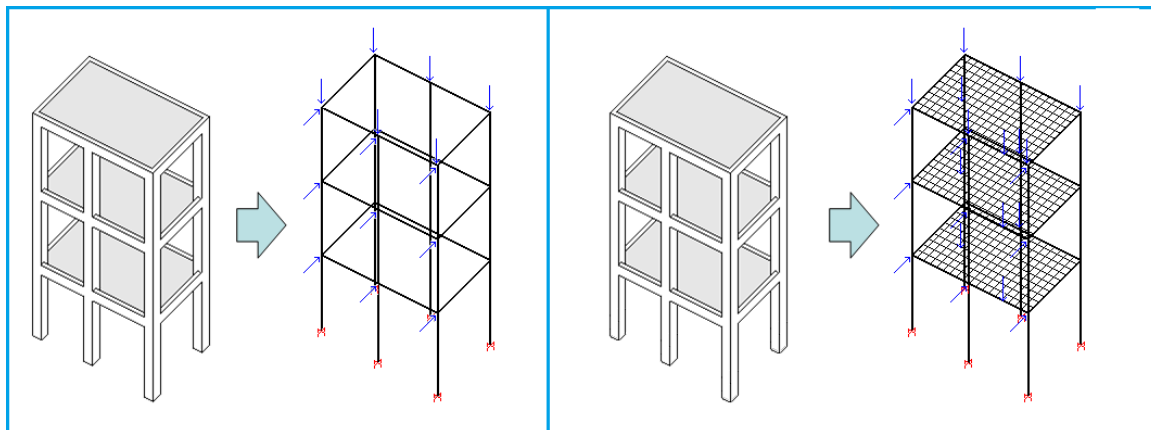


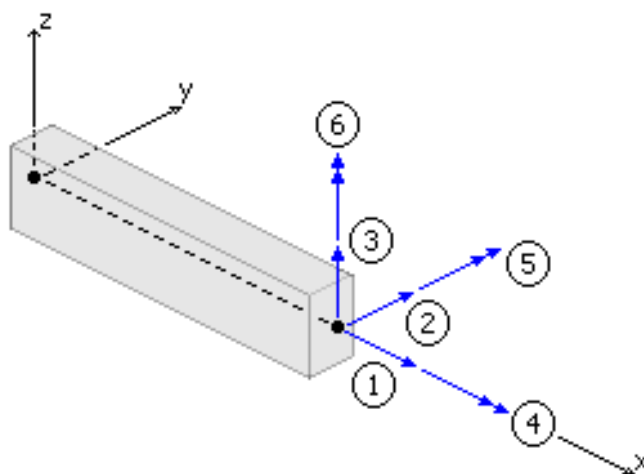
Pórtico Espacial

Consiste num modelo tridimensional 3D, composto por elementos lineares (barras), que possibilita a avaliação do comportamento global de todo o edifício, isto é, de todo o conjunto formado pelos pilares, vigas e lajes de todos os pavimentos de um edifício, perante a atuação de ações verticais e horizontais.



Cada nó do pórtico espacial possui 6 graus de liberdade, possibilitando a obtenção dos deslocamentos e esforços (força normal, cortantes, momentos fletores e torsor) em cada extremidade de um elemento.

A figura a seguir ilustra uma barra em volume de pórtico espacial com a linha tracejada representando a barra discretizada no pórtico espacial, com o sistema de eixos locais da barra os nós inicial e final e os 6 graus de liberdade de cada nó do pórtico espacial.



- (1) Translação força normal
- (2) Translação força cortante
- (3) Translação força cortante
- (4) Rotações momento torçor
- (5) Rotação momento fletor
- (6) Rotação momento fletor

O modelo de pórtico espacial pode ser usado, por exemplo, para:

Obter os esforços para o dimensionamento de vigas e pilares, (Modelo IV).

Obter os esforços para o dimensionamento de lajes, vigas e pilares. (Modelo VI).

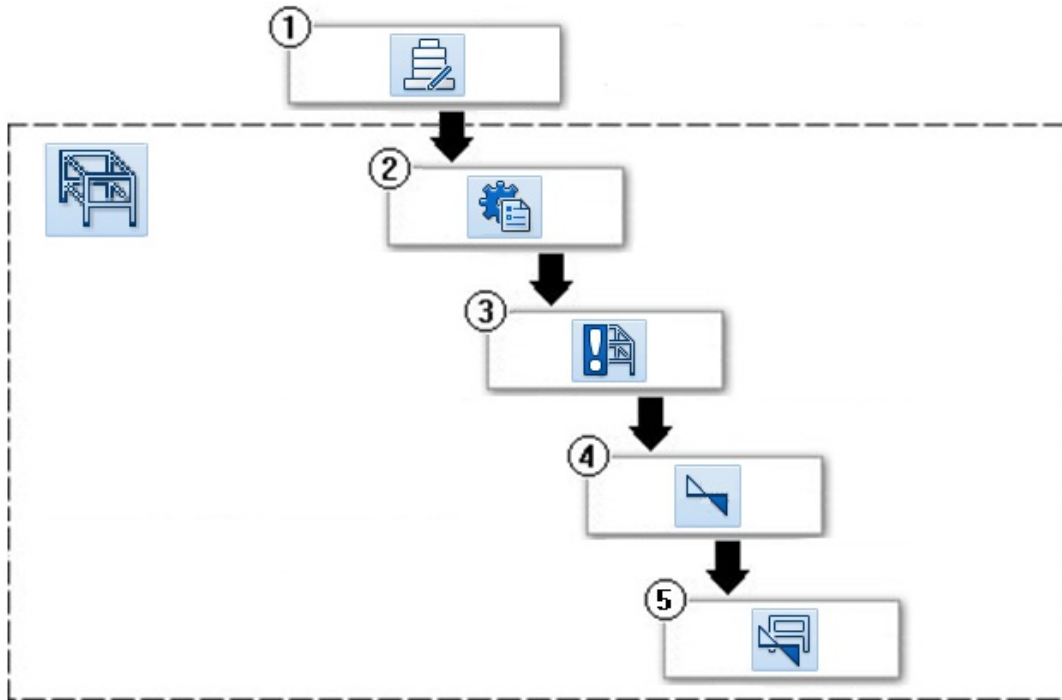
Obter as solicitações transmitidas para os elementos de fundação.

Verificar a estabilidade global do edifício.

Verificar os deslocamentos laterais provocados pelas ações horizontais (Ex.: vento).

Funcionamento geral

De um modo geral, as principais etapas relativas à geração, processamento e análise de resultados do modelo de pórtico espacial nos Sistemas TQS são acessadas e controladas dentro do subsistema Pórtico-TQS, conforme mostra o fluxograma a seguir.



(1) Dados do edifício

Para que um edifício seja globalmente modelado por um pórtico espacial, é necessário escolher entre os Modelos disponíveis na edição dos dados do edifício, aba "Modelo".

Para análise de edifícios usuais em geral, recomendamos o uso dos Modelos IV ou VI.

(2) Critérios de projeto

Os parâmetros que controlam a modelagem de pórtico espacial nos Sistemas TQS são os critérios gerais do Pórtico-TQS.

(3) Geração e (4) Processamento

A geração e o processamento do modelo de pórtico espacial do edifício são realizados de forma automática durante o Processamento Global.

(5) Análise de resultados

Toda a análise de resultados pode ser realizada de forma 100% gráfica através do visualizador de pórtico espacial.

Recomenda-se que tanto a geração como o processamento das grelhas dos pavimentos sejam realizados por meio do processamento global do edifício, pois é bastante trabalhoso e complicado de executar todos os comandos locais de forma sequencial.

Só para se ter uma ideia, quando um edifício é modelado por pórtico espacial e os seus pavimentos por grelha, e ainda há a presença de vigas de transição, durante o processamento global são gerados e processados 4 pórticos espaciais (3 ELU e 1 ELS).

Navegação no gerenciador-TQS

No Gerenciador-TQS, todos os dados e resultados do pórtico espacial de um edifício podem ser acessados dentro do subsistema Pórtico-TQS e no item "Espacial" da árvore do edifício.

A pasta "Espacial" é automaticamente selecionada quando é ativado o subsistema Pórtico-TQS na barra de ferramentas do Gerenciador-TQS.

Edição de critérios

Os critérios que governam todo o funcionamento do Pórtico-TQS são chamados de critérios gerais de pórtico espacial. Para editar os critérios de projeto:

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas" e clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão "Critérios" e escolha a opção "Critérios Gerais"

Características do modelo de pórtico adequado

O pórtico espacial presente nos Sistemas TQS tem como base o modelo clássico de pórtico espacial, isto é, um modelo tridimensional (3D) composto por elementos lineares (barras), conectadas por nós que possuem 6 graus de liberdade.

As barras representam todo o conjunto de pilares e vigas que formam a estrutura do edifício. As lajes são consideradas como diafragmas rígidos.

O Pórtico-TQS, contudo, ao contrário de um modelo de pórtico espacial tradicional puramente elástico que pode gerar resultados imprecisos, possui inúmeras características particulares que torna a modelagem de edifícios de concreto armado mais adequada e direcionada, isto é, que conduza a obtenção de respostas compatíveis com a realidade da estrutura.

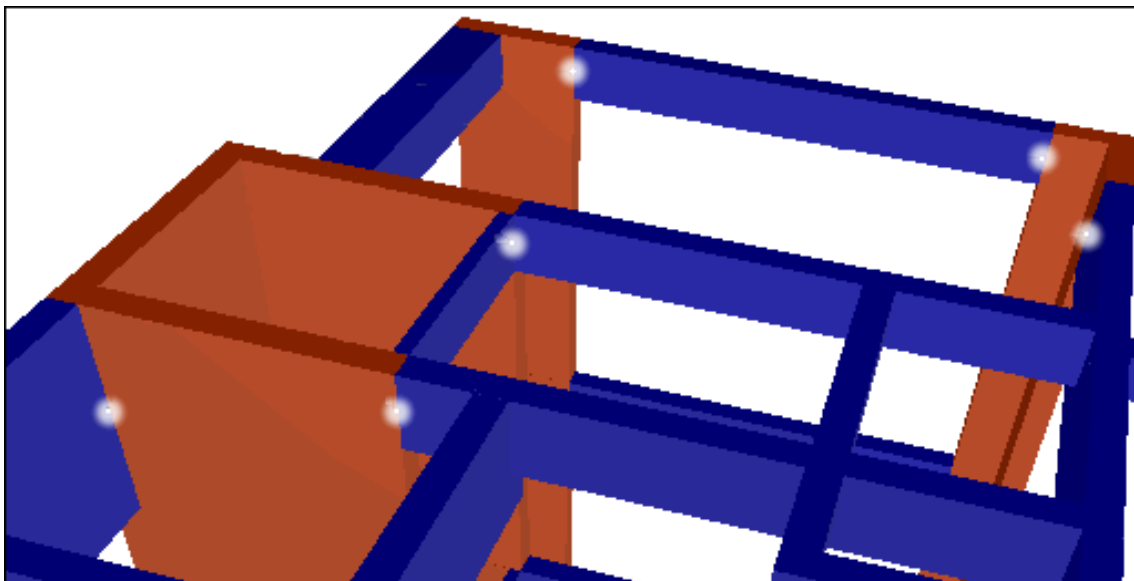
O Pórtico-TQS é um modelo adequado para simular o comportamento global de edifícios de concreto armado.

O Pórtico-TQS está preparado para calcular edifícios de pequeno porte (poucos andares) como de grande porte (múltiplos andares).

Veja, a seguir, a descrição das principais adaptações presentes no Pórtico-TQS.

Ligação viga-pilar

Os cruzamentos entre os pilares e as vigas de um edifício de concreto armado são regiões importantes da estrutura onde ocorre a transferência de esforços de uma peça para outra. São trechos que necessitam de um tratamento particular durante a modelagem estrutural.



No Pórtico-TQS, existem duas considerações importantes referentes às ligações viga-pilar:

Trechos rígidos

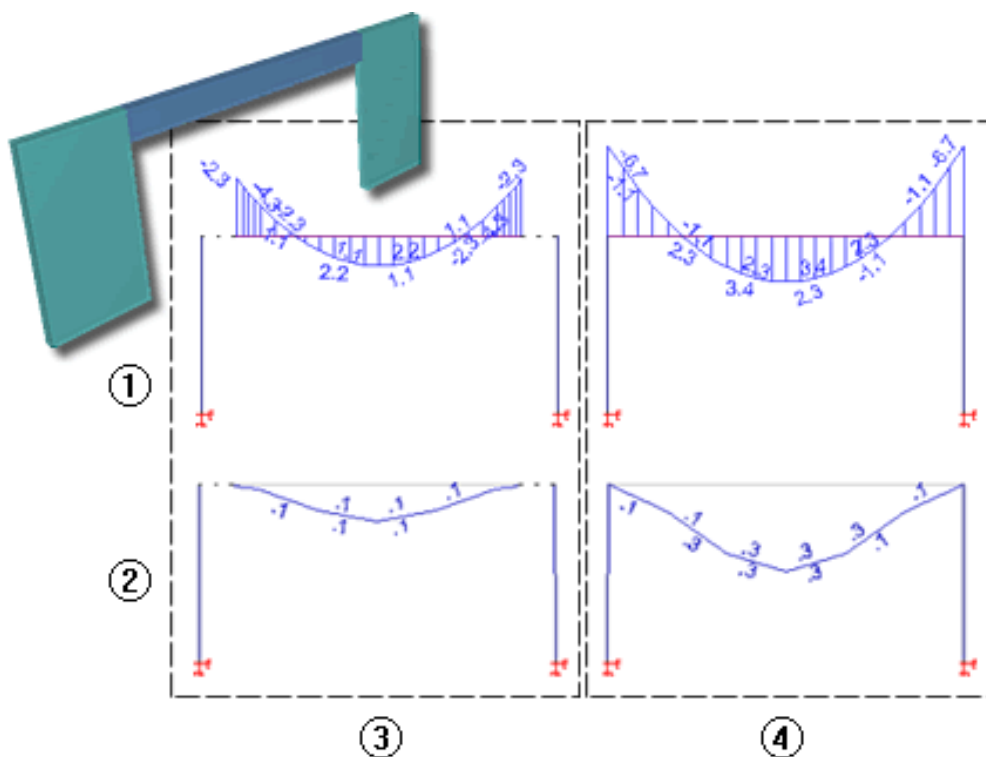
Flexibilização da ligação viga-pilar

Trechos rígidos

Trechos rígidos são regiões na intersecção de vigas e pilares de uma estrutura de concreto armado que apresentam elevada rigidez.

A consideração desses trechos no modelo de pórtico espacial, principalmente em vigas, é muito importante para obtenção de respostas mais precisas. Os trechos rígidos definem o vão teórico das vigas.

Veja um exemplo a seguir, e note que os trechos rígidos podem influenciar de forma significativa nos resultados de deslocamentos e esforços em vigas.



(1) Momentos fletores

(2) Deslocamentos

(3) Com trechos rígidos

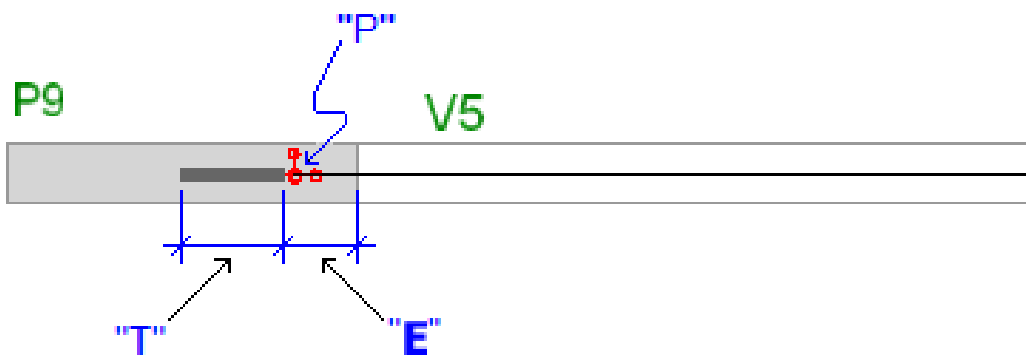
(4) Sem trechos rígidos

No Pórtico-TQS, os trechos rígidos são automaticamente incorporados ao modelo em cada intersecção de viga e pilar da estrutura. A simulação dos mesmos pode ser realizada de duas formas distintas: criação de uma barra com rigidez elevada (barra rígida) ou por uma adaptação no cálculo das rigidezes dos elementos que possuem o trecho rígido (offset rígido). Ambas as técnicas são eficazes e equivalentes, porém a segunda não exige a criação de nós adicionais, otimizando sensivelmente o tempo de processamento. Nos critérios gerais do Pórtico-TQS, essa condição é controlada na aba "Pilares", botão "OFFRIG – Offset rígido nas ligações viga-pilar".

O comprimento dos trechos rígidos é controlado por um critério de projeto, cujo padrão gera um valor de acordo com o item 14.6.2.1 da NBR 6118.

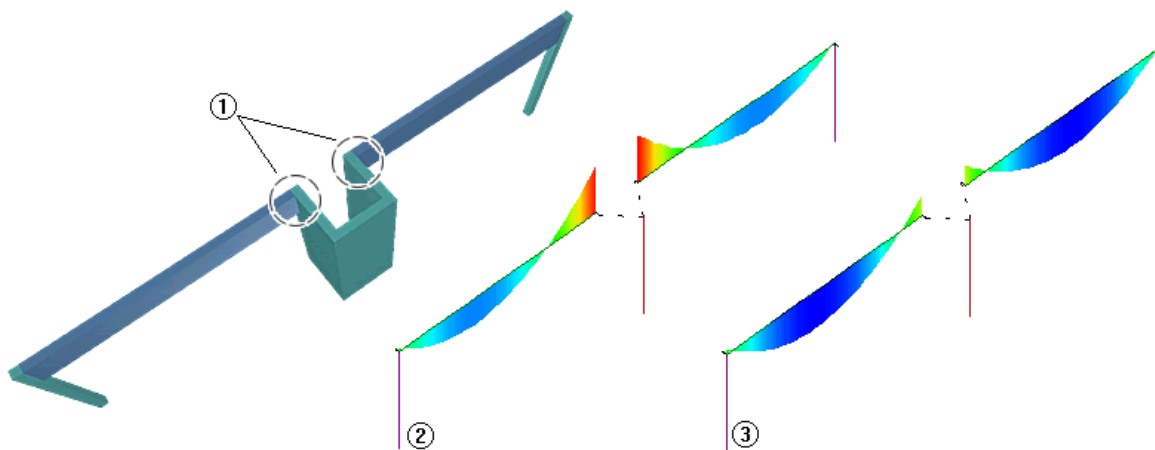
1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas"
2. Clique no botão "TQS Formas"
3. Na aba "TQS formas", clique no botão "Critérios" e escolha a opção "Projeto"
4. Selecione a opção "Vigas" - "Extensão de apoio"

O comprimento do trecho rígido "T", é definido indiretamente pela atribuição de um valor para extensão de apoio "E", isto é, para o trecho da viga que se estenderá para dentro do pilar (a partir de sua face) que fará parte do vão teórico da mesma.



Flexibilização de ligação viga-pilar

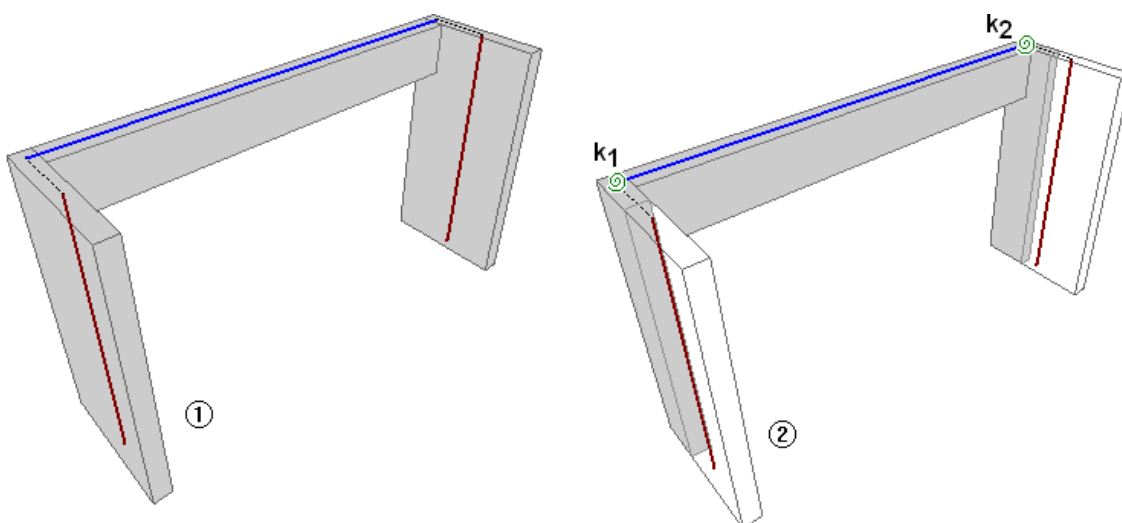
Além dos trechos rígidos apresentados no item anterior, também é fundamental que a rigidez efetiva da ligação entre os elementos, principalmente em casos vigas se apoiando em pilares alongados, seja considerada de forma adequada no modelo de pórtico espacial. Veja um exemplo a seguir.



- (1) Ligações pouco rígidas a flexão
- (2) Pórtico sem flexibilização
- (3) Pórtico com flexibilização

Note que a não consideração da rigidez efetiva da ligação (pórtico SEM flexibilização) pode levar a resultados bastante discrepantes.

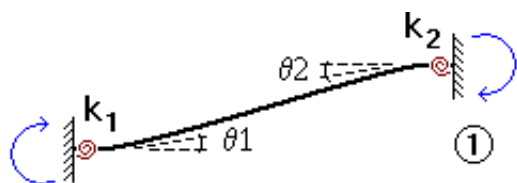
No Pórtico-TQS, a rigidez efetiva na ligação viga-pilar é automaticamente incorporada ao modelo por meio de "molas" posicionadas nos extremos das barras. Ou seja, as ligações são flexibilizadas.



- (1) Pórtico sem flexibilização
- (2) Pórtico com flexibilização

A técnica utilizada para simular esse comportamento é baseada na manipulação das matrizes de rigidez das barras.

- (1) Ligação semi-rígida.

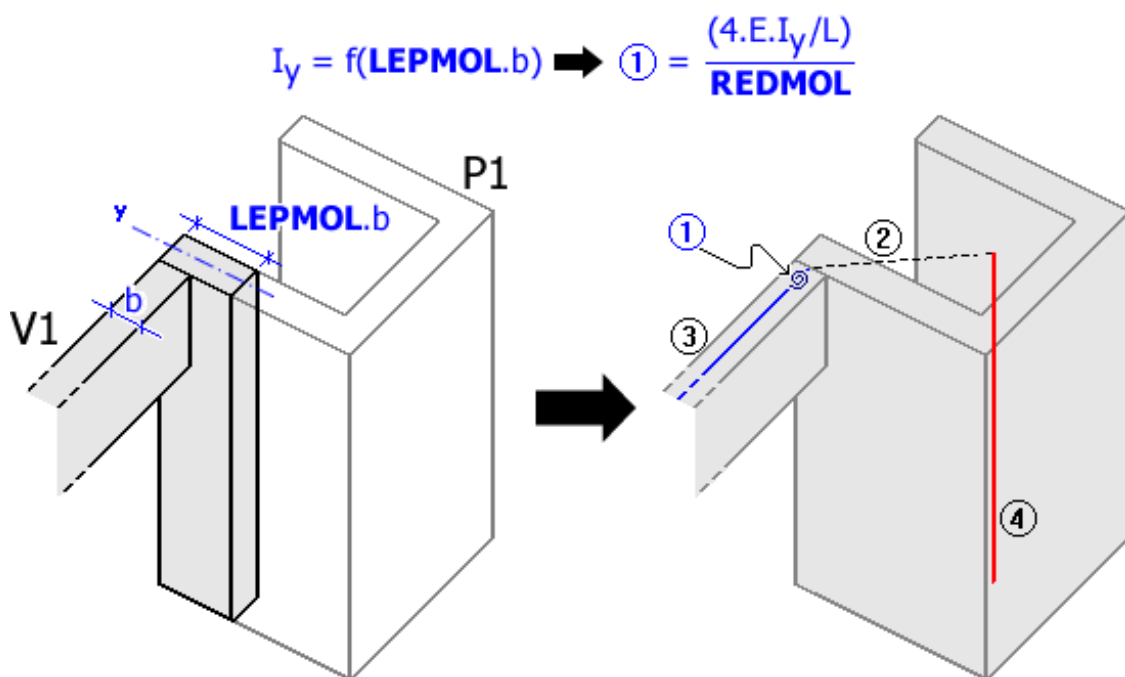


A rigidez das "molas" de flexibilização é atribuída, de forma aproximada, como sendo o termo $4.E.I/L$ definido pelo pilar junto às barras das vigas, onde: E é o módulo de elasticidade longitudinal do pilar, L é o pé-direito do pilar e I é o momento de inércia calculado a partir de uma seção equivalente do pilar que efetivamente será considerada na rigidez da ligação.

Dois parâmetros definidos nos critérios gerais do Pórtico-TQS, chamados de LPMOL e REDMOL, permitem que o Engenheiro faça ponderações no cálculo da rigidez dessas molas.

Comandos:

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas"
2. Clique no botão "Pórtico-TQS"
3. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão "Critérios" e escolha a opção "Critérios Gerais"
4. Selecione a opção "Pilares" - "Flexibilização"

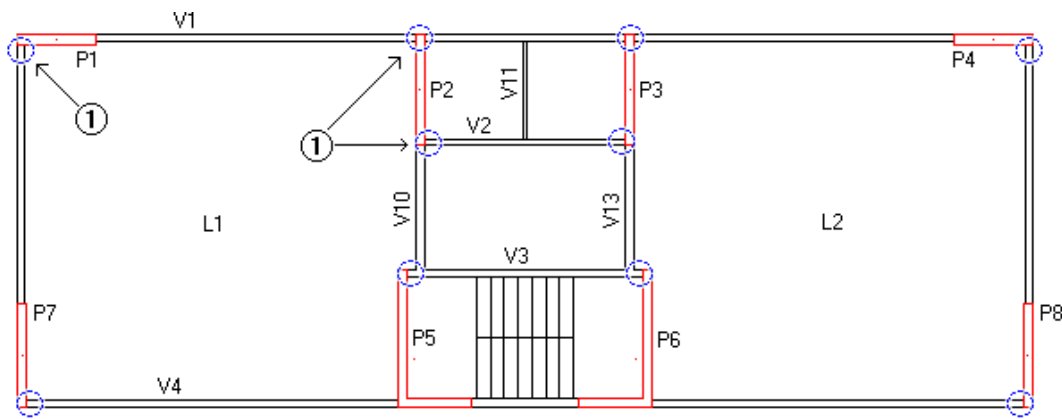


- (1) Mola
- (2) Offset rígido
- (3) Barra da viga
- (4) Barra do pilar

A flexibilização das ligações viga-pilar no pórtico espacial tem influência direta nos esforços finais nas vigas e pilares, bem como na estabilidade global e na avaliação dos deslocamentos horizontais do edifício. Veja, a seguir, dois exemplos.

Exemplo 1

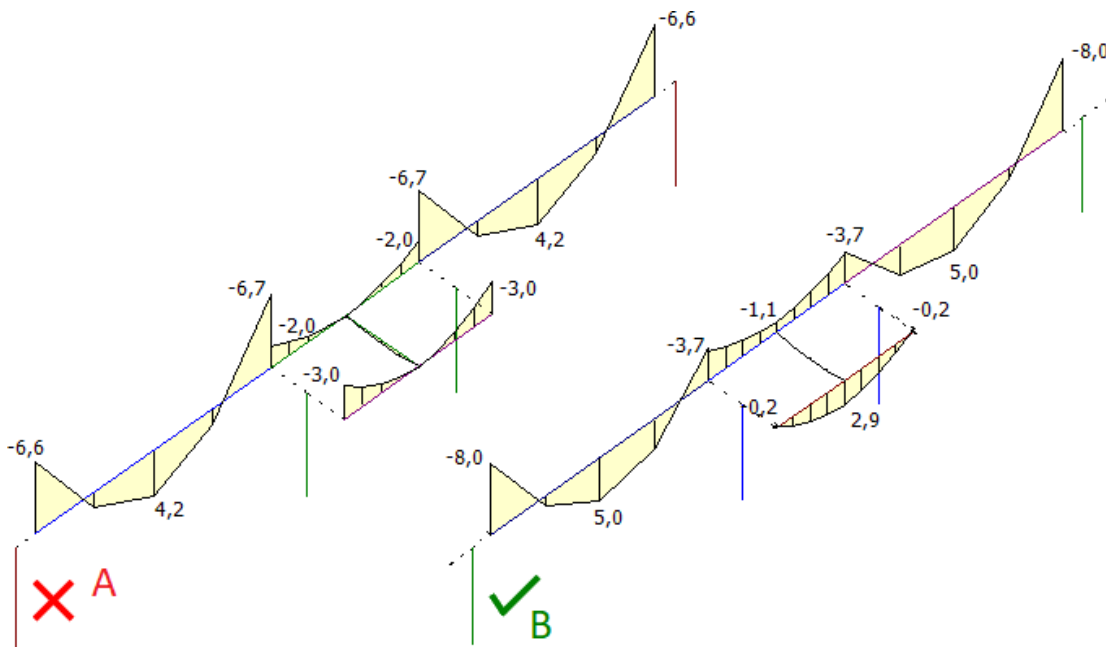
Nesse exemplo, vamos comparar os diagramas de momento fletor nas vigas V1 e V2 do pavimento apresentado na figura a seguir, obtidos na análise com o pórtico espacial com e sem as ligações flexibilizadas.



(1) Ligações Viga-Pilar “Flexibilizadas”

Pode-se notar que, nas ligações viga-pilar indicadas nos modelos acima (círculos), a rigidez do pilar que, efetivamente, colabora para impedir a rotação da viga é muito menor que a sua largura plena (largura total do pilar). Este é o principal equacionamento e vantagem da ligação flexibilizada entre vigas e pilares.

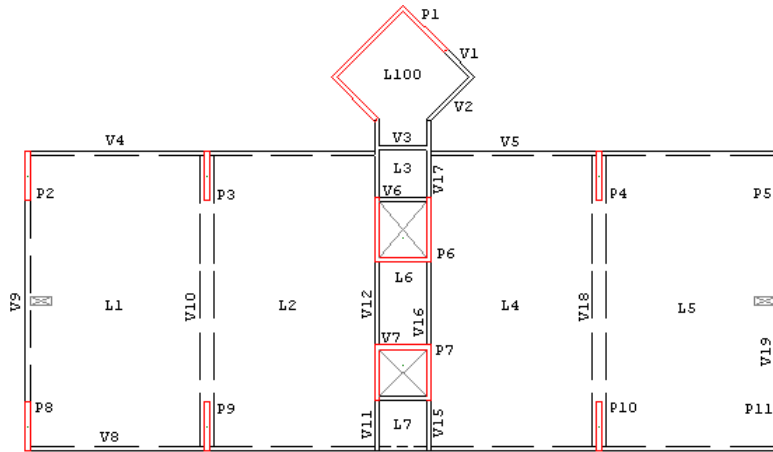
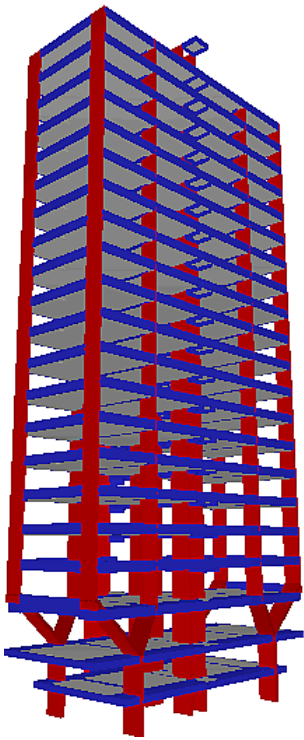
Veja, na figura a seguir, o pórtico “A” sem a flexibilização e o pórtico “B” com a flexibilização, note que os diagramas de momentos fletores nas vigas V1 e V2 acima ficam mais adequados para o dimensionamento e detalhamento com os resultados do pórtico “B” com a flexibilização.



Exemplo 2

Como as ligações ficam mais flexíveis no pórtico espacial e, principalmente, tratadas com maior realidade, é comum que os deslocamentos horizontais para cargas horizontais aumentem no modelo de pórtico flexibilizado.

Conseqüentemente, o valor do parâmetro de estabilidade λ_z também cresce. Se a estrutura já é estável, esse acréscimo é relativamente pequeno. Mas, se a estrutura é flexível, ele pode se tornar considerável.



	γ_z (0°)	δ_{Topo} (cm)	γ_z (90°)	δ_{Topo} (cm)
A	1,157	8,2	1,061	4,9
B	1,326	16,8	1,063	5,1

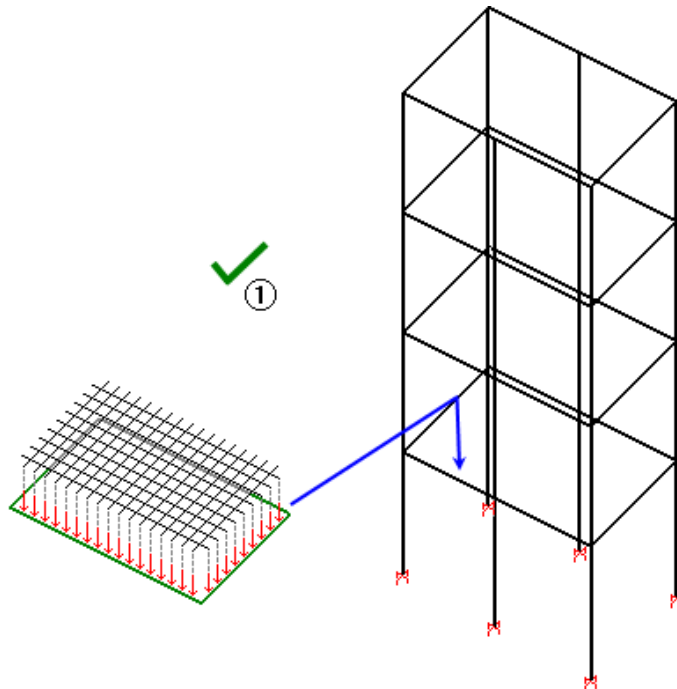
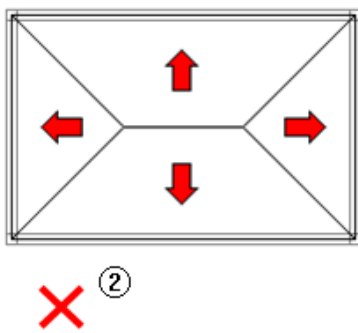
(A) Pórtico Elástico

(B) Pórtico Flexibilizado

Consideração das lajes e cargas

No modelo IV

O carregamento nas vigas oriundo das lajes é definido por cargas concentradas calculadas a partir da modelagem de grelha de cada pavimento.



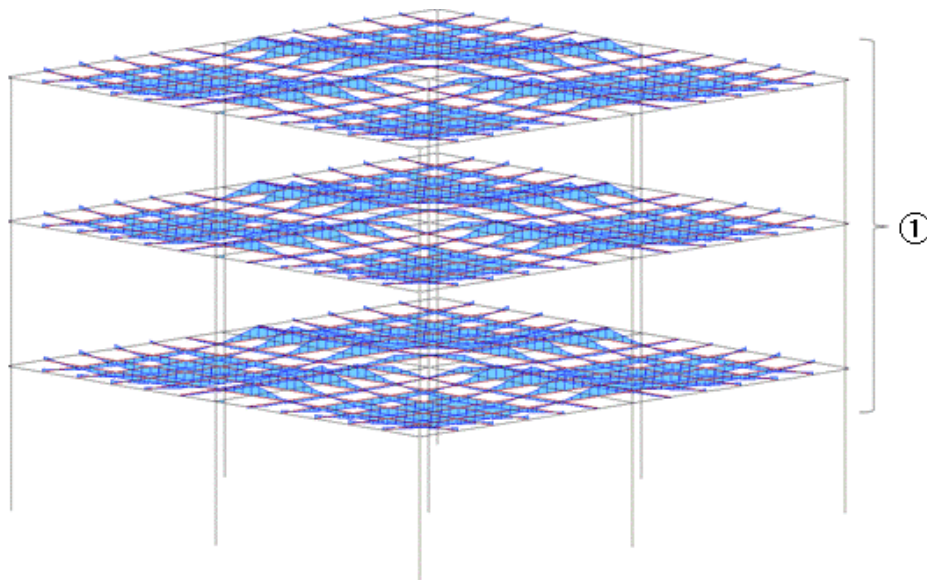
(1) Distribuição irreal

(2) Distribuição mais real

Esse tipo de consideração confere ao modelo uma distribuição mais precisa das cargas das lajes aplicadas nas vigas.

No Modelo VI

As lajes de todos os pisos fazem parte do modelo espacial. Com isso, além da envoltória de esforços entre as combinações ELU, tornou-se, então, necessário realizar uma envoltória de esforços entre pisos de pavimentos com repetição, similarmente ao que era realizado para vigas.



(1) Envoltória entre pavimentos "Tipo" com três repetições + GamaZ

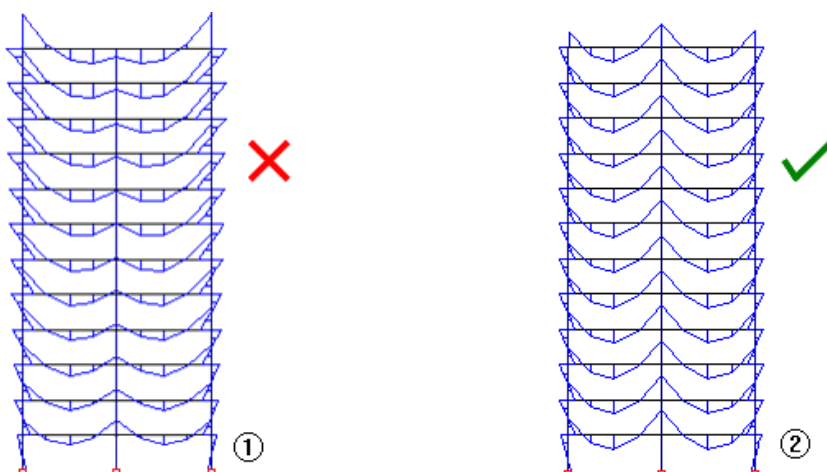
É importante ressaltar que os efeitos globais de 2ª ordem nas lajes, calculados a partir do processo aproximado com GamaZ ou P-Δ, também passam a ser automaticamente considerados no dimensionamento das armaduras das mesmas.

Diafragma Rígido

Nos modelos anteriores III e IV, o efeito de diafragma rígido das lajes num pavimento era simulado de forma aproximada, por meio do enrijecimento lateral das vigas. Agora, no Modelo VI, com a presença da malha das lajes no pórtico espacial, essa simplificação não é mais necessária e o efeito de diafragma rígido é simulado de forma mais precisa, podendo ser preponderante em alguns casos particulares, onde a compatibilização dos deslocamentos horizontais não é uniforme em todos os pontos interligados pelas lajes.

Efeitos construtivos

Na vida real, um edifício de múltiplos andares não é construído instantaneamente. As cargas verticais, como o peso próprio, são gradativamente adicionadas e acumuladas à medida que a estrutura é erguida. Sendo assim, as deformações axiais ocorridas nos lances dos pilares a cada acréscimo de carga proveniente de um novo andar são compensadas construtivamente.



(1) Esforços irrealistas – Sem considerar efeitos construtivos

(2) Comportamento mais real – Levando em conta os efeitos construtivos

Esta compensação deve ser incorporada à modelagem para que sejam obtidos resultados compatíveis com a realidade. Esta condição pode, de forma aproximada, ser atendida majorando-se a rigidez axial dos pilares presentes no pórtico espacial. Ou seja, aumentando-se a área da seção transversal dos pilares.

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas"

2. Clique no botão "Pórtico-TQS"

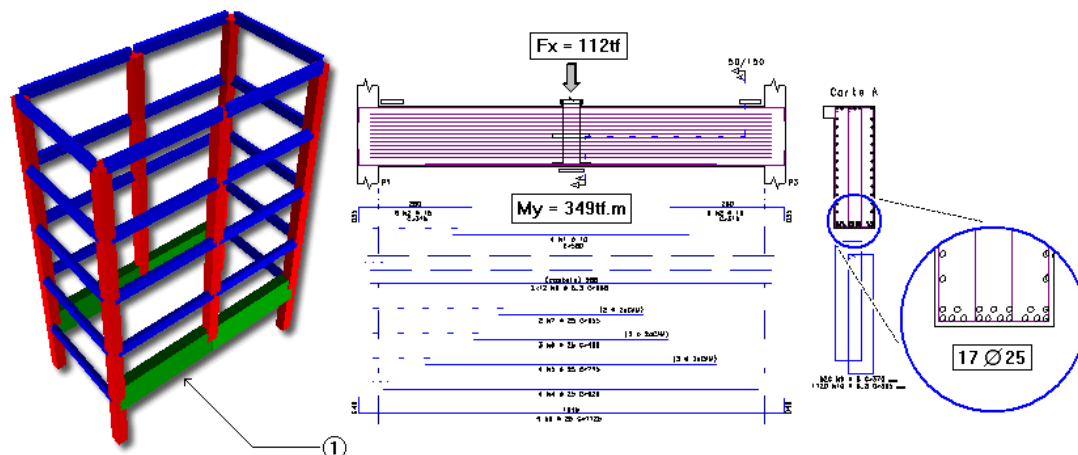
3. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão "Critérios" e escolha a opção "Critérios Gerais"

4. Selecione a opção "Pilares" - "Rigidez axial dos pilares"

A consideração do MULAXI gera um tipo de adaptação no modelo de pórtico espacial que será válida somente para a análise do comportamento do edifício perante a atuação das ações verticais. Para ações horizontais, como o vento, por exemplo, a majoração da área de pilares não é considerada.

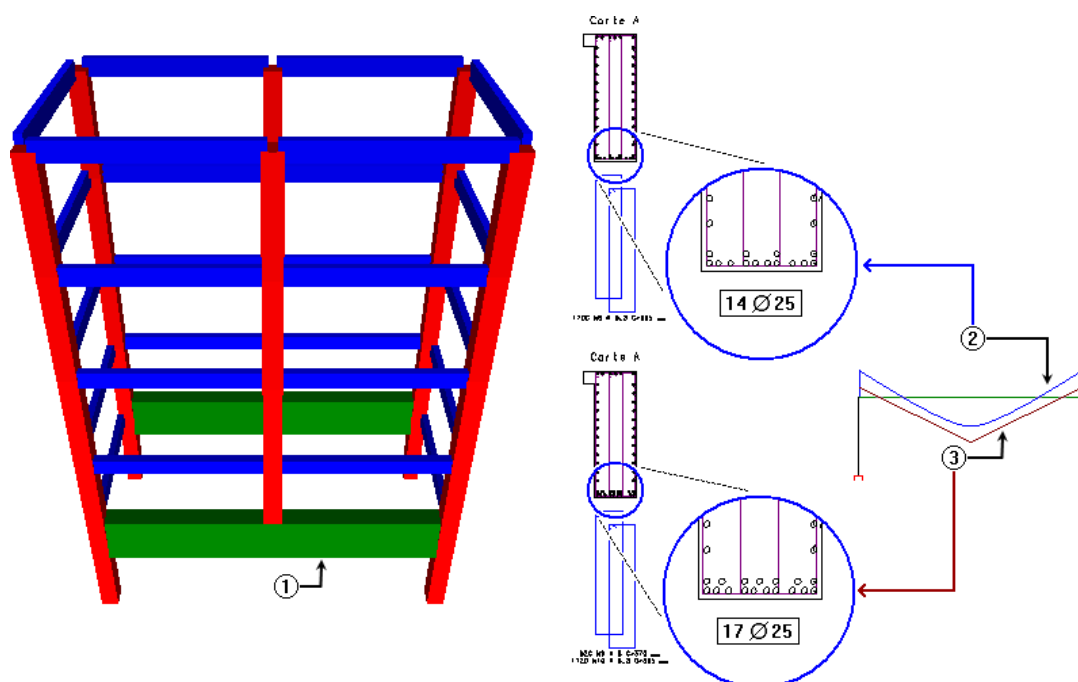
Viga de transição

A viga de transição, geralmente, é um elemento que possui uma grande responsabilidade na segurança da estrutura de um edifício e precisa ser dimensionada de forma adequada.



(1) Viga de transição – Tratamento especial

Usualmente, os projetistas estruturais não adotam as cargas verticais de pilares de transição como sendo aquelas resultantes de um processamento elástico de pórtico espacial, em que a viga de transição é deformável (redistribuição de esforços para os elementos vizinhos), mas sim, a força normal do pilar considerando a viga de transição indeformável (acúmulo total das cargas dos pisos acima da viga).



(1) Viga de transição

(2) Rigidez Normal

(3) Rigidez Aumentada

Apenas nos Modelos IV e VI, é oferecida a possibilidade da geração de um pórtico espacial em que são simuladas

automaticamente duas condições:

Viga de transição elástica (rigidez à flexão normal)

Viga de transição enrijecida (rigidez à flexão majorada)

Os esforços transferidos para o dimensionamento serão resultado da envoltória destes dois casos, conferindo assim uma maior segurança no dimensionamento das armaduras das vigas de transição existentes no edifício.

Para ativar esse tratamento especial para as vigas de transição de uma estrutura, na edição de dados do edifício:

1. No “Gerenciador TQS” selecione a aba “Edifício “ e clique no botão "Editar"
2. Na janela de edição de “Dados do edifício” , selecione a aba “Modelo”
3. Clique no botão "Vigas de transição/tirantes"
4. Confira os valores "Multiplicador da inércia das vigas de transição" e "Divisor da inércia a torção"

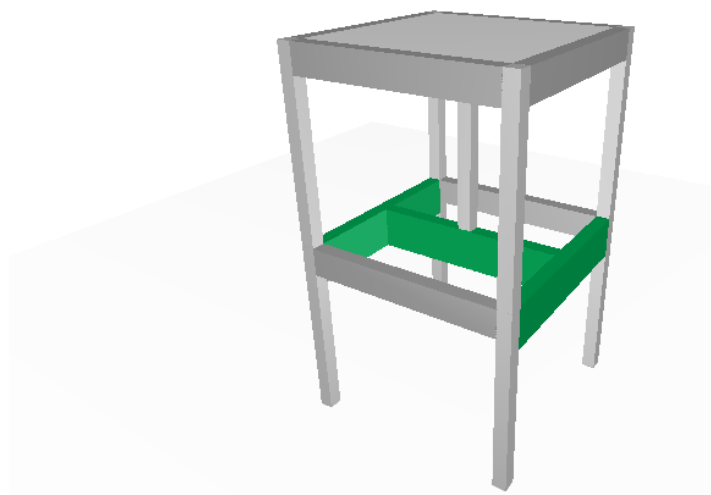
É possível atribuir valor para o multiplicador utilizado para majorar a rigidez das vigas de transição. Também será possível atribuir um divisor da inércia a torção específico para a viga de transição.

Os Sistemas TQS procura detectar a existência de vigas de transição automaticamente. Porém, em certos casos, como vigas que recebem transições de forma indireta, é necessário que o Engenheiro atribua essa condição manualmente dentro do Modelador Estrutural.

Comando:

1. No “Modelador Estrutural”, selecione a aba "Vigas" e clique no botão “Dados atuais”
2. Na janela de edição de “Dados Gerais de Vigas”, selecione a aba "Modelo"
3. Escolha a opção “Sempre” em "Considerar como viga de transição"

No Visualizador de Pórticos, é possível identificar graficamente quais vigas do edifício



Tirante

Similarmente as vigas de transição (suportam pilares comprimidos), temos as vigas que suportam tirantes (pilares submetidos à tração). No processo de cálculo puramente elástico, os pilares denominados como tirantes e as vigas que os sustentam possuem solicitações bem inferiores àqueles usualmente calculados por processos convencionais (acúmulo do total de cargas).

Nos Sistemas TQS, é possível realizar o mesmo tratamento dado às vigas de transição para as vigas que suportam tirantes, resolvendo o pórtico espacial para a viga elástica e enrijecida e adotando a envoltória de esforços para o seu dimensionamento. A ativação dessa condição é feita no mesmo local que as vigas de transição, na edição dos dados do edifício.

Plastificações

Nos Sistemas TQS, há uma série de critérios que permitem que o Engenheiro de Estruturas adéque a modelagem de pórtico espacial para as condições de plastificação presentes nas estruturas reais. Veja, a seguir, algumas delas.

Rigidez à torção em vigas

Na prática, é comum reduzir a rigidez à torção de vigas de concreto armado devido à sua baixa resistência a este tipo de solicitação.

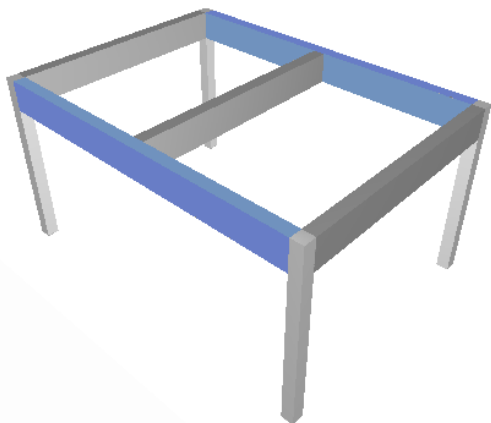
Nos critérios gerais de pórtico, é possível definir um divisor para rigidez à torção de barras de viga. Comando:

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas"
2. Clique no botão "Pórtico-TQS"
3. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão "Critérios" e escolha a opção "Critérios Gerais"
4. Selecione a opção "Vigas" - "Rigidez à torção"

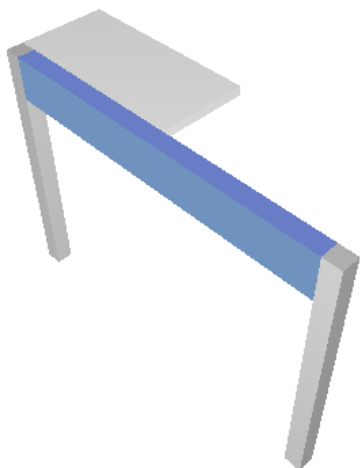
Essa definição, será utilizado para todas as barras de vigas do pavimento, exceto naquelas em que tiverem marcadas com a opção "Inércia à torção = Abaixo" e definido o valor para "Divisor de inércia a torção" no Modelador Estrutural.

Nesse último caso, se for definido um valor igual a 0 (zero) para a viga, será adotado o valor definido no "Critério gerais" de grelhas.

Convém lembrar que a rigidez à torção de uma viga pode ser quase que totalmente desprezada (ex.: divisor = 100), somente em casos em que a torção não é necessária ao equilíbrio da estrutura (torção de compatibilidade).



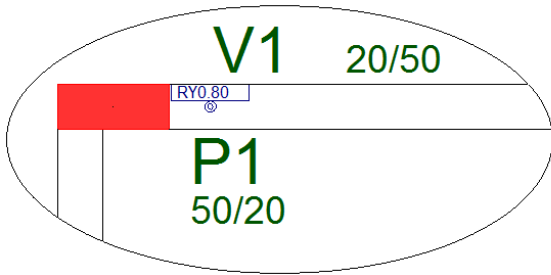
Caso contrário, isto é, em casos que a torção é necessária ao equilíbrio da estrutura (torção de equilíbrio), a rigidez à torção jamais poderá ser desprezada. Um exemplo típico: uma viga que segura uma laje em balanço. (ex.: divisor = 6,67)



Plastificações nos extremos de vigas

Na Grelha-TQS, podem-se definir plastificações nos extremos de vigas junto às ligações com o pilar, de tal forma a poder simular um eventual efeito não-linear nessas regiões (ex.: fissuração).

Essas plastificações podem ser definidas no Modelador Estrutural ou nos critérios gerais de grelha. Na primeira opção, é necessário indicar a extremidade da viga que será plastificada, e é indicada quando se deseja plastificar uma ligação específica.



Já, por meio da segunda opção, pode-se definir uma plastificação geral, válida para todas as ligações viga-pilar presente no pavimento.

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas"
2. Clique no botão "Pórtico-TQS"
3. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão "Critérios" e escolha a opção "Critérios Gerais"
4. Selecione a opção "Vigas" - "Engastamento Parcial" - (ENGVIG)"

O valor da plastificação, chamado no sistema de "fator de engastamento", na realidade, consiste no valor do fator de restrição à rotação entre a viga e o pilar (*fixity factor*). Isto significa que, um valor de 0,80 não corresponde exatamente a uma redução de 20% do momento total elástico, mas sim um valor próximo.

É muito importante lembrar que a plastificação nos extremos de vigas tem uma limitação, pois a mesma tem influência direta na diminuição da ductilidade da estrutura.

A definição de plastificações no modelo deve ser realizada de forma criteriosa. A NBR 6118, item 14.6.4.3 estabelece limites.

Rigidez à flexão de vigas-faixa

Pode-se definir um ponderador de rigidez à flexão para vigas-faixa do pórtico espacial. Isso pode ser utilizado, por exemplo, para simular o acréscimo de rigidez em vigas-faixa protendidas. Comando:

"Editar" - "Critérios" - "Critérios Gerais" - "Vigas" - Viga-Faixa" - "Divisor de inércia a flexão"

Deformação por cortante

No Pórtico-TQS, é possível levar em conta a deformação por cortante no processamento do pórtico espacial. Esse tipo de consideração pode ser importante em casos onde há a presença de elementos com seção transversal com altura elevada.

A deformação por força cortante pode ser considerada com a gravação das áreas da seção transversal de cada barra nas três direções principais no modelo do pórtico.

Para ativar a deformação por cortante, é necessário ativar o critério geral apresentado a seguir, bem como regerar e reprocessar o modelo.

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas"
2. Clique no botão "Pórtico-TQS"

3. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão "Critérios" e escolha a opção "Critérios Gerais"

4. Selecione a opção "Modelo" - "Considera deformação por força cortante"

Comparativos Modelo IV e Modelo VI

De modo a apresentar um exemplo comparativo entre dois edifícios, um processado pelo Modelo IV e outro com o Modelo VI, iremos analisar os resultados obtidos de dois modelos simples.

Exemplo 1

Edifício hipotético composto por 10 pisos + fundação, conforme ilustrado a seguir.

Distância entre pisos igual a 3,0 m;

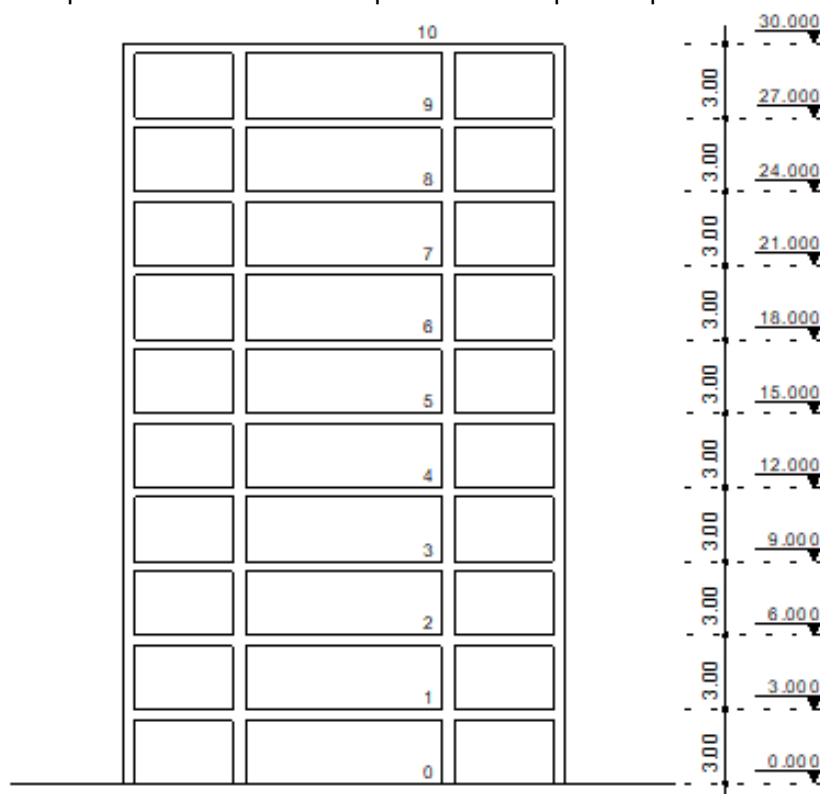
Concreto C40 para todos os elementos;

Sem redução de sobrecargas;

Análises dinâmicas do edifício e dos pavimentos ativadas;

Vento nos 4 sentidos padrões ($CA = 1,3$ e $V0 = 38$ m/s);

Os oito pavimentos tipo são divididos em dois pavimentos: Tipo1 e Tipo2.



Em todos os pisos, a estrutura é idêntica, conforme a planta à seguir.

Estrutura com total simetria;

Distância entre eixo dos pilares igual a 6,0 m;

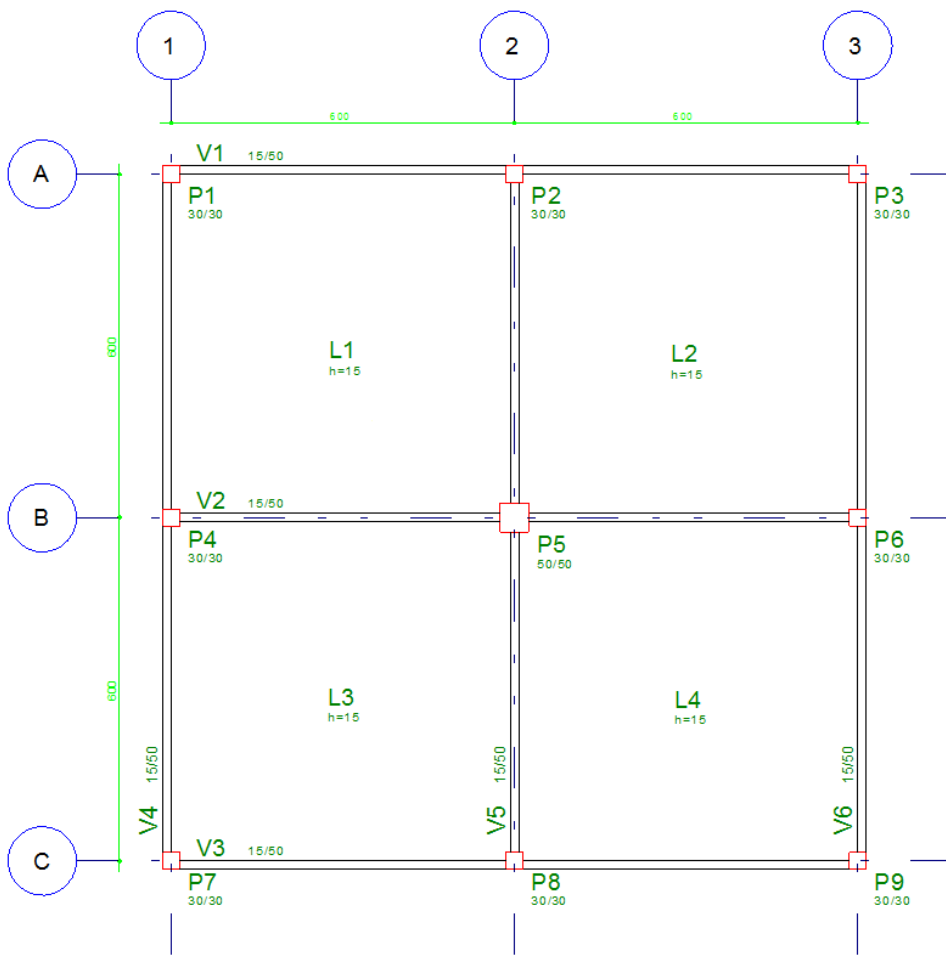
Pilares de canto e extremidade de 30 cm X 30 cm;

Pilar central de 50 cm X 50 cm;

Vigas de 15 cm X 50 cm;

Lajes maciças;

Fundação composta por sapatas de 200 cm X 200 cm X 100 cm sob os pilares de canto e extremidade e 300 cm X 300 cm X 150 cm sob o pilar central.



Estabilidade global e deslocamentos

Modelo	α	γz	Deslocamento Topo0,3 Vento
4	0,887	1,201	H/2410
6	0,852	1,184	H/2638

(Deslocamento/flechas em cm)

Consumo de aço

Modelo	LajesTipo1 - piso1	VigasTipo1 - piso1	PilaresTipo1 - piso1	TOTAL DO EDIFÍCIO
4	1.286,0	983,0	718,0	27.669,0
6	1.365,0	969,0	685,0	27.876,0

(Valores em kg)

Exemplo 2

Edifício hipotético composto por 9 pisos + transição + fundação, conforme ilustrado a seguir.

Distância entre pisos igual a 3,0 m;

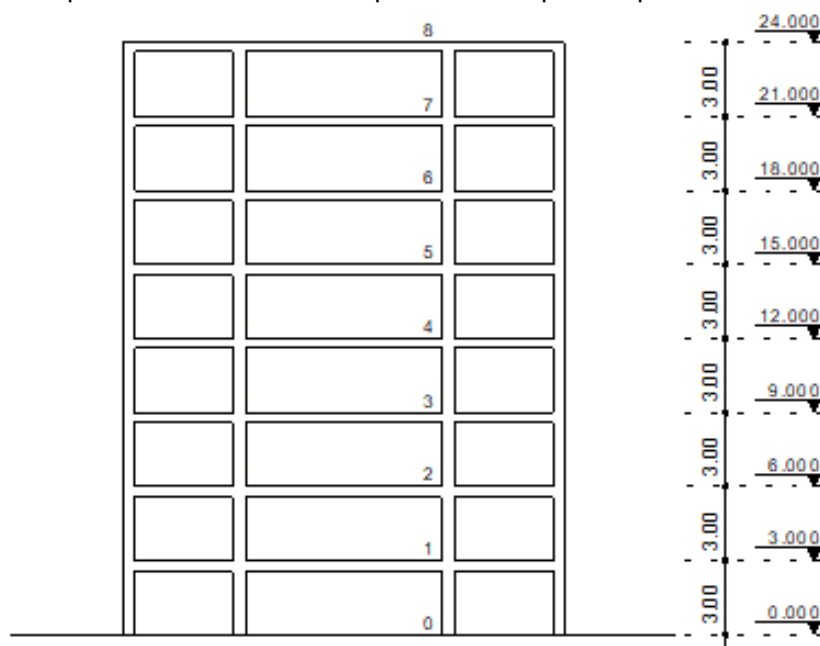
Concreto C40 para todos os elementos;

Sem redução de sobrecargas;

Análises dinâmicas do edifício e dos pavimentos ativadas;

Vento nos 4 sentidos padrões ($CA = 1,3$ e $V0 = 40$ m/s);

Os oito pavimentos tipo são divididos em dois pavimento: Tipo1 e Tipo2.



Em todos os pavimentos-tipo, a estrutura é idêntica, conforme a planta à seguir.

Estrutura com total simetria;

Distância entre eixo dos pilares igual a 6,0 m;

Pilares de canto de 40 cm X 40 cm;

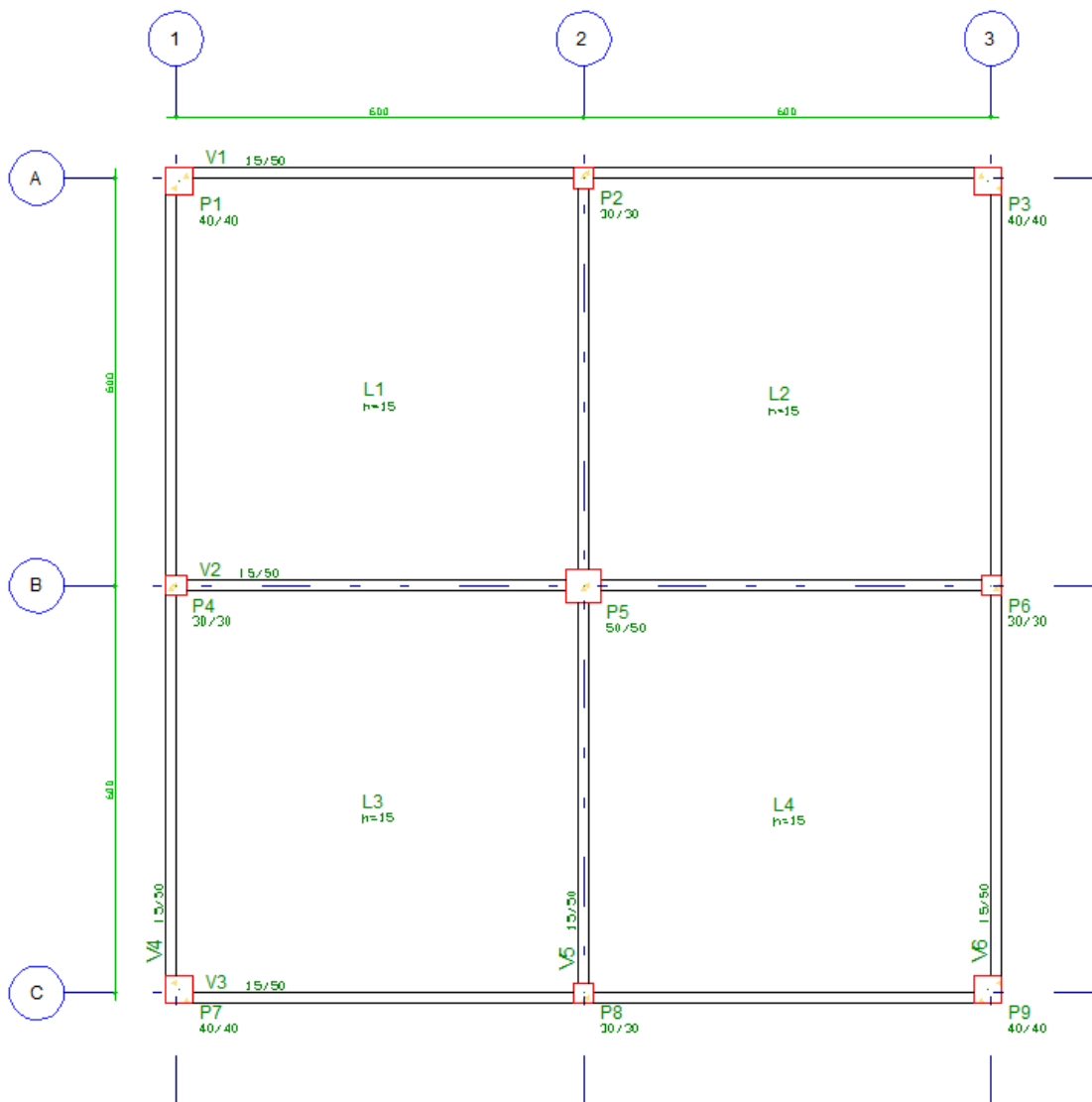
Pilares de extremidade de 30 cm X 30 cm;

Pilar central de 50 cm X 50 cm;

Vigas de 15 cm X 50 cm;

Lajes maciças;

Fundação composta por sapatas de 200 cm X 200 cm X 100 cm sob os pilares de canto e extremidade e 300 cm X 300 cm X 150 cm sob o pilar central.



Para a transição (Primeiro) foi utilizada a seguinte forma:

Estrutura com total simetria;

Distância entre eixo dos pilares igual a 6,0 m;

Pilares de canto de 40 cm X 40 cm;

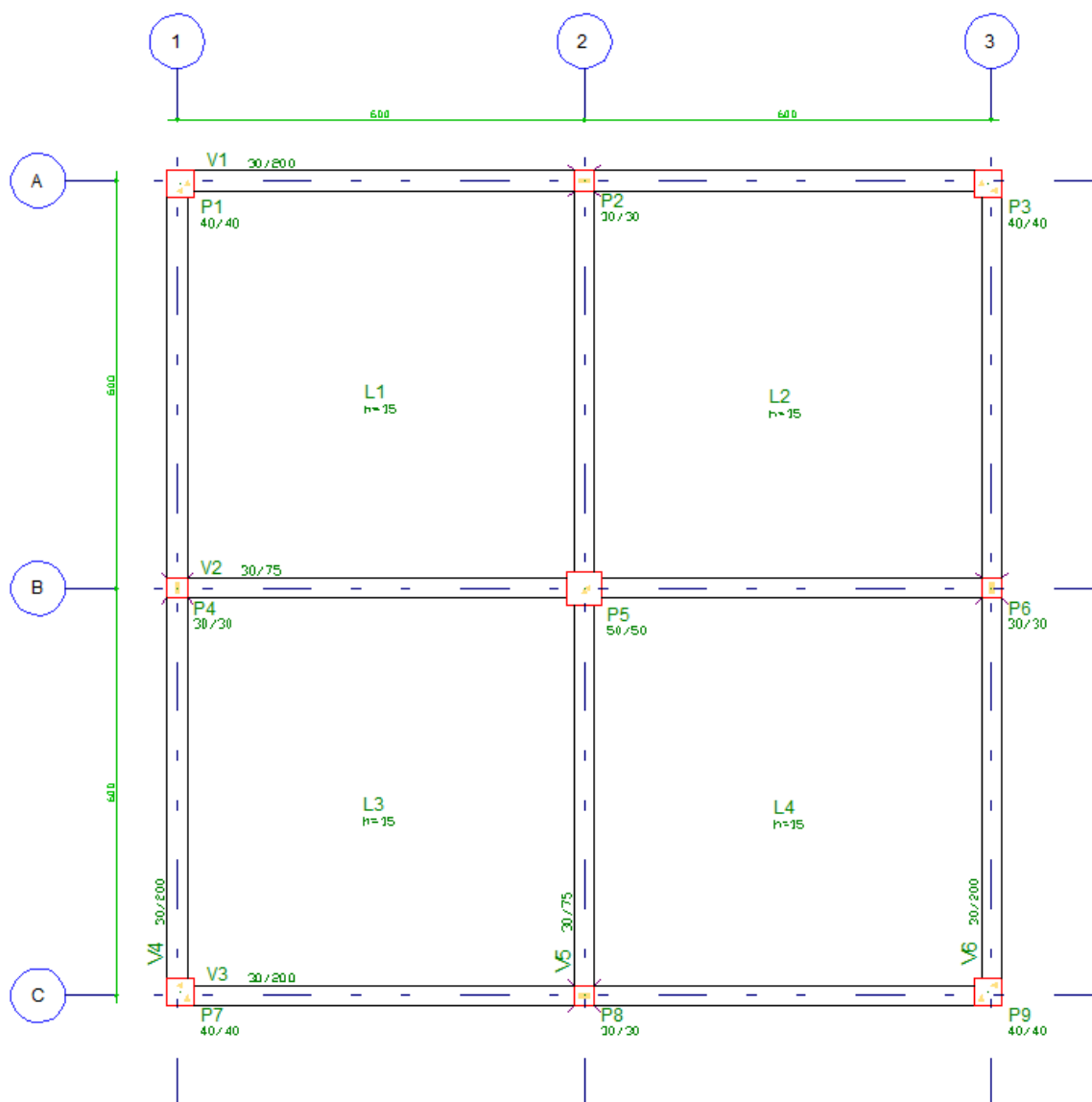
Pilares de extremidade de 30 cm X 30 cm;

Pilar central de 50 cm X 50 cm;

Vigas de transição de 30 cm X 250 cm;

Vigas de 30 cm X 75 cm;

Lajes maciças;



Estabilidade global e deslocamentos

Modelo	α	γ_z	Deslocamento Topo 0,3 Vento
4	0,696	1,101	H/5673
6	0,672	1,095	H/6132

(Deslocamento/flechas em cm)

Consumo de aço

Modelo	Lajes Tipo1 - piso1	Vigas Tipo1 - piso1	Pilares Tipo1 - piso1	TOTAL DO EDIFÍCIO
4	1.284,0	755,0	445,0	23.811,0
6	1.373,0	821,0	432,0	24.650,0

(Valores em kg)

Efeitos esperados - Modelo VI

A consideração das lajes no pórtico espacial resultará em uma série de efeitos em modelos processados com o Modelo VI:

Os edifícios tendem a ter menores deslocamentos globais (laterais);

As lajes poderão receber esforços devido a carregamentos horizontais (por exemplo, carregamentos devido ao vento);

As armaduras das lajes tendem a aumentar e as armaduras de vigas e pilares tenderam a diminuir;

Melhor consideração das condições de contorno de elementos inclinados;

Quantidade de armaduras total dos elementos estruturais tende a permanecer inalterada;

Algumas tipologias de edifícios (por exemplo, edifício em laje plana) que não atendiam a certos quesitos de norma agora podem ser passíveis de serem projetados;

Quanto maior a importância e dimensões (espessura) das lajes, mais alterações nas solicitações e armaduras surgirão;

Edifícios apertados (com predominância de vigas e pilares) e com lajes de espessura reduzida sofrerão pouquíssimas variações nas solicitações e armaduras, o que corrobora a adequação do Modelo IV;

Edifícios com pilares inclinados terão resultados mais próximos ao previsto;

Edifícios sob efeitos de temperatura, retração etc. serão melhor analisados devido à melhor discretização dos elementos estruturais;

Edifícios com pilares que nascem sobre lajes (vigas faixa) serão melhor analisados devido à melhor discretização dos elementos estruturais;

Etc.

Restrições ao Modelo VI

Atualmente, o Modelo VI apresenta algumas restrições de utilização que, em futuras versões tenderão a ser suprimidas.

Uma lista com as restrições é apresentada a seguir:

Pilaretes: atualmente a utilização deste tipo de pilar (utilizado essencialmente com elementos inclinados) não será possível;

Lajes protendidas: atualmente não incorporado ao Modelo VI;

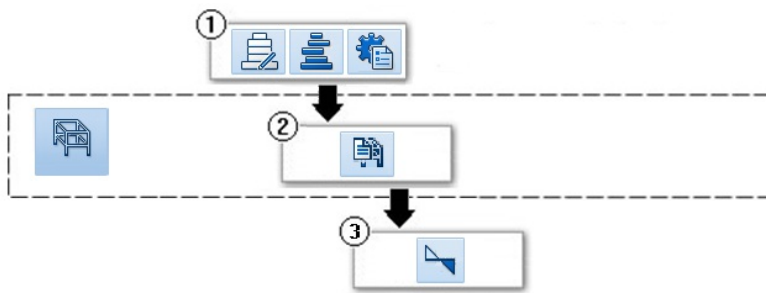
Processamento "isolado" dos pavimentos ou do pórtico: com a ativação do Modelo VI, o processamento de apenas um pavimento não estará mais disponível, uma vez que os esforços e deslocamentos devem ser obtidos pelo processamento do modelo único;

Pórtico Não-Linear Físico e Geométrico: não está disponível para o modelo VI. Se necessário, utilizar o Modelo IV neste caso.

Redução de sobrecargas: em edifícios com a redução de sobrecargas ativada, para que a mesma seja considerada de forma 100 % precisa, é necessário definir pavimentos com repetição cujos pisos tenham coeficientes redutores idênticos. Caso contrário, o sistema automaticamente adotará, por segurança, o menor redutor (mais carga).

Geração do modelo de pórtico espacial

Toda a geração do modelo de pórtico espacial nos Sistemas TQS é executada de forma 100% automática e é baseada diretamente nos dados de entrada (Dados do Edifício + Modelador Estrutural), bem como a combinação dos Critérios definidos pelo Engenheiro.



- (1) Dados do edifício + Modelo estrutural + Critérios de projeto
- (2) Geração modelo e possibilidade de edição dos dados de pórtico espacial
- (3) Processamento do pórtico espacial

Pré-requisitos

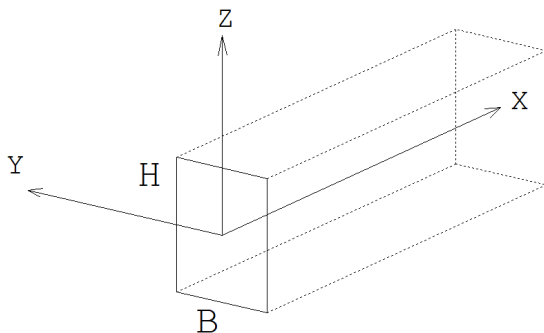
A geração dos pórticos espaciais ELU e ELS é realizada automaticamente durante o processamento global do edifício.

Para gerar um pórtico isoladamente dentro do subsistema Pórtico-TQS, é necessário que o processamento da fôrma e da grelha dos pavimentos sejam previamente realizados.

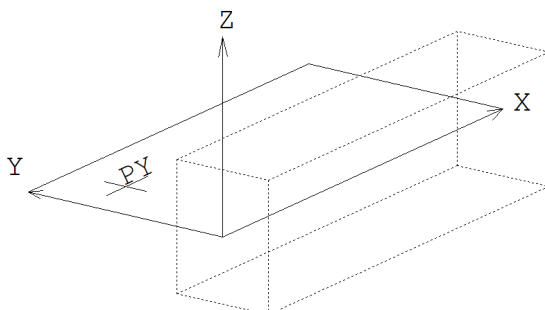
Geometria

Todas as coordenadas do pórtico são definidas no sistema global. Neste sistema, os eixos X e Y globais coincidem com os definidos nas plantas de formas (Modelador estrutural), e o eixo Z sobe junto com o edifício (valem as cotas Z calculadas no esquema do edifício).

As vigas e pilares passam a ser barras do pórtico. As barras têm um sistema local com o eixo X na direção da barra.



As barras são definidas por um nó inicial e um final. Porém, isto não define perfeitamente os eixos locais no espaço, que ainda podem "girar" em torno do eixo X. Sendo assim, a definição dos eixos locais é completada por um ponto adicional que chamamos de PY, que está num lugar qualquer do plano XY, no lado positivo de Y.

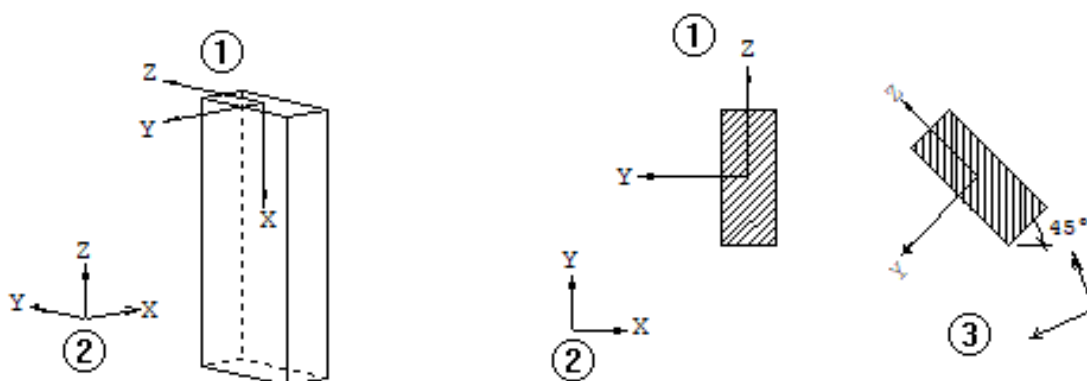


Nas vigas, o eixo Y é paralelo ao plano XY global. O sistema gera para cada barra de viga um ponto PY igual ao nó final da barra girado 90° em relação a um eixo vertical passando pelo nó inicial. É gerada uma barra para cada trecho de viga, sendo os nós numerados sequencialmente do trecho inicial ao final.

Com este sistema local, os usuais diagramas de momento fletor nas vigas correspondem aos momentos MY, enquanto que os diagramas de força cortante correspondem às forças FZ. MX é o momento torsor na viga.

As barras dos pilares são geradas com o nó inicial no piso de cima e o nó final no piso de baixo, do mesmo modo

como os pilares são vistos na planta de formas, de cima para baixo. No sistema local do pilar, o eixo X aponta para baixo, paralelo e em sentido contrário ao eixo Z global. Já o Y local aponta em média para o sentido contrário do X global, e é **girado junto com o ângulo de rotação do pilar**. O Engenheiro precisa ter este ângulo em mente, para interpretar corretamente os diagramas de esforços no pilar.



(1) Sistema Local

(2) Sistema Global

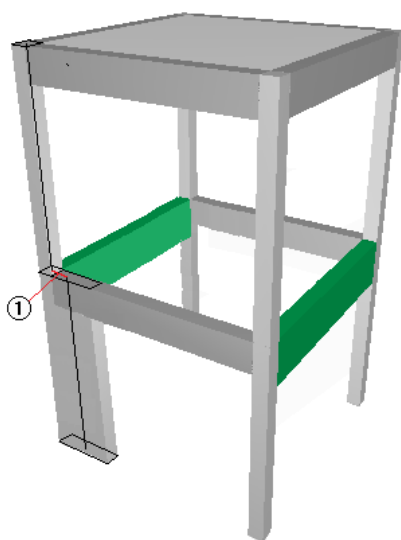
(3) Ângulo de rotação

Nos pilares, o ponto PY é locado à esquerda do centro de gravidade do pilar, rodado junto com o eixo Y. Lembre-se de que quando a forma é gerada através do modelador estrutural de formas, os pilares retangulares recebem ângulo de rotação igual ao definido graficamente.

O sistema local do pilar faz com que os momentos principais para detalhamento sejam MY e MZ.

Pilar com variação de seção

Nos pilares com variação de seção, o sistema gera uma barra rígida horizontal ligando o centro de gravidade do topo do pilar de baixo com o de cima.



(1) Barra rígida

Viga com variação de seção

Nas vigas de seção variável, cada seção é definida por uma barra diferente. Todas as barras são colocadas em um eixo único, sem consideração de variações em planta ou elevação.

Posição das barras

As vigas são representadas por barras passando pelo seu eixo central, na mesma cota do piso. Por padrão, não são considerados rebaixamentos, ou furos. Os pilares são representados por barras passando pelo centro de gravidade da seção.

Os pisos são gerados de baixo para cima, e em cada piso, primeiro as vigas e depois os pilares. Os nós são criados e numerados na mesma ordem da criação das barras.

Os pilares definidos com rebaixo na fundação através do modelador estrutural de formas terão a barra correspondente modificada de acordo.

Vigas com seção T

Pode-se considerar ou não a presença da mesa colaborante (laje) nas seções das vigas do pórtico espacial. Comando:

"Editar" - "Critérios" - "Critérios Gerais" - "Vigas" - "Seção T"

A seção T é calculada com altura da laje, e largura da mesa que depende do vão da viga.

Diafragma rígido

No Pórtico-TQS, no Modelo IV, as lajes são consideradas como diafragmas rígidos e o modelo de pórtico espacial contém barras exclusivamente de vigas e pilares.

No Modelo IV, os efeitos de diafragma das lajes são simulados por meio do enrijecimento das vigas à flexão lateral ou por barras adicionais com grande rigidez axial e pequena rigidez à flexão.

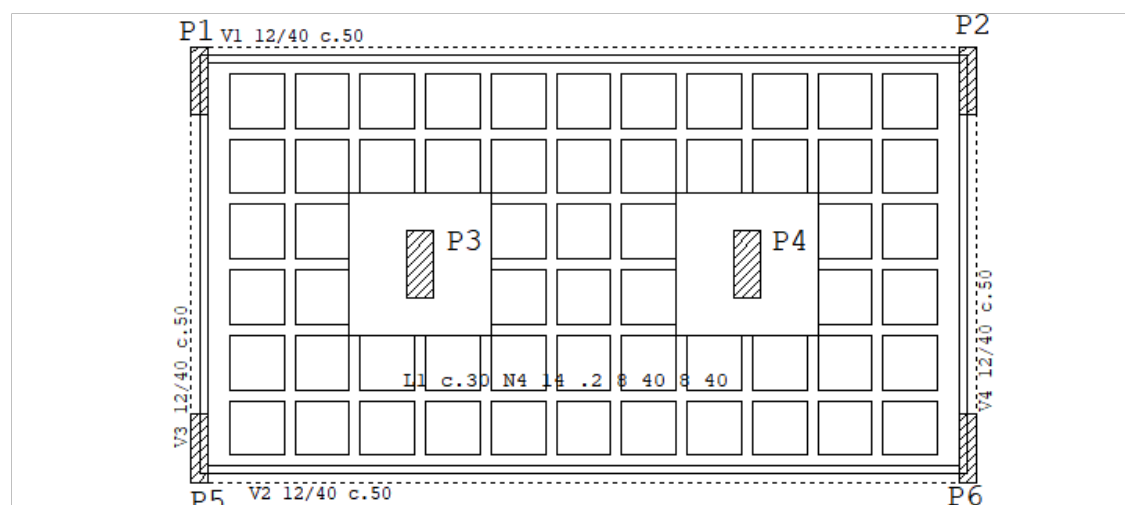
1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas"
2. Clique no botão "Pórtico-TQS"
3. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão "Critérios" e escolha a opção "Critérios Gerais"
4. Selecione a opção "Vigas" - "Rigidez Lateral"

A opção "Considera rigidez lateral alta" pode valer "Em toas as vigas", ou como o mais indicado, valer apenas em "Vigas com laje", é possível especificar o incremento da rigidez lateral das vigas, definindo um valor para "Valor fixo da rigidez lateral"

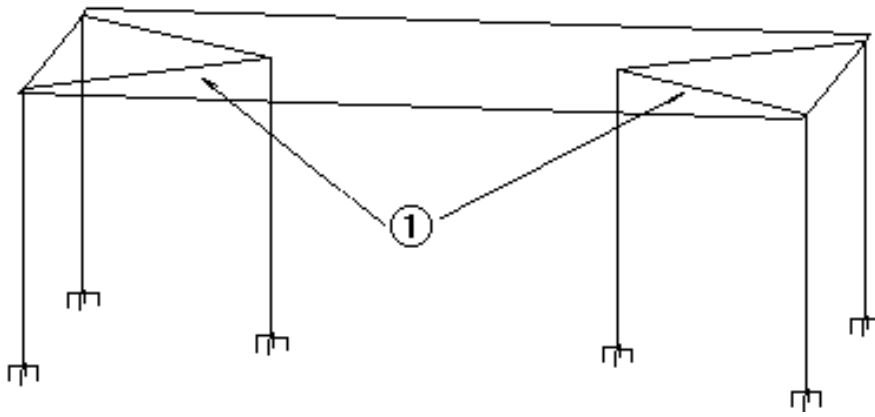
Para os casos necessários de (barras adicionais) somente é adotado em modelos onde os pilares sustentam diretamente as lajes sem receber o apoio de vigas (Ex.: edifícios compostos por pavimentos com lajes lisas, sem vigas). Os pilares são ligados aos 2 pilares mais próximos.

Para estes casos, é possível especificar o "Valor da rigidez lateral alta" e controlar o "Multiplicador da rigidez lateral".

Por exemplo, na planta de formas abaixo, temos 2 pilares (P3 e P4) que recebem carga direta da laje.



No modelo do pórtico, estes pilares serão ligados aos pilares mais próximos, como na figura.



(1) Ligações de grande rigidez lateral e axial

As barras usadas na ligação têm grande rigidez axial e à flexão lateral, e pequena rigidez à flexão vertical.

Materiais

Os dados dos materiais utilizados no modelo de pórtico espacial (E, G, etc.) são atribuídos de acordo com a "Classe de Concreto" especificada na aba "Materiais" na edição dos Dados do Edifício.

As definições das Classes de Concreto e os atributos de cada Classe.

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Edifício"
2. Clique no botão "Critérios Gerais" e escolha a opção "Classes de Concreto"

Caso os valores das colunas f_{ctkm} , f_{ctki} , E_{ci} , E_{cs} , etc. estiverem com valores zerados, serão utilizados os valores prescritos pela NBR6118 e que tem como base o valor do f_{ck} .

Massa específica do concreto

O "Peso específico do concreto" pode ser particularmente controlado isoladamente dos demais atributos do concreto na edição dos Critérios Gerais.

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Edifício"
2. Clique no botão "Critérios Gerais" e escolha a opção "Classes de Concreto"
3. Escolha a opção "Dados Gerais" - "Massa específica do Concreto"

O valor do "Massa específica do concreto" definido diretamente na edição de critérios, será restabelecido, conforme a Classe do Concreto a cada edição dos Dados do Edifício.

Módulo de elasticidade

A NBR6118 introduziu formulação para determinação do módulo de elasticidade do concreto com base no tipo de agregado que é utilizado.

O coeficiente α_E , que representa a influência do agregado, pode ser definido no arquivo "Critério Gerais".

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Edifício"
2. Clique no botão "Critérios Gerais" e escolha a opção "Classes de Concreto"
3. Escolha a opção "Fck"

Coefficiente de expansão térmica

O sistema permite também a definição do coeficiente de expansão térmica, usado para cálculo de esforços devido a efeito de temperatura. O valor padrão é $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Vinculações

É possível atribuir os valores de coeficientes de mola dos apoios de todos os pilares do pórtico espacial, para cada grau de liberdade (3 translações e 3 rotações).

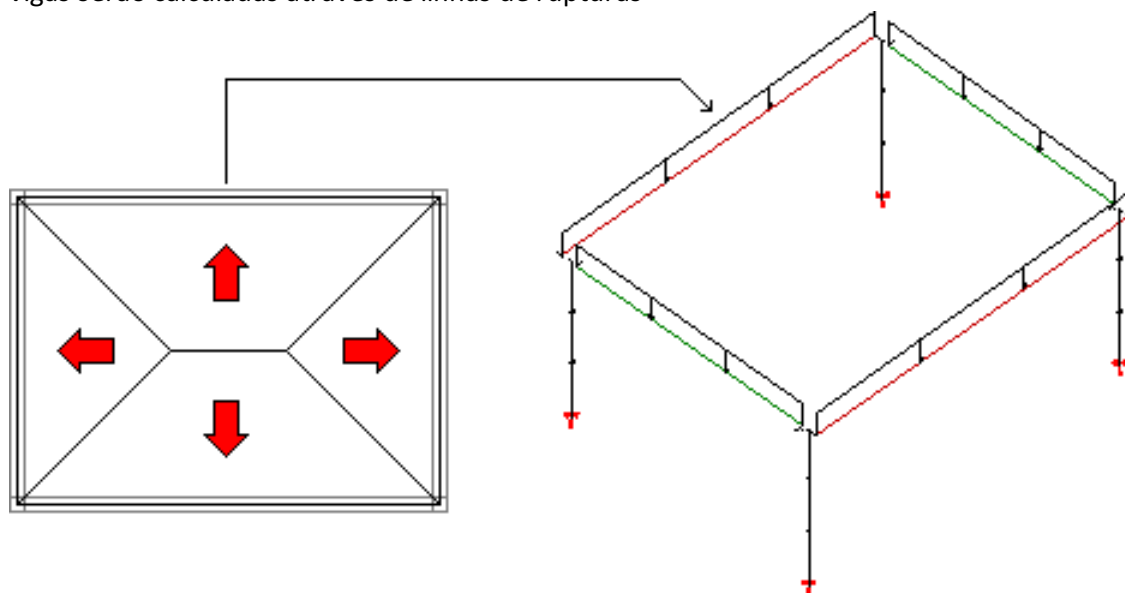
1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas" e clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão "Critérios" e escolha a opção "Critérios Gerais"
4. Selecione a opção "Pilares" - "Molas de fundação"

Opcionalmente, esses valores também podem ser definidos através da edição das "Condições de contorno" do pórtico espacial, onde os coeficientes de mola podem ser atribuídos pilar a pilar. Neste caso, esses últimos prevalecerão.

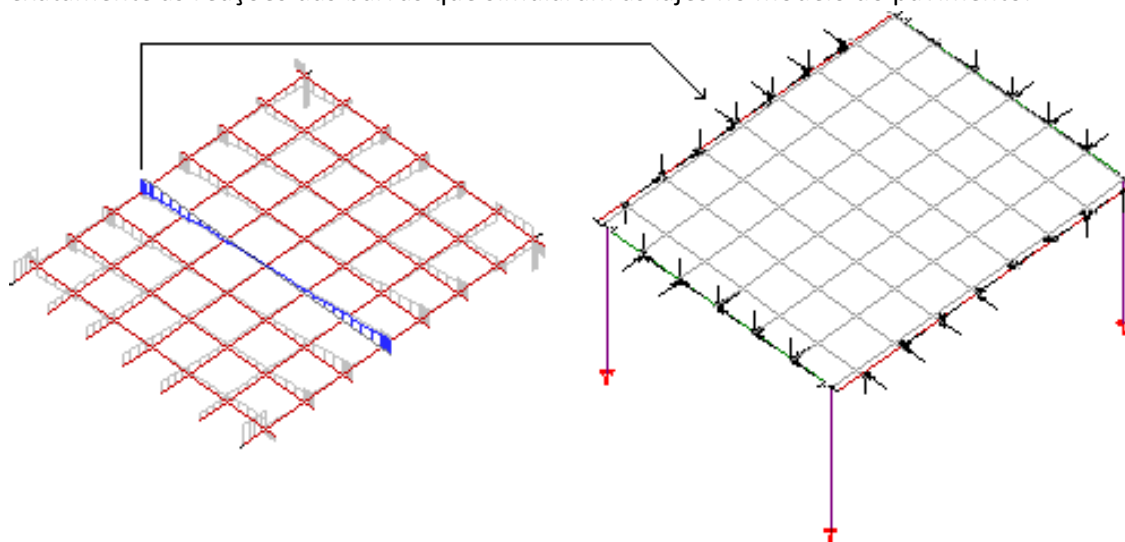
Cargas verticais

As cargas verticais das lajes que atuam como carregamentos nas barras das vigas no modelo do pórtico espacial, no Modelo IV, podem ser geradas de duas maneiras distintas:

Para os pavimentos onde as lajes forem calculadas sem a discretização das lajes em grelha, as cargas das barras das vigas serão calculadas através de linhas de rupturas



Para os pavimentos onde as lajes forem calculadas com grelha de vigas e lajes, as cargas das barras das vigas serão exatamente as reações das barras que simularam as lajes no modelo do pavimento.

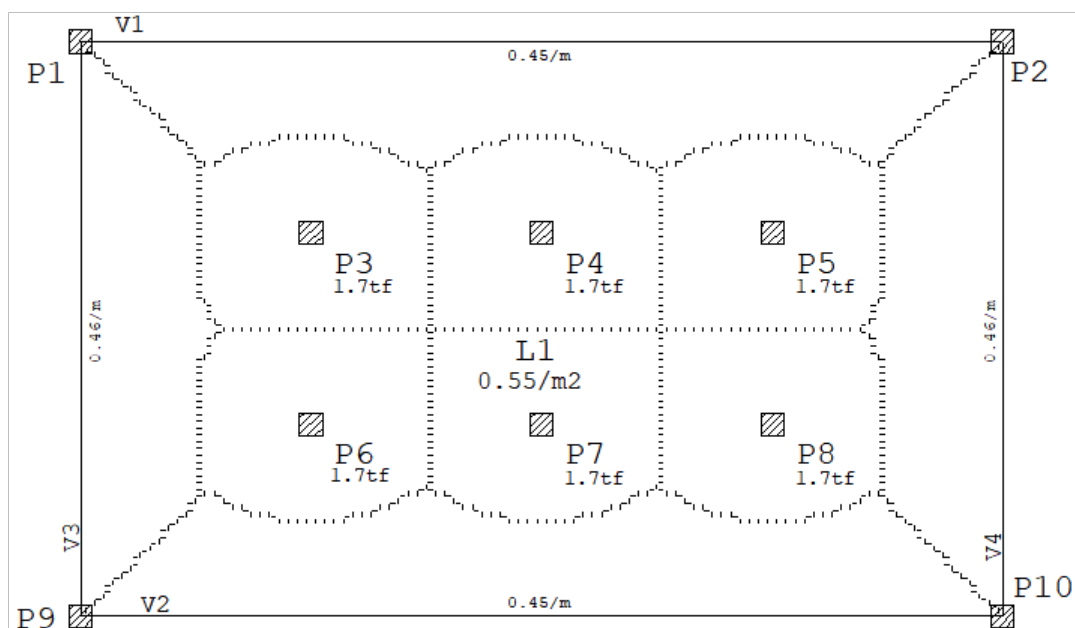


Carga vertical nos pilares que recebem lajes planas

Nos edifícios com pavimento tipo em laje plana (sem vigas), um modelo usual é o de cálculo de esforços solicitantes

devido ao carregamento vertical piso a piso através de grelha e solicitações devido a carregamentos horizontais (vento) por pórtico espacial. O refinamento de cálculo dos pisos é necessário, pois o comportamento das lajes planas não é trivial.

Mesmo se não levamos em consideração os esforços no pórtico devido às cargas verticais, o sistema pode gravar este carregamento, distribuindo de maneira simplificada a carga das lajes para as vigas e pilares. Este carregamento é utilizado no cálculo de estabilidade global do edifício.



No Modelo IV e quando as lajes não estão discretizadas por Grelha, a distribuição de cargas das lajes para vigas e pilares realizada pelo sistema, quando existem pilares suportando diretamente lajes, é apenas uma estimativa, cuja precisão varia bastante com a geometria das lajes. Para estes casos é recomendado a escolha do Modelo VI.

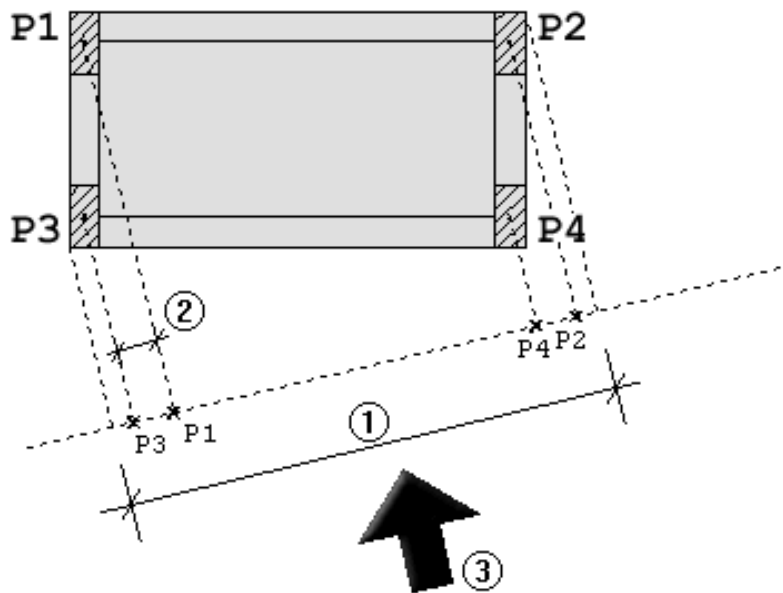
Ação do vento

Na edição dos Dados do edifício, abas "Cargas – Vento", são definidos todos os parâmetros necessários para análise dos efeitos de vento na estrutura.

A partir desses dados, o Sistema TQS carrega automaticamente o pórtico espacial para se efetuar uma análise estática do vento. Resumidamente, isso é realizado da seguinte forma:

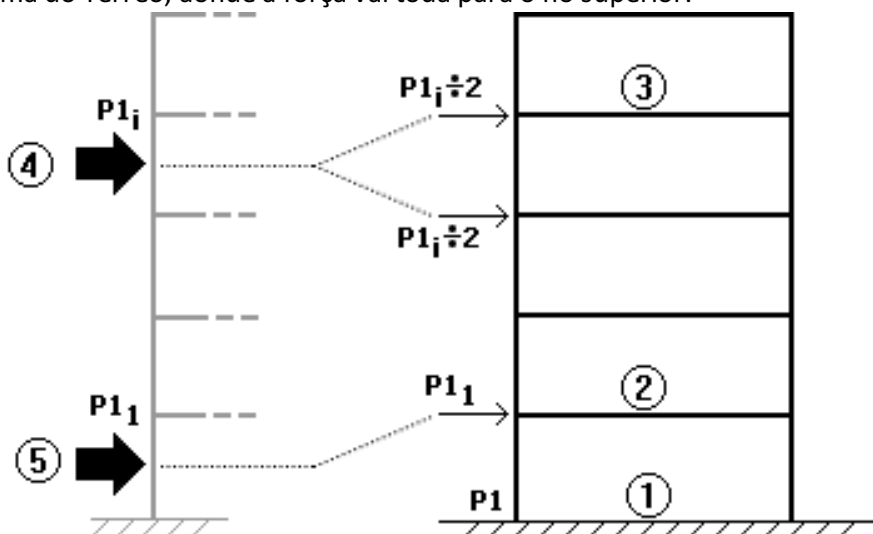
Para cada piso da edificação acima do nível do Térreo, determina-se sua cota.

Nesta cota, define-se a geometria da fôrma e escolhe-se uma linha arbitrária ortogonal à direção do vento. Sobre essa linha, projetam-se os extremos do edifício e os centros de gravidade dos pilares, conforme mostra a figura a seguir.



- (1) A projeção dos extremos sobre a linha define a (1) largura do edifício em que atuará o vento.
- (2) A divisão da linha arbitrária pela projeção dos centros dos pilares forma trechos entre estes. Calcula-se a área que receberá vento nessa direção com a largura do edifício e o pé-direito do piso.
- (3) Calcula-se a força total de vento no piso de acordo com a NBR 6123.

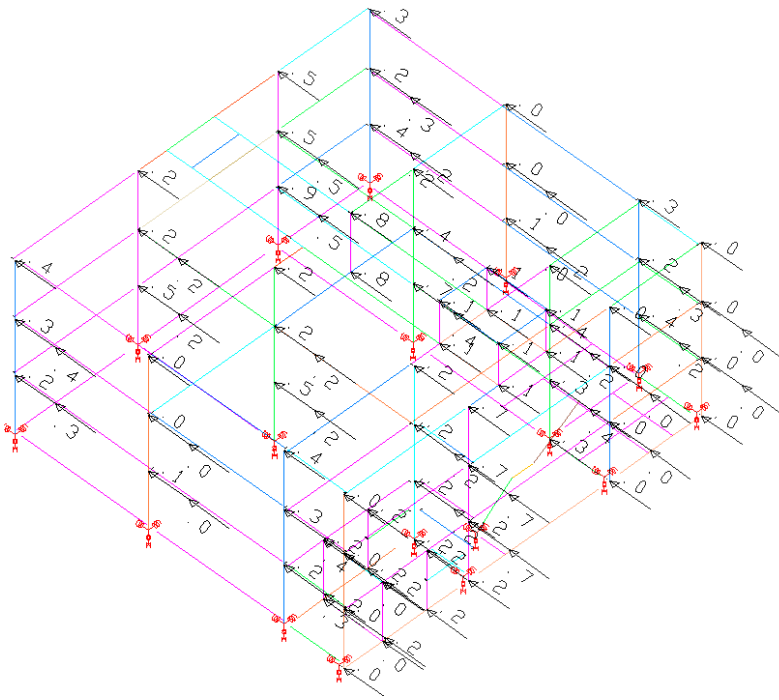
Essa força total é distribuída entre os nós dos pilares no piso, proporcionalmente a uma área de influência de cada pilar. Cada pilar terá influência da metade do trecho anterior até a metade do trecho posterior. Essa força calculada para cada pilar é distribuída metade no nó superior e metade no nó inferior do lance, a menos do primeiro piso acima do Térreo, aonde a força vai toda para o nó superior.



- (1) Piso Térreo
- (2) Piso 1
- (3) Piso i
- (4) Força no Piso i
- (5) Força no Piso 1

Os resultados da distribuição do vento nos pisos podem ser acessados no relatório de geração do modelo.

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas" e clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão visualizar "Relatórios"
3. Escolha a opção "Geração do modelo "



Vale lembrar que a ação do vento é automaticamente combinada com as demais ações variáveis tanto no Estado Limite Último quanto no Estado Limite de Serviço.

Condições de contorno

O Pórtico-TQS possui um programa que permite especificar condições de contorno no pórtico espacial. Com ele, por exemplo, você pode definir restrições de apoio (coeficientes de mola) específicas para cada pilar, que serão atribuídos no modelo durante a sua geração.

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas" e clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão "Critérios"
3. Escolha a opção "Condições de Contorno"

O programa de edição de condições de contorno engloba não apenas restrições de apoio, mas também permite atribuir redutores de inércia à flexão e à torção para vigas e pilares (de modo a simular plastificações) e definir articulações no topo e na base de pilares do edifício (de modo a transferir esforços para outros elementos mais importantes).

Carregamentos

O Pórtico-TQS possui um programa que permite o total controle de todos os casos de carregamento e combinações ações a serem considerados e analisados no modelo de pórtico espacial. Comando:

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas" e clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão "Critérios"
3. Escolha a opção "Casos/Combinações de Carregamentos"

Nesse editor, por exemplo, podem-se criar novos casos de carregamento, definir novas combinações, alterar ponderadores, etc.

É importante lembrar, no entanto, que você deve fazer estas modificações somente após a definição final do edifício, pois se você regerar o modelo de pórtico espacial ou editar os Dados do Edifício, você perderá todas as alterações realizadas nesse editor.

O uso desse programa somente é indicado para alterar condições muito particulares, não tratadas automaticamente

pelo sistema.

É recomendado definir os carregamentos e combinações do pórtico espacial durante a definição dos Dados do Edifício.

Relatório de geração do modelo

Trata-se de um relatório que contém todos os dados e resultados da geração do modelo de pórtico espacial. Para acessar a este relatório, execute o comando:

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas" e clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão visualizar "Relatórios"
3. Escolha a opção "Geração do modelo"

No fim desse relatório, encontram-se os resultados de carregamentos de vento por piso e em cada sentido de incidência de vento.

Edição de dados

O Pórtico-TQS possui um programa que permite modificar interativamente os dados do modelo de pórtico espacial. O seu uso é indicado somente para casos especiais não contemplados automaticamente pelo sistema.

Para carregar o programa de edição de dados, execute o comando:

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas" e clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão Editar "Dados de Pórtico"

Dentre as edições possíveis, podemos citar alguns exemplos: criar novas barras, novos carregamentos, modificar seções, adicionar efeito de temperatura, definir cargas trapezoidais, introduzir recalques de apoio, alterar a posição de uma carga, etc. Enfim, esse programa permite o total controle do modelo de pórtico espacial.

É importante lembrar, no entanto, que você deve fazer estas modificações somente após a definição final do edifício.

Se você modificar o edifício posteriormente, e regenerar o modelo de pórtico espacial, você perderá todas as alterações feitas nesse editor.

Processamento

O processamento de um pórtico espacial é baseado no arquivo de dados do pórtico (*.POR).

Os resultados (deslocamentos nodais, esforços nas barras e reações de apoio) são obtidos a partir de uma análise matricial tradicional baseada no método dos deslocamentos ($[K]\cdot\{u\}=\{F\}$), e são calculados pelo chamado resolvidor ou *solver*.

Nos Sistemas TQS, há dois resolvidores disponíveis: TQS e Mix[®] (disponível somente em certos pacotes). Em ambos, o processamento gera resultados idênticos e leva em conta a matriz em banda para otimizar o tempo de solução. Porém, o resolvidor Mix[®] é muito mais rápido.

Existem duas maneiras de gerar e processar o modelo do pórtico espacial. A primeira alternativa, e a mais recomendada, é utilizar o processamento global, onde todo o cálculo é feito de forma completa, evitando-se assim a possibilidade de "pular" alguma etapa importante.

Alternativamente, pode-se executar o processamento isoladamente, dentro do subsistema Pórtico-TQS

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas" e clique no botão "Pórtico-TQS"

2. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão Processar "Geração do modelo".

Essa alternativa é apenas recomendada para casos onde se deseja fazer simples testes.

Procure sempre gerar e processar o modelo de pórtico espacial por meio do processamento global.

Análise de resultados

O processamento do modelo de pórtico espacial resulta em deslocamentos nodais (3 translações e 3 rotações), esforços nas extremidades das barras (força normal, cortantes, momentos fletores e torsor) e reações nos apoios.

Para visualizar esses valores com detalhes num relatório alfanumérico, no subsistema Pórtico-TQS:

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas" e clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão visualizar "Relatórios"
3. Escolha a opção "Processamento de Esforços"

Por padrão, são incluídos nesse relatório apenas os valores das reações de apoio. Porém, é possível gerar uma listagem completa por meio da configuração de critérios gerais do Pórtico-TQS:

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas" e clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão Editar "Critérios"
3. Escolha a opção "Critérios Gerais" e clique no botão "Listar"

Somatória de cargas e reações

É importante notar que para caso de carregamento o relatório emite os valores da somatória de cargas aplicadas e da somatória das reações de apoio.

Caso haja uma diferença acentuada desses valores, o processamento do pórtico espacial será finalizado com erro. Essa imprecisão numérica usualmente ocorre quando existem elementos com rigidezes muito discrepantes no modelo estrutural. Ex: barras curtas com inércias extremamente elevadas.

As tolerâncias que definem a imprecisão numérica são definidas nos critérios gerais do Pórtico-TQS, Comando:

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas" e clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão Editar "Critérios"
3. Escolha a opção "Critérios Gerais" e escolha a opção "Precisão de resultados"

Relatório de esforços

É possível gerar um relatório alfanumérico com resultados em vigas e pilares por meio do comando:

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas" e clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Na aba "Pórtico-TQS", clique no Processar "Relatório de Esforços"

Nesse caso, o sistema automaticamente detecta quais nós e barras simulam cada elemento estrutural, para visualizar este relatório.

3. Na aba "Pórtico-TQS", clique no botão Visualizar "Relatórios"
4. Escolha a opção "Relatório de Esforços"

Recursos gráficos de pórtico espacial

A maneira mais eficiente de se analisar os resultados obtidos do processamento de um pórtico espacial nos Sistemas TQS é por meio de um visualizador gráfico, que será apresentado com detalhes no item a seguir.

Validação de resultados

Todo modelo numérico, por mais sofisticado que seja, possui limitações. Afinal de contas, trata-se de uma aproximação da estrutura real. Inúmeras hipóteses são adotadas de tal forma a possibilitar seu cálculo.

É indispensável que o Engenheiro sempre valide os resultados obtidos durante a análise estrutural, pois por meio dela é que se "enxerga" o como o edifício está se comportando.

Procure utilizar todos os recursos gráficos disponíveis no sistema para avaliar os resultados. Procure averiguar como a estrutura está sendo modelada no computador. É nessa hora que o Engenheiro deve usufruir dos benefícios proporcionados pela informática.

Transferência de Esforços

No subsistema Pórtico-TQS, existem comandos de transferência de esforços de tal forma a integrar os resultados obtidos pelo processamento do pórtico espacial com o dimensionamento dos elementos estruturais (Fundações, pilares, vigas e lajes).