Estabilidade Global e 2ª Ordem

Este assunto está subdividido em:

Avaliação da estabilidade global de um edifício.
Cálculo dos efeitos globais de 2ª ordem em uma estrutura de concreto armado.
No primeiro tópico, será demonstrado como o Sistemas TQS calcula os coeficientes GamaZ e α, utilizados na verificação da estabilidade global de edifícios de concreto armado.

Já, no segundo, serão apresentados os dois processos presentes no sistema para calcular os efeitos globais de 2ª ordem: um método aproximado baseado no coeficiente GamaZ ($0{,}95 \cdot \gamma_z$) e outro baseado numa análise não-linear geométrica direcionada para estruturas de concreto armado (P-Delta em dois passos).

Estabilidade Global

A verificação da estabilidade global é um requisito de grande importância na elaboração do projeto estrutural de um edifício de concreto armado, e visa garantir a segurança da estrutura perante o Estado Limite Último de Instabilidade, situação na qual a capacidade resistente da estrutura é inferior ao incremento das solicitações à medida que as deformações aumentam.

Usualmente, essa avaliação é realizada mediante o cálculo dos chamados parâmetros de estabilidade.

Na prática, os dois parâmetros mais comuns são o coeficiente GamaZ e o coeficiente α, ambos calculados pelo Sistemas TQS.

Edição de critérios

Os critérios de projeto utilizados no cálculo dos parâmetros de estabilidade são definidos nos critérios gerais do Pórtico-TQS. Para acessá-los:

1. No Gerenciador do TQS, selecione a aba ”Sistemas” e clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Clique no botão “Critérios” e escolha a opção “Critérios gerais" e clique “OK”

No editor de critérios, são apresentados os principais critérios que controlam o cálculo dos parâmetros de estabilidade global.

3. Escolha a opção "Estabilidade global"

Pórtico ELU

Por se tratar de uma verificação essencialmente em Estado Limite Último (ELU), todo o cálculo dos parâmetros de estabilidade é realizado com os resultados do pórtico espacial ELU.

Portanto, para efetuar a análise da estabilidade global de um edifício, é necessário que a geração e o processamento do pórtico ELU tenham sido previamente realizados e validados.

> O pórtico espacial ELU é a base para o cálculo dos parâmetros de estabilidade.

Não-linearidade física

No pórtico ELU, por padrão, a não-linearidade física de vigas e pilares é considerada de forma aproximada, bem como é adotado o módulo de elasticidade tangente inicial do concreto (E_{ci}), conforme previsto no item 15.5.2 da NBR 6118. Esses requisitos são fundamentais para uma boa avaliação da estabilidade global do edifício.

Os valores dos coeficientes de não-linearidade física para vigas e pilares bem como o tipo de módulo de elasticidade do concreto (E_{ci} ou E_{cs}) podem ser configurados nos critérios gerais do Pórtico-TQS, opção "ELU".

Na edição dos critérios gerais do Pórtico-TQS, quando selecionamos "Estabilidade global" e “Cálculo de GamaZ”, pela configuração de "COENLF – Coeficiente de não-linearidade física" também é possível definir um redutor único de rigidez para vigas e pilares a fim de simular a não-linearidade física no cálculo dos parâmetros de estabilidade. Esse critério foi mantido somente para compatibilidade com projetos antigos. Procure sempre definir os coeficientes redutores de rigidez para vigas e pilares na aba "ELU", conforme indicado na figura anterior, e manter o valor geral "COENLF = 1,0".

Coeficiente GamaZ

O coeficiente GamaZ é um parâmetro que permite avaliar a estabilidade global de um edifício de concreto armado por meio de uma estimativa da magnitude dos efeitos de 2ª ordem perante os efeitos de 1ª ordem na estrutura.

Trata-se de um coeficiente amplamente utilizado na prática atual de projetos. Sua formulação foi inteiramente criada e deduzida pelos Engenheiros Augusto Carlos de Vasconcelos e Mário Franco, e foi demonstrada pela primeira vez no trabalho "*Practical Assessment of Second Order Effects in Tall Buildings*, Rio de Janeiro, 1991".

O cálculo do coeficiente GamaZ presente nos Sistemas TQS segue a formulação descrita no item 15.5.3 da NBR 6118, indicada a seguir:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

O cálculo dos valores de $M_{tot,d}$ e $M_{1,tot,d}$ utiliza resultados obtidos da análise linear do pórtico espacial ELU, e depende da aplicação de forças horizontais na estrutura.

Nos Sistemas TQS, o coeficiente GamaZ é calculado para cada um dos casos de vento definidos no edifício. Nos casos padrões, portanto, em que a ação do vento é definida em 4 sentidos, pode-se avaliar a estabilidade global do edifício a 0º (+X), 90º (+Y), 180º (-X) e 270º (-Y).

O momento de tombamento ($M_{1,tot,d}$) é calculado por meio da somatória do produto das cargas horizontais projetadas na direção do vento pela suas distâncias à cota inicial do pórtico. Somente são consideradas cargas horizontais entre a cota inicial e final definidas nos dados do edifício.

O momento adicional ($M_{tot,d}$) é calculado por meio da somatória do produto das cargas verticais nodais pelos seus respectivos deslocamentos horizontais projetados na direção do vento. Para carga sobre barras, considera-se o deslocamento médio de seus nós extremos.

Carga vertical reduzida

No cálculo do valor de $M_{tot,d}$, podem ser consideradas as cargas verticais totais ou reduzidas (desde que a redução de sobrecargas esteja ativada nos dados do edifício), conforme o critério geral do Pórtico-TQS definido em "Estabilidade global", opção "Cargas verticais p/ cálculo dos momentos de 2ª ordem".

Formulação de segurança

Pode ser levada em conta a formulação de segurança definida no item 15.3.1 da NBR 6118, com $\gamma_{f3} = 1{,}1$. Esse coeficiente pode ser configurado nos dados de edifício, aba "Cargas", aba "Verticais", botão "Avançado (superior)".

O que se objetiva com essa consideração é suprir da análise dos esforços de 2ª ordem (possui uma resposta não-linear), o fator do coeficiente de segurança que trata das aproximações de projeto (γ_{f3}), de tal forma que os efeitos de 2ª ordem calculados com valores de cálculo fiquem ligeiramente menores que a análise efetuada com a aplicação direta de $\gamma_f = 1{,}4$ (que superestimam os efeitos de 2ª ordem), não podendo esquecer, obviamente, de complementá-los com γ_{f3} na obtenção do resultado final.

Isso afeta ligeiramente a fórmula de cálculo do coeficiente GamaZ:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}} \cdot \frac{1}{\gamma_{f3}}}$$

Note que para $\gamma_{f3} = 1{,}1$ o coeficiente GamaZ é menor que o valor obtido com $\gamma_{f3} = 1{,}0$. Cabe ao Engenheiro definir o valor de γ_{f3} a ser adotado durante o processamento.

Coeficiente FAVt

Conforme já foi colocado, o cálculo do coeficiente GamaZ é efetuado para cada caso isolado de vento definido no edifício. Nessa análise, os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais não são considerados e o resultado final não depende da magnitude das forças horizontais (vento).

Nos Sistemas TQS, é calculado também o chamado fator de amplificação de esforços horizontais, ou simplesmente FAVt.

Esse fator é calculado para cada combinação ELU definida no edifício, utilizando-se exatamente a mesma formulação do coeficiente GamaZ. A diferença é que os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais são considerados e o resultado final passa a depender da magnitude das forças horizontais (vento).

O cálculo do FAVt para cada combinação ELU se faz necessário principalmente para aplicação do método aproximado para avaliação dos efeitos globais de 2ª ordem ($0{,}95 \cdot \gamma_z$) proposto pela NBR 6118. Porém, seu valor também pode ser tomado como parâmetro de estabilidade global.

Quando os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais atuam no mesmo sentido do vento presente na combinação analisada, o FAVt é maior que o $_z$. Em situações contrárias, isto é, quando os deslocamentos oriundos das cargas verticais atuam em sentido oposto a do vento (favorecendo a estabilidade do edifício), o FAVt é menor que o GamaZ. Nesse caso, o sistema adota um valor mínimo para FAVt igual ao correspondente GamaZ calculado para o vento isolado presente na combinação.

O valor do carregamento vertical utilizado para o cálculo do $M_{tot,d}$ de cada combinação pode ser o carregamento vertical total ou o carregamento vertical da própria combinação. Esta última opção, além de questões associadas a redução de sobrecarga, também incorpora a variação do carregamento acidental entre "principal" e "secundária".

Coeficiente α

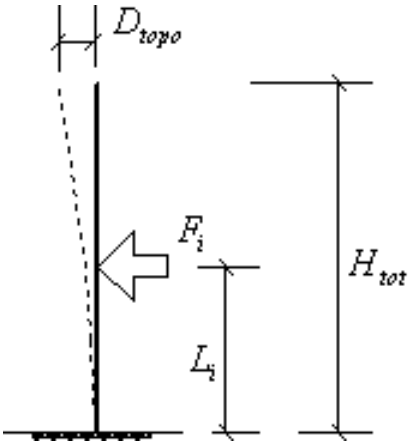
O cálculo do coeficiente α presente nos Sistemas TQS segue a formulação definida no item 15.5.1 da NBR 6118, indicada a seguir:

$$\alpha = H_{tot} \cdot \sqrt{N_k / (E_{cs} . I_c)}$$

Assim como o coeficiente GamaZ, o coeficiente α é calculado para cada um dos casos de vento definidos no edifício.

A carga vertical total do pórtico (N_k) é a soma de todas as cargas verticais. A altura H_{tot} é a diferença entre a cota final e inicial do edifício.

A rigidez equivalente ($E_{cs}.I_c$) é calculada por meio de uma formulação que considera uma barra vertical submetida a uma carga horizontal. Como o deslocamento no topo do pórtico ELU é conhecido (D_{topo}), determina-se a rigidez equivalente por meio de uma somatória que leva em conta cada força horizontal (F_i) aplicada no modelo com a sua respectiva distância de aplicação em relação à base do edifício (L_i), conforme mostra a figura a seguir.



$$(E_{cs}.I_c) = \frac{\sum[F_i.L_i^2.(H_{tot} - L_i/3)]}{2.D_{topo}}$$

Processamento

O cálculo dos parâmetros de estabilidade (GamaZ, α e FAVt) é realizado automaticamente durante o processamento global do edifício.

Esse cálculo também pode ser executado isoladamente dentro do subsistema Pórtico-TQS:

1. No "Gerenciador TQS", selecione a aba "Sistemas"
2. Com a aba "Pórtico-TQS" selecionada, clique no botão Processar "Estabilidade Global"

O arquivo será gerado na pasta espacial, e será aberto automaticamente.

Cabe lembrar que a edição de certos critérios de projeto exige a regeração e o reprocessamento do modelo de pórtico espacial ELU, e não somente uma atualização do cálculo dos parâmetros de estabilidade. Ex.: edição de coeficientes de não-linearidade física do pórtico ELU.

Resultados

Todos os resultados necessários para a avaliação da estabilidade global de um edifício podem ser visualizados em um relatório específico, que pode ser acessado dentro do subsistema Pórtico-TQS:

1. No "Gerenciador TQS", selecione a aba "Sistemas"
2. Com a aba "Pórtico-TQS" selecionada, clique no botão visualizar "Estabilidade Global"

Os valores máximos dos parâmetros de estabilidade global de um edifício também são apresentados no resumo estrutural, item "Estabilidade global".

Avaliação e classificação da estrutura

De acordo com o grau de deslocabilidade do edifício, que por decorrência ocasiona o aparecimento de efeitos de 2ª ordem, uma estrutura de concreto armado pode ser classificada como estrutura de nós fixos ou estrutura de nós móveis, conforme o item 15.4.2 da NBR 6118.

Essa classificação pode ser feita com base nos valores dos parâmetros de estabilidade. O item 15.5.2 da NBR 6118 define: se $\alpha < \alpha_1$, a estrutura é de nós fixos. Já, o item 15.5.3 da mesma norma indica: se $_z \leq 1{,}1$, a estrutura é de nós fixos.

Essa classificação da estrutura (nós fixos ou móveis) é bastante útil para definir o limite no qual os efeitos globais de 2ª ordem podem ou não serem desprezados durante a elaboração do projeto estrutural. De uma forma geral, esses limites se baseiam no fato de que o cálculo exato com a consideração dos efeitos de 2ª ordem torna-se irrelevante quando os mesmos não excedem 10% dos de 1ª ordem.

Essa classificação também é utilizada a definição dos limites de redistribuição de esforços, de acordo com o item 14.6.4.3 da NBR 6118.

No resumo estrutural dos Sistemas TQS, essa classificação é feita de acordo com o máximo valor do coeficiente GamaZ ou FAVt calculado para o edifício.

O valor limite de 1,1, utilizado para classificar a estrutura, pode ser configurado nos critérios gerais do Pórtico-TQS, em "Estabilidade global", botão "GamaZ p/ consideração da deslocabilidade da estrutura".

Nesse mesmo item, define-se qual o coeficiente (GamaZ ou FAVt) que deve ser utilizado para classificar a estrutura de acordo com o seu grau de deslocabilidade (nós fixos ou nós móveis).

Valores de referência

O Engenheiro pode, a seu critério, definir um valor máximo para o coeficiente GamaZ ou FAVt (depende do critério que acaba ser apresentado), de tal forma a estabelecer uma referência própria e pessoal para o nível de instabilidade de um edifício.

Esse valor é apresentado no resumo estrutural, e pode ser editado nos parâmetros de referência do resumo estrutural:

1. No Gerenciador-TQS, selecione a aba “Edifício"
2. Clique no botão "Resumo estrutural" e escolha a opção "Editar parâmetros de referência" e clique no botão “OK”
3. Na janela de edição “Resumo estrutural”, defina os valores conforme a sua preferência.

Quando o valor de referência é ultrapassado, automaticamente é emitido um aviso nesse relatório.

Cabe lembrar que o valor limite α_1 especificado no item 15.5.2 da NBR 6118 leva em consideração um majorador de cargas verticais de 1,4 e um coeficiente de não-linearidade física igual a 0,7. Como no cálculo do parâmetro α efetuado pelo sistema levam-se em consideração os coeficientes definidos no modelo do pórtico espacial ELU (ex.: 0,4 para viga e 0,8 para pilares), torna-se necessário então recalibrar o valor de α_1.

Deslocamentos horizontais no FAVt

Conforme já foi colocado, o valor de FAVt é calculado para cada combinação ELU e segue exatamente a mesma formulação do coeficiente GamaZ, porém levando-se em conta a influência dos deslocamentos horizontais provocados pelas ações verticais presentes na combinação.

Essa última condição pode ou não ser considerada de acordo com o critério geral do Pórtico-TQS, em "Estabilidade global", opção "Deslocamentos horizontais para cargas verticais".

Além disso, pode-se também especificar as parcelas dos deslocamentos horizontais gerados pelas ações verticais a serem consideradas no cálculo de FAVt, conforme mostra a figura a seguir.

Recomendações

Ambos os parâmetros de estabilidade, coeficientes GamaZ e α, são provenientes de uma base teórica consistente, mas possuem certas limitações. Afinal de contas, são formulações aproximadas.

> Cabe ao Engenheiro verificar a viabilidade de aplicação dos coeficientes GamaZ e α na avaliação da estabilidade global do edifício.

Por exemplo, em situações em que a estrutura é significativamente assimétrica ou possui grande instabilidade à torção, a avaliação por esses coeficientes pode se tornar insuficiente.

De um modo geral, recomenda-se dar preferência ao uso do coeficiente GamaZ ao invés do α.

No caso de edifícios altos, a associação de pórticos (vigas + pilares) acrescida da presença de núcleo de rigidez (pilar-parede em torno da caixa de elevador ou escada) tem-se mostrado bastante eficiente para garantir a estabilidade

global desse tipo de estrutura.

Efeitos Globais de 2ª Ordem

Nos Sistemas TQS, há duas formas de calcular os efeitos globais de 2ª ordem num edifício de concreto armado:

Análise aproximada (0,95.$_z$), conforme item 15.7.2 da NBR 6118.
Análise não-linear geométrica (P-Delta em dois passos).
A escolha do tipo da análise a ser adotada é de responsabilidade do Engenheiro e é realizada na janela de dados do edifício, aba "Modelo", botão "Processo P-Delta".

Sob ponto de vista de dimensionamento, seja pela análise aproximada ou pela análise não-linear, os efeitos globais de 2ª ordem são calculados para cada combinação última definida no pórtico espacial ELU.

Os efeitos globais de 2ª ordem também são calculados para cada combinação de serviço definida no pórtico espacial ELS. Nesse caso, esses efeitos são sempre calculados pela análise não-linear geométrica (P-Delta).

Análise aproximada (0,95.GAMAZ)

Além de permitir a avaliação da estabilidade global de um edifício, o valor do coeficiente GamaZ também pode ser utilizado para determinar, de forma aproximada, os esforços globais de 2ª ordem. É o que se chama de análise simplificada para obtenção dos esforços globais totais (1ª ordem + 2ª ordem) na estrutura.

Essa análise está descrita no item 15.7.2 da NBR 6118, e consiste num cálculo em que os esforços totais finais são obtidos com a majoração dos esforços provocados pela ação horizontal (usualmente, o vento) por 0,95.$_z$.

Esse processo somente é válido para $\gamma_z \leq 1{,}3$ e estruturas reticulares com no mínimo 4 andares. Caso uma dessas duas condições não seja atendida, e a análise aproximada por $0{,}95 \cdot \gamma_z$ estiver ativada, os Sistemas TQS emitirá avisos e erros durante o processamento.

Fator de amplificação de esforços horizontais (FAVt)

Nos Sistema TQS, calcula-se um valor de FAVt para cada combinação última (ELU) definida no edifício.

Foi colocado também, que o FAVt corresponde a um coeficiente GamaZ que leva em conta os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais e que pode ser utilizado como parâmetro de estabilidade.

É exatamente esse fator (FAVt) que é utilizado na determinação do multiplicador das solicitações geradas pela ação horizontal para obtenção dos esforços finais na estrutura durante a análise aproximada. Ou seja, para cada combinação ELU, o multiplicador 0,95.$_z$ pode ser chamado então de 0,95.FAVt.

Esse multiplicador é apresentado no relatório de estabilidade global.

A majoração de esforços gerados pelas ações horizontais por 0,95.FAVt é feita nos Sistemas TQS durante a transferência de esforços para vigas, pilares e fundações.

O valor do fator "0,95" é definido por um critério geral do Pórtico-TQS, em “Estabilidade global” opções “Transferência de esforços” - "Consideração de GamaZ na transferência" e “Multiplicador de GamaZ”.

Análise não-linear geométrica (P-Delta)

Além da análise aproximada apresentada no item anterior, em que os efeitos globais de 2ª ordem são calculados por meio da multiplicação por 0,95.FAVt, existem diversas outras metodologias numéricas capazes de calcular os efeitos de 2ª ordem em uma estrutura.

Na essência, todos esses métodos são baseados na busca da posição final de equilíbrio da estrutura, e comumente são denominados de P-Delta. Por exemplo, é possível determinar os efeitos de 2ª ordem por um processo em que o edifício é calculado sucessivamente aplicando-se momentos adicionais entre cada iteração, a fim de simular os acréscimos de deslocamentos da estrutura (P-Delta clássico).

Nos Sistemas TQS, o que se chama de P-Delta consiste numa análise não-linear geométrica em que os efeitos de 2ª ordem são calculados de forma bastante minuciosa. Trata-se de um processo numérico que busca a posição final de equilíbrio da estrutura de forma iterativa, por meio de sucessivas correções na matriz de rigidez (incorporação da matriz de rigidez geométrica [K_g]), de tal forma a flagrar o aparecimento de esforços adicionais na estrutura à medida que a estrutura se deforma.

Essa análise não-linear geométrica, denominada de agora em diante apenas por "P-Delta", foi inteiramente desenvolvida pelo Eng. Sérgio Pinheiro Medeiros.

A convergência desse processo é estabelecida por meio de tolerâncias definidas nos critérios gerais do Pórtico-TQS, em "P-Delta", opção “Convergência”, onde será possível definir “Número máximo de iterações” e “Tolerância relativa”.

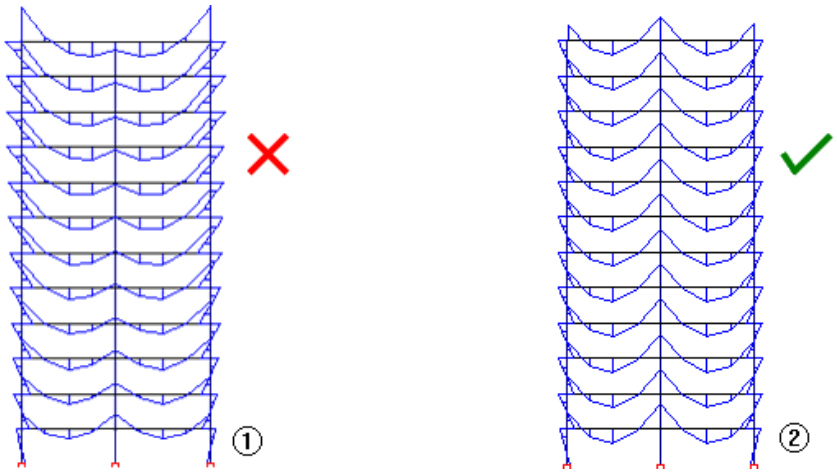
Formulação de segurança

Assim como no cálculo do coeficiente GamaZ (ver item 7.1.4.2), no processo P-Delta também pode ser levada em conta a formulação de segurança definida no item 15.3.1 da NBR 6118 (com $_{f3}$ = 1,1).

P-Delta em dois passos

Na análise aproximada via coeficiente 0,95.FAVt, os esforços totais (1ª ordem + 2ª ordem) na estrutura são calculados a partir de uma combinação linear de casos de carregamento verticais e horizontais

Nessa análise, a resposta da estrutura perante as ações verticais é calculada com a majoração axial da rigidez de pilares (MULAXI > 1) a fim de simular os efeitos construtivos no modelo de pórtico espacial.



(1) Esforços irreais – Sem considerar efeitos construtivos
(2) Comportamento mais real – Levando em conta os efeitos construtivos
Porém, no cálculo da resposta da estrutura perante as ações horizontais (vento) essas majorações de rigidez não são consideradas (MULAXI = 1).

Nota-se então que, condições distintas de rigidez da estrutura são tratadas para cada tipo de carregamento, e que posteriormente são combinadas.

Surge, então, um dilema: na análise P-Delta: *"como tratar essas condições distintas de rigidez da estrutura uma vez que os efeitos de 2ª ordem são determinados a partir da aplicação das ações verticais e horizontais concomitantemente?"*

Caso adote-se um majorador de rigidez axial de pilares (MULAXI) igual a 1, os efeitos construtivos não são considerados, ao passo que ao adotar um majorador de rigidez maior que 1, que acerta a simulação dos efeitos construtivos, a resposta da estrutura perante as ações horizontais pode ficar contra a segurança. O que fazer?

Diante dessas limitações do processo P-Delta, foram feitas algumas adaptações na análise não-linear geométrica, culminando num processo que chamamos de "P-Delta em dois passos".

Trata-se de um processo inédito, exclusivo dos Sistemas TQS, e inteiramente formulado e desenvolvido pelo Eng. Sérgio Pinheiro Medeiros.

Nos Sistemas TQS, o "P-Delta em dois passos" é ativado por um critério geral do Pórtico-TQS, em "P-Delta", opção “Análise em dois passos”

Resumidamente, no "P-Delta em dois passos", temos:

1º passo: cálculo linear da estrutura, sem iterações, com a aplicação somente das ações verticais. Nessa etapa, as rigidezes axiais dos pilares são majoradas (para contemplar os efeitos construtivos) e a distribuição de forças normais (necessárias para montar a matriz de rigidez geométrica) e os esforços nos elementos (vigas e pilares) são armazenados.
2º passo: cálculo não-linear, iterativo, com a aplicação somente das ações horizontais. Nessa etapa, as rigidezes axiais dos pilares não são majoradas. Na primeira iteração, consideram-se as deformações obtidas no 1º passo (matriz de rigidez geométrica armazenada do 1º passo). Nas iterações seguintes, corrige-se sucessivamente essa matriz com os acréscimos de esforços normais provocados pelas ações horizontais. Esse processo é repetido até a obtenção da convergência (equilíbrio final da estrutura).
Os resultados finais, isto é, os deslocamentos nodais, esforços nas barras e reações de apoios (1ª ordem + 2ª ordem), são a somatória das parcelas obtidas nos dois passos.

Relação RM2/M1

A análise da estrutura com o processo "P-Δ em dois passos" resulta em esforços solicitantes com a consideração dos efeitos da não-linearidade geométrica (2ª ordem) de maneira bastante precisa. Entretanto, essa solução da estrutura não gera em um coeficiente que permita avaliar a sua estabilidade, como o coeficiente GamaZ (ou FAVt) utilizado no processo aproximado mostrado anteriormente.

Para suprir essa deficiência, foi criado então o coeficiente RM2M1, que é calculado segundo os mesmos princípios do cálculo do $_z$:

M1 é o momento das forças horizontais em relação à base do edifício.
M2 é a somatória das forças verticais multiplicadas pelo deslocamento dos nós da estrutura sob ação das forças horizontais, resultante do cálculo de P-Δ em uma combinação não-linear.
Esses valores são calculados para cada combinação ELU e podem ser visualizados no relatório de parâmetros de estabilidade global.

Com os valores de RM2M1 calculados para cada combinação ELU, é possível obter uma estimativa da magnitude dos efeitos de 2ª ordem perante os efeitos de 1ª ordem, de forma similar ao coeficiente GamaZ.

Processamento e resultados

Quando o cálculo dos efeitos globais de 2ª ordem é efetuado pela análise aproximada (0,95.$_z$), esses efeitos são calculados indiretamente durante a transferência de esforços para o dimensionamento dos elementos (vigas, pilares e fundações). Nesse caso, os resultados mostrados no visualizador de pórtico espacial contêm apenas a parcela de 1ª ordem.

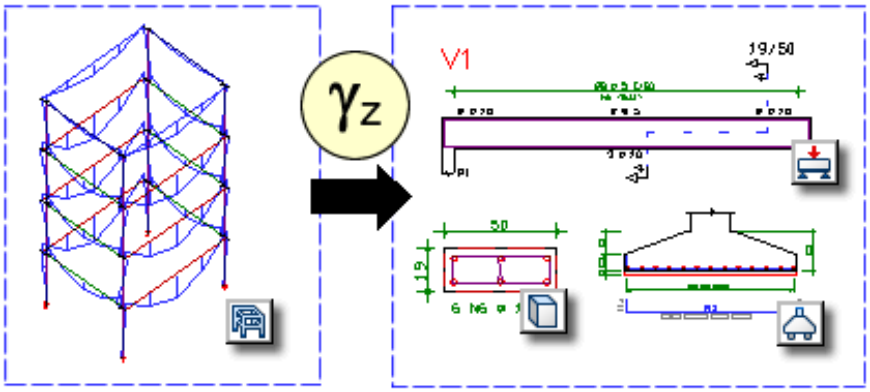
Já, quando o cálculo dos efeitos globais de 2ª ordem é efetuado pela análise não-linear geométrica (P-Delta), esses efeitos são calculados no momento do processamento do pórtico espacial (resolvedor Mix®). Nesse caso, os resultados mostrados no visualizador de pórtico espacial contêm as parcelas de 1ª ordem e 2ª ordem.

Transferência para o dimensionamento

Em estruturas de nós móveis ($_z$ > 1,1), é obrigatória a consideração dos efeitos globais de 2ª ordem no dimensionamento da estrutura.

Esses efeitos calculados durante a análise estrutural, seja por meio do processo simplificado (0,95.γ_z) ou pela análise não-linear geométrica (P-Delta), têm influência direta no dimensionamento e detalhamento dos pilares, vigas e elementos de fundação.

A transferência desses esforços para os subsistemas TQS-Pilar®, TQS-Vigas® e TQS-Fundações® é realizada automaticamente pelos Sistemas TQS.



Efeitos Locais e Localizados de 2ª Ordem

Os efeitos locais e localizados de 2ª ordem em pilares e pilares-parede são devidamente calculados pelo TQS Pilar durante o dimensionamento desses elementos. Maiores detalhes sobre esse assunto podem ser encontrados nos textos associados ao dimensionamento e detalhamento dos pilares.