

## GamaZ

### Dúvida enviada à Comunidade TQS

**Qual a rotação da estrutura admissível para o correto cálculo do GamaZ?**

**Quando há uma rotação (em cada combinação última) como corrigir o efeito contra a segurança no cálculo dos esforços de 2ª ordem, com o uso do gamaZ.**

**O uso do Pdelta é indicado neste caso? E se houver vigas de transição pesadas?**

### Resposta

Em primeiro lugar, desculpe-me pela demora na resposta. Estávamos executando alguns exemplos para elucidar sua questão mas estamos com dificuldades para terminar o trabalho devido a compromissos já assumidos. A sua questão é muito oportuna e vou tecer abaixo algumas considerações sobre o Gamaz.

O Gamaz, coeficiente para medir a importância dos esforços de segunda ordem global é, simplesmente, genial.

Além de medir esta importância, ele também é um parâmetro amplificador para a obtenção dos esforços finais na estrutura, considerando a primeira e segunda ordem.

Teoricamente as deduções do Gamaz foram realizadas para edifícios regulares, mesmo pavimento tipo, mesmo pé-direito, mesma inércia dos pilares, mesmas dimensões de vigas e mesmas condições de engastamento.

Na prática, na realizada usual de projetos, quase nenhuma das condições acima é encontrada. Entretanto, diversos trabalhos acadêmicos que fizeram comparações para estimar os efeitos de segunda ordem entre o GamaZ e o PDelta chegaram a excelentes resultados globais para o Gamaz.

Muitas polêmicas já foram criadas sobre o Gamaz. Algumas delas:

Os deslocamentos devido a cargas verticais devem ser levadas em consideração?

Vigas de transição invalidam o Gamaz?

Em edificações menores que 4 pavimentos pode ser aplicado o Gamaz?

O Gamaz é válido para deslocamentos elevados do edifício?

Como considerar os efeitos construtivos no cálculo do Gamaz?

Como levar em conta a não linearidade física no Gamaz?

O Gamaz pode ser aplicado a edificações com rotações em planta?

Algumas destas respostas são conhecidas, outras não. Para colocar mais dúvidas sobre o assunto, encaminho anexo abaixo um interessante artigo do prof. Augusto Vasconcelos, redigido no ano 2000, citando os casos onde o Gamaz não é recomendado. Devemos lembrar que os engenheiros professores Mário Franco e Augusto Vasconcelos são os autores do Gamaz.

O cálculo pelo Pdelta também traz alguns problemas ainda não equacionados:

Como considerar os efeitos construtivos na deformação axial dos pilares? Após alguns estudos isto foi resolvido na versão 13 dos sistemas TQS. Este é o maior problema neste tipo de análise.

Como avaliar se a estrutura possui efeitos significativos de segunda ordem? Alguns pontos da estrutura podem sofrer efeitos de segunda ordem razoáveis e outros não. A média destes efeitos fornece algum subsídio para este comportamento global? Nos sistemas TQS criamos a variável RM2M1 (que é o Gamaz do PDelta) que mede este efeito. Se este efeito global for menor do que 1.1, mesmo com o cálculo pelo PDelta, podemos desprezar os esforços adicionais?

Para responder objetivamente às suas questões vou emitir algumas considerações:

Deve-se procurar lançar a estrutura de forma tal que o baricentro de aplicação das cargas horizontais coincida com o centro de torção do edifício. Isto nem sempre é possível.

Para deslocamentos elevados do edifício (mesmo com torção do edifício em planta significativa) outros limites preconizados pela norma devem ser obedecidos, como deslocamento horizontal total e deslocamentos entre pisos. Quando os deslocamentos crescem, estes limites são facilmente atingidos.

Em edifícios que sofrem os efeitos de torção em planta, é importante que a aplicação da ação do vento seja feita em direções inclinadas, como a 45 e 135 graus. Isto é facilmente equacionado nos sistemas TQS.

Os esforços adicionais que aparecem nos elementos estruturais devido a rotação em planta são também majorados quando se aplica o Gamaz como majorador de esforços. Portanto, os efeitos da rotação são, em parte, considerados.

O cálculo do Gamaz é feito a partir dos deslocamentos horizontais de cada nó da estrutura considerando a projeção do deslocamento deste nó na direção da aplicação da ação da carga horizontal.

Edifícios com rotação significativa em planta deve ter seus efeitos de 2a. ordem também avaliados pelo processo PDelta.

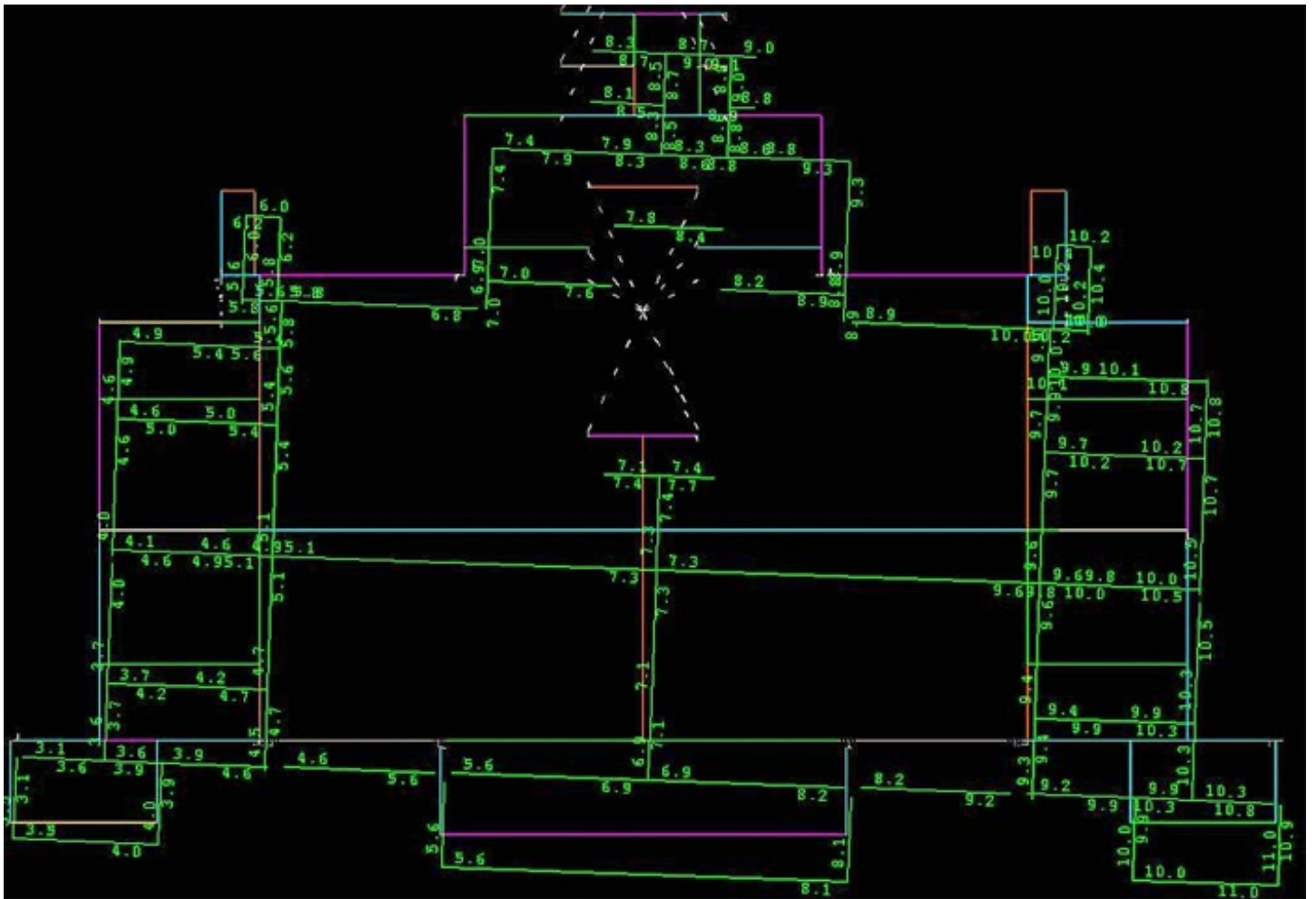
Para edificações elevadas e/ou esbeltas, a verificação do efeito dinâmico das cargas horizontais de vento são mais restritivas e significativas do que o Gamaz. A análise da aceleração horizontal no topo do edifício sob o efeito do vento dinâmico é de importância fundamental.

Considerar nas análises de primeira e segunda ordem os efeitos da não linearidade física, mesmo que de forma simplificada.

Os itens acima são, praticamente, os itens já apontados pelo colega Sérgio Osório que, também, enviou uma mensagem sobre o assunto.

Pesquisei para encontrar algum valor para o limite da rotação do edifício, em planta, e não encontrei nenhuma referência confiável sobre o assunto. É um excelente tema para as futuras dissertações de mestrado e teses de doutorado. Por acaso, surgiu aqui na TQS um exemplo de uma edificação com 32 lajes, quase simétrica em relação ao eixo vertical conforme a figura abaixo. A grande diferença entre o lado esquerdo e o lado direito do edifício em planta foi apenas a interrupção de um pilar a direita do edifício, pavimento térreo, para a execução de um pé-direito duplo no hall social do edifício. Esta transição de um pilar importante, apenas no térreo, afetou completamente os deslocamentos horizontais do edifício sob as cargas verticais.

Observe a figura abaixo:



Deslocamentos do edifício em planta na 32a. laje. Medidas em cm. Aplicação de cargas verticais apenas. O edifício tem deslocamentos horizontais significativos devido a carga vertical pois ele possui 3 sacadas excentricas que provocam momentos fletores e o conseqüente deslocamento do edifício numa direção/sentido. Estas tres sacadas podem ser visualizadas na figura acima, região inferior.

Se não houvesse a transição de um único pilar, o deslocamento horizontal devido a cargas verticais também existiria (de cima para baixo na figura acima) e seria da ordem de 7.5 cm. Com a viga de transição o deslocamento a direita alcançou 11 cm e a esquerda 4 cm. É evidente que o deslocamento horizontal do edifício atingirá o valor limite da Norma primeiramente no modelo do pilar com a transição, quando acontece a rotação dos deslocamentos em planta. Portanto, esta rotação já fica, de certa forma, restrita devido aos limites já impostos pela norma. O edifício que possui esta rotação significativa já fica, automaticamente, limitado pelas prescrições de Norma e sua análise é mais desfavorável se comparada com o modelo dos pilares sem a transição.

Na realidade, estes deslocamentos horizontais devido a cargas verticais não são totalmente confiáveis e verdadeiros. Devido ao processo construtivo de realinhamento do prumo do pilar lance a lance, estes deslocamentos não vão acontecer para uma certa parcela das cargas verticais.

Deve-se lembrar que esta primeira rotação do edifício é apenas o primeiro passo da rotação final. Similarmente ao Gamaz, temos também, analogamente, um coeficiente Gamateta que corrige a rotação inicial para chegar a final. O prof. Mário Franco já escreveu um artigo sobre este assunto muito interessante.

Respondendo mais objetivamente às suas questões posso comentar:

**- Qual a rotação da estrutura admissível para o correto cálculo do GamaZ?**

Número difícil de precisar. Os outros limites de deslocamento da edificação impostos pela NBR 6118 já impedem rotações elevadas.

**- Quando há uma rotação (em cada combinação última) como corrigir o efeito contra a segurança no cálculo dos**

## **esforços de 2a ordem, com o uso do gamaZ.**

Fazer um cálculo pelo PDelta e conferir com o Gamaz. Importante: o PDelta mais indicado é o implantado na versão 13 dos sistemas TQS onde o efeito da deformação axial dos pilares sob cargas verticais (efeito construtivo) está adequadamente equacionado.

### **- O uso do Pdelta é indicado neste caso? E se houver vigas de transição pesadas?**

Sim, é a melhor ferramenta que temos para a elaboração prática do projeto estrutural na atualidade. Não esquecer os efeitos da não linearidade física e efeitos construtivos. As vigas de transição afetam o cálculo dos efeitos de segunda ordem como o exemplo apresentado acima.

Como base no exposto acima, pode-se concluir que o processo PDelta para avaliação dos efeitos de segunda ordem em edifícios é o mais utilizado e recomendado devido às suas limitações de emprego. No dia-a-dia do projeto isto não ocorre. Após inúmeras comparações entre o cálculo pelo PDelta e o Gamaz, conclui-se que o Gamaz é bastante confiável e muito mais fácil de se obter quando o valor do Gamaz é 1.3, geralmente, outros requisitos de Norma impedem o prosseguimento do projeto (por exemplo, deslocamentos horizontais acima do limite). Deve-se lembrar também que o PDelta tem suas limitações. Ao que tudo indica, o Gamaz tem um alcance muito maior que a sua teoria pressupõe. Estudos estão sendo realizados para o emprego do Gamaz em edificações menores que 4 lajes. O Gamaz superou muito as expectativas iniciais de seus autores. Além de revolucionar, na última década, o projeto estrutural de edifícios com relativa altura, ele é um indicador simples, prático, fácil de se obter e, simplesmente, genial.

Saudações

Nelson Covas

TQS - SP