Modelagem Estrutural (Parte I)

O TQS é um sistema que vem evoluindo continuamente há 16 anos. Ao longo deste tempo obtivemos muitos avanços nos modelos estruturais que sempre foram incorporados ao sistema, mas nunca deixamos de lado os processos de cálculo tradicionais, que estão sendo utilizados plenamente, principalmente porque temos compromissos com os nossos clientes e respeitamos as suas metodologias de trabalho. Em muitos casos, percebemos uma grande dificuldade de adaptação a estas novas técnicas de modelagem por parte dos escritórios de projeto.

Porque não adotamos no sistema um modelo estrutural único e definitivo para o cálculo das estruturas? Simplesmente porque ele não existe. Concreto armado e protendido são materiais heterogêneos e de comportamento não linear e não elástico. Segundo palavras do prof. Ricardo França, “os programas de cálculo de projeto são aproximados, porque o funcionamento do concreto armado e protendido é muito mais complexo do que estas ferramentas conseguem analisar.”

Pensar que basta utilizar um programa de elementos finitos que discretiza a laje em diversos elementos e trata os pilares e vigas como elementos de barras, fazendo uma análise geral integrada elástica linear para resolver o problema é uma grande ilusão. Os sistemas do mercado, em geral, ainda não estão preparados para resolver a estrutura, espacialmente, sob o efeito de cargas verticais. Esta é a grande realidade.

O prof. Mário Franco, ao final da sua brilhante palestra comemorativa dos seus 50 anos de profissão, colocou 2 pontos que devem ser estudados, tratados e considerados no futuro, ainda nesta década:

Processo Incremental
Não Linearidade Física e Geométrica
Naquele instante, sentado ao lado do prof. Francisco Graziano, eu fiquei meio impaciente, mas logo me tranqüilizei, quando o eng. Natan Jacobsohn Levental levantou e citou o outro ponto importante:

Interação Solo x Estrutura
Estes pontos serão tratados no futuro, pois atualmente, a nossa cultura tecnológica e os recursos computacionais ainda não estão preparados para a aplicação diária em projetos destes temas.

A TQS vai lançar na versão 9.0 um novo modelo estrutural **único** espacial, para concreto armado, que descreveremos no final deste artigo, e que chegará muito perto do equacionamento da estrutura para cargas verticais e horizontais. Enquanto esta solução mais geral (a melhor e mais completa a nossa disposição) não vem, vamos tentar analisar, com um pouco mais de profundidade, as várias alternativas já existentes nos sistemas TQS.

Por outro lado, a variedade de modelos que temos a disposição no TQS, é capaz de gerar a grande dúvida que todos nós, engenheiros estruturais temos:

Qual é o modelo de cálculo que devemos adotar?

Com este texto pretendo estimular a todos a pensarem no assunto e tentar buscar a melhor forma de trabalho utilizando os sistemas TQS.

Possíveis considerações para obtenção de esforços em uma estrutura utilizando o TQS

1. Reações de lajes descarregando nas vigas

Através do processo gráfico de linhas de quinhões de carga

Pelo processamento de grelha, onde as lajes são discretizadas com uma malha de barras que descarregam nas

barras das vigas (a força cortante atuante nas lajes é lançada como carga pontual nas vigas)

Pelo processamento de Elementos finitos, onde as lajes são discretizadas com uma malha de placas que descarregam nas barras das vigas (a força cortante atuante nas lajes é lançada como carga distribuída nas vigas)

2. Esforços nas vigas (para cargas verticais)

Modelo 1 – Vigas Continuas

Cálculo como vigas continuas com apoios articulados ou engastados, com o carregamento das lajes obtidos com os quinhões de cargas

Modelo 2 – Pórtico Simplificado

Cálculo de vigas como pórtico plano considerando a rigidez dos pilares com o carregamento das lajes obtidos com os quinhões de cargas

Modelo 3 – Grelha só de vigas

Cálculo como grelha plana formada apenas pelas barras das vigas, com o carregamento das lajes obtidos com os quinhões de cargas. Os apoios podem ser articulados, engastados, ou elásticos (com a consideração da rigidez dos pilares)

Modelo 4 – Grelha de vigas + lajes

Pelo processamento de grelha, onde as lajes também são discretizadas com uma malha de barras, descarregando nas barras das vigas (válido para lajes planas e lajes nervuradas)

Podemos utilizar 2 tipos de geração da malha:

Grelha de vigas / lajes planas maciças
Grelha de vigas / lajes planas nervuradas

Modelo 5 – Elementos Finitos

Pelo processamento de Elementos finitos, onde as lajes são discretizadas com uma malha de placas e as vigas como barras

Modelo 6 – Pórtico Espacial “Clássico”

Cálculo como pórtico espacial formado apenas pelas barras das vigas e dos pilares, com o carregamento das lajes obtidos com os quinhões de cargas. Os apoios nas fundações podem ser articulados, engastados, ou elásticos (com a consideração da rigidez dos elementos de fundação)

Modelo 7 – Pórtico Espacial – Integrado com grelha/ Vigas

Cálculo como pórtico espacial formado apenas pelas barras das vigas e dos pilares, onde é feita uma leitura dos esforços resultantes dos processamentos realizados isoladamente nos pavimentos (modelos 1 a 4). Este é um modelo mais complexo, onde buscamos integrar a análise estrutural que foi adotado (e estudada) em cada pavimento do edifício, aplicando os carregamentos e momentos obtidos como ponto de partida para a análise global da estrutura, realizada com o processamento do pórtico, mantendo as considerações adotadas em cada piso, e, extrair desta análise global os esforços finais de cálculo para vigas e pilares. A análise da estrutura como pórtico é importante pois considera os efeitos da redistribuição de esforços ao longo da estrutura.

Modelo 8 – Pórtico Espacial – Com nós flexibilizados - Integrado com grelha

Cálculo como pórtico espacial formado apenas pelas barras das vigas e dos pilares, onde são definidas molas na ligação pilar/vigas. Neste modelo também é feita uma leitura dos esforços resultantes do processamento de grelha realizado isoladamente nos pavimentos. (este modelo será posteriormente comentado, pois será a principalmente técnica da próxima versão)

Considerações adicionais sobre o modelo de Pórtico Integrado com grelha/ Vigas

No modelo integrado/conjunto são considerados os seguintes tipos de carregamentos (considerando como exemplo o modelo de grelha de vigas + lajes). Na realidade, neste modelo, cada caso de carregamento direcionado a cargas verticais é processado em duas etapas:

1ª etapa do processamento (onde as barras de vigas estão articuladas)

Nesta etapa introduzimos nas vigas os carregamentos que irão reproduzir o diagrama original da viga e as cargas verticais acumuladas nos pilares, ou seja, nesta fase buscamos obter o mesmo resultado que teríamos com um processo de cálculo onde tratamos isoladamente os elementos de cada pavimento e acumulamos as cargas verticais atuantes nos pilares até a fundação:

Carregamentos aplicados nas vigas:

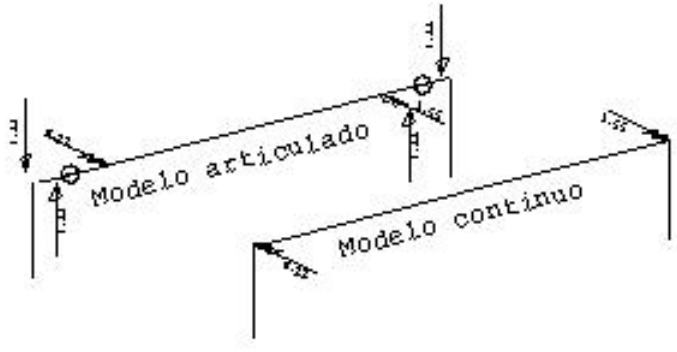
Cargas distribuídas sobre a viga (peso próprio e alvenaria declarada na Entrada gráfica)
Cargas concentradas sobre a viga (barras de laje chegando na viga)
Momentos concentrados sobre a viga (torçores das barras de laje chegando na viga)
Momentos aplicados nas extremidades das barras de viga correspondentes aos momentos resultantes do modelo de grelha
Cargas concentradas aplicados nas extremidades das barras de viga correspondentes ao inverso dos cortantes resultantes do modelo de grelha
Carregamentos aplicados nos pilares:

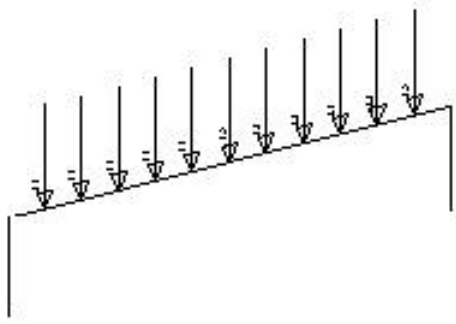
Cargas concentradas aplicados nas barras dos pilares correspondentes aos cortantes resultantes do modelo de grelha (oriundos de barras de vigas e de lajes)

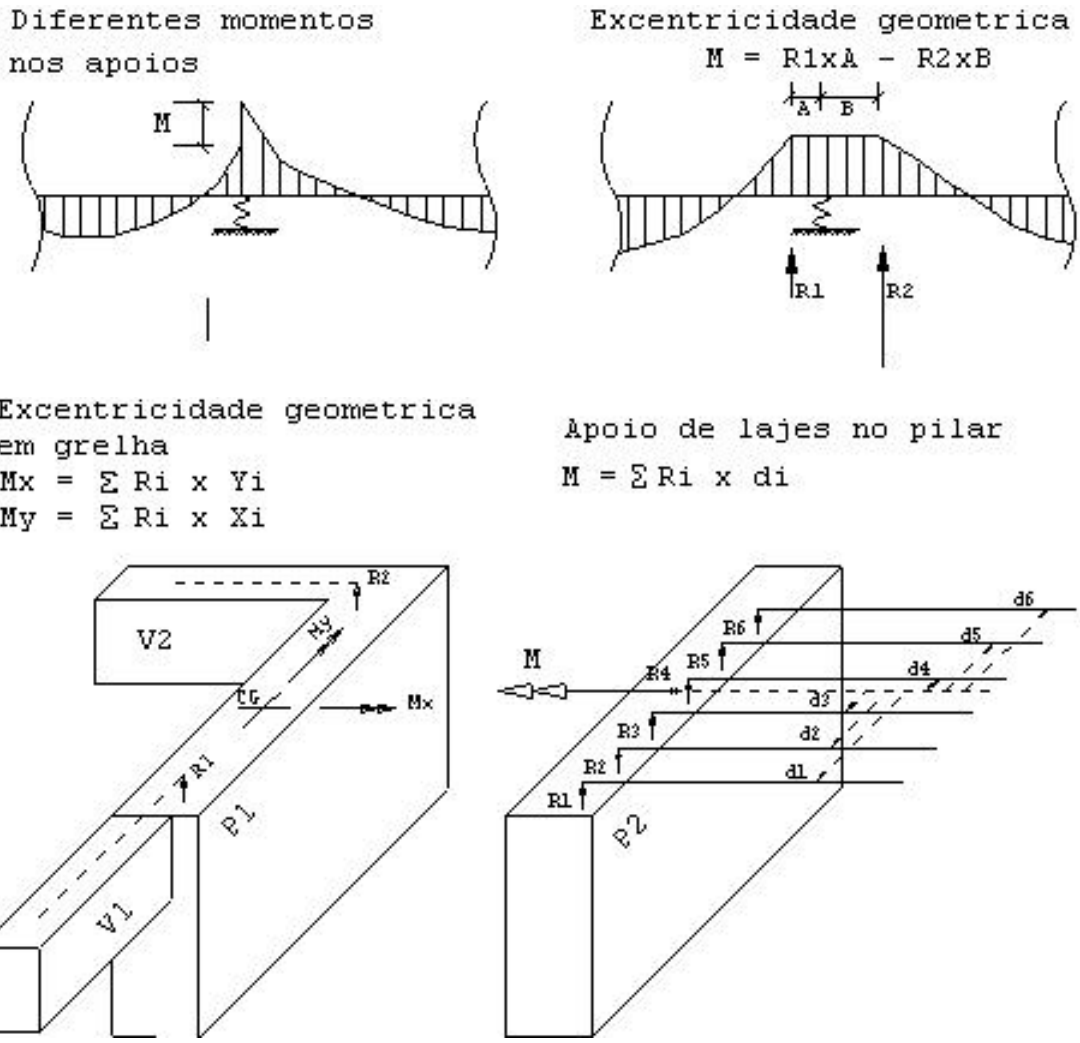
2ª etapa do processamento (onde as barras de vigas NÃO estão articuladas)

Nesta etapa, aplicamos carregamentos para avaliar a redistribuição acarretada pelo desequilíbrio dos momentos que chegam nos pilares:

Momentos aplicados nas barras dos pilares correspondentes ao inverso dos momentos nas extremidades das barras de viga, resultantes do modelo de grelha
Momentos aplicados nas barras dos pilares correspondentes aos momentos nas extremidades das barras de laje, resultantes do modelo de grelha
Momentos resultantes da excentricidade da distância entre a extremidade das barras de laje e de vigas e o C.G. dos pilares (utilizando os cortantes encontrados no modelo de grelha)

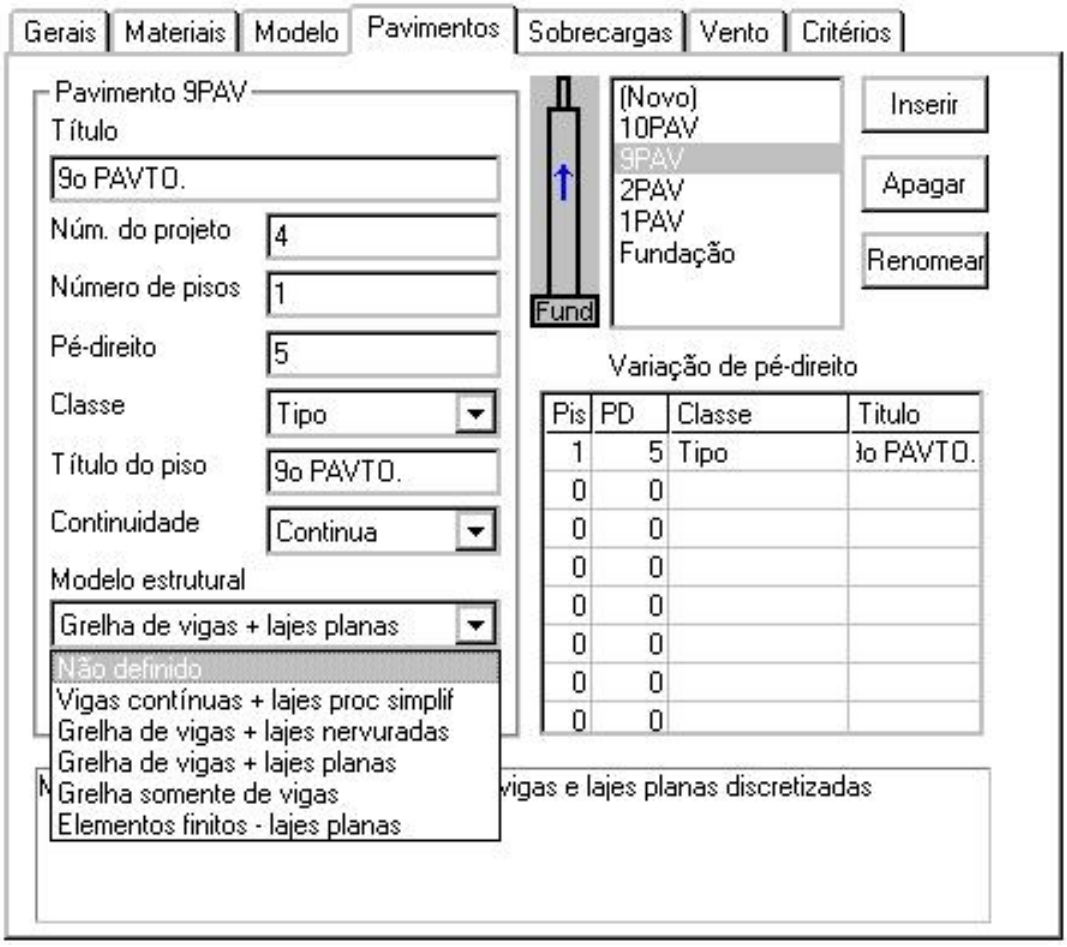






Obs: Tome cuidado com pilares nascendo em vigas, porque se o valor da **carga estimada**declarada for errado, resulta em momentos na viga de transição errados, que são transmitidos para o modelo integrado/conjunto e distorcem o comportamento da estrutura.

É importante definirmos também o modelo de cada pavimento nos dados de cada pavimento:


Gerais
Materiais
Modelo
Pavimentos
Sobrecargas
Vento
Critérios
Pavimento 9PAV
Título
9o PAVTO.
Núm. do projeto
4
Número de pisos
1
Pé-direito
5
Classe
Tipo
Título do piso
9o PAVTO.
Continuidade
Continua
Modelo estrutural
Grelha de vigas + lajes planas
Não definido
Vigas contínuas + lajes proc simplif
Grelha de vigas + lajes nervuradas
Grelha de vigas + lajes planas
Grelha somente de vigas
Elementos finitos - lajes planas
Fund
(Novo)
10PAV
9PAV
2PAV
1PAV
Fundação
Inserir
Apagar
Renomear
Variação de pé-direito
Pis
PD
Classe
Titulo
1
5
Tipo
0
0
vigas e lajes planas discretizadas