

Análise dos esforços: Simetria nas estruturas

Aplica-se às versões: EBv5, EBv5Gold, EBv6, EBv6Gold, EBv7, EBv7Gold, PMv7, PMv7G, PMv8, PMv8G

Assunto

Porque estruturas aparentemente simétricas apresentam resultados diferentes?

Artigo

Muitas vezes julgamos uma estrutura como sendo simétrica, porém ao analisarmos os resultados nos deparamos com situações onde elementos supostamente simétricos apresentam esforços e armaduras diferentes entre si. Este artigo tem como objetivo identificar quando uma estrutura é ou não simétrica, e como pequenos detalhes podem torná-la assimétrica quanto aos resultados obtidos no dimensionamento.

Para que algo seja considerado simétrico, é preciso que à partir de um determinado eixo (chamado eixo de simetria) haja um “ espelhamento ” perfeito daquele elemento.

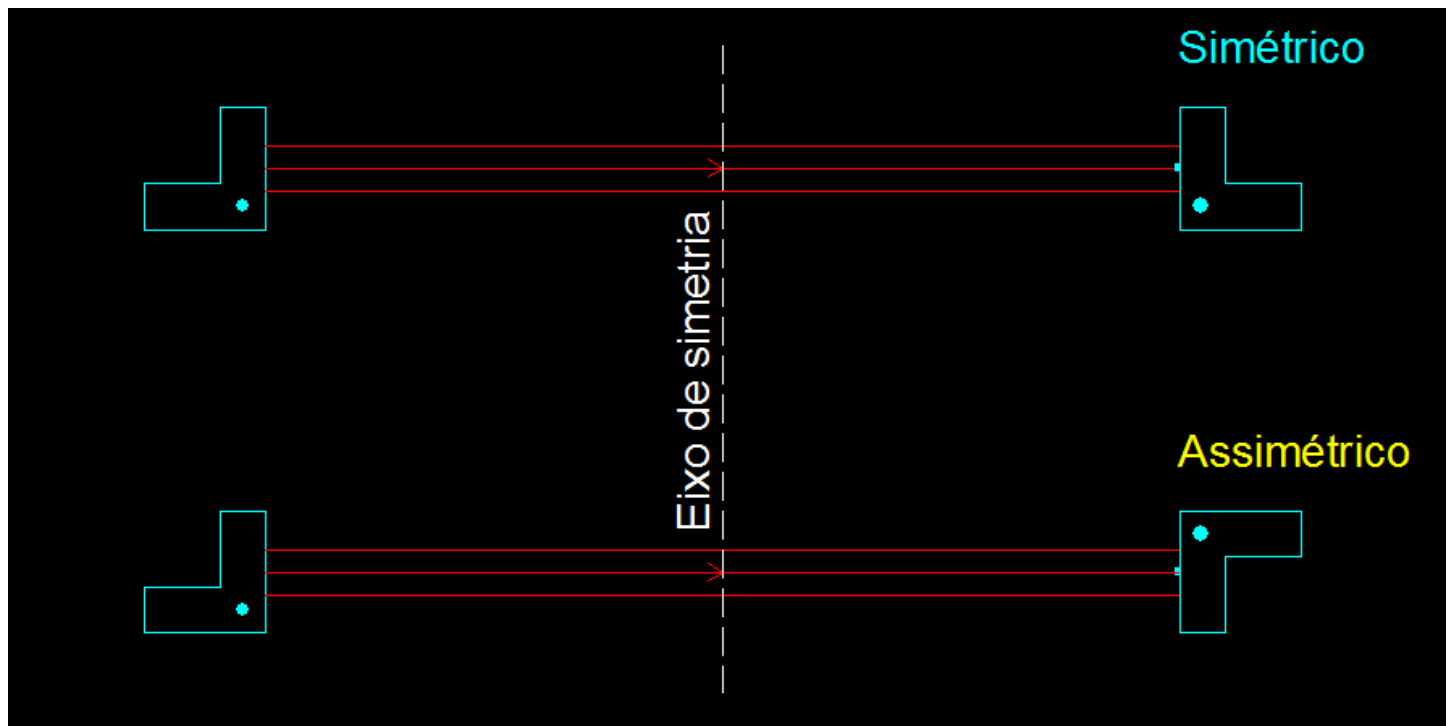


Figura 1 – Simetria e Assimetria

No entanto, quando falamos de estruturas aperticadas, não basta que o espelhamento em relação ao eixo de simetria ocorra apenas no que tange à geometria (posição) dos elementos estruturais. Seções, vínculos e carregamentos também devem ser simétricos para que o modelo estrutural (e, conseqüentemente, os detalhamentos das peças) se comporte como tal.

Análise dos esforços: Simetria nas estruturas

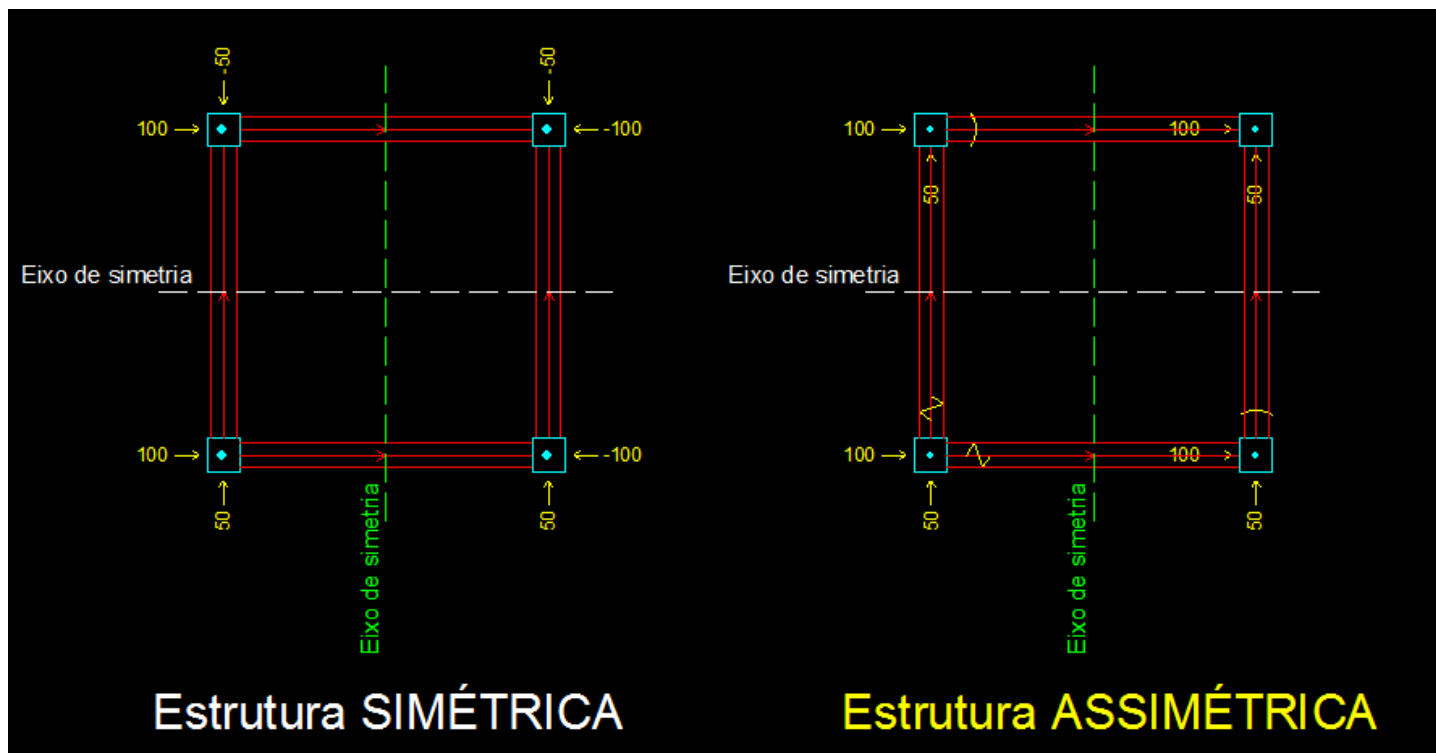


Figura 2 – Estrutura assimétrica devido aos carregamentos e vinculação

Além disso, por as estruturas se tratarem de modelos tridimensionais, onde os esforços se distribuem nos elementos de acordo com suas vinculações e rigidezes relativas, de forma totalmente interligada, é importante também que a simetria ocorra ao longo dos mesmos eixos em todos os pavimentos.

Análise dos esforços: Simetria nas estruturas

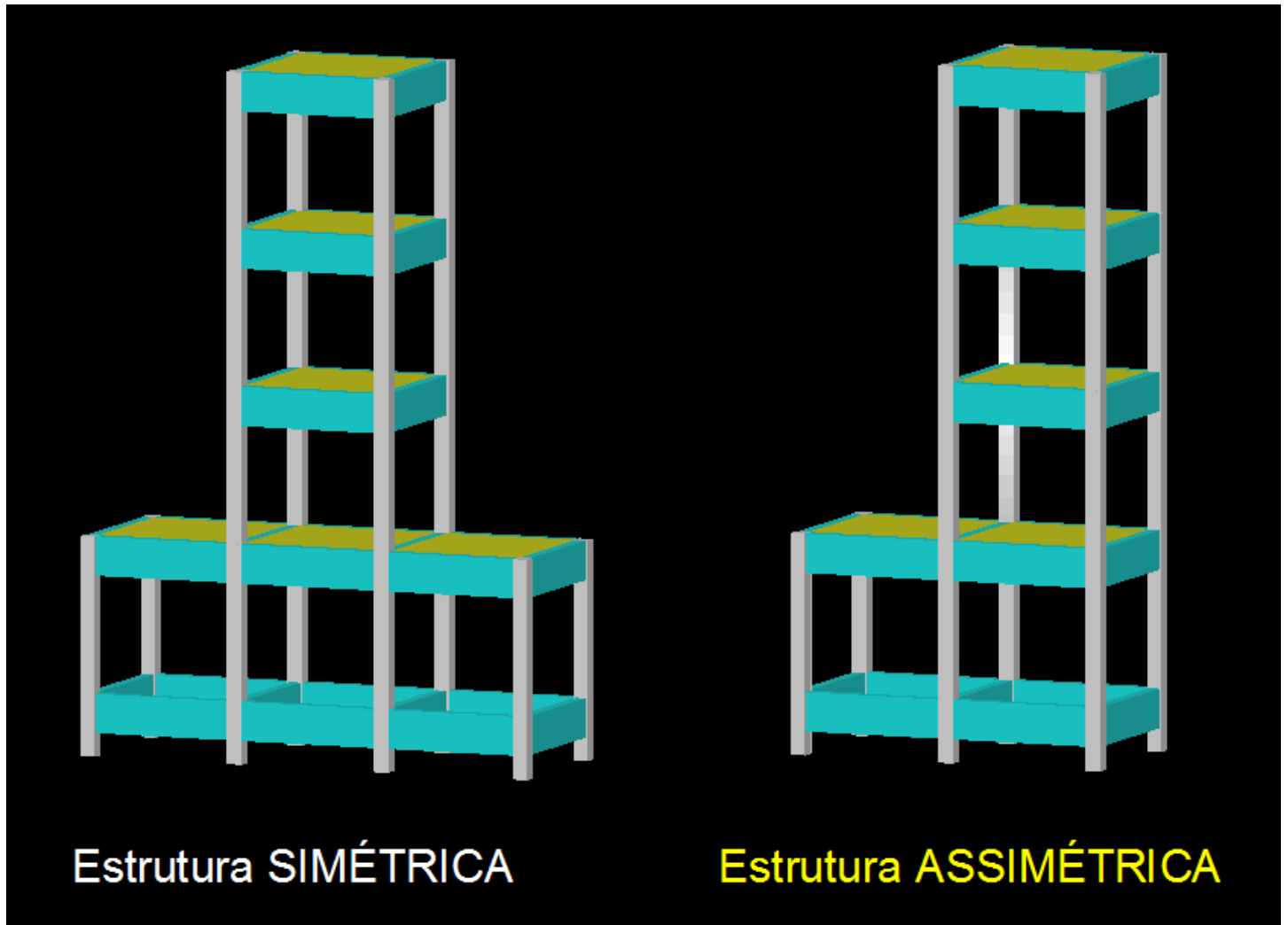


Figura 3 – Estrutura assimétrica devido a um dos pavimentos.

A seguir será apresentado, com base em um modelo estrutural inicialmente simétrico, como algumas pequenas modificações no modelo estrutural podem torná-lo assimétrico e, em decorrência disso, apresentar resultados diferentes em elementos aparentemente iguais.

Como exemplo didático, será utilizado um modelo estrutural bastante simples, perfazendo apenas uma modificação em cada situação a ser analisada, onde serão comparadas as cargas obtidas nas fundações de pilares inicialmente simétricos. Assim, em alguns casos as variações de cargas entre um pilar e outro ocorrerá nas casas decimais (o que, em uma situação real de projeto talvez não chegue a ser uma variação relevante). No entanto, à medida em que se inserem diversos elementos assimétricos simultaneamente, em situações reais de projeto, as diferenças tendem a se apresentar mais significativas. Desta forma, pode-se adotar que qualquer variação de carga identificada nos exemplos a seguir torna-se válida para a análise aqui proposta.

O modelo em análise

A análise parte de uma estrutura de 11 pavimentos (Baldrame + 10 Tipos), composta por vigas, pilares e lajes. A estrutura inicial é simétrica (geometria, vinculações e carregamento), com os eixos de simetria coincidindo com os eixos cartesianos X e Y.

Os pilares do modelo foram subdivididos em 4 grupos, de acordo com sua posição no croqui em

Análise dos esforços: Simetria nas estruturas

relação aos eixos de simetria: PA, PB, PC e PD.

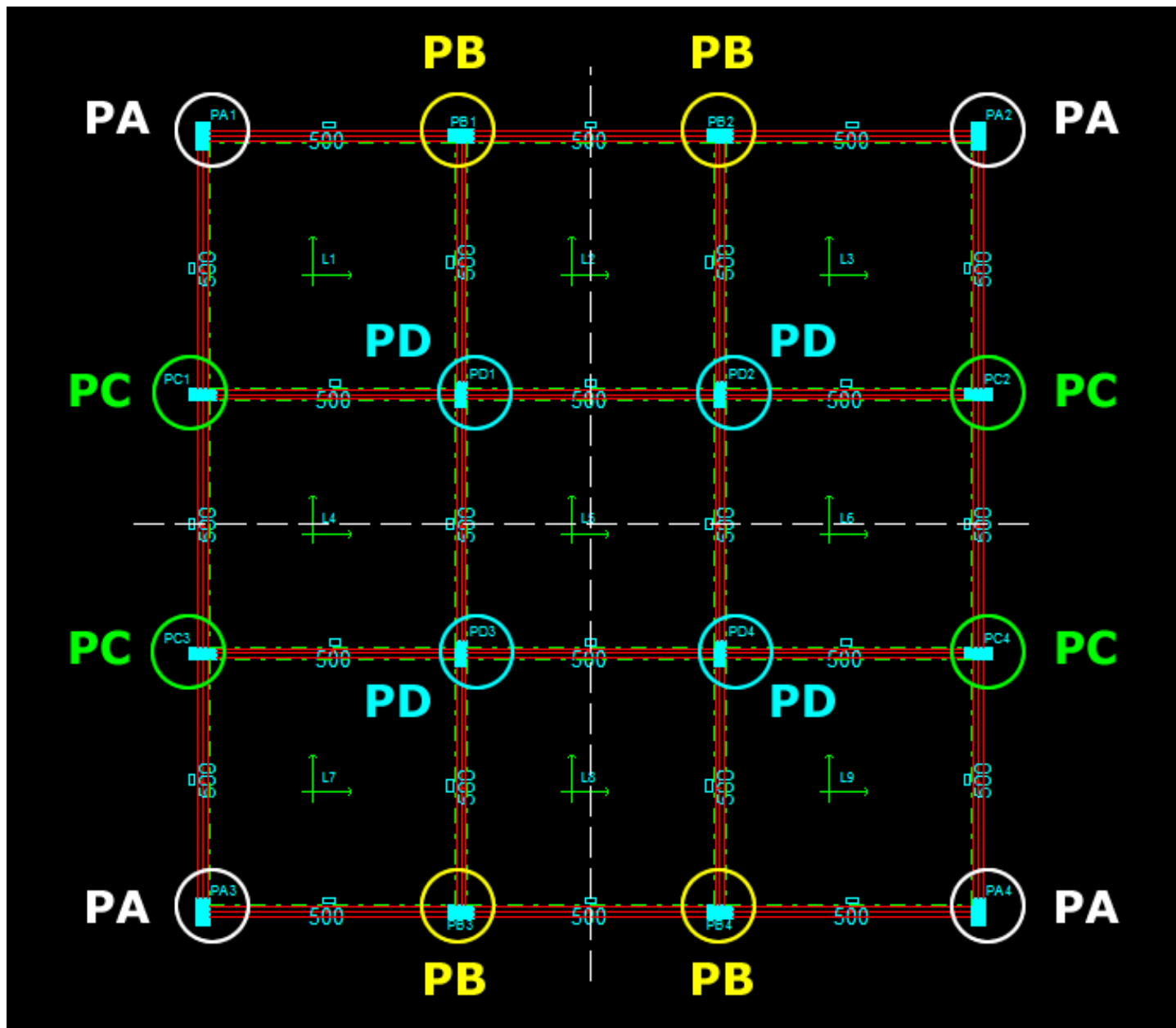


Figura 4 – Posicionamento dos pilares simétricos

Os pilares, dentro de cada grupo, deverão apresentar as mesmas cargas axiais e momentos fletores, quando na condição de simetria da estrutura. A análise das situações de assimetria se dará justamente comparando os esforços desses pilares, à medida que pequenas alterações serão aplicadas sobre a estrutura inicialmente simétrica.

Modelo 1 – Estrutura Simétrica

Analisando o resultado da estrutura perfeitamente simétrica em relação aos dois eixos de simetria, através da planta de cargas das fundações, temos os seguintes resultados:

Análise dos esforços: Simetria nas estruturas

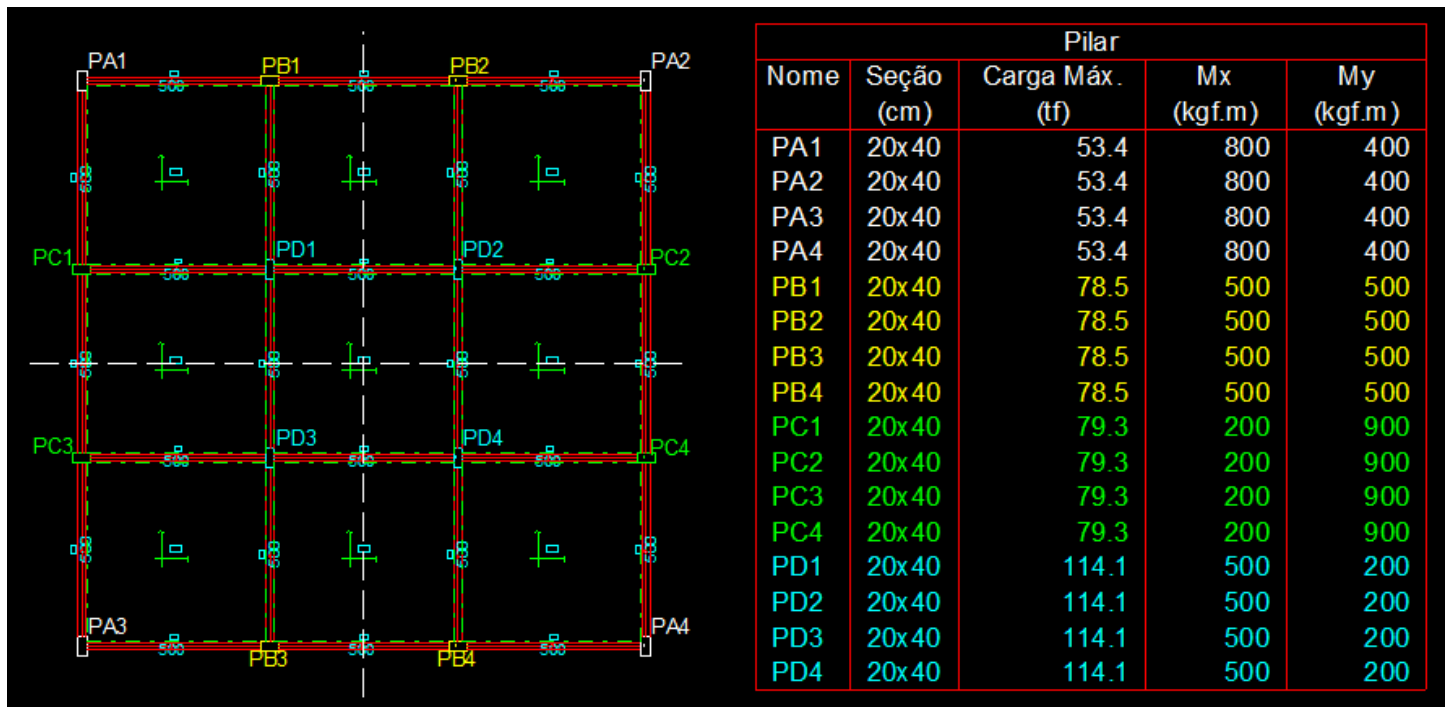



Figura 5 – Cargas nas fundações para o modelo de estrutura simétrica.

Na figura acima é possível identificar que, para cada grupo de pilares, tanto as cargas axiais quanto os momentos fletores (Mx e My), são exatamente iguais, atestando assim a condição de simetria da estrutura.

Modelo 2 – Estrutura com vinculação assimétrica

No segundo modelo em análise, aplicou-se uma rótula () na ligação entre a viga e o pilar PA4, e manteve-se as demais ligações engastadas. Para que a estrutura se mantivesse simétrica, esta mesma vinculação rotulada deveria ter sido aplicada também nas ligações das vigas com os pilares PA1, PA2 e PA3 (o que não aconteceu), e o efeito desta assimetria pode ser identificado na planta de cargas nas fundações.

Análise dos esforços: Simetria nas estruturas

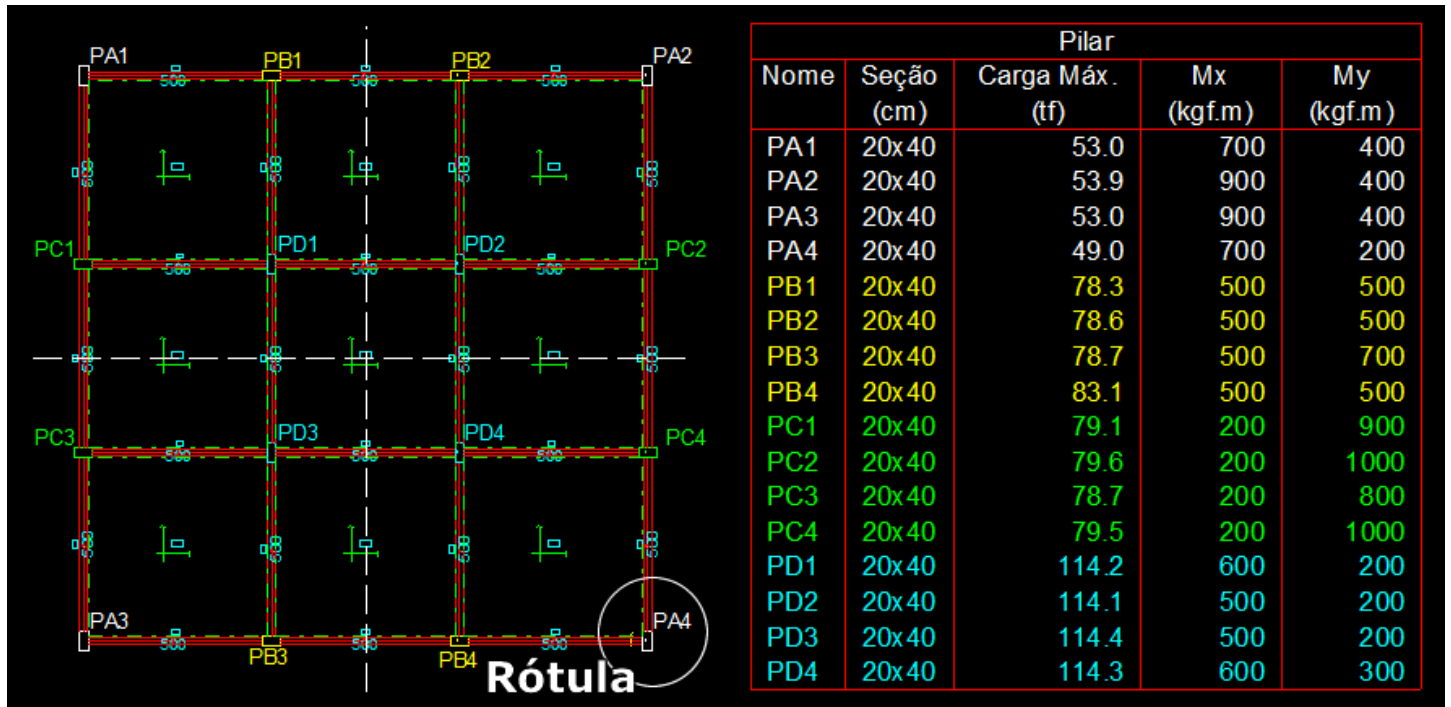


Figura 6 – Aplicando de rótula de forma assimétrica na estrutura.

Mesmo mantendo-se as condições geométricas e de carregamento do modelo simétrico, é possível verificar através da figura acima que a aplicação de uma única rótula na estrutura já causa uma condição de assimetria, influenciando no dimensionamento não apenas dos pilares imediatamente próximos à esta vinculação, como também em pilares mais “afastados” (tais como os pilares PA1, PB1, PB2 e PA2).

Modelo 3 – Estrutura com carregamento assimétrico

Partindo novamente do modelo 1 (estrutura simétrica), analisa-se agora os resultados obtidos através de carregamento assimétrico na estrutura. Para isso, foi retirada a carga linear sobre a viga apenas no trecho entre os pilares PB4 e PA4. As demais condições de simetria (geometria e vinculações) foram mantidas.

Análise dos esforços: Simetria nas estruturas

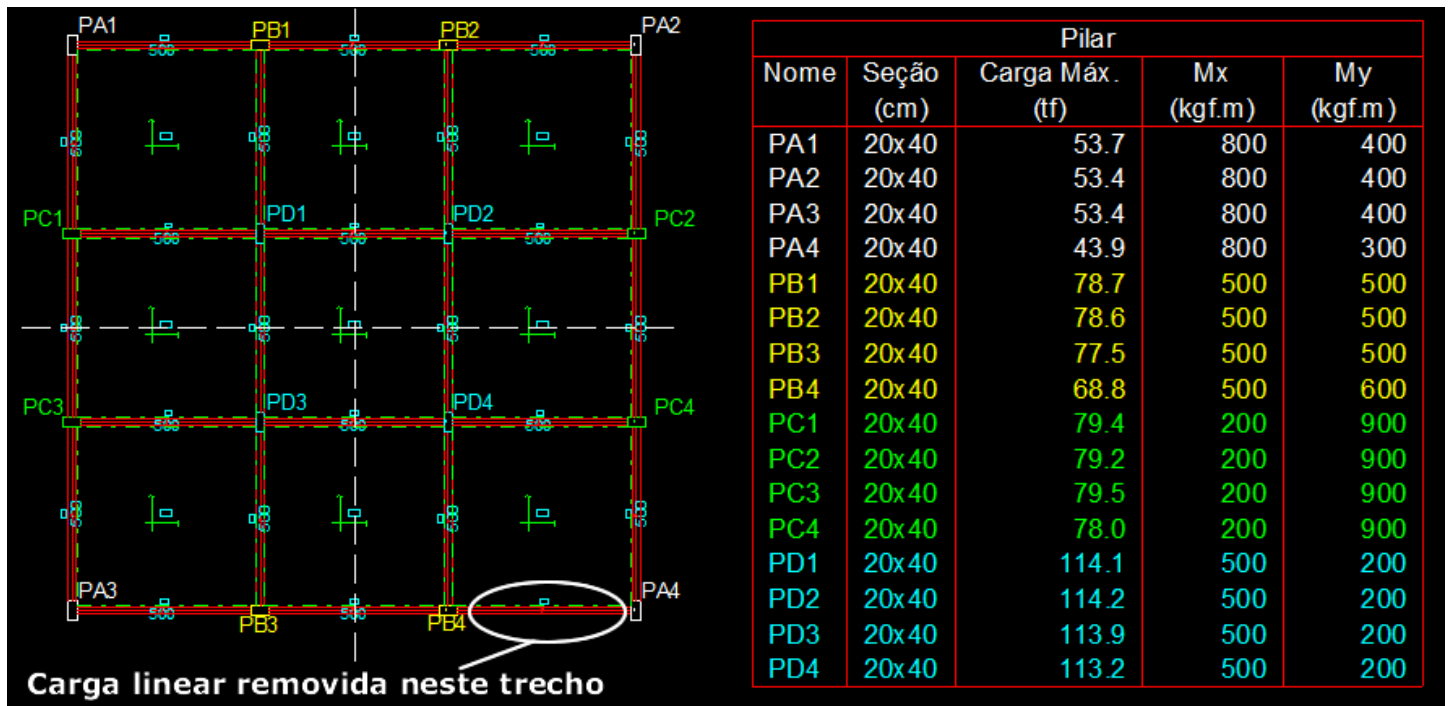


Figura 7 – Aplicando carregamento assimétrico na estrutura.

Verifica-se aqui que, apesar de mais significativo nos pilares imediatamente ligados ao trecho de viga sem a carga (PB4 e PA4), os demais elementos também são submetidos ao efeito assimétrico das cargas do modelo estrutural.

Modelo 4 – Estrutura com seção assimétrica

Outra situação típica de assimetria decorre da modificação da seção de um ou mais elementos, o que obviamente desqualifica as peças modificadas da condição de simetria, porém tem efeito significativo também nos demais elementos, fazendo com que todo o modelo estrutural se comporte de forma assimétrica.

No exemplo abaixo, alterou-se a seção do último tramo da viga entre os pilares PB4 e PA4 (de 15x40cm para 20x80cm), verificando-se através do quadro de cargas nas fundações o efeito assimétrico desta mudança em todo o pórtico.

Análise dos esforços: Simetria nas estruturas

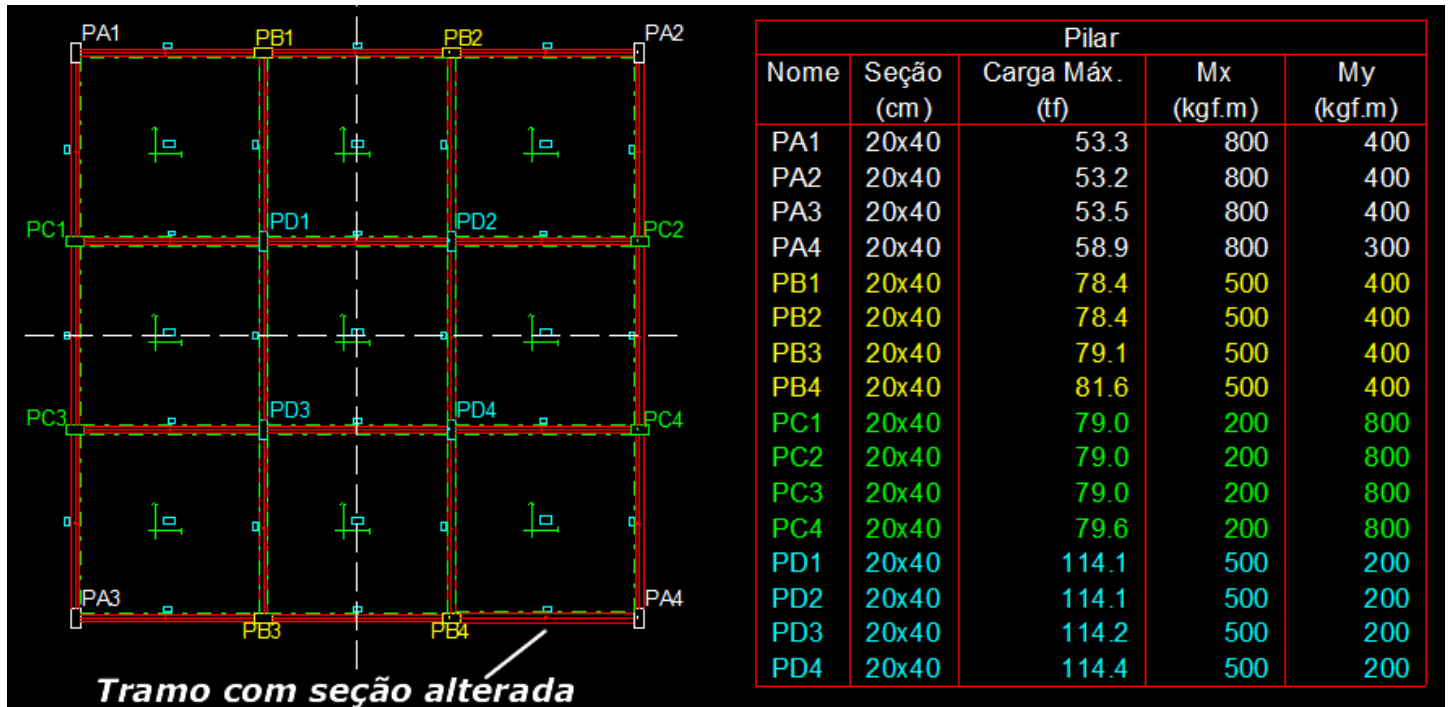


Figura 8 – Pórtico com viga de seção assimétrica.

O comportamento assimétrico causado em todo o modelo, devido ao efeito de pórtico da estrutura, pode ser identificado também através dos diagramas de esforços das vigas. Tomando como exemplo uma viga (“ Va ”) que, diretamente, não apresenta ligação com a viga modificada (“ Vb ”), verifica-se a assimetria do diagrama de momentos fletores também nesta viga “ Va ” .

Análise dos esforços: Simetria nas estruturas

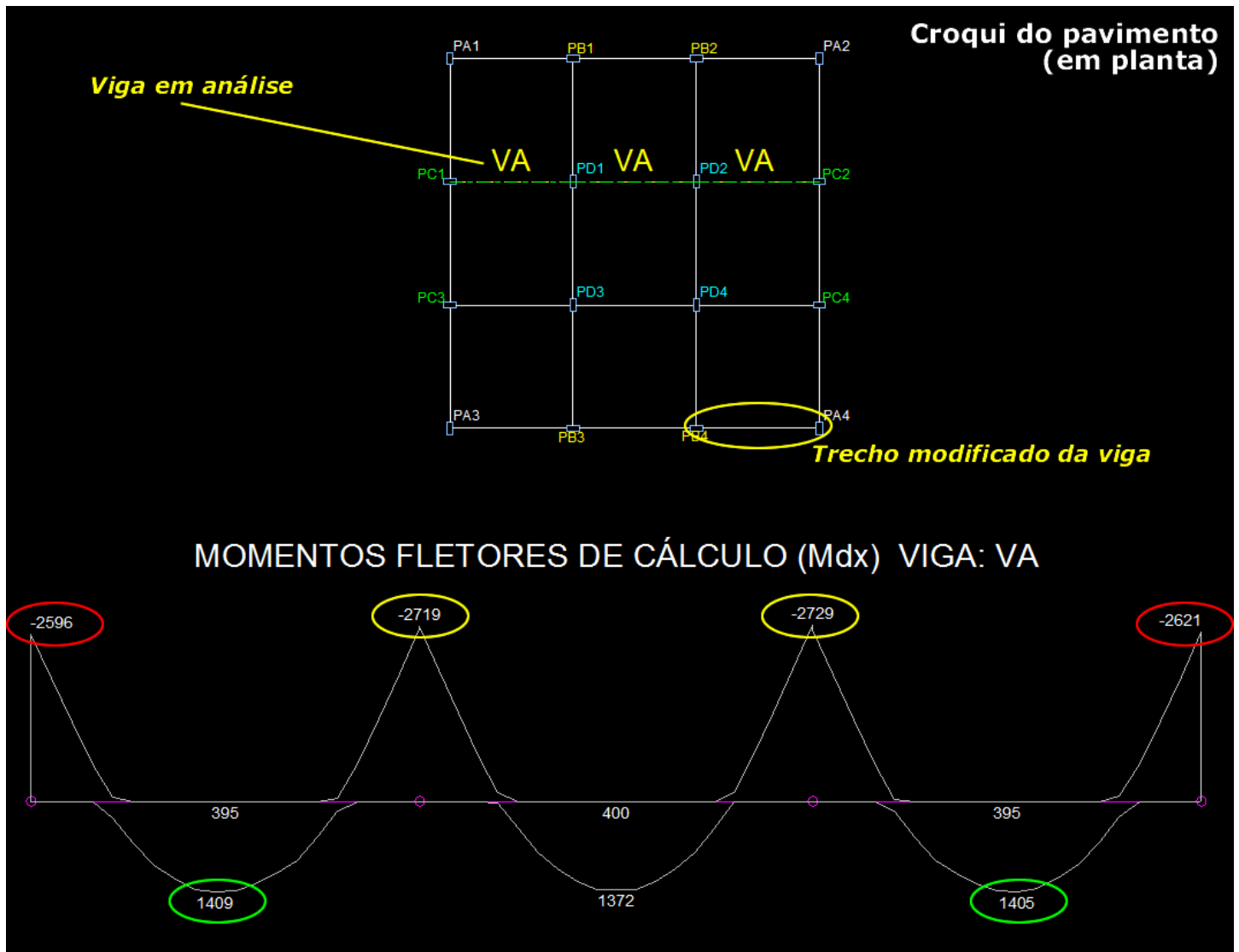


Figura 9 – Diagrama da viga exemplo com valores assimétricos

Conclusões

Através da análise de um modelo hipotético bastante simples, é possível verificar que pequenas variações assimétricas, por mais pontuais que sejam, podem gerar um comportamento assimétrico não apenas naqueles elementos aos quais estas modificações estão diretamente relacionadas, mas sim em todo o modelo estrutural. À medida em que se somam diversas situações assimétricas (um vínculo diferente, uma seção alterada, uma abertura em laje, carregamentos variáveis, etc.), maior torna-se a probabilidade de que os detalhamentos apresentem-se diferentes entre si.

Em estruturas apertadas, esta “interferência” das situações assimétricas reflete não apenas no pavimento onde ocorrem, podendo influenciar também no dimensionamento de elementos em outros pavimentos. Assim, é possível encontrar pavimentos com estrutura perfeitamente simétrica, porém com resultados diferentes entre os elementos devido aos efeitos da assimetria em outros pavimentos da edificação.

Desta análise, pode-se concluir que a obtenção de estruturas simétricas é algo bastante desafiador

Análise dos esforços: Simetria nas estruturas

ao engenheiro calculista, tendo em vista que os projetos arquitetônicos tornam-se cada vez mais arrojados, inserindo na sua maioria detalhes ou elementos assimétricos em um ou mais pavimentos e influenciando no comportamento do pórtico estrutural como um todo.

ID de solução único: #1959

Autor: : Eng. Marcelo Scrivanti Canesin

Última atualização: 2013-04-26 13:16