
Influência da Direção de Lançamento de Pilares na Análise Estrutural em Concreto Armado

INFLUENCE OF THE PILLAR RELEASE DIRECTION ON STRUCTURAL ANALYSIS IN REINFORCED CONCRETE

INFLUÊNCIA DE LA DIRECCIÓN DE LIBERACIÓN DEL PILAR EN EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN HORMIGÓN ARMADO

Sávio Aparecido dos Santos Pereira

savioaparecido1@gmail.com

Thiago Augusto Mendes

engenhoaugusto@gmail.com.br

Guilherme Coelho Fava

guilherme@urbanconstrutora.com

Ivan Rocha

arq.ivanrocha@gmail.com

Lucas Furtado da Silva

furtado-lucas@hotmail.com

Resumo

A definição de melhor posição e direção, durante a fase de concepção, de lajes, vigas e pilares, impactam diretamente nos custos, sendo importante a sua avaliação. Assim, este artigo avaliou a influência da orientação de lançamento dos pilares nos resultados dos momentos fletores, flechas, área e consumo de aço das vigas e lajes, considerando dois cenários: Cenário 1 com os pilares de canto a 90° em relação aos demais e Cenário 2, com todos os pilares posicionados na mesma direção dos eixos de referência. Os resultados mostraram que houve, para o Cenário 1, uma compensação de momento fletor, com aumento para uma direção e redução para a direção perpendicular, tendo a área de aço apresentado o mesmo comportamento. Esses fatores levaram a um aumento do consumo de aço e das flechas máximas para as lajes. Ainda em relação ao Cenário 1, para a maioria das vigas, foi possível observar aumento dos momentos fletores positivos e negativos. As flechas máximas das vigas, no geral, foram maiores para o Cenário 1 do que o Cenário 2, destacando que não houve alteração no consumo de aço para ambos os cenários, evidenciando uma redistribuição dos esforços. Os esforços normais solicitantes nos pilares do térreo e os valores de momento solicitantes e à flexão composta foram em geral maiores no Cenário 1. Assim, o Cenário 2 foi o que apresentou a concepção estrutural com maior redução do consumo de aço e das flechas máximas.

Palavras-chave: Concepção. Lançamento estrutural. Pilares.

Abstract

The definition of the best position and direction, during the design phase, of slabs, beams and columns, directly impacts the costs, being important to evaluate them. Thus, this paper evaluated the influence of the launching orientation of columns on the results of bending moments, deflections, area and steel consumption of beams and slabs, considering two scenarios: Scenario 1 with the corner columns at 90° in relation to the others and Scenario 2, with all columns positioned in the same direction of the reference axes. The results showed that there was, for Scenario 1, a bending moment compensation, with an increase for one direction and reduction for the perpendicular direction, with the steel area presenting the same behavior. These factors led to an increase in steel consumption and maximum deflections for the slabs. Also in relation to Scenario 1, for most of the beams, it was possible to observe an increase in the positive and negative bending moments. The maximum deflections of the beams, in general, were greater for Scenario 1 than Scenario 2, highlighting that there was no change in steel consumption for both scenarios, showing a redistribution of efforts. The normal internal forces in the columns on the first floor and the bending moment and composite bending values were generally higher for Scenario 1. Thus, Scenario 2 presented the structural design with the greatest reduction in steel consumption and maximum deflections.

Keywords: Design. Structural release. Pillars.

Resumen

La definición de la mejor posición y dirección, durante la fase de diseño, de losas, vigas y pilares, impacta directamente en los costos, y su evaluación es importante. Así, este artículo evaluó la influencia de la dirección de lanzamiento de los pilares en los resultados de momentos flectores, flechas, área y consumo de acero de vigas y losas, considerando dos escenarios: Escenario 1, con pilares de esquina a 90° en relación a los otros y, Escenario 2, con todas las columnas colocadas en la misma dirección que los ejes de referencia. Los resultados mostraron que había, para el Escenario 1, una compensación del momento flector, con un aumento para una dirección y una reducción para la dirección perpendicular, con el área de acero mostrando el mismo comportamiento. Estos factores llevaron a un aumento en el consumo de acero y en las flechas máximas para las losas. También en relación con el Escenario 1, para la mayoría de las vigas, fue posible observar un aumento en los momentos flectores positivos y negativos. Las flechas de haz máximo, en general, fueron mayores para el Escenario 1 que para el Escenario 2, destacando que no hubo cambios en el consumo de acero para ambos escenarios, mostrando una redistribución de esfuerzos. Las cargas normales sobre los pilares de la planta baja y los valores de las cargas de momento y flexión compuesta fueron generalmente mayores en el Escenario 1. Así, el Escenario 2 fue el que presentó el diseño estructural con mayor reducción en el consumo de acero y flechas máximas.

Palabras clave: Concepción. Liberación estructural. Pilares.

Introdução

O projeto estrutural de concreto armado por softwares vem sendo cada vez mais utilizado por estudantes e profissionais de Engenharia Civil (MASCARENHAS; CHRISTOFORO; CARVALHO, 2020). Os programas computacionais permitem a simulação de diferentes concepções estruturais, cabendo ao usuário definir a melhor

opção. Assim, além de conhecimento técnico, deve-se conhecer a influência de diferentes lançamentos estruturais, o que permitiu uma melhor análise dos resultados, sobre o ponto de vista estrutural. Dessa forma, uma boa concepção estrutural pode assegurar melhor uso dos materiais, mais eficiência no canteiro de obras e economia para o empreendimento.

A concepção estrutural mostra-se uma importante fase do projeto estrutural e apresenta impactos significativos tanto nas demais etapas de projeto, quanto na vida estrutural da edificação, ocasionando inclusive surgimento de patologias, o que merece atenção especial (RIBAS; SOUZA, 2007; SILVA, 2018). Modelar diferentes tipos de concepções estruturais para uma mesma edificação é importante para compreender as alterações e impactos na estabilidade da estrutura. Em análises de interação solo-estrutura, por exemplo, é importante avaliar cenários com apoios rígidos e flexíveis na fundação de uma estrutura, como observado por Souza e Reis (2008), que perceberam que diferentes concepções ocasionam importantes diferenças dos esforços atuantes sobre os pilares da estrutura, que podem chegar a valores superiores a 20%.

Poucas contribuições sobre a influência da direção de pilares de concreto armado e suas principais consequências na concepção do projeto estrutural de concreto armado são encontradas na literatura. Ainda assim, é possível encontrar trabalhos que analisam outros aspectos da concepção, como por exemplo: a variação de vãos, dos tipos de alvenarias, dos revestimentos cerâmicos de piso ou do reboco (LOPES, 2008; SANTOS, 2008; RIBEIRO, 2008; COSTA, 2009).

Dessa forma, este artigo tem como objetivo avaliar a variação de momento fletor, flecha máxima, peso de aço e volume de concreto em lajes, vigas e pilares de uma edificação comercial de dois pavimentos causadas a partir de diferentes orientações de lançamento da seção transversal dos pilares de canto em relação aos pilares intermediários de borda da edificação.

Metodologia

Nesse item são apresentados uma descrição da edificação estudada, com caracterização do material empregado, bem como a realização da modelagem e o dimensionamento da estrutura para os dois cenários considerados para estudo.

Área de estudo: Edificação comercial e características dos materiais empregados

A edificação comercial modelada e dimensionada é constituída de dois pavimentos, sendo: pavimento térreo, para trabalho com veículos automotivos, e pavimento superior, utilizado como escritório e almoxarifado. A edificação é uma habitação do tipo galpão comercial e seu *layout* estrutural é apresentado na Figura 1, contendo quatro pilares de canto e quatro pilares de borda. Ao todo, a edificação possui 61,43 m² de área construída.

Na Figura 1a é apresentada a primeira concepção estrutural (Cenário 1), ou seja, os quatro pilares dos cantos estão rotacionados em 90° comparados aos quatro pilares da borda intermediária. Enquanto, na Figura 1b, todos os pilares foram lançados considerando a mesma direção, mesmos eixos de referência (Cenário 2). Analisando ainda a Figura 1, em detalhe, pode-se perceber as plantas com a posição e direção de lançamento dos pilares, vigas e lajes para os Cenários 1 e 2 além da indicação dos eixos referenciais (coordenadas) adotados neste trabalho.

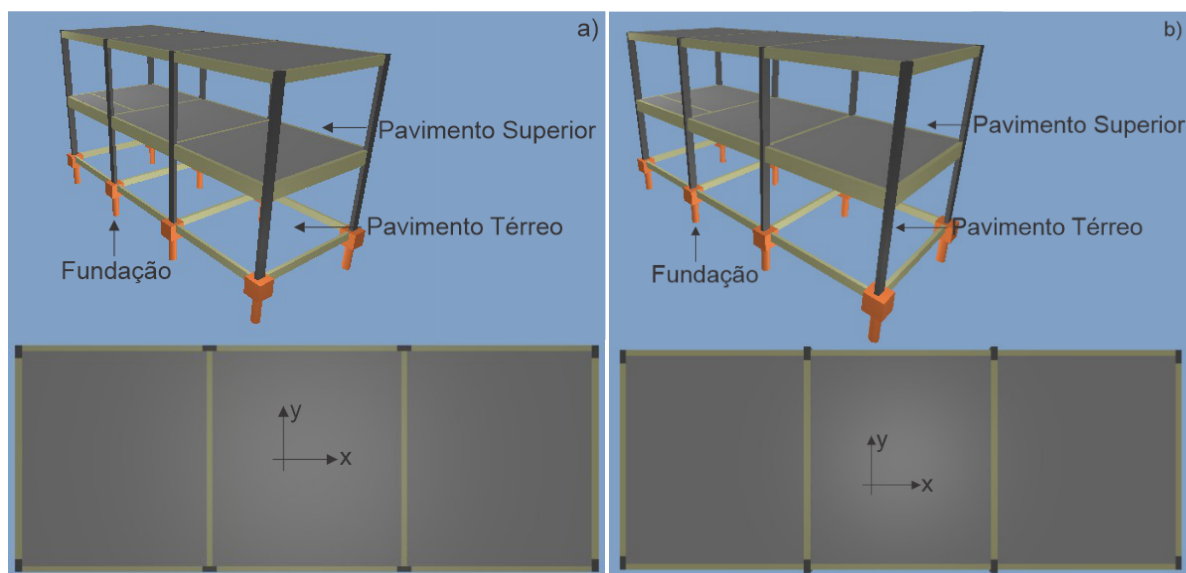


Figura 1 – Esquemas estruturais da edificação estudo de caso, com destaque para as posições dos pilares: a) Cenário 1 (pilares dos cantos a 90° com relação aos demais); b) Cenário 2 (todos pilares com mesma direção em relação aos eixos de referência).

Fonte: Autores.

Todo concreto considerado na edificação estudo de caso foi da classe C-25 (25.MPa) e para as armaduras principais (longitudinais), aço CA-50, e para as armaduras secundárias, CA-60.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os valores das cargas utilizadas na modelagem da edificação do estudo de caso, conforme projeto arquitetônico e especificações da ABNT NBR 6120 (ABNT, 2019).

Tipo de carga	Ambiente/Material	Carga (kN m ⁻²)
Cargas acidentais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,50
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2,00
	Corredor com acesso ao público	3,00
Cargas permanentes	Argamassa	0,63
	Argamassa em gesso	0,25
	Porcelanato	0,15

Tabela 1 – Cargas acidentais e permanentes adotadas conforme projeto de arquitetura, segundo ABNT NBR 6120 (ABNT, 2019).

As propriedades dos materiais utilizados, no caso, o concreto armado, são apresentadas na Tabela 2. Para as alvenarias, foram considerados blocos cerâmicos de 9x19x39 cm, possuindo 2,5 cm de reboco e chapisco para ambos os lados, totalizando alvenarias acabadas de 14,0 cm. A dimensão das alvenarias acabadas é a mesma dimensão de um dos lados menores dos pilares, considerando que para um dos cenários simulados (Cenário 1), os pilares coincidem em alinhamento com as alvenarias. Todos os pilares possuem dimensão retangular de 14 x 30 cm, totalizando uma seção transversal de 420 cm².

PROPRIEDADES DO CONCRETO CLASSE C-25 ou 25MPa

Resistência a compressão

Resistência característica (f_{ck})	25 MPa
Coeficiente de minoração (γ_c)	1,40
Resistência de cálculo (f_{cd})	17,9 MPa

Característica do concreto

PROPRIEDADES DO CONCRETO CLASSE C-25 ou 25MPa	
Peso específico	24,51 kN m ⁻³
Módulo de Elasticidade (Obtido a partir do f_{ck})	
Módulo de Elasticidade Secante (E_{cs})	25,00 GPa
Módulo de Elasticidade Inicial (E_{ci})	29,42 GPa
Resistência a compressão	
Resistência característica (f_{ck})	25 MPa
Coefficiente de minoração (γ_c)	1,40
Resistência de cálculo (f_{cd})	17,9 MPa
Característica do concreto	
Peso específico	24,51 kN m ⁻³
Módulo de Elasticidade (Obtido a partir do f_{ck})	
Módulo de Elasticidade Secante (E_{cs})	25,00 GPa
Módulo de Elasticidade Inicial (E_{ci})	29,42 GPa
Resistência a tração (Obtido a partir do f_{ck})	
Resistência média (f_{ctm})	1,80 MPa
Resistência característica inferior ($f_{ctk, inf}$)	1,26 MPa
Resistência característica superior ($f_{ctk, sup}$)	2,34 MPa
Resistência de cálculo (f_{ctd})	0,90 MPa
Propriedades do aço classe CA-50 ou 500 MPa	
Resistência característica de escoamento (f_y)	500,00 MPa
Coefficiente de minoração ($\gamma_{aço}$)	1,15
Resistência de cálculo (f_{yd})	434,78 MPa
Limite de resistência (f_{st})	478,26 MPa
Propriedades do aço classe CA-60 ou 600 MPa	
Resistência característica de escoamento (f_y)	600,00 MPa
Coefficiente de minoração ($\gamma_{aço}$)	1,15
Resistência de Cálculo (f_{yd})	521,74 MPa
Limite de Resistência (f_{st})	573,97 MPa

Tabela 2 - Propriedades dos materiais empregados na análise estrutural.

Combinação das cargas atuantes

No dimensionamento e análise das estruturas em concreto armado deve-se considerar toda a envoltória dos esforços com o propósito de conformar o desempenho estrutural e os carregamentos durante a fase de dimensionamento. Conforme requer a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), em seu item 11.8, as combinações

dos esforços devem contemplar a situação mais desfavorável na estrutura para o Estado Limite Último (ELU) e o Estado Limite de Serviço (ELS).

Foi considerado como ações atuantes na laje da edificação modelada: a) peso próprio e cargas adicionais (ambas ações permanentes) e, b) cargas acidentais, bem como os coeficientes de ponderação e fatores de combinação, conforme ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), relatados na Tabela 3.

Tipo	Ação	Indicação	Coeficiente de ponderação		Fatores de combinação		
			Favorável	Desfavorável	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Permanente	Peso próprio	PP	1	1,3*	1,0	1,0	1,0
Permanente	Adicional	PERM	1	1,4	1,0	1,0	1,0
Acidental	Acidental	SC	0	1,4	0,7	0,6	0,4

*para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Tabela 3 - Tipologia, coeficiente e fatores de combinação dos carregamentos empregados na análise estrutural, conforme ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014).

Para as fundações, tanto o Cenário 1 quanto o Cenário 2, utilizou-se o mesmo tipo de fundação profunda, a saber, blocos com estacas, dimensionadas a partir das cargas atuantes na edificação. Os blocos de fundação utilizados possuem dimensões de 60 x 60 x 60 cm, com uma estaca de 30 cm de diâmetro na consideração do modelo adotado. Foi considerado um coeficiente de recalque vertical K_v de 2000 tf m⁻³ e um coeficiente de recalque horizontal K_h de 600 tf m⁻³. O vínculo entre a ponta da estaca e o bloco de fundação foi do tipo rotulado. Além disso, foram utilizadas vigas baldrames, todas de dimensões 12 x 30 cm.

Modelagem e dimensionamento estrutural

Dois cenários de lançamento estrutural foram simulados, sendo que para cada cenário (Cenário 1 e 2) diferem-se quanto a disposição de direção de lançamento dos quatro pilares dos cantos (Figura 2).

No Cenário 1 os pilares dos cantos estão ortogonais (rotacionados em 90°) em relação aos outros quatro pilares da borda intermediária, alinhados com as alvenarias (cor cinza, Figura 2). Já no Cenário 2, todos os pilares estão com a mesma direção. O sistema de fundações foi mantido igual para os dois cenários simulados e o mesmo ocorreu com relação a disposição das vigas e lajes, não sendo alteradas as hipóteses, assim como as cargas atuantes e os materiais utilizados na edificação.

Para os dois cenários simulados, as dimensões das vigas baldrames (PT), do primeiro pavimento (P1) e da cobertura (P2) foram 12 x 30, 12 x 50 e 12 x 30 cm respectivamente, as lajes do tipo treliçadas de 17,0 cm de espessura total, sendo

12 cm a espessura do material de enchimento (isopor de 50 x 50 cm – largura x comprimento) e 5,0 cm de concreto com f_{ck} de 25MPa.

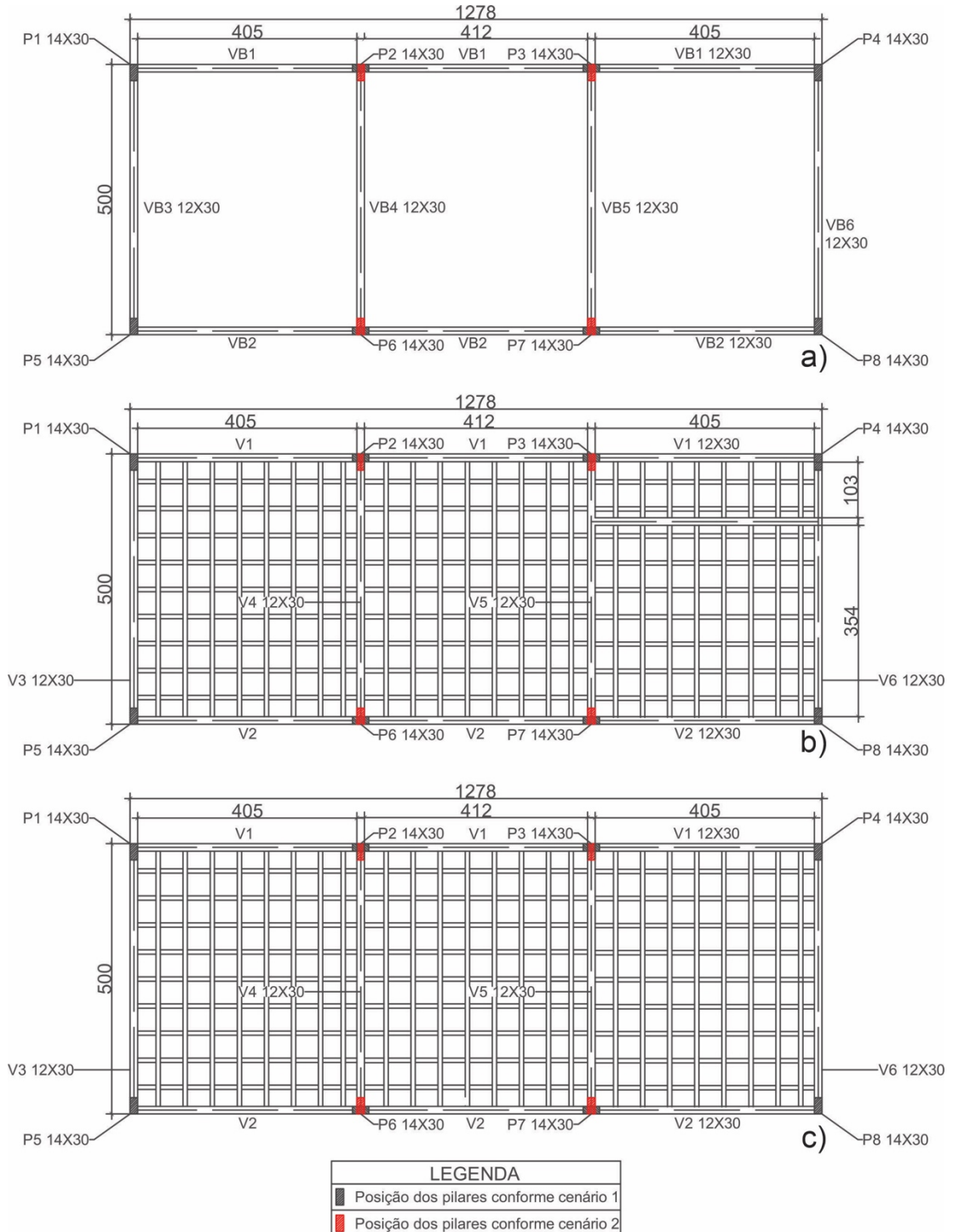


Figura 2 – Direção dos pilares adotada nos diferentes cenários simulados para o nível das: a) vigas baldramas (térreo); b) vigas do primeiro pavimento; c) vigas da cobertura (pavimento superior).
 Fonte: Autores.

No Cenário 1, os pilares das bordas intermediárias (centrais da edificação), apresentam-se embutidos na alvenaria, com melhor disposição do ponto de vista

arquitetônico e ganho de área construída útil (Figura 3a). Enquanto, no Cenário 2, todos os pilares, inclusive os dos cantos estão posicionados no sentido ortogonal à face das alvenarias, apresentando uma saliência ou recorte para dentro dos ambientes (Figura 3b). Para apresentação dos resultados, foi considerado como referência o Cenário 2, em que todos os pilares se encontram no mesmo sentido. Portanto, os pilares foram rotacionados para o Cenário 1.

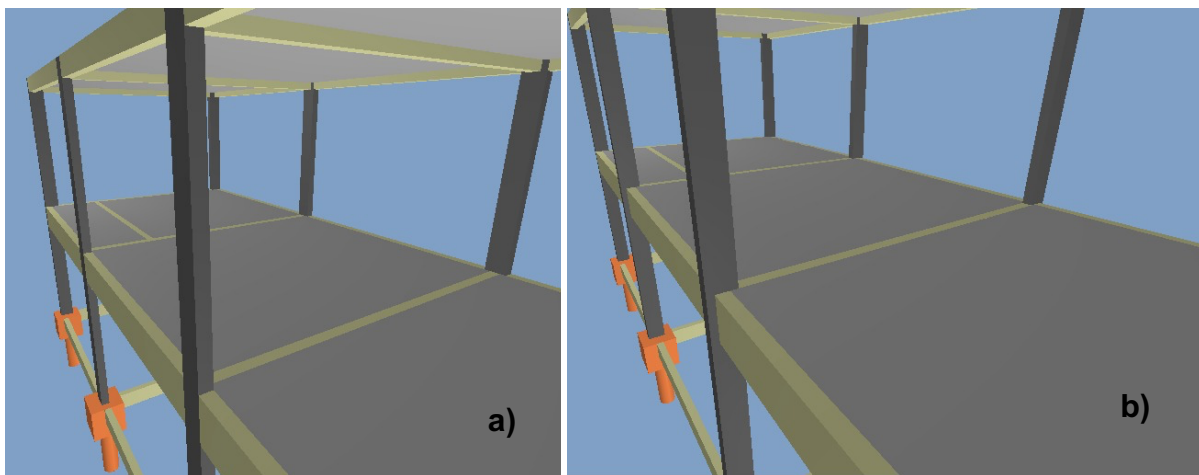


Figura 3 – Disposição dos pilares na estrutura; a) embutido na alvenaria os pilares intermediários da borda (Cenário 1); b) ortogonal à alvenaria, com saliência para dentro dos cômodos (Cenário 2).

Fonte: Autores.

Assim, a modelagem estrutural computacional em concreto armado (iniciando com as informações dos dados de entrada de configuração do material, cargas atuantes e combinações e agressividade do meio, por exemplo) foi realizada no *software* Eberick®, em ambos os cenários, sendo avaliados os resultados para os três elementos estruturais principais do projeto: lajes, vigas e pilares. Para avaliação de cada elemento estrutural foram selecionados alguns parâmetros para efeito de comparação, sendo: a) para as lajes foram avaliados os momentos fletores positivos máximo nas direções horizontal (x) e vertical (y), flecha máxima, área de aço nas direções x (A_{sx}) e y (A_{sy}), peso total de aço CA-50 e CA-60; b) para as vigas foram avaliados os momentos fletores positivos e negativos, máximos e mínimos, nas duas direções, flecha máxima, peso total de aço CA-50 e CA-60 e o volume total de concreto por pavimento, e por fim, c) para os pilares foram avaliados a força normal máxima; momento decorrente da flexão composta ($M_{xd,topo}$, $M_{xd,base}$, $M_{yd,topo}$ e $M_{yd,base}$);

momento solicitante e momento resistente (M_{sd} , M_{rd}); peso total aço CA-50 e CA-60 por pavimento.

Também foi realizada a análise global da estrutura no *software* Eberick®. A análise dos resultados da estabilidade global da estrutural são importantes dentro da concepção estrutural uma vez que ela visa a garantia da estabilidade da estrutura mesmo submetida a deformações excessivas decorrentes de ações aplicadas sobre a estrutura (LACERDA *et al.*, 2014). Dessa forma, na tentativa de avaliar a estrutura globalmente, foram utilizados os seguintes parâmetros: P-delta (vento $x+$ e $x-$); P-delta (vento $y+$ e $y-$); P-delta (desaprumo $x+$ e $x-$); P-delta (desaprumo $y+$ e $y-$); Gama Z nas direções x e y ; deslocamentos horizontais entre pavimentos consecutivos, médios e máximos nos pilares nas direções x e y ; desaprumo global nos eixos x e y ; deslocamento médio no topo dos pilares nos eixos x e y (ABNT, 2014).

Resultados

Lajes

Com relação ao elemento estrutural laje, tanto para o primeiro (P1) quanto segundo pavimento, ou seja, cobertura (P2), a Figura 4 apresenta os valores de momento positivo nas direções x e y , para cada laje. Percebe-se que os valores de momento positivo na direção x tende a aumentar com a rotação de todos os pilares (Cenário 2), ao contrário dos momentos positivo na direção y , que tendem a diminuir, conforme já era esperado (Figura 4).

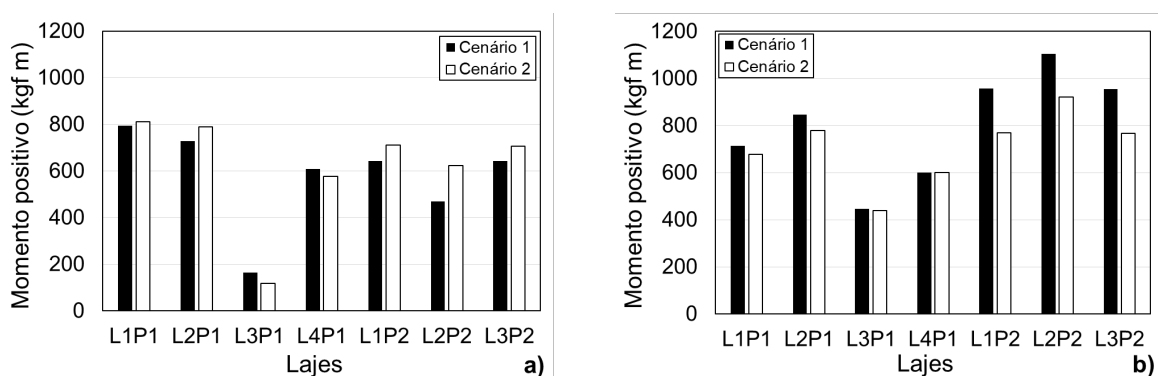


Figura 4 – Momentos positivos máximos para as lajes nas direções: a) em x ; b) em y .
Fonte: Autores.

Na Figura 4a percebe-se que a mudança de orientação dos pilares intermediários da borda da obra (Cenário 1) provocou uma redução do momento positivo na direção x nas Lajes 3 e 4 do pavimento térreo (L3P1 e L4P1) não interferindo no valor de momento positivo na direção y das mesmas lajes (Figura 4b). Além disso, é possível notar que para as lajes do segundo pavimento (L1P2, L2P2 e L3P2) os momentos fletores positivos em y mostraram-se mais significativos do que as lajes do Pavimento 1 (Figura 4b), devido às maiores dimensões geométricas das lajes.

Tendo em vista que os valores de momento refletem sobre a quantidade de aço consumido pela laje, percebe-se pela Figura 5, que a área de seção de aço seguiu o mesmo comportamento que os momentos fletores positivos. A mudança de direção dos pilares (Cenário 1) provoca o aumento da área de seção do aço para a direção y e redução da área de seção do aço para a direção x . Infere-se da Figura 6 que, a redução da área de aço pelo momento em y foi mais significativa que o aumento da área de aço no momento em x , mostrando uma redução significativa de aço tipo CA-50 e poucas mudanças no consumo de aço tipo CA-60, considerando o Cenário 2, ou seja, quando os pilares estão posicionados na mesma direção dos eixos de referência, direção coincidente com a direção das vigas que ligam os pilares na direção y .

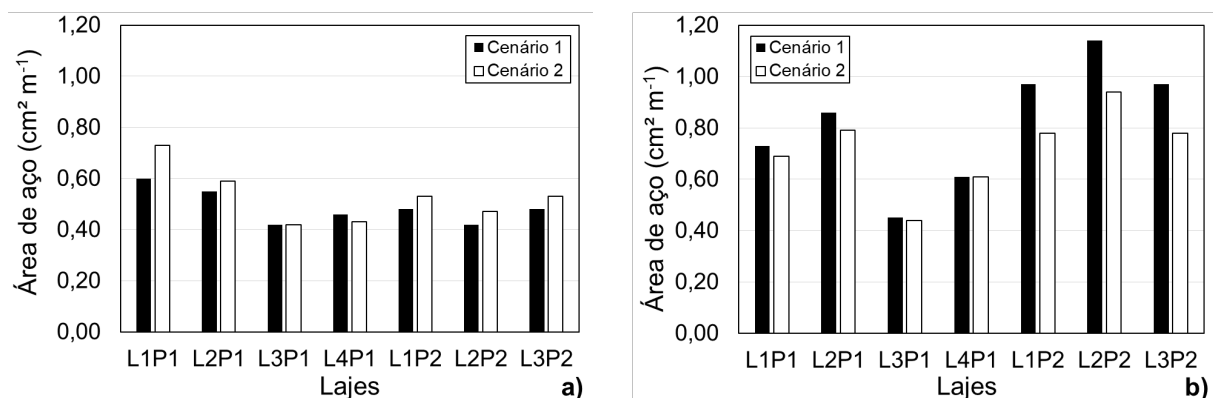


Figura 5 – Área de aço (A_s) das lajes nas direções: a) em x ; b) em y .
Fonte: Autores.

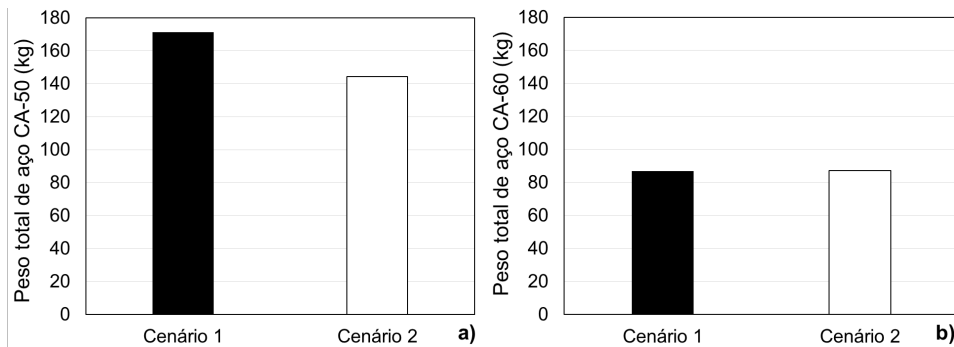


Figura 6 – Peso total de aço das lajes: a) CA-50; b) CA-60.
 Fonte: Autores.

O comportamento evidenciado pelos momentos positivos reflete nos valores das flechas máximas das lajes (Figura 7). Para todas as lajes do Pavimento 1 e 2 houve redução na flecha máxima, até mesmo para a Laje 3 do Pavimento 1 (L3P1), sendo mais perceptíveis para as lajes do Pavimento 2.

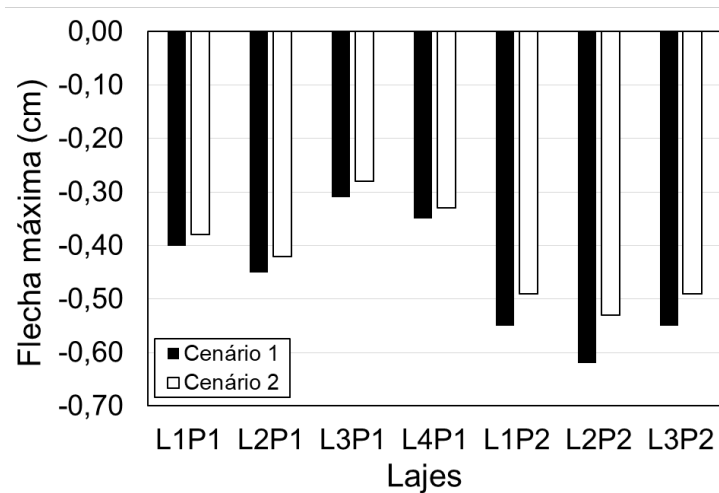


Figura 7 – Flechas máximas para as lajes de cada pavimento.
 Fonte: Autores.

O comportamento apresentado pelas flechas máximas nas lajes pode ser justificado com base nas definições e aplicações sobre o momento de inércia. Uma vez que no Cenário 2 o eixo de maior inércia dos pilares é o eixo de menor inércia da edificação, o que corrobora para a estabilidade estrutural além de, não sobrecarregar os outros elementos estruturais: lajes e vigas. Assim, há um aumento do momento de inércia dos elementos lajes e menos sobrecarga, diminuindo esse deslocamento. Apesar da redução nas flechas máximas, em ambos os cenários, as flechas das lajes L3P1, L1P2, L2P2 e L3P2 não atenderam ao critério dos deslocamentos visíveis

(//250) em um elemento estrutural (aceitabilidade sensorial), conforme ABNT NBR 6.118 (ABNT, 2014).

Vigas

Para as vigas dimensionadas, são apresentados os resultados dos momentos fletores positivos e negativos (Figura 8). A mudança de cenário (Cenário 1 para o Cenário 2) provocou, no geral, uma redução do momento positivo para as vigas de todos os pavimentos (Figura 8a). Percebe-se que a rotação dos pilares teve grande impacto sobre os momentos fletores nas vigas do Pavimento 1, com destaque para as maiores mudanças percebidas para as vigas que recebem os pilares rotacionados (vigas V4P1 e V5P1). A rotação dos pilares intermediários da borda (Cenário 1) provocou o aumento do momento fletor positivo e diminuição do momento fletor negativo. Dessa forma, essas vigas tiveram mudanças na região de tração e compressão. O mesmo comportamento observou-se para as vigas V4P2 E V5P2, ambas apoiam os pilares rotacionados. Essa compensação entre os momentos não gerou impactos no consumo de aço para vigas, como apresentado pela Figura 9.

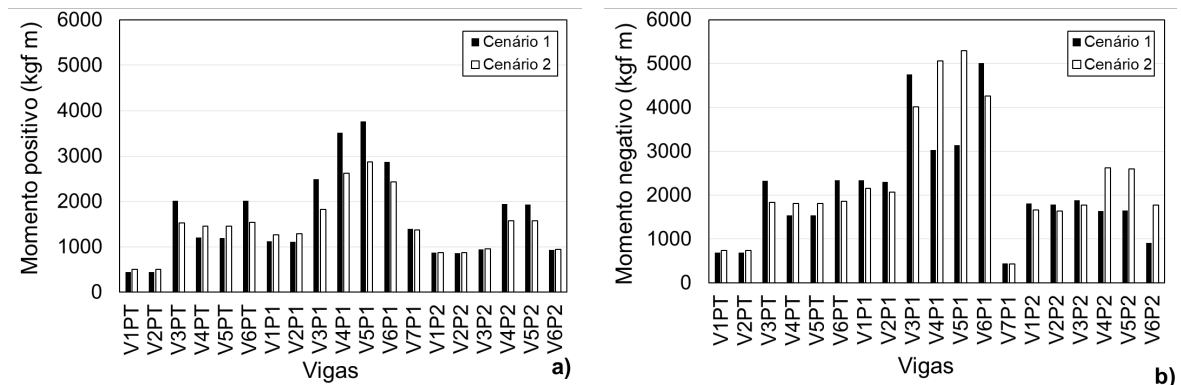


Figura 8 – Momentos fletores das vigas a) positivo; b) negativo.

Fonte: Autores.

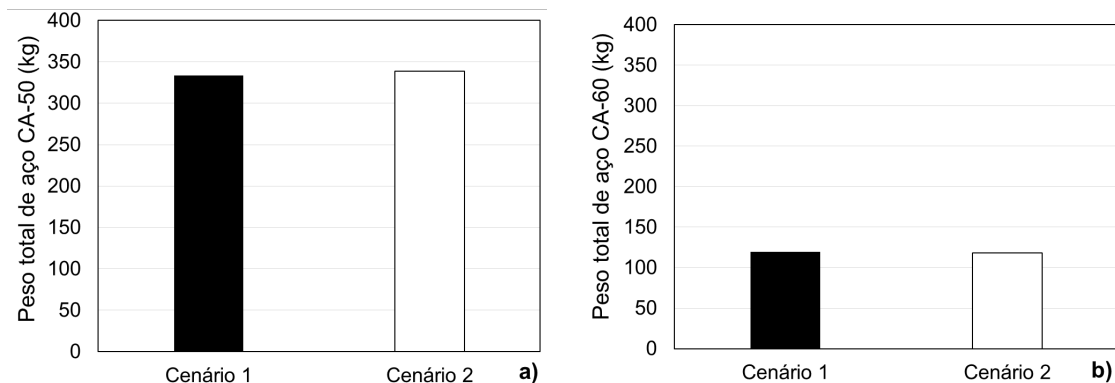


Figura 9 – Peso total de aço para vigas: a) CA-50; b) CA-60.

Fonte: Autores.

As flechas máximas das vigas para os dois cenários são apresentadas na Figura 10, sendo possível perceber que as vigas que descarregam nos pilares rotacionados (V4P2 e V5P2), no pavimento superior (P2), apresentam significativa redução das flechas. Esse comportamento também é evidente para as vigas V4P1 e V5P1; porém, em menor escala comparada às do pavimento superior. Destaca-se que o Cenário 2 (quando todos os pilares estão na mesma direção de lançamento) foi o que apresentou os menores valores de flechas máximas para quase todas as vigas, de ambos os pavimentos.

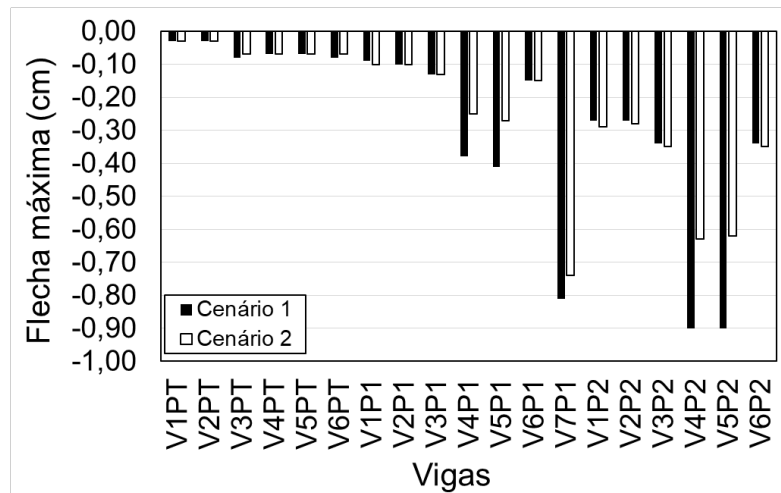


Figura 10 – Flechas máximas apresentadas pelas vigas para ambos os cenários simulados.
 Fonte: Autores.

Pilares

A Figura 11 apresenta os esforços normais para os pilares nos dois cenários simulados. Percebe-se que no geral, os valores de esforços normais sofrem aumento com a mudança de cenário (Cenário 2), obtendo as maiores variações para o pavimento térreo da área de estudo.

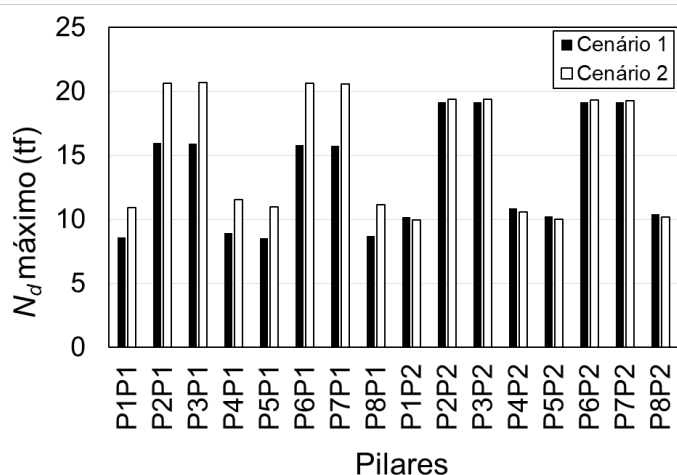


Figura 11 – Esforço normal máximo para os pilares.
 Fonte: Autores.

Quanto aos valores de momento relativo à flexão composta, ou seja, momento solicitante e resistente, esses são apresentados nas Figuras 12 e 13, respectivamente. Percebe-se que os momentos relativos à flexão composta na base dos pilares (Figuras 12b e 12d), em ambas as direções x e y, para o primeiro e segundo pavimentos, sofreram uma redução para quase todos os pilares, considerando o Cenário 2.

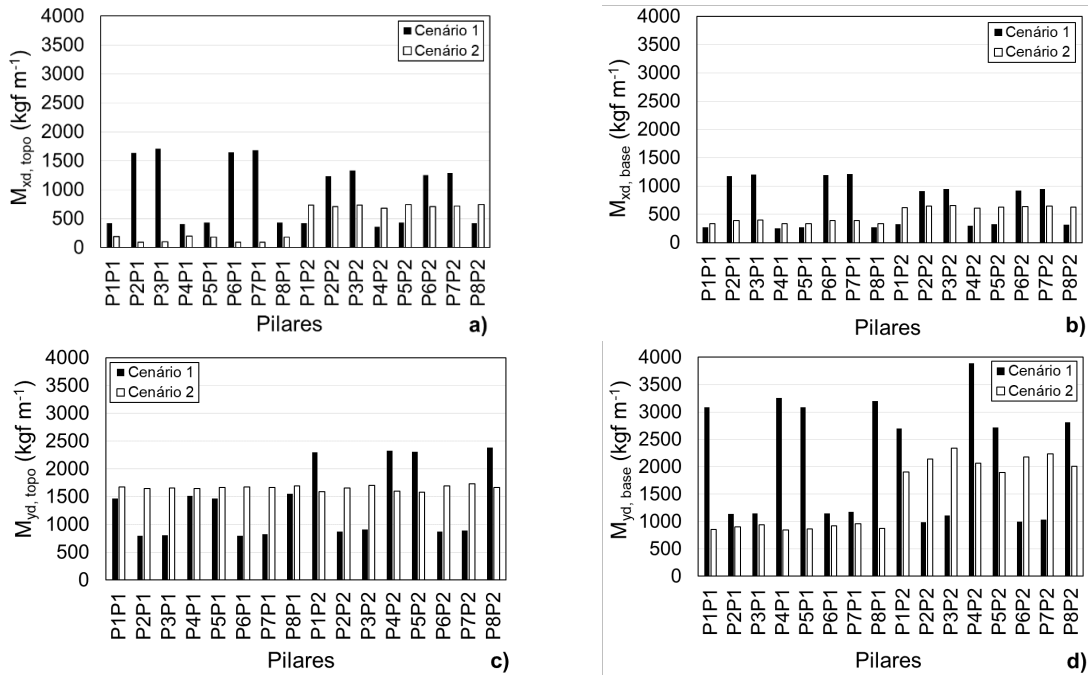


Figura 12 – Momento relativo à flexão composta: a) no topo do pilar, na direção x; b) na base do pilar, na direção x; c) no topo do pilar, na direção y; d) na base do pilar, na direção y.

Fonte: Autores.

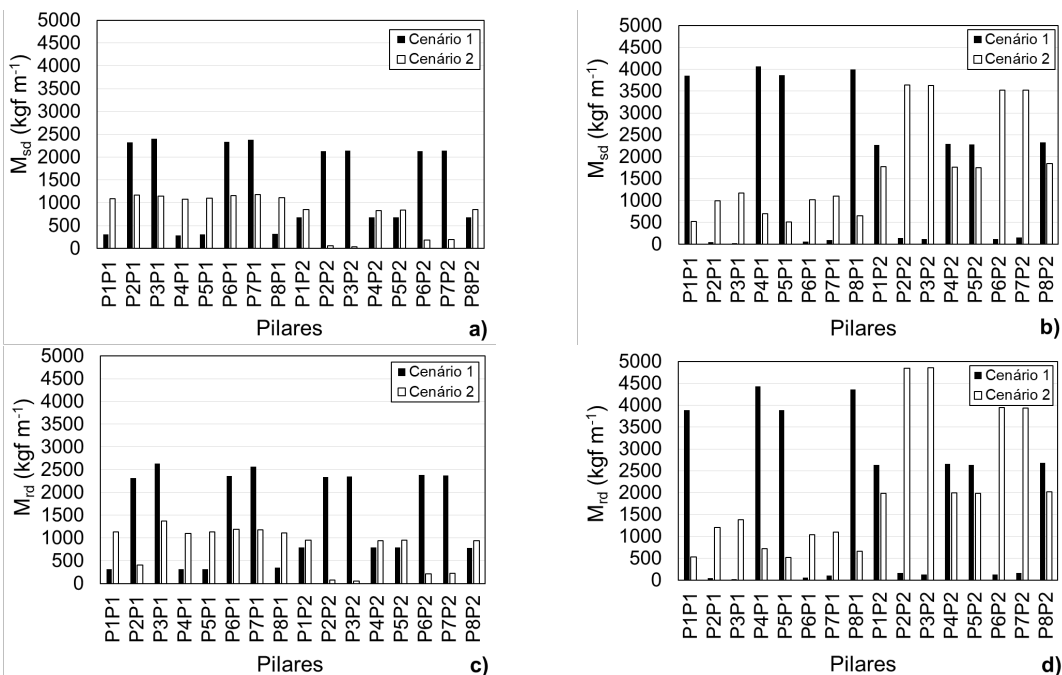


Figura 13 – Momento solicitante: a) direção x; b) direção y e; Momento resistente: c) direção x; d) direção y.

Fonte: Autores.

Pode-se notar que no Cenário 1, os momentos relativos à flexão estavam maiores para os pilares intermediários da borda e com a rotação desses foi possível uma redistribuição desses momentos. Esse mesmo comportamento continua e justifica os resultados apresentados na Figura 13. Não houve mudanças significativas nos valores dos momentos solicitantes e resistentes para ambos os cenários (Figura 13).

Dessa forma, a rotação dos pilares para um mesmo sentido favoreceu a redistribuição dos esforços nos pilares. Essa redistribuição favoreceu uma redução de aço CA-50 e uma ampla redução de aço CA-60, como mostrados na Figura 14. Na Figura 14, também é possível perceber que os pilares rotacionados, do segundo pavimento, tiveram uma significativo aumento de resistência.

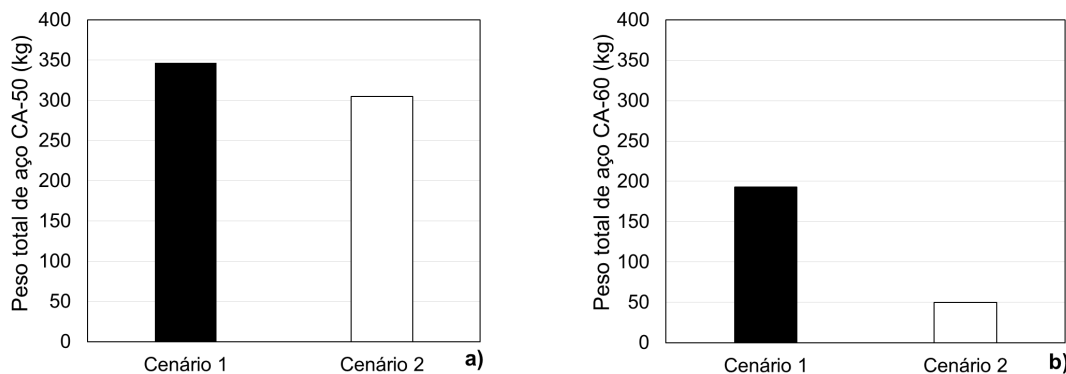


Figura 14 – Peso total de aço dos pilares: a) CA-50; b) CA-60.
Fonte: Autores.

Análise estrutural global

Os dados sobre a análise da estrutura global são apresentados na Tabela 4. Quanto aos parâmetros relacionados à ação dos ventos, percebeu-se que a rotação dos pilares (Cenário 1) ocasionou aumento nos valores P-delta considerando a direção y e a diminuição dos valores para a direção x, correspondendo ao comportamento diretamente proporcional do coeficiente Gama Z em relação ao P-delta, decorrente da mudança de inércia dos pilares. Os valores de deslocamento também apresentaram esse comportamento. Percebeu-se que com a rotação dos pilares houve um aumento no momento de inércia no sentido do eixo x e diminuição do momento de inércia no sentido do eixo y, acompanhando o comportamento

acima. Constatou-se que a rotação dos pilares para uma mesma direção (Cenário 2), contribuiu, favoravelmente, para o momento de inércia do prédio na direção y , diminuindo os deslocamentos nesse sentido.

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
P-delta (vento x^+ e x^-)	4,34%	6,83%
P-delta (vento y^+ e y^-)	6,52%	2,66%
P-delta (desaprumo x^+ e x^-)	4,17%	6,62%
P-delta (desaprumo y^+ e y^-)	6,38%	2,62%
Gama Z (direção x)	1,05	1,06
Gama Z (direção y)	1,07	1,02
Deslocamento horizontal (direção x)	0,17	0,23
Deslocamento horizontal (direção y)	0,66	0,26
Deslocamento máximo dos pilares (direção x)	0,10	0,20
Deslocamento máximo dos pilares (direção y)	0,37	0,21
Deslocamento médio dos pilares (direção x)	0,10	0,19
Deslocamento médio dos pilares (direção y)	0,37	0,20

Tabela 4 – Comparativo entre os Cenários 1 e 2 para avaliação global da estrutura.

Conclusões

A fase de concepção estrutural é fundamental para o dimensionamento de estruturas, em especial, de concreto armado. Uma boa concepção estrutural, ou seja, locais, direções e quantidades de pilares estruturais, pode gerar reduções substanciais de custos, principalmente de aço, garantindo melhor estética e funcionalidade, menores índices patológicos, além de, segurança e durabilidade estrutural do empreendimento.

Em função dos resultados dos dois diferentes cenários simulados, a mudança de direção dos pilares intermediários da borda (Cenário 1) em relação aos pilares dos cantos impactou negativamente sobre os elementos estruturais de forma global. A rotação dos pilares ocasionou um aumento de 28% no consumo de aço CA-50, além de um aumento de 15% no consumo de aço, sendo mais vantajoso a análise e resultados obtidos para o Cenário 2 (quando todos os pilares são lançados com as

mesmas direções de referências) que assegurou estruturas de concreto armado mais leves para as lajes e pilares, devido ao menor consumo de aço (solicitando fundações menos robustas), duráveis (menores flechas máximas, com redução média de 8% para lajes e vigas, e conseqüentemente, fissurações) e mais econômicas.

Entretanto, apesar do Cenário 2 apresentar inúmeras vantagens do ponto de vista de concepção estrutural, mostrou-se não ser interessante arquitetonicamente, uma vez que os pilares não se encontram embutidos nas alvenarias, ocasionando perda de área útil, dificuldades de execução considerando os requadros necessários, além de dificultar a disposição de mobiliários próximos a estes.

Dessa forma, a concepção de diferentes modelos estruturais é ferramenta importante para que os projetistas estruturais avaliem os diferentes cenários e tomem decisões que melhor assegurem a economia, segurança, durabilidade e conforto dos usuários, mostrando-se importante também o envolvimento de outros profissionais, como arquitetos e engenheiros de fundações na compatibilização dos projetos.

Bibliografia

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2014 – **Projeto de Estruturas de Concreto Armado** - Procedimento, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120:2019 – **Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações** - Procedimento, Rio de Janeiro, RJ, 2019.

COSTA, J. F. P. **Influência da deformabilidade de alvenarias interiores na concepção estrutural de um edifício**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, p. 108. 2009.

LACERDA, M. M. S.; FLORÊNCIO, A. C.; SILVA, W. A.; DELALIBERA, R. G. Avaliação dos critérios para análise da estabilidade global em edifícios de concreto armado: estudo de caso. **Reec**: Revista Eletrônica de Engenharia Civil, 2014.

LOPES, J. M. **Concepção e dimensionamento estrutural de uma cobertura suspenso pré-esforçada**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, p. 247. 2008.

MASCARENHAS, F. J. R.; CHRISTOFORO, A. L.; CARVALHO, R. C. A utilização de um software livre para determinação dos esforços internos de cargas móveis em vigas de pontes de concreto. **HOLOS**, v. 3, p. 1-18, 2020.



RIBAS, R. A. J.; SOUZA, H. A. Avaliação construtiva e de desempenho térmico do prédio da Escola de Minas da UFOP. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 4, p. 629-638, 2007.

RIBEIRO, P. E. **A. Influência da deformabilidade de rebocos exteriores de fachada na concepção estrutural de um edifício**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, p. 665. 2008.

SANTOS, M. A. P. F. **Influência da deformabilidade de revestimentos cerâmicos de piso na concepção estrutural de um edifício**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, p. 241. 2008.

SILVA, F. T. Modelo paramétrico de pórticos em concreto armado com dimensionamento otimizado: uma proposta de ferramenta de projeto para as fases iniciais de concepção estrutural. **Ambiente Construído**, v. 18, p. 193-210, 2018.

SOUZA, R. A.; REIS, J. H. C. Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundações rasas. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 30, n. 2, p. 161-171, 2008.