

Influência da Resistência Característica do Concreto na Estabilidade Global e Reverberações no Custo – Estudo de Caso

Selton Dutra Zen¹, José Filipi Rebelo²

Universidade do Vale do Itajaí / Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar

¹ seltondzen@outlook.com

² filipirebelo@hotmail.com

Resumo

Diversos aspectos mercadológicos e tecnológicos tendem a aumentar o gabarito das edificações, resultando em projetos cada vez mais esbeltos e arrojados. Por este motivo, se faz necessário estudar a estabilidade global dos edifícios para aumento de sua vida útil, conforto do usuário e segurança. Este estudo apresenta a influência do f_{ck} do concreto na estabilidade global de um edifício de 25 pavimentos. Estudam-se os parâmetros de estabilidade, os deslocamentos horizontais e as reverberações destes no custo da estrutura. O objetivo é abordar as reduções de custo e melhoria de parâmetros proporcionadas pela alteração da resistência do concreto para diversos modelos, mantendo as seções de seus elementos estruturais idênticas ou reduzindo-as para a mínima requerida ao arranjo estrutural. Para as análises, é utilizado um modelo de referência de 30 MPa, ramificando-se em oito modelos de estudo. Destes, quatro apresentam a mesma configuração geométrica da estrutura de referência, variando-se o f_{ck} para 35 MPa, 40 MPa, 45 MPa e 50 MPa, e outros quatro variando os f_{cks} para os mesmos valores anteriores, porém apresentando otimizações dimensionais em seus elementos estruturais, visando compensar o aumento do f_{ck} . Ao final, pôde-se perceber que os modelos cujas seções permaneceram imutáveis apresentaram melhorias significativas quanto aos parâmetros de estabilidade e deslocamentos, já que a rigidez de seus elementos aumentou a cada novo aumento de f_{ck} . Quanto aos custos e consumo de material, estes modelos apresentaram valores diversos, onde alguns mostraram reduções e outros grande aumento de custo, sendo este um âmbito de análise que engloba diversas variáveis. Quanto aos modelos de geometria otimizada, estes mantiveram os parâmetros de estabilidade e deslocamentos pouco variáveis, já que a redução de seção foi equilibrada pelo aumento do módulo de deformação do concreto. Os custos se apresentaram menores que o modelo de referência e houve significativa redução no consumo de materiais.

Palavras-chave: Estabilidade; gama Z; rigidez; concreto; deslocamento.

Introdução

Nas últimas décadas, o aumento da densidade populacional e a diminuição dos espaços vazios nos centros urbanos têm incitado progressivamente a verticalização das construções que, respaldadas por novas tecnologias construtivas e aprimoramento de materiais, hoje apresentam menores seções e mais arrojado arquitetônico. Somado a isso, tem-se a competitividade mercadológica representada pela grandiosidade das edificações como símbolo de poder, onde se percebe um crescente interesse pelo máximo aproveitamento de um espaço valorizado (como orlas de praias e grandes centros urbanos) e a venda da vista às belezas naturais agregada ao valor do imóvel.

Com o avanço dos métodos de cálculo e análise estrutural desenvolvidos para suprir esta demanda construtiva, faz-se necessário trazer à luz a discussão acerca da estabilidade estrutural de edificações e seu impacto em projetos para edifícios esbeltos, já que representa acréscimo ou decréscimo nos parâmetros de mobilidade da estrutura e desempenho da edificação, afetando diretamente não apenas a segurança e conforto dos usuários, mas também o custo final de projeto e de manutenção da edificação a longo prazo.

O âmbito da interpretação e verificação estrutural, regido pela NBR 6118:2014 (Projeto de Estruturas de Concreto) estabelece parâmetros que mensuram a estabilidade de estruturas, tais como o coeficiente γ_z e o parâmetro α , fatores que representam a indeslocabilidade da edificação e estabelecem a necessidade de considerações de efeitos de segunda ordem globais na análise estrutural. Para tanto, deve-se analisar também a influência dos efeitos de primeira e segunda ordem na estrutura.

Entende-se que quanto mais altas as edificações, maiores serão os efeitos de cargas horizontais na estrutura e mais relevante será a consideração de sua instabilidade global. E neste âmbito, a NBR 6118:2014 estabelece limites para as movimentações por meio de dois estados específicos: o Estado Limite de Serviço (ELS), que aborda o conforto e confiança do usuário na edificação, e o Estado Limite Último (ELU), que aborda a segurança contra o colapso do arranjo estrutural.

Para tanto, empregam-se alternativas técnicas para atenuar o impacto da movimentação da estrutura, como sistemas de contraventamento, disposição adequada de núcleos rígidos e elementos estruturais (utilizando a geometria das peças à favor da rigidez), bem como aumento da rigidez destes.

Uma das alternativas para acréscimo da rigidez dos elementos estruturais e diminuição de suas respectivas deformações, é o aumento da resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}), uma vez que incrementa sua rigidez - por aumentar seu módulo de deformação longitudinal (interferindo em sua rigidez flexional EI e rigidez axial EA) - e enrijece o arranjo estrutural.

Justificativa

A crescente corrida tecnológica e construtiva estabelecida pelas construtoras no âmbito nacional, trouxe à construção civil um apuro técnico em parâmetros que há algumas décadas não havia necessidade de discussão. O principal deles é a estabilidade global das estruturas. Um exemplo notável, conforme indicado por Bueno (2009), é a inserção de um capítulo totalmente dedicado ao tema na revisão de 2003 da NBR 6118:2014.

Entende-se que, mais que saber dispor adequadamente pilares e usar a geometria dos elementos a favor da robustez da estrutura, uma correta solução de estabilidade pode resultar em economia à empresa contratante no que tange o consumo de material ou mesmo melhorias no processo executivo. Previne ainda subseqüentes patologias oriundas de deformações excessivas na estrutura.

Analisando-se apenas o ensejo da mudança da resistência característica do concreto e sua relação com a rigidez global, esta pode representar uma economia no volume de concreto utilizado em obra, diminuição das dimensões dos elementos estruturais empregados (aumentando a flexibilidade arquitetônica e o espaço livre para se habitar) e simplificação da execução da estrutura *in loco*.

Referencial teórico

A rigidez à flexão de um elemento estrutural influencia diretamente sua deformação. De forma simplificada, a equação 1 demonstra a obtenção desta grandeza, onde tem-se a inércia do elemento (que corresponde diretamente à sua geometria) multiplicando seu Módulo de deformação longitudinal tangente do material.

$$\text{Rigidez} = E * I \quad (1)$$

Sabe-se que o módulo de deformação de um material é uma grandeza experimental avaliada por meio de um diagrama de tensão X deformação, que representa a relação entre a tensão absorvida pelo material e o quanto este se deforma (BASTOS, 2006). A Figura 1 ilustra um exemplo de curva σ X ϵ para o concreto.

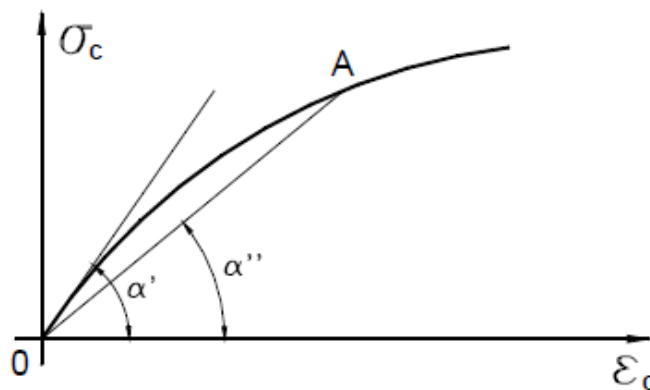


Figura 1 – Curva para obtenção do módulo de deformação do concreto.

Fonte: Bastos, 2006, p. 68

A curva se altera diretamente com a mudança da resistência característica do concreto. Portanto, pode-se inferir que quanto maior o f_{ck} , menores serão as deformações estruturais dos elementos, desde que a geometria da peça se mantenha a mesma, não modificando sua inércia.

Por sua vez, os deslocamentos podem ser classificados como de 1ª ordem (considerando-se a estrutura indesejada) e os de 2ª ordem que, conforme Kimura (2007): “são efeitos adicionais à estrutura, gerados a partir de sua deformação”, ou seja, são momentos gerados em decorrência de novos carregamentos e excentricidades na estrutura deformada.

Para mensurar a influência dos efeitos de 2ª ordem sobre a estrutura, lança-se mão de coeficientes de instabilidade. Um dos mais utilizados é o coeficiente γ_z . Este aborda a relação dos momentos de 2ª ordem sobre os de 1ª, conforme demonstrado na equação 2. Segundo a NBR 6118:2014, pode-se usar o coeficiente como indicador da necessidade da consideração dos efeitos de 2ª ordem sobre a estrutura ou não (caso este supere a grandeza de 1,1).

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (2)$$

Metodologia

Por se tratar de uma pesquisa de natureza aplicada, a influência do f_{ck} do concreto foi testada em diversos modelos estruturais com o auxílio do *software* CAD/TQS, em sua versão 19. Todas as análises obedecem às indicações das normas NBR 6118:2014, NBR 6120:1980 (Cargas para o cálculo de estruturas de edificações) e NBR 6123:1988 (Forças devidas ao vento em edificações).

Para o estudo de caso, foi adotado um edifício residencial, considerando-se apenas o pórtico de seu pavimento tipo, repetido 25 vezes. A altura total do modelo foi de 82,08 m, enquanto a área por pavimento é de 200,36 m². Caracteriza-se por ser uma estrutura assimétrica, onde sua maior dimensão de fachada é 17,85 m, e a menor é 16,80 m.

A escolha desta edificação foi pautada em sua esbeltez, além de possibilitar uma topologia estrutural diferenciada. A Figura 2 apresenta a planta baixa utilizada para estudo.

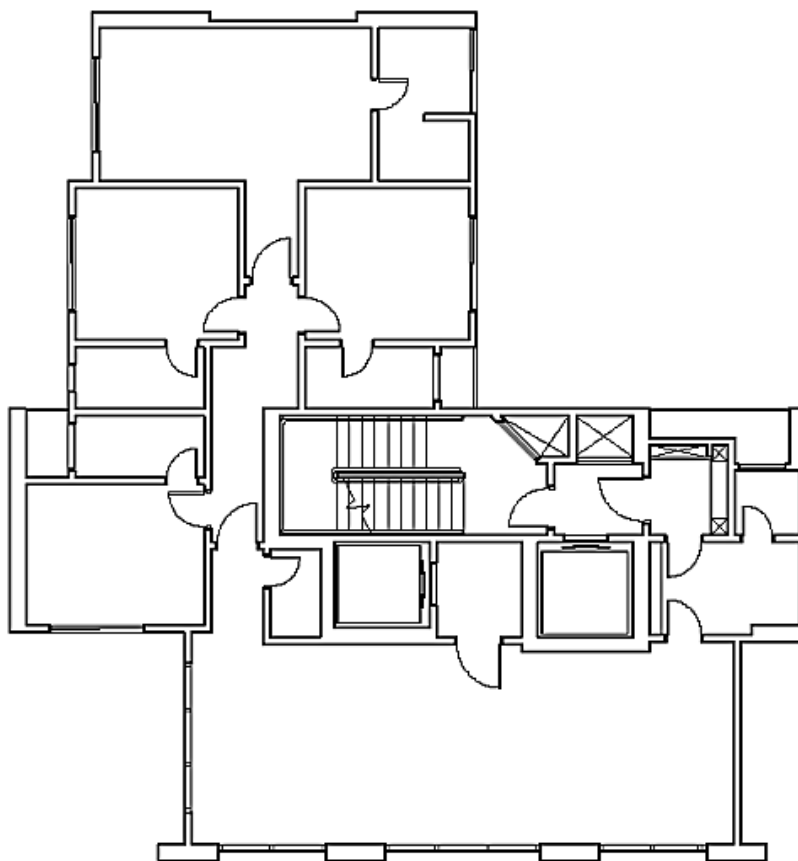


Figura 2 – Planta baixa do pavimento utilizado no estudo.

Fonte: Autor, 2017

Inicialmente, estabeleceu-se uma classe de resistência base para o concreto e se modelou a estrutura de referência. Todas as análises comparativas foram realizadas sobre o modelo inicial com resistência de 30 MPa.

A estrutura foi processada aplicando análise elástica linear e utilizando-se o Modelo 6 disponível no *software*, que considera a contribuição das lajes na estabilidade global. O módulo de deformação utilizado pelo software foi o Ecs (módulo de deformação secante).

As considerações de cargas e esforços se apresentam a seguir:

Velocidade básica do vento: 42 m/s;

Carga linear para alvenaria de 15 cm: 14 kg/m³;

Carga permanente: 1,5 kN/m² ou 2 kN/m² nos casos de lavanderia e área de serviço;

Revestimento cerâmico e contrapiso: 1,5 kN/m²;

Padronizou-se a seção das vigas em 14X80 cm, excetuando-se situações pontuais. Optou-se por lajes nervuradas, com capa de 5 cm e nervura de 18 cm (totalizando 23 cm), e lajes maciças na parte central do arranjo estrutural, com 16 cm de espessura.

Durante todas as modelagens, o fator limitante foram os deslocamentos estabelecidos por norma, considerando H/1700 para os deslocamentos no topo da estrutura e H/850 para os deslocamentos entre pavimentos. Desta forma, os deslocamentos máximos permitidos foram de 4,83 cm (topo) e 0,40 cm (entre pavimentos). A Figura 2 apresenta a planta de formas do modelo de referência.

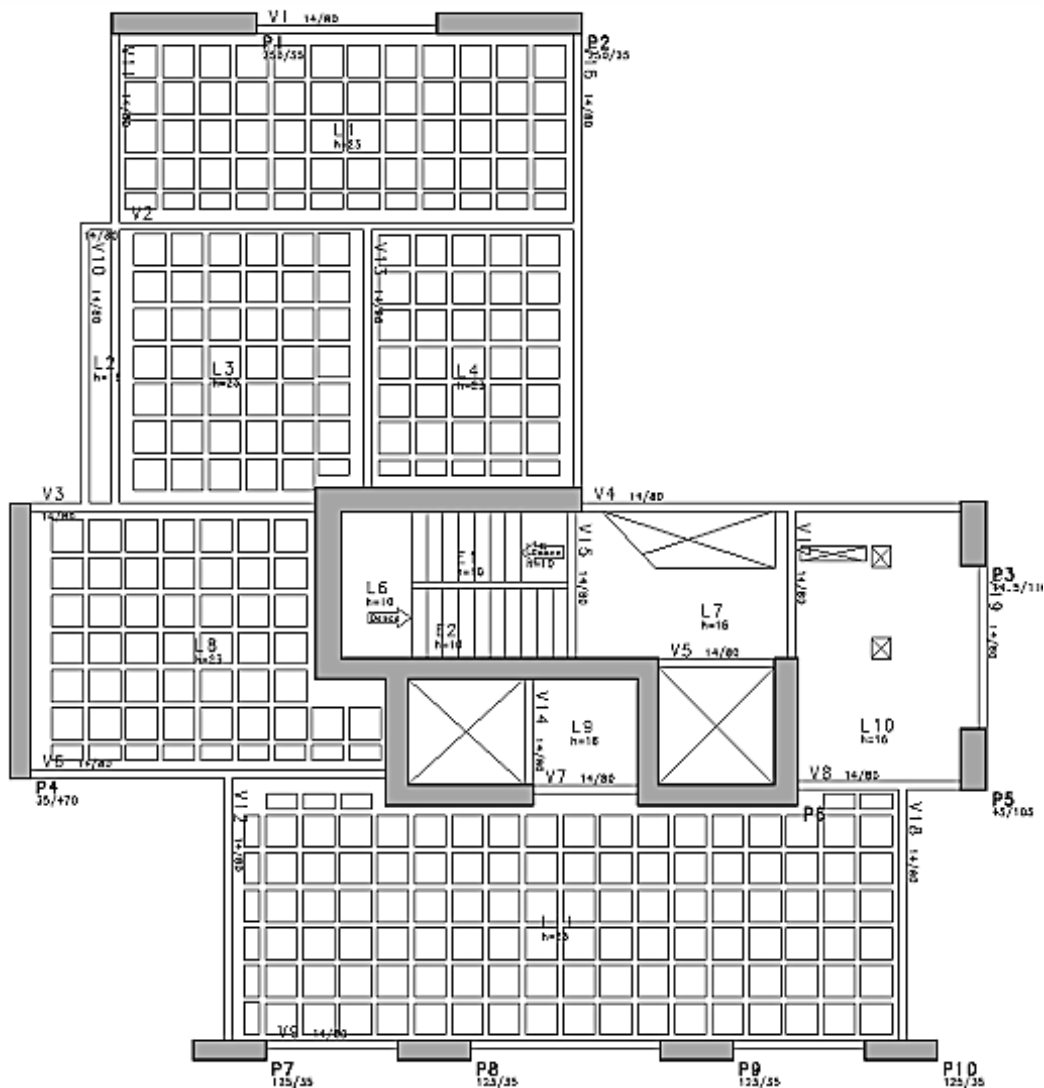


Figura 3 – Planta de formas do modelo de referência.

Fonte: Autor, 2017

Posteriormente, foi-se modificando a classe de resistência do concreto com a finalidade de observar as mudanças nos parâmetros técnicos e orçamentários do modelo. Foram estudadas as classes de concreto C35, C40, C45 e C50. Para cada uma das classes, foram feitas duas considerações: a primeira delas mantendo a topologia do modelo de base inalterada, com o intuito de se observar puramente as variações técnicas e econômicas da abordagem; a segunda análise consistiu na redução das seções dos pilares, visando compensar o aumento do f_{ck} . Estes últimos foram nomeados de modelos geometricamente otimizados. Foram avaliados, portanto, 9 modelos com 5 classes de resistência distintas. Para cada um dos modelos foram obtidos parâmetros técnicos como coeficiente γ_z , deslocamento no topo da estrutura e deslocamentos entre pavimentos. Também foram observados os reflexos das mudanças topológicas e do concreto no quantitativo de materiais e orçamento preliminar dos modelos.

As Tabelas 1 e 2 apresentam as reduções de seção dos pilares com o aumento do f_{ck} .

Tabela 1 – Otimizações geométricas dos modelos com 35 e 40 MPa.

	30 MPa		35 MPa Seção Otimizada		40 MPa Seção Otimizada	
P1	250X35 cm	8750 cm ²	180X35 cm	6300 cm ²	200X35 cm	7000 cm ²
P2	250X35 cm	8750 cm ²	180X35 cm	6300 cm ²	200X35 cm	7000 cm ²
P3	45X110 cm	4950 cm ²	40X100 cm	4000 cm ²	40X120 cm	4800 cm ²
P4	35X470 cm	16450 cm ²	30X350 cm	10500 cm ²	35X390 cm	13650 cm ²
P5	45X105 cm	4725 cm ²	45X105 cm	4725 cm ²	45X105 cm	4725 cm ²
P6	***	90901,1 cm ²	***	82556 cm ²	***	82331,1 cm ²
P7	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²
P8	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²
P9	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²
P10	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²

***: Pilar parede de 8 lâminas Fonte: Autor, 2017

Tabela 2 – Otimizações geométricas dos modelos com 45 e 50 MPa.

	30 MPa		45 MPa Seção Otimizada		50 MPa Seção Otimizada	
P1	250X35 cm	8750 cm ²	165X35 cm	5775 cm ²	140X35 cm	4900 cm ²
P2	250X35 cm	8750 cm ²	165X35 cm	5775 cm ²	140X35 cm	4900 cm ²
			35X130 cm	3850 cm ²	45X90 cm	4050 cm ²
P3	45X110 cm	4950 cm ²	40X100 cm	4000 cm ²	40X100 cm	4000 cm ²
P4	35X470 cm	16450 cm ²	35X130 cm	3850 cm ²	45X90 cm	4050 cm ²
P5	45X105 cm	4725 cm ²	55X80 cm	3600 cm ²	65X100 cm	6500 cm ²
P6	***	90901,1 cm ²	(***)	75477 cm ²	(***)	45051,6 cm ²
					(***)	23150 cm ²
P7	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²
P8	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²
P9	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²
P10	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²	125X35 cm	4375 cm ²

(*): Pilares resultantes da divisão do pilar parede P4

(***): Pilar parede de 8 lâminas.

Fonte: Autor, 2017

Resultados

Tabela 3 – Valores de γz obtidos para os modelos analisados.

fck (MPa)	30	35 (seções não otimizadas)	35 (seções otimizadas)	40 (seções não otimizadas)	40 (seções otimizadas)	45 (seções não otimizadas)	45 (seções otimizadas)	50 (seções não otimizadas)	50 (seções otimizadas)
γz (X)	1,04	1,036	1,038	1,034	1,039	1,031	1,039	1,029	1,047
γz (Y)	1,084	1,076	1,085	1,07	1,079	1,065	1,08	1,061	1,077

Fonte: Autor, 2017

Os modelos que não tiveram suas seções reduzidas apresentaram queda no coeficiente γz , já que o módulo de deformação longitudinal dos elementos foi incrementado sem haver redução de inércia das peças – logo, a estrutura se tornou mais rígida.

Para os modelos de seção otimizadas, o aumento do f_{ck} conseguiu suprir a diminuição da inércia dos elementos. É possível observar que o eixo X apresentou valores menos variáveis que seu eixo oposto. Isto se justifica já que o eixo X da estrutura se apresenta a todo momento menos suscetível aos momentos de 2ª ordem. A única exceção diz respeito ao modelo de 50 MPa, que apresentou valores de γz maiores em X que em Y. Isto aconteceu pela particularidade de ter sido destravada a estrutura neste eixo, quando seu núcleo rígido foi dividido em dois no momento da otimização geométrica.

Tabela 4 – Valores de deslocamentos de topo dos modelos analisados.

fck (MPa)	30	35 (seções não otimizadas)	35 (seções otimizadas)	40 (seções não otimizadas)	40 (seções otimizadas)	45 (seções não otimizadas)	45 (seções otimizadas)	50 (seções não otimizadas)	50 (seções otimizadas)
Deslocamento horizontal absoluto (X)	4,48	4,09	4,26	3,77	4,67	3,51	4,82	3,29	4,78
Deslocamento horizontal absoluto (Y)	4,74	4,33	4,82	3,99	4,78	3,71	4,82	3,48	4,62

Fonte: Autor, 2017

Com relação aos modelos de seções não otimizadas, o deslocamento diminuiu com o aumento da classe de resistência do concreto. Partindo do mesmo princípio que a análise anterior, isto acontece pelo incremento do módulo de deformação do material, sem mudança de sua inércia, logo a estrutura se mostra menos deslocável.

No que tange os modelos de seções otimizadas, estes conseguiram compensar a diminuição da inércia com o aumento de seu módulo de deformação, garantindo que o deslocamento não aumentasse excessivamente e se conservasse dentro dos limites estabelecidos.

Em todos os valores, o eixo Y continua se mostrando mais suscetível aos deslocamentos devido à menor inércia da estrutura nesta direção cartesiana. Com exceção do modelo de 50 MPa. O aumento do f_{ck} para este modelo possibilitou que seu núcleo rígido fosse dividido e, com isso, apresentou considerável redução de inércia na direção X.

Tabela 5 – Valores de deslocamentos entre pavimentos dos modelos analisados.

fck (MPa)	30	35 (seções não otimizadas)	35 (seções otimizadas)	40 (seções não otimizadas)	40 (seções otimizadas)	45 (seções não otimizadas)	45 (seções otimizadas)	50 (seções não otimizadas)	50 (seções otimizadas)
Deslocamento horizontal entre pavimentos (X)	0,22	0,20	0,21	0,18	0,23	0,17	0,23	0,16	0,24
Deslocamento horizontal entre pavimentos (Y)	0,24	0,22	0,24	0,2	0,24	0,19	0,24	0,18	0,23

Fonte: Autor, 2017

O deslocamento máximo entre pavimentos segue a mesma lógica dos deslocamentos de topo, porém com grandezas menos acentuadas. Desta forma, muitos modelos apresentaram deslocamentos idênticos muito embora suas reações de deslocamento (H/850) tenham sido ligeiramente diferentes. Como em todas as análises, o eixo Y se apresentou mais deslocável.

Tabela 6 – Consumos obtidos para os modelos estudados.

fck (MPa)	30	35 (seções não otimizadas)	35 (seções otimizadas)	40 (seções não otimizadas)	40 (seções otimizadas)	45 (seções não otimizadas)	45 (seções otimizadas)	50 (seções não otimizadas)	50 (seções otimizadas)	
Concreto	Cons. (m ³)	2039,9	2039,9	1927,3	2039,9	1901	2039,9	1814	2039,9	1788,8
	Taxa (m ³ /m ²)	0,42	0,42	0,4	0,42	0,39	0,37	0,37	0,37	0,37
Formas	Cons. (m ²)	14803,5	14803,5	14596	14803,5	14414	14803,5	14269	14803,5	14301
Aço	Cons. (tf)	161,2	142,9	159,2	140,5	156,4	140,1	153,4	139,4	135,6
	Taxa (kg/m ²)	32,2	28,5	31,8	28,1	31,2	28,0	30,6	27,8	27,1

Fonte: Autor, 2017

Como se percebe, houve uma considerável redução no consumo de concreto nos modelos de seção otimizada devido à redução da seção dos pilares – conseguiu-se reduzir a grandeza de 251,1 m³ de concreto no modelo de 50 MPa, em comparação com o modelo de referência.

Quanto ao consumo de aço, se percebe que os modelos de seções não otimizadas apresentaram maiores economias quando comparados aos modelos de seções diminuídas.

Isso se justifica pois em determinado aumento de f_{ck} , a seção se mostrou superdimensionada, resultando em uma resposta de armadura mínima em praticamente todos os elementos e pavimentos. Por outro lado, os modelos de topologia otimizada mostraram economia na utilização do material, porém menos acentuada. Isto acontece pela diminuição da seção dos pilares, que culmina na sobrecarga das vigas próximas e, conseqüentemente, aumento da armação destes elementos. Assim, se diminui o aço nos pilares aumentando-os nas vigas circunvizinhas.

Tabela 7 – Custo dos modelos estudados.

fck (MPa)	Valor unitário (R\$/m ³)	Estimativa de custo (R\$)				Aço	Total (R\$)
		Concreto	Valor unitário (R\$/m ²)	Formas	Valor unitário (R\$/kg)		
30	259	528.334,10	29,96	44.351,29	3,19	514.239,80	1.086.925,19
35 (seções não otimizadas)	268	546.693,20	29,96	44.351,29	3,19	455.932,35	1.046.976,83
35 (seções otimizadas)	268	516.516,40	29,96	43.729,62	3,19	507.957,74	1.068.203,75
40 (seções não otimizadas)	279	569.132,10	29,96	44.351,29	3,19	448.261,99	1.061.745,38
40 (seções otimizadas)	279	530.379,00	29,96	43.184,64	3,19	499.068,48	1.072.632,13
45 (seções não otimizadas)	293	597.690,70	29,96	44.351,29	3,19	446.716,12	1.088.758,10
45 (seções otimizadas)	293	531.531,30	29,96	42.749,92	3,19	489.428,94	1.063.710,16
50 (seções não otimizadas)	317	646.648,30	29,96	44.351,29	3,19	444.816,79	1.135.816,38
50 (seções otimizadas)	317	567.049,60	29,96	42.845,50	3,19	432.447,57	1.042.342,66

Fonte: Autor, 2017

Para o concreto, houve tendência de aumento nas seções não otimizadas devido ao excesso de material na estrutura e incremento de seu valor agregado. Por outro lado, nos modelos de seções otimizadas, obteve-se um equilíbrio entre o aumento do valor unitário do material e a economia na utilização do mesmo.

O custo de aço dos modelos de seções não otimizadas se apresentou menor que os modelos de topologia otimizada justamente pela menor taxa de aço em suas respectivas estruturas, já que praticamente todas as armaduras eram as mínimas normatizadas.

Em relação ao custo total, até a classe de resistência C40, os modelos de seção não otimizadas se mostraram menos onerosos, já que o aumento do custo do concreto foi compensado pela diminuição significativa do custo de aço. Nas classes C45 e C50, os modelos de topologia otimizada se mostraram mais vantajosos, já que o valor unitário do concreto passou a ser um dos pontos críticos de análise, uma vez que este aumenta exponencialmente com relação à resistência do concreto. Somado a isso, os modelos de

geometria não otimizada já haviam atingido seu ponto ótimo, enquanto os de geometria otimizada ainda apresentavam economia no consumo tanto de concreto quanto de aço.

Conclusões

Como se conclui, o f_{ck} influencia diretamente o módulo de deformação longitudinal do material, refletindo em melhorias no coeficiente de estabilidade γ_z nas situações onde a inércia se manteve a mesma. Os modelos de seções reduzidas, muito embora tenham tido suas inércias diminuídas, a rigidez dos elementos foi incrementada pelo aumento da classe de resistência do concreto.

O incremento do f_{ck} também se mostrou eficiente no tocante aos deslocamentos, tanto no topo como entre os pavimentos da estrutura – que se mostraram mais rígidos nos modelos de seções não otimizadas e provaram compensar a diminuição da inércia dos elementos com o aumento de seu módulo de deformação nos modelos de topologia diminuída.

O estudo mostrou reflexos significativos na economia do uso dos materiais concreto, formas e aço. Os dois primeiros apresentaram grandes reduções nos modelos de menores seções, enquanto o aço, apesar de ter diminuído em todas as análises, apresentou maiores reduções nos modelos com seções superdimensionadas, em decorrência do uso da armadura mínima.

Analisando-se todos os parâmetros e valores, é possível perceber um comportamento assintótico, caso se ilustrasse os valores em uma curva (como o consumo de aço). Isto demonstra que todos os modelos tendem a atingir valores ótimos a partir dos quais poucas melhorias podem ser registradas. É difícil precisar o ponto exato pois os fatores analisados dependem de diversas decisões de modelagem (como vigas a rotular e disposição dos elementos), assim como as variáveis que envolvem a quantificação de consumo e custo crescem exponencialmente.

Dito isso, é possível afirmar que, para o estudo de caso proposto, existem dois modelos ótimos sob o ponto de vista da variável custo – o de 35MPa de seções não otimizadas, que apresenta vantagens como facilidade de manuseio do material e menores deslocamentos na análise estrutural; ou o modelo de 50 MPa de seções otimizadas, mostrando os menores custos devido à grande redução de concreto e aço e maiores reduções da seção dos elementos. O revés neste caso seria o emprego de um concreto de classe de resistência não corriqueira, exigindo manuseio e operação mais cuidadosas e especializadas, por ser notadamente um concreto de difícil controle de qualidade.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas em Concreto - Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 256 p.
- _____. **NBR 6120**: Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980. 5 p.
- _____. **NBR 6123**: Forças Devidas ao Vento em Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 66 p.
- KIMURA, Alio Ernesto. *Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado: Cálculo de Edifícios com o Uso de Sistemas Computacionais*. São Paulo: Pini, 2007. 624 p.
- BASTOS, P. S. dos S. *Fundamentos do Concreto Armado*. Apostila da disciplina de Estruturas de Concreto I. Universidade Estadual Paulista, 2006. 92 p.