

ANÁLISE ESTRUTURAL DA INFLUÊNCIA DE BLOCO FLEXÍVEL EM EDIFÍCIO ALTO: ESTUDO DE CASO LOCALIZADO EM CRICIÚMA/SC COM MODELAGEM NO SOFTWARE TQS

Mayara Stacowski Geremias¹

Cleudson Rosa Alves²

Daniel Venancio Vieira³

Resumo

O presente artigo teve como objetivo principal realizar a análise estrutural de um edifício residencial de 33 pisos, avaliando a influência da consideração da Interação Solo-Estrutura (ISE) em determinados aspectos da superestrutura. A pesquisa foi desenvolvida através de um estudo de caso na cidade de Criciúma/SC, utilizando modelagem computacional elaborada com auxílio do software TQS. Para tanto, processaram-se dois modelos estruturais: o primeiro considerando apoio engastado ao solo (modelo rígido) e o segundo com inserção de molas nas fundações, a fim de representar o comportamento da edificação de maneira mais realista, conferindo flexibilidade ao sistema estrutural. Buscou-se investigar a influência dessa flexibilidade acrescida por intermédio de molas nas estacas, sobre os parâmetros de: estabilidade global, propriedades dinâmicas, esforços nos pilares localizados no bloco de coroamento central e deslocamentos laterais do edifício. De modo concomitante, realizou-se uma análise do supracitado bloco de coroamento quanto às cargas transmitidas para as estacas, em ambos os modelos. Os resultados obtidos corroboram com a literatura já existente e evidenciam a exacerbada importância da consideração da ISE, principalmente para edifícios altos. Dessa maneira, infere-se que o estudo contribui com o meio científico-acadêmico, uma vez que por meio de um caso real, reforça e valida a importância de modelagens estruturais mais precisas e refinadas, visando promover avanços tecnológicos que impactam diretamente os aspectos de segurança e economia.

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina.
E-mail: mayara.sg02@aluno.ifsc.edu.br

² Engenheiro Civil, Doutor, docente do Núcleo de Construção Civil do IFSC Campus Criciúma.
E-mail: cleudson.alves@ifsc.edu.br

³ Engenheiro Civil, Mestre em Estruturas pela UFSC.
E-mail: salvador.estrutural@gmail.com

Palavras-Chave: blocos de coroamento flexíveis; edifícios altos; interação solo-estrutura.

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da modernidade e a necessidade de verticalização nas áreas urbanas, as edificações estão se tornando cada vez mais altas e esbeltas, o que acarreta o aumento significativo das cargas transmitidas ao solo (Bahia; Cunha; Mota, 2021, p. 2). Diante dessa realidade, é de suma importância que a engenharia se adeque à contemporaneidade, de forma a respeitar a arquitetura projetada, bem como garantir a segurança e equilíbrio da edificação. Além disso, compreende-se que uma análise estrutural realizada de maneira simplificada pode acarretar graves prejuízos à estabilidade e por conseguinte, a segurança do edifício, e também favorecer o desconforto ao usuário e ao surgimento de manifestações patológicas.

Do mesmo modo, não é incomum visualizar edificações constituídas por blocos rígidos, desconsiderando a Interação Solo-Estrutura (ISE). No entanto, para edifícios altos, a negligência da ponderação dos deslocamentos do solo na análise estrutural torna-se impraticável, devido à complexidade de análise do comportamento global. Logo, embora a ISE seja amplamente difundida entre os calculistas na modelagem de edifícios altos, a sua influência na resposta global da edificação ainda é pouco quantificada e apresentada em contextos reais e práticos. Em razão disso, optou-se por desenvolver a presente pesquisa com o intuito de verificar as mudanças do comportamento da estrutura a partir da adoção de blocos flexíveis, tendo em vista que esse modelo representa de modo mais fiel o desempenho real da estrutura.

Assim, justifica-se também o presente trabalho pela necessidade de contribuir com o meio acadêmico-científico, fornecendo subsídios comparativos de um caso real, a fim de fortalecer a importância da análise integrada entre o solo e a estrutura. Ao mesmo tempo, compreende-se que o solo apresenta comportamento altamente variável, sendo diretamente dependente de suas especificidades, como localização geográfica, origem e composição. Essas propriedades, por sua vez, influenciam prontamente sua capacidade de resistência e respostas quanto à deformabilidade.

Levando esse fato em consideração, o presente trabalho possui como objetivo geral analisar a influência que a consideração de bloco flexível gera em parâmetros da superestrutura e na distribuição de cargas atuantes nas estacas. Como objetivos específicos, estabelecem-se os seguintes:

I. Processar duas modelagens estruturais: uma sem e outra com a ISE, no software TQS;

II. Apresentar as diferenças de resultados entre os modelos, para determinados parâmetros da superestrutura;

III. Comparar as cargas nas estacas do bloco considerando os modelos sem e com a inserção de molas;

IV. Aferir os valores de coeficientes de mola do software TQS com os obtidos por meio de ensaio de prova de carga estática realizado *in loco*;

V. Documentar a metodologia desenvolvida para o estudo de caso, a fim de servir como subsídio comparativo para engenheiros estruturais.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Compreende-se que a interação entre a fundação e a estrutura consiste em um sistema de “processos de análise estrutural que consideram conjuntamente as deformabilidades das fundações e da superestrutura” (ABNT, NBR 6122:2019, p. 5). Logo, infere-se a imprescindibilidade da consideração concomitante das duas partes da estrutura, a fim de se obter um resultado do comportamento global da edificação, mais próximo da realidade. Concomitantemente, a NBR 6122:2019, descreve que em determinadas situações, como em edificações com mais de 55 m de altura, fundações ou estruturas não convencionais e ainda, condições nas quais a deformabilidade do solo causa uma redistribuição de esforços, torna-se obrigatório a consideração da ISE.

Quanto ao sistema de fundações adotado, a NBR 6118:2023, utiliza o termo “bloco sobre estacas” para definir o elemento responsável por transmitir as cargas da estrutura, para as estacas. Conforme cita Oliveira (2013, p. 19), o uso desses elementos se justifica para o caso de edifícios e de localidades nas quais as camadas superficiais não apresentam resistência suficiente para atender a demanda da edificação.

De acordo com Cunha (2017, p. 20), o coeficiente Gama-Z (γ_z), representa um parâmetro capaz de classificar a edificação, bem como, avaliar a estabilidade global. Quanto à classificação da estrutura, de acordo com a NBR 6118:2023, as estruturas segregam-se em duas denominações: nós fixos e nós móveis. Ainda segundo a referida norma, entende-se como uma estrutura de nós fixos, àquela que se pode desprezar os efeitos de segunda ordem, tendo em vista que os deslocamentos horizontais são inexpressivos e por conseguinte, geram acréscimos de efeitos menores que 10%, em relação aos efeitos de primeira ordem e possuem o parâmetro Gama-Z $\leq 1,10$. Em contrapartida, as estruturas nas quais deve-se considerar os efeitos de segunda ordem na edificação, são àquelas nas quais há necessidade de examinar os efeitos de segunda ordem globais e locais, visto que apresentam valores superiores à 10% em referência aos valores de primeira ordem e são classificadas como estruturas de nós móveis.

A NBR 6118:2023 cita um procedimento de análise linear para determinar os efeitos globais de 2ª ordem de uma estrutura, de maneira simplificada, que consiste na majoração dos esforços horizontais da analisada combinação, em $0,95\gamma_z$, a fim de simular os efeitos de 2ª ordem na estrutura. No entanto, a referida norma traz um adendo de que essa majoração deve ser feita apenas para casos em que $\gamma_z \leq 1,30$.

Todavia, como o procedimento citado anteriormente trata-se de um método simplificado de análise, Cunha (2017, p. 27) menciona que para estruturas mais complexas e mais suscetíveis aos efeitos de flexibilidade, essa majoração pode ser insuficiente. Logo, tendo em vista essa problemática, surge como alternativa, o uso do método de P-Delta ($P-\Delta$). Conforme encontrado no manual do TQS DOCS, esse método consiste na determinação dos efeitos de 2ª ordem por intermédio de uma série de cálculos iterativos, onde se aplicam momentos adicionais com intuito de verificar as mudanças de deslocamento da edificação.

Adicionalmente, sob a perspectiva de Barbosa (2018, p. 18), percebe-se que o estudo dinâmico de um edifício é de suma importância tanto para parâmetros de conforto ao usuário, quanto para a segurança global da edificação. Em conformidade com Schwarz (*apud* Machado, 2019), compreende-se que os modos de vibração correspondem a características específicas de uma estrutura, de maneira que cada modo apresenta uma frequência natural e uma forma distinta de vibrar. Assim, observa-se que os parâmetros de análise modal devem ser realizados de maneira minuciosa, a fim de compreender os principais comportamentos globais e captar os

efeitos das movimentações de massa da edificação. De acordo com Coelho (2025, p. 36), é possível perceber que os parâmetros de frequência e de modos de vibração estão intimamente ligados às condições de rigidez da estrutura, sendo de suma importância para a análise do comportamento global da edificação. Logo, aplicando à prática de análise dinâmica do edifício estudo, observa-se que os modos de vibração possíveis são infinitos, devido às diversas possibilidades de combinações.

Quanto à flexibilidade conferida ao bloco de coroamento, infere-se que é de suma importância a compreensão da teoria do coeficiente de mola para o entendimento do processo da ISE, visto que esse é um parâmetro capaz de representar a deformabilidade do conjunto. Para tal teoria, aplica-se a hipótese de Winkler, que se baseia na Teoria da Elasticidade para criar um modelo com conjunto de molas de rotação e de translação (Pinto, 2021, p. 30). Com base no modelo de Winkler, adota-se uma relação de proporcionalidade entre a pressão do solo e o recalque, que nos fornece um parâmetro “k”, que representará a rigidez do solo, de modo que, quanto menor o coeficiente de mola, mais flexível é o solo, uma vez que apresenta maiores deformações quando submetido à mesma carga.

Ademais, prevendo o bom desempenho estrutural no que se refere às condições de segurança do edifício e aos parâmetros do estado de serviço, entende-se que é primordial a análise do comportamento da estrutura e da fundação de maneira conjunta. Com isso, garante-se não apenas que as movimentações não interferem no combate à ruína da edificação, mas também assegura que não ocorram prejuízos estéticos, ocasionados por patologias.

3 METODOLOGIA

Para a pesquisa científica em questão, a abordagem de estudo utilizada foi método hipotético-dedutivo, proposto pelas autoras Lakatos e Marconi (2017). O método de procedimento foi o de “Estudo de Caso”, classificado por Yin (2015).

O edifício modelo selecionado para este estudo de caso, ilustrado na Figura 1, situado no município de Criciúma/SC, é uma edificação de alto padrão, com tipologia construtiva em concreto armado, possui lajes maciças, 33 pisos, e totaliza 90,68 m de altura. O presente objeto de estudo teve seu projeto dimensionado e detalhado pelo escritório de cálculo estrutural Salvador Engenheiros Associados, localizado em Criciúma/SC.

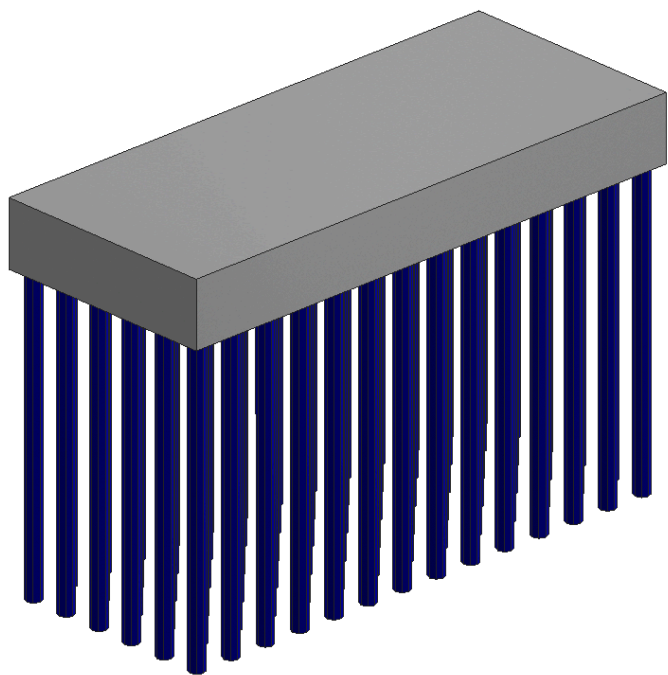
Ademais, o bloco de coroamento selecionado para estudo foi o bloco denominado como “B30”, visto na Figura 2. O respectivo elemento está localizado na área central do edifício, possui dimensões de 20,60 m x 8,50 m, 2,50 m de altura e 84 estacas do tipo hélice contínua com diâmetro de 60 cm. Ainda, o Bloco B30 possui cinco pilares: dois pilares-paredes em “U” (P32 e P33), um pilar-parede em seção “L” (P30) e dois pilares retangulares (P42 e P31), com dimensões de 130x35 e 25x100, respectivamente, observados na Figura 3. Por fim, verifica-se que o bloco de coroamento apresenta um rebaixo de 180 cm, na região destinada aos elevadores, sendo esta envolvida pelo pilar P33, conforme Figuras 4 e 5.

Figura 1 - Modelo Estrutural do Edifício Estudo



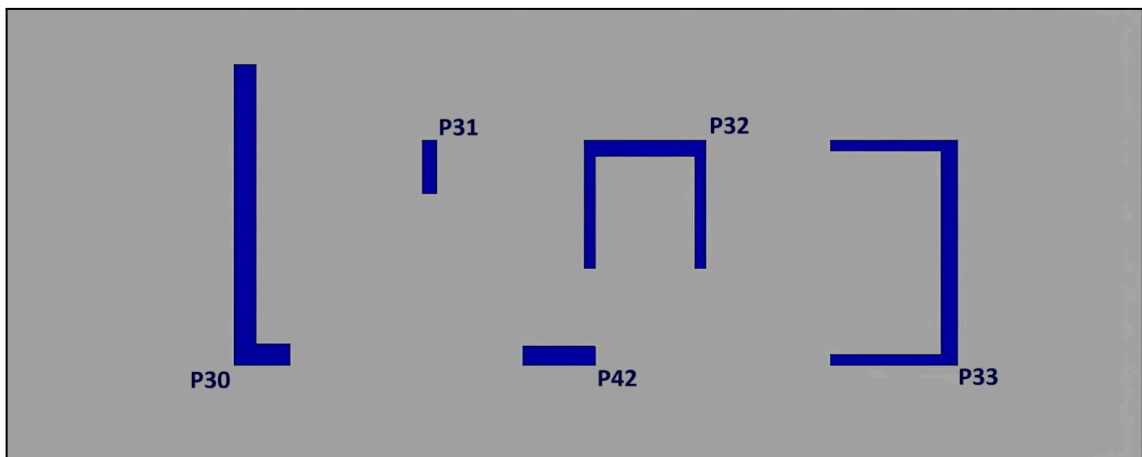
Fonte: a autora, 2025.

Figura 2 - Bloco B30 em perspectiva



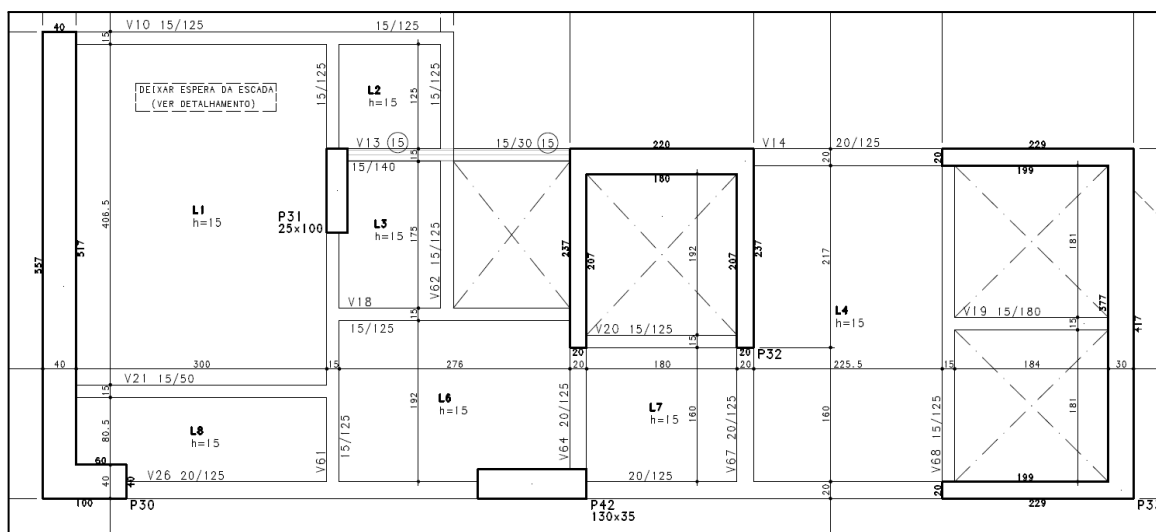
Fonte: a autora, 2025.

Figura 3 - Vista Superior do Bloco B30



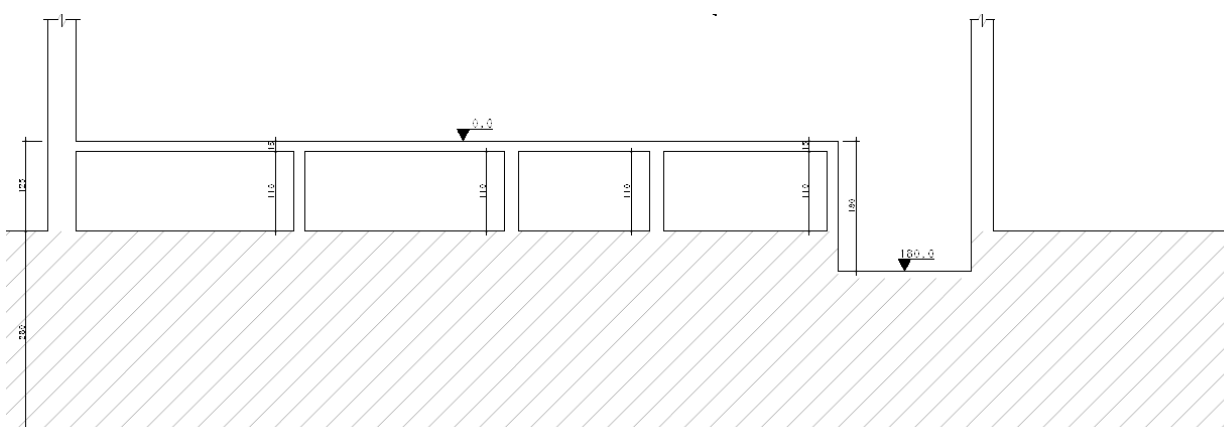
Fonte: a autora, 2025.

Figura 4 - Planta de Fôrma dos pilares do núcleo de rigidez do edifício



Fonte: a autora, 2025.

Figura 5 - Corte Longitudinal do Bloco B30



Fonte: a autora, 2025.

Para a realização do presente estudo, desenvolve-se o seguinte roteiro:

Etapa 1: inicia-se a análise estrutural do edifício com o processamento global, no Software TQS, para dois modelos: um com pilares engastados ao solo e outro considerando molas no sistema de fundações.

Etapa 2: realiza-se análises dos seguintes parâmetros da superestrutura para os dois modelos: estabilidade global, propriedades dinâmicas, esforços nos pilares do Bloco B30 e deslocamentos máximos laterais da edificação.

Etapa 3: compara-se os valores de cargas que chegam às estacas para ambos os modelos;

Etapa 4: afere-se o valor de coeficiente de mola gerado pelo software TQS com os valores obtidos do ensaio de prova de carga estática.

4 DISCUSSÕES E RESULTADOS

4.1 SUPERESTRUTURA

4.1.1 ESTABILIDADE GLOBAL

Conforme preconiza a NBR 6118:2023, toda estrutura deve ser avaliada quanto aos parâmetros de estabilidade global, a fim de garantir a segurança da edificação. A priori, realizou-se o processamento global no modelo VI, em dois cenários: o primeiro com apoio engastado ao solo e o segundo, com inserção de molas na fundação. Logo, para a avaliação da estabilidade global do presente Edifício Estudo, que é classificado como nós móveis (visto que $Gama-Z > 1,10$), utilizou-se do software TQS para o desenvolvimento da análise.

Para o caso do parâmetro $Gama-Z$, visualiza-se na Figura 6, que o valor máximo obtido no processamento global passou de 1,17 (sem ISE) para 1,20 (com ISE), resultando em um acréscimo de aproximadamente 2,56% do parâmetro do caso mais desfavorável. Esse valor foi obtido para as combinações de vento a 90° e a 270° , que representam os casos de vento com valores mais críticos para a estabilidade global. Tendo em vista a necessidade de se realizar uma análise estrutural mais refinada, o edifício em questão, por conta da sua magnitude, foi calculado com o processo P- Δ . Para esse parâmetro, denominado pelo TQS como RM2M1, o incremento foi da ordem de 1,69%, passando de 1,18 (sem ISE) para 1,20 (com ISE), também segundo a Figura 6. Esse valor máximo de 1,20 ocorreu na combinação de esforços mais desfavoráveis entre os 16 combinados pelo TQS, que é composto por ações permanentes, acidentais e vento reduzido em 60%.

Figura 6 - Parâmetros de estabilidade global

ESTABILIDADE GLOBAL				
SEM ISE		COM ISE		DIFERENÇA (%)
PARÂMETRO	VALOR MÁX.	PARÂMETRO	VALOR MÁX.	
Gama-Z	1,17	Gama-Z	1,20	2,56
RM2M1	1,18	RM2M1	1,20	1,69
Valor máx. Gama-Z:				
Caso:	Combinação:			
5 e 6	Vento (90°) e Vento (270°)			
Valor máx. RM2M1				
Caso:	Combinação:			
26	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2			

Fonte: a autora, 2025.

Além disso, o fato dos parâmetros com ISE convergirem o mesmo valor (1,20), explicita o comportamento rígido da estrutura, já que mostra que os efeitos de 2ª ordem apresentam efeitos moderados para essa edificação. Destaca-se ainda que a interpretação dos valores da estabilidade global representa um estudo preliminar e não deve ser feita isoladamente, mas sim, complementada com outras análises da superestrutura que também são fundamentais para o bom comportamento estrutural do Edifício Estudo, como às de conforto ao usuário.

Assim como ocorreu nos estudos de Montes e Gontijo (2020, p.19) que envolviam a análise da influência da ISE na estabilidade global para edifícios de 10, 15 e 20 pavimentos, percebe-se que, para o presente edifício, também ocorreu aumento no parâmetro de Gama-Z. De maneira semelhante, nos estudos de Silva (2018), o edifício em análise, calculado no software SAP 2000, possuía características semelhantes ao da presente pesquisa, tendo 104,98 m de altura, lajes maciças, estacas tipo hélice contínua com diâmetro de 60 cm e pilares em “L” no centro do edifício. Como valores do parâmetro Gama-Z, os resultados da pesquisa de Silva (2018), apresentaram 1,21 nos casos de vento 0° e 90° para o modelo sem ISE e 1,22 para os mesmos casos, no modelo com ISE.

Ao comparar os dois modelos estruturais, observa-se que a flexibilidade conferida ao sistema, oriunda da inserção de molas nas fundações resultou em incrementos sutis nos parâmetros Gama-Z e P-Δ. Tal fator se deve principalmente aos fatores de rigidez, sendo possível extrair que para edifícios com núcleos de rigidez mais densos, há uma tendência de menor variabilidade entre os parâmetros

de estabilidade global. Percebe-se ainda, que mesmo para softwares de cálculo estrutural distintos (SAP 2000 e TQS), os valores do parâmetro de estabilidade global G_{ama-Z} para os modelos com ISE de ambos os trabalhos, convergem em incrementos nos parâmetros de estabilidade global, tendo em vista a conferência de flexibilidade. Logo, o incremento obtido explicita que por mais que o efeito do solo seja limitado pelas condições de rigidez da estrutura, ele não é totalmente desprezível e serve como ponto de partida para a compreensão de outros fenômenos, como efeitos dinâmicos, deslocamentos e esforços nos pilares.

4.1.2 PROPRIEDADES DINÂMICAS

De acordo com a NBR 6123:2023, estruturas que apresentam período fundamental acima de um segundo, podem apresentar resposta dinâmica importante, de modo que deve ser considerada ação dinâmica do vento na edificação.

Observa-se que os modos de vibração mais baixos apresentam períodos mais longos, verificado na Figura 7, já que esses modos correspondem aos movimentos globais da estrutura. Em contraponto os modos mais altos estão relacionados às movimentações localizadas ou ainda, à situações mais complexas de deslocamento.

Percebe-se ainda, que para todos os modos de vibração considerados pelo TQS, houve incremento para o parâmetro do período, assim visto na Figura 7. Tal resultado era o esperado, tendo em vista que a consideração de bloco de coroamento flexível, no lugar de engaste rígido ao solo, confere maior deformabilidade à estrutura. Essa flexibilidade acrescida, permite deslocamentos do edifício e eleva o tempo necessário para a edificação concluir uma oscilação. De modo concomitante, os resultados desenvolvidos pelo estudo de Silva (2018) corroboram com os dados obtidos para o presente estudo: os valores de frequência da edificação para o modelo com a consideração da ISE apresentam uma diminuição, conforme Figura 8.

Figura 7 - Valores de Período

DINÂMICA - PERÍODO			
Modo de Vibração	SEM ISE	COM ISE	DIFERENÇA (%)
	Período (s)	Período (s)	
1	4,403	4,632	5,20
2	3,453	3,592	4,03
3	3,151	3,331	5,71
4	1,172	1,367	16,64
5	1,051	1,258	19,70
6	0,979	1,126	15,02
7	0,625	0,896	43,36
8	0,601	0,742	23,46
9	0,551	0,703	27,59
10	0,535	0,601	12,34

Fonte: a autora, 2025.

Figura 8 - Valores de frequência

DINÂMICA - FREQUÊNCIA			
Modo de Vibração	SEM ISE	COM ISE	DIFERENÇA (%)
	Frequência (Hz)	Frequência (Hz)	
1	0,227	0,216	-4,85
2	0,29	0,278	-4,14
3	0,317	0,30	-5,36
4	0,853	0,731	-14,30
5	0,951	0,795	-16,40
6	1,022	0,888	-13,11
7	1,599	1,116	-30,21
8	1,663	1,348	-18,94
9	1,816	1,423	-21,64
10	1,87	1,664	-11,02

Fonte: a autora, 2025.

Assim, observa-se que, nos primeiros modos de vibração, a estrutura apresenta períodos mais longos e frequências menores, já que o número de ciclos completos por segundo, é reduzido. Tendo em vista que o modo de vibração com o maior período leva mais tempo para completar uma oscilação, verifica-se essa movimentação está diretamente interligado ao aspecto de flexibilidade, uma vez que a estrutura se torna mais permissível às deformabilidades impostas pelas cargas atuantes na edificação. Com isso, entende-se que a análise modal toma como ponto de partida os modos de vibração que exijam menores energias de ativação para excitar o edifício naquela direção, ou seja, os movimentos mais generalizados.

Com base na movimentação do pórtico de análise dinâmica do TQS e no estudo aerodinâmico realizado para o presente edifício, observa-se que o Modo 1 é caracterizado por Flexão em Y, já o Modo 2, por Torção + Flexão em X e por fim, o Modo 3, por Flexão em X + Torção. De modo concomitante, é possível interligar a análise com os valores de participação modal de cada modo de vibração, a fim de se realizar um estudo entre os parâmetros.

Observa-se nas Figuras 9 e 10 que o Modo 2, no modelo com ISE, possui participação modal limitada, com 2,28% na direção X e 0,00% na direção Y, mobilizando assim, pequena quantidade de massa do edifício de maneira torcional. Compreende-se que, embora o Modo 2 predomine a torção, o comportamento global da estrutura é governado preponderantemente pelo Modo de Vibração 3 com 57,41% de participação modal na direção X (Figura 9), que é regido por Flexão em X e ações torcionais secundárias, e pelo Modo de Vibração 1, com 53,29% de participação modal na direção Y (Figura 10), que corresponde a puramente Flexão em Y.

Figura 9 - Valores em % da Participação Modal na direção X

PARTICIPAÇÃO MODAL (%) - DIREÇÃO X		
Modo de Vibração	SEM ISE	COM ISE
1	0,01%	0,01%
2	2,59%	2,28%
3	54,44%	57,41%
4	0,01%	0,01%
5	1,45%	0,01%
6	12,77%	25,61%
7	0,14%	0,23%
8	0,14%	0,06%
9	8,30%	11,50%
10	0,75%	0,07%

Fonte: a autora, 2025.

Figura 10 - Valores em % da Participação Modal na direção Y

PARTICIPAÇÃO MODAL (%) - DIREÇÃO Y		
Modo de Vibração	SEM ISE	COM ISE
1	52,47%	53,29%
2	0,00%	0,00%
3	0,01%	0,01%
4	14,39%	22,19%
5	0,95%	6,28%
6	0,07%	0,00%
7	3,30%	3,71%
8	0,37%	11,58%
9	1,08%	0,01%
10	4,49%	0,00%

Fonte: a autora, 2025.

Com isso, observa-se que a resposta da edificação quanto a movimentação de massa da estrutura apresenta níveis satisfatórios logo nos primeiros modos de vibração, indicando comportamento estável e coerente da edificação.

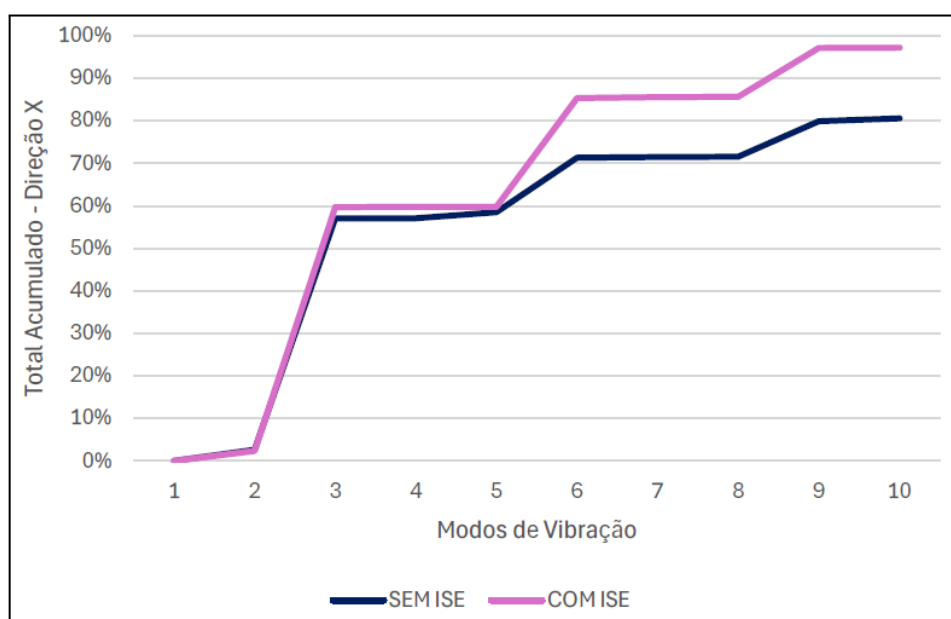
Segundo Grezelle (2021, p. 46), ainda que o Brasil não apresente sismos de alta intensidade, explosivos podem gerar eventos sísmicos. Juntamente, a NBR 15421:2023, afirma que: “O número de modos admitido na análise espectral deve ser suficiente para capturar ao menos 90% da massa efetiva em cada uma das direções ortogonais consideradas na análise” (ABNT, NBR 15421:2023, p. 32).

Ademais, observa-se nos Gráficos 1 e 2 que, para o modelo de análise sem ISE, os valores máximos totais acumulados foram de 80,61%, no modo de vibração 10, na direção X, e 77,13% também no 10º modo de vibração, na direção Y, conforme valores evidenciados nas Figuras 11 e 12, respectivamente. Percebe-se ainda, que mesmo nas dez primeiras combinações, não foi possível representar de forma satisfatória a movimentação de massa do edifício, segundo sugere a NBR 15421:2023.

Em contrapartida, no caso do modelo com ISE, na direção X, no modo de vibração 9, há o valor acumulado de 97,11%. Para a direção Y, observa-se já no modo de vibração 8, um acumulativo de 97,07% representando uma resposta dinâmica satisfatória para capturar um bom comportamento global do edifício, conforme preconizado pela NBR 15421:2023.

Adicionalmente, a estrutura em estudo demonstrou comportamento equilibrado, com elevada rigidez e simetria, de modo que a participação modal acumulou-se logo nos primeiros modos de vibração. No entanto, para estruturas mais flexíveis e/ou assimétricas, a participação modal pode estar distribuída ao longo de um número maior de modos, de forma que a consideração de maneira inadequada da ISE possa comprometer a segurança.

Gráfico 1 - Total Acumulado na direção X vs Modo de Vibração



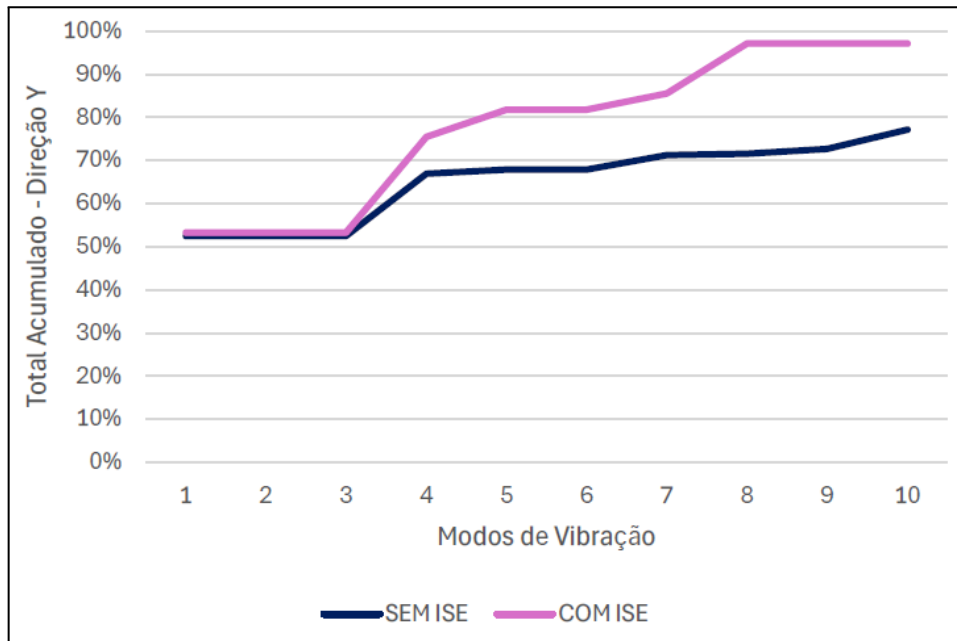
Fonte: a autora, 2025.

Figura 11 - Valor em % do Total Acumulado para Direção X

TOTAL ACUMULADO - DIREÇÃO X		
Modo de Vibração	SEM ISE	COM ISE
1	0,01%	0,01%
2	2,61%	2,29%
3	57,04%	59,70%
4	57,05%	59,71%
5	58,50%	59,72%
6	71,27%	85,33%
7	71,42%	85,56%
8	71,56%	85,62%
9	79,86%	97,12%
10	80,61%	97,19%

Fonte: a autora, 2025.

Gráfico 2 - Total Acumulado na direção Y vs Modo de Vibração



Fonte: a autora, 2025.

Figura 12 - Valor em % do Total Acumulado para Direção Y

TOTAL ACUMULADO (%) - DIREÇÃO Y		
Modo de Vibração	SEM ISE	COM ISE
1	52,47%	53,29%
2	52,47%	53,29%
3	52,48%	53,30%
4	66,87%	75,49%
5	67,82%	81,77%
6	67,88%	81,77%
7	71,18%	85,48%
8	71,56%	97,06%
9	72,64%	97,07%
10	77,13%	97,07%

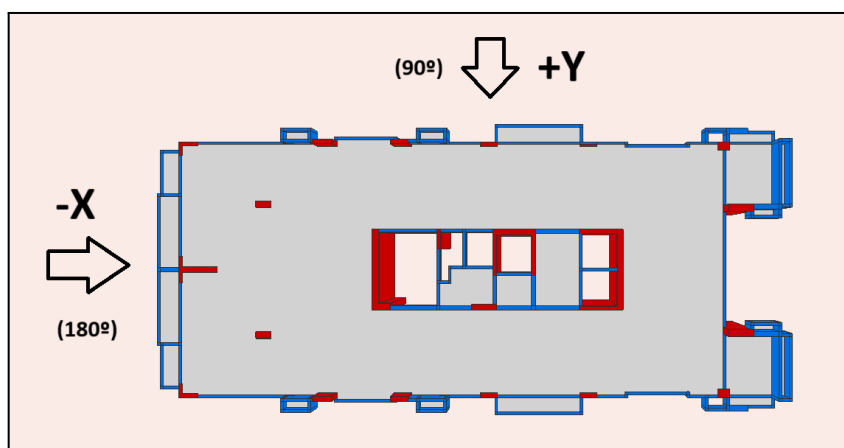
Fonte: a autora, 2025.

Logo, com base no dissertado, percebe-se que o comportamento global permanece governado majoritariamente pelos Modos 1 e 3 (ambos sem predominância de torção), uma vez que mobilizam mais de 50% da massa do edifício em modos iniciais. Tal situação demonstra a proeminente capacidade dos primeiros modos com a ISE, já representarem, de forma satisfatória, a resposta dinâmica global da edificação.

4.1.3 ESFORÇOS NOS PILARES

Com intuito de avaliar a influência da consideração da ISE na superestrutura, foram analisados os valores dos esforços dos cinco pilares que nascem no bloco de coroamento e constituem a região central do edifício. Para tal, adotaram-se os casos de ventos nas direções de 90° e de 180° (visualizados na Figura 13), da soma de todas as cargas permanentes e acidentais, e da combinação desenvolvida pelo TQS que contempla ações permanentes, acidentais e vento na direção de 270° reduzido em 60%, atribuída ao número 15.

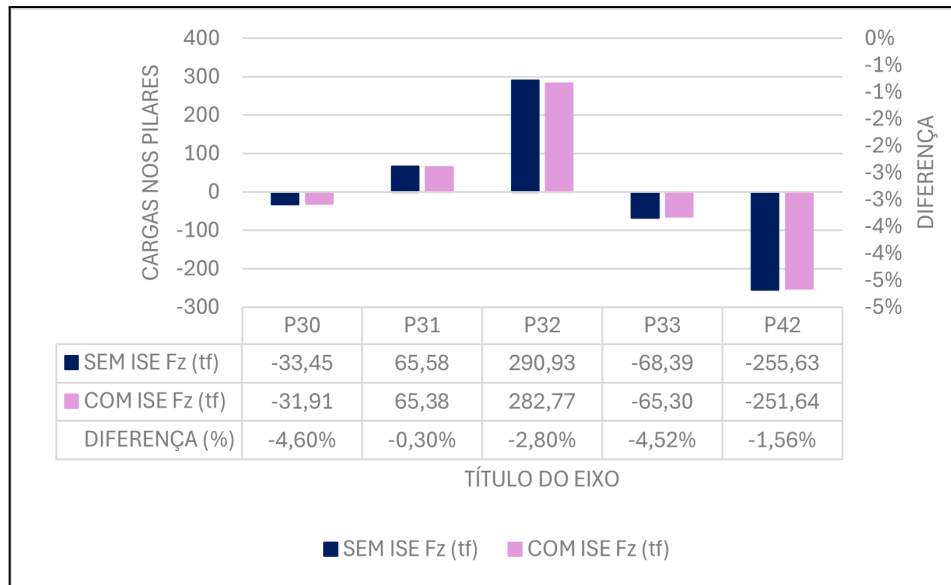
Figura 13 - Direções dos carregamentos de vento



Fonte: a autora, 2025.

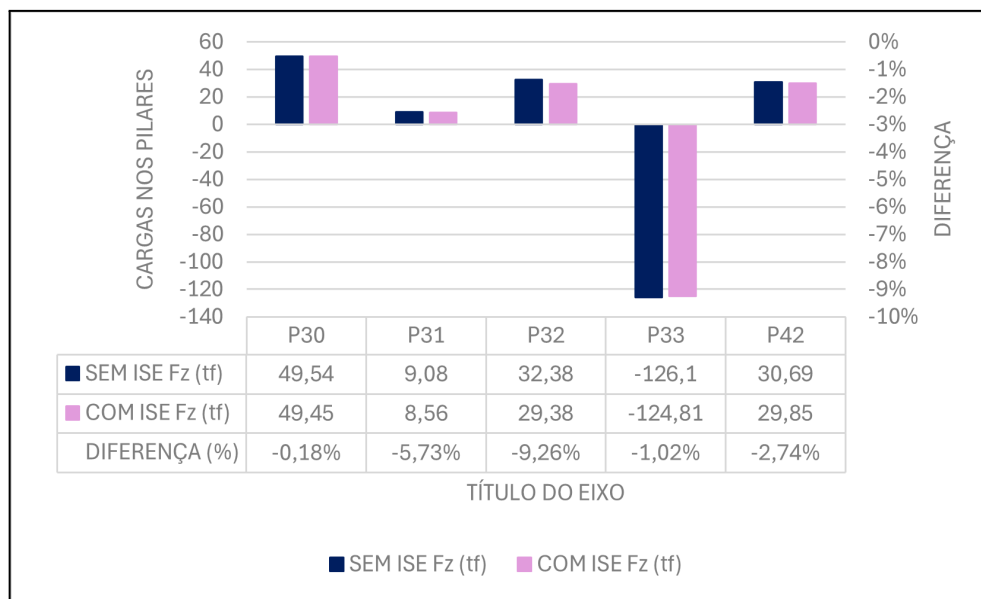
Corroborando os estudos de Holanda Júnior (1998, p.131), observa-se que os valores das reações verticais dos pilares para as direções X e Y sob carregamento de ventos sofreram redução quando comparados os dois modelos. Com base nos Gráficos 5 e 6, observa-se que fato semelhante ocorreu no presente estudo, que apresentou reduções máximas de 4,60% para ação do vento a 90° e de 9,26% na direção de vento a 180°. Vale ressaltar que, em ambos os casos, houve a ocorrência de tração nos pilares. Para o vento a 90°, os pilares mais próximos da respectiva fachada (P31 e P32), apresentaram efeitos de compressão, enquanto os pilares mais afastados, como o P30, P33 e P42, apresentaram tração, em detrimento da distância destes em relação a fachada analisada. Situação ainda mais expressiva ocorreu para caso de vento a 180°, já que o P33, encontra-se paralelo ao sentido longitudinal do edifício e por conseguinte, mais afastado da fachada de incidência a 180°, resultando em valores acentuados de tração, quando comparados com a direção de 90°.

Gráfico 5 - Esforços dos pilares - Vento a 90°:



Fonte: a autora, 2025.

Gráfico 6 - Esforços dos pilares - Vento a 180°:



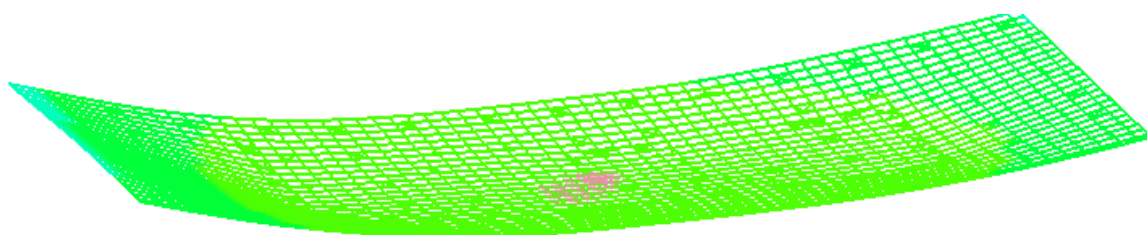
Fonte: a autora, 2025.

Já para as ações verticais, verifica-se forte correlação com recalques, diferente das ações horizontais (como às de vento conforme visto anteriormente) que, segundo Holanda Júnior (1998, p. 139), apresentam caráter provisório.

Conforme preconiza Gusmão (1990, p. 100), pilares que sofrem maiores recalques tendem a apresentar uma diminuição nas reações verticais, já àqueles com menores recalques, recebem um acréscimo de carregamento. Também

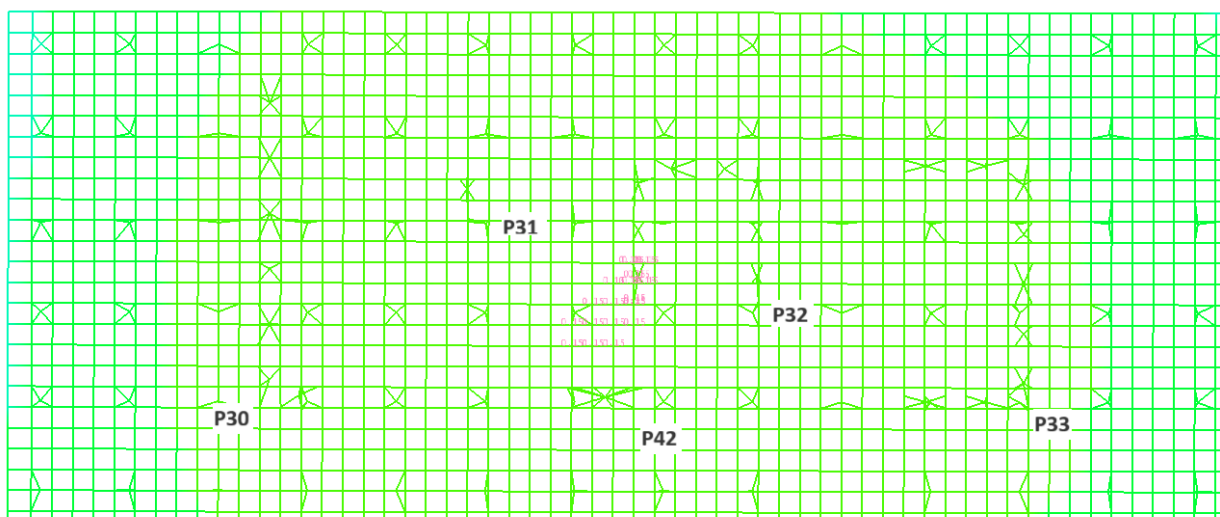
conforme o autor supracitado, esse fenômeno de uniformização surge em detrimento da redistribuição de esforços proposta pela superestrutura, a fim de transferir cargas de um pilar para outro, com intuito de minimizar os recalques diferenciais, que podem ocasionar severas problemáticas na segurança global da estrutura. Nas Figura 14 e 15, é possível visualizar a deformação do Bloco B30, de maneira que observa-se um pico de recalque na região onde se localiza o P32.

Figura 14 - Deformação do Bloco B30



Fonte: a autora, 2025.

Figura 15 - Planta superior do pico de recalque do Bloco B30

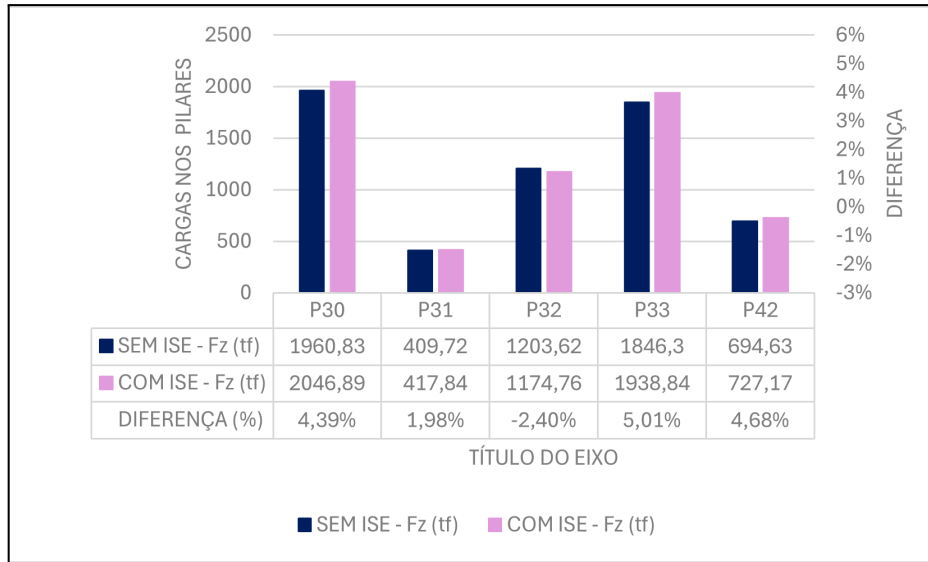


Fonte: a autora, 2025.

Posto isso, observa-se que para os casos de carregamento de todas as permanentes e acidentais e a combinação 15, que engloba majoritariamente carregamentos verticais, houve alívio de carga no pilar localizado em zona de maior recalque, como o pilar P32, conforme Gráficos 7 e 8. Esse comportamento se deve principalmente por dois fatores: a posição do pilar na zona de maior deformação do

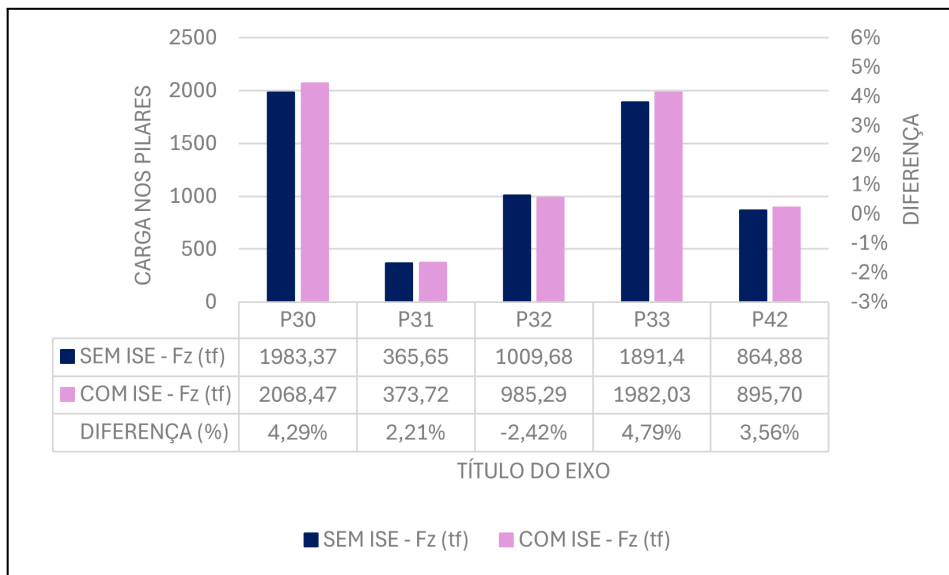
conjunto e sua localização central em relação ao eixo do bloco. Em contrapartida, para os demais pilares, observa-se nos mesmos gráficos, por se encontrarem em regiões de menores recalques e ainda, estarem mais próximos às bordas do bloco, sofrem acréscimo de cargas em decorrência da redistribuição de esforços.

Gráfico 7 - Esforços dos pilares - Todas as permanentes e acidentais



Fonte: a autora, 2025.

Gráfico 8 - Esforços dos pilares - Combinação 15



Fonte: a autora, 2025.

Verifica-se ainda, que o P31, em ambos os casos, por estar próximo ao P32, foi o elemento que apresentou menores acréscimos de esforços, diferentes dos

demais, que por estarem localizados mais às extremidades do bloco B30 e em zonas de menores recalques, absorveram mais acréscimos de cargas, a fim de buscar minimizar efeitos de recalques diferenciais.

Portanto, embora a diferença observada entre os elementos seja sutil, em razão da rigidez imposta à estrutural por seu núcleo de pilares, tendo em vista a esbelteza do edifício, ainda assim foi possível corroborar os efeitos observados com a literatura. Esta, por sua vez, salienta a importância da análise com a interação solo-estrutura, a fim de capturar com maior refino a influência que as condições de flexibilidade impõe sobre os efeitos da superestrutura.

4.1.4 DESLOCAMENTOS LATERAIS

Compreende-se que examinar os deslocamentos laterais é de suma importância, tendo em vista que esse fenômeno está associado diretamente com o desempenho da estrutura. Ademais, a NBR 6118:2023 estabelece deslocamentos máximos, a fim de garantir a segurança estrutural e evitar o surgimento de manifestações patológicas oriundas de deformações acima do recomendado.

Observou-se que a flexibilidade imposta gera influência direta no aumento dos deslocamentos globais da edificação para os casos expressados na Figura 16. Nesse sentido, verifica-se que de acordo com Montes e Gontijo (2020, p. 20), “em todos os casos, verifica-se o acréscimo nos deslocamentos laterais após a consideração da ISE nos processamentos dos edifícios”, o que demonstra a concordância de resultados quanto ao aumento nos deslocamentos de edificações de múltiplos pavimentos quando considerada a ISE, confirmando a situação para este estudo de caso.

Juntamente, a NBR 8681:2025, estabelece que ações variáveis, quando não predominantes na combinação, podem apresentar valor de redução de acordo com as regras delimitadas pela norma vigente, que podem ser visualizadas nas combinações desenvolvidas pelo TQS. Para facilitar a compreensão, essas combinações foram detalhadas na Figura 17. A priori, percebe-se que os valores de deslocamento, para ambos os casos examinados, são derivados a partir do processamento global do software TQS, que cria combinações de carregamentos capazes de gerar influência na estrutura.

Figura 16 - Deslocamentos Máximos

DESLOCAMENTOS MÁXIMOS				
CASO	SEM ISE (cm)	COM ISE (cm)	DIFERENÇA (%)	DIFERENÇA (cm)
14	0,42	0,51	21,43%	0,09
15	3,55	3,86	8,73%	0,31
16	4,20	4,58	9,05%	0,38
17	0,69	0,69	0,00%	0,00
18	0,82	0,98	19,51%	0,16
19	0,42	0,51	21,43%	0,09
21	0,89	0,89	0,00%	0,00
22	3,06	3,46	13,07%	0,40
23	4,68	4,97	6,20%	0,29
24	0,99	0,99	0,00%	0,00
25	1,16	1,25	7,76%	0,09
26	0,87	0,87	0,00%	0,00

Fonte: a autora, 2025.

Figura 17 - Casos de combinações

Casos de carregamento	
Caso	Título
14	ELS/CFREQ/PP+PERM+0.4ACID
15	ELS/CFREQ/PP+PERM+0.3ACID+0.3VENT1
16	ELS/CFREQ/PP+PERM+0.3ACID+0.3VENT2
17	ELS/CFREQ/PP+PERM+0.3ACID+0.3VENT3
18	ELS/CFREQ/PP+PERM+0.3ACID+0.3VENT4
19	ELS/CQPERM/PP+PERM+0.3ACID
21	ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.4ACID_V
22	ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.3ACID_V+0.3VENT1
23	ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.3ACID_V+0.3VENT2
24	ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.3ACID_V+0.3VENT3
25	ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.3ACID_V+0.3VENT4
26	ELS/CQPERM/PP_V+PERM_V+0.3ACID_V

Fonte: a autora, 2025.

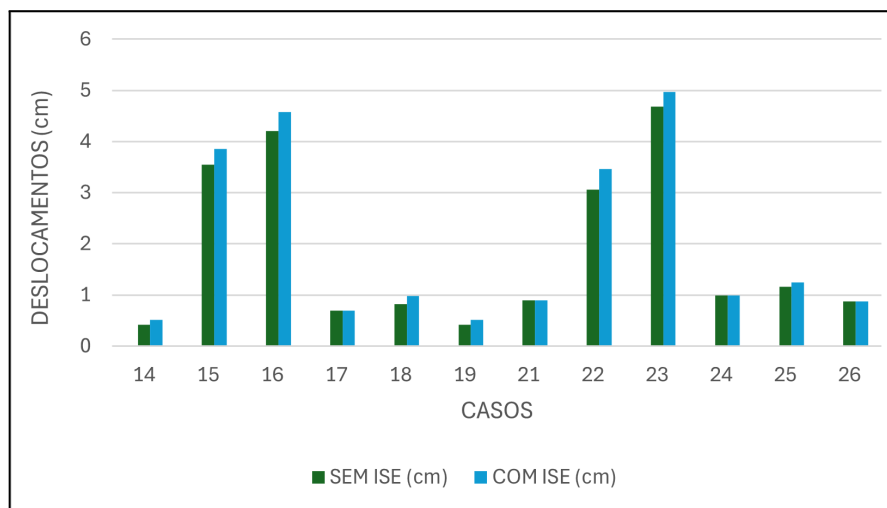
Outrossim, com intuito de evitar o problemas estruturais e danos estéticos, principalmente em esquadrias, vedações e fachadas, a NBR 6118:2023 prevê valores de deslocamentos máximos no topo dos edifícios, sendo limitados a $H/1700$, onde H corresponde a altura total do prédio, considerada como 90,68 m.

Avalia-se, que para o caso 23, sendo o mais desfavorável, houve um deslocamento limite de 4,97 cm, indicando que a estrutura está trabalhando de forma segura, sem rigidez estrutural excessiva e de acordo com o limite normativo de 5,33 cm para o edifício em questão.

Portanto, verifica-se a relevância da análise quanto à flexibilidade imposta pelo acréscimo de molas nas fundações, tendo em vista que caso a estrutura apresentasse uma rigidez muito inferior ao proposto, o valor de deslocamento lateral do edifício poderia ultrapassar o recomendado normativo e ocasionar patologias em fachadas e esquadrias, por exemplo.

Na combinação 22, verifica-se uma maior diferença entre os valores, com aumento de 0,40 cm entre os modelos. Nota-se ainda que, dos doze casos de combinações geradas pelo software TQS, quatro casos apresentaram acréscimos de deslocamento maiores de 0,25 cm quando comparados os modelos, conforme as diferenças visualmente expostas, demonstradas no Gráfico 9.

Gráfico 9 - Diferenças de deslocamentos laterais entre modelos



Fonte: a autora, 2025.

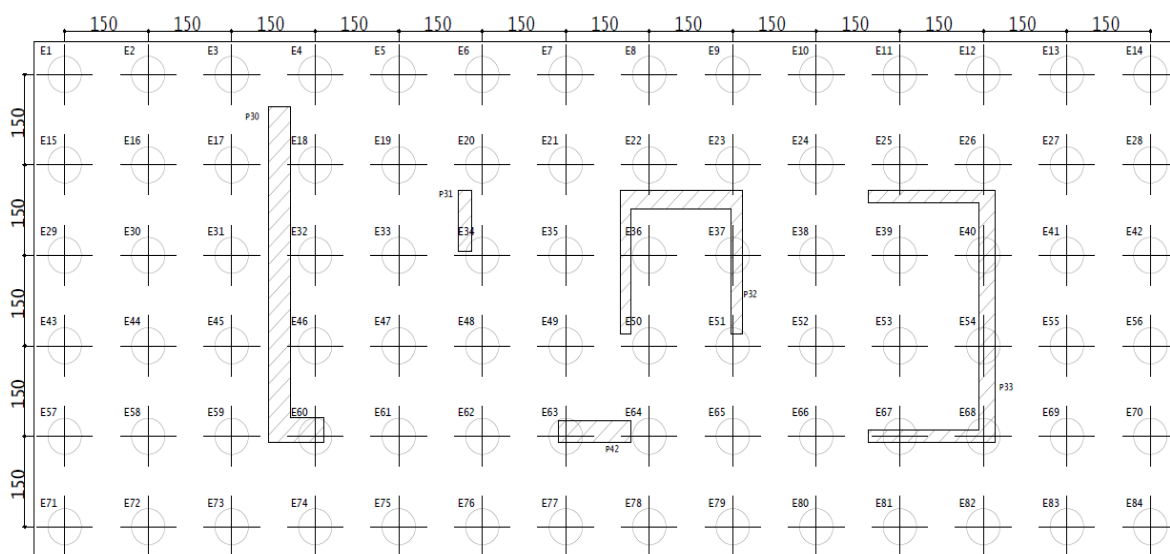
De forma geral, os resultados confirmam que a consideração da ISE gera impactos na superestrutura. Observa-se, que esses valores tratam de deslocamentos oriundos do pórtico do Estado Limite de Serviço (ELS), ou seja, estão intimamente ligados com os aspectos de conforto do usuário, fatores extremamente essenciais de serem avaliados em se tratando de edifícios de alto padrão. Logo, infere-se que a consideração da ISE deve ser feita de maneira minuciosa, uma vez que a aproximação de um modelo cada vez mais realístico gera estruturas menos propícias à patologias construtivas e desconforto ao usuário final.

4.2 BLOCO DE COROAMENTO FLEXÍVEL

4.2.1 CARGAS NAS ESTACAS

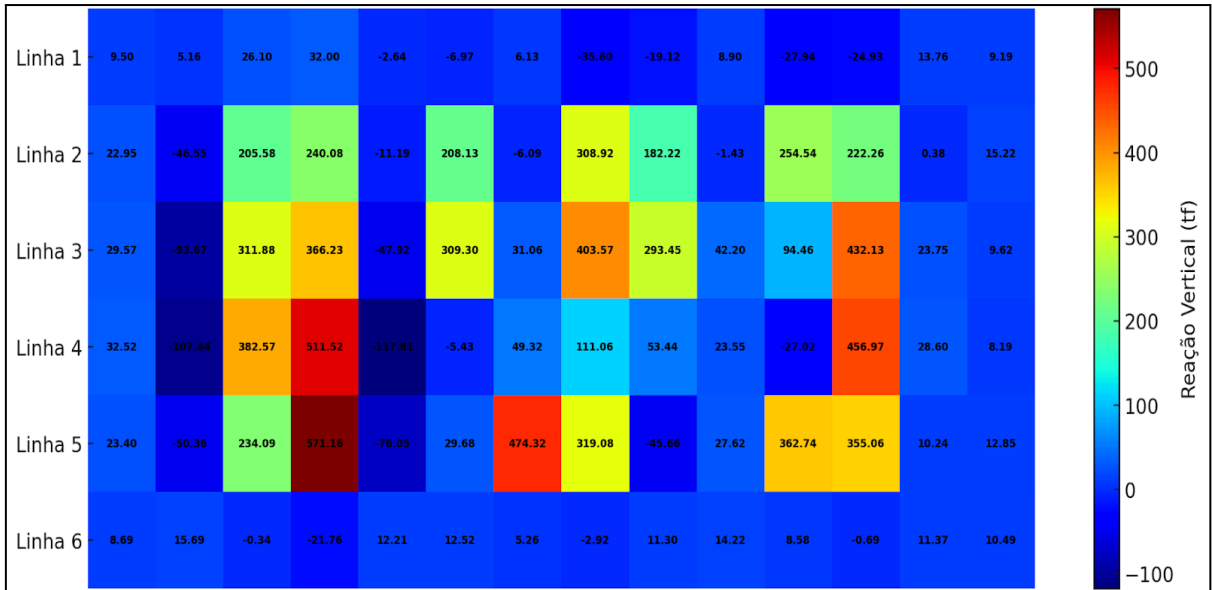
A fim de se avaliar o contexto geral da edificação, é de extrema relevância analisar os efeitos decorrentes das cargas transmitidas ao bloco de coroamento. Dessa forma, buscou-se compreender a resposta do bloco quanto às cargas oriundas da superestrutura que são transferidas às estacas. Na Figura 18 é possível observar a planta com a locação das estacas e dos pilares. A fim de avaliar os efeitos que a inserção de molas nas estacas gera, verifica-se pelas Figuras 19 e 20, no mapa de calor, o discrepante comportamento entre os modelos desenvolvidos, para a condição de carregamento de todas as permanentes e acidentais, em ambos os casos.

Figura 18 - Posicionamento dos pilares e das estacas no Bloco B30



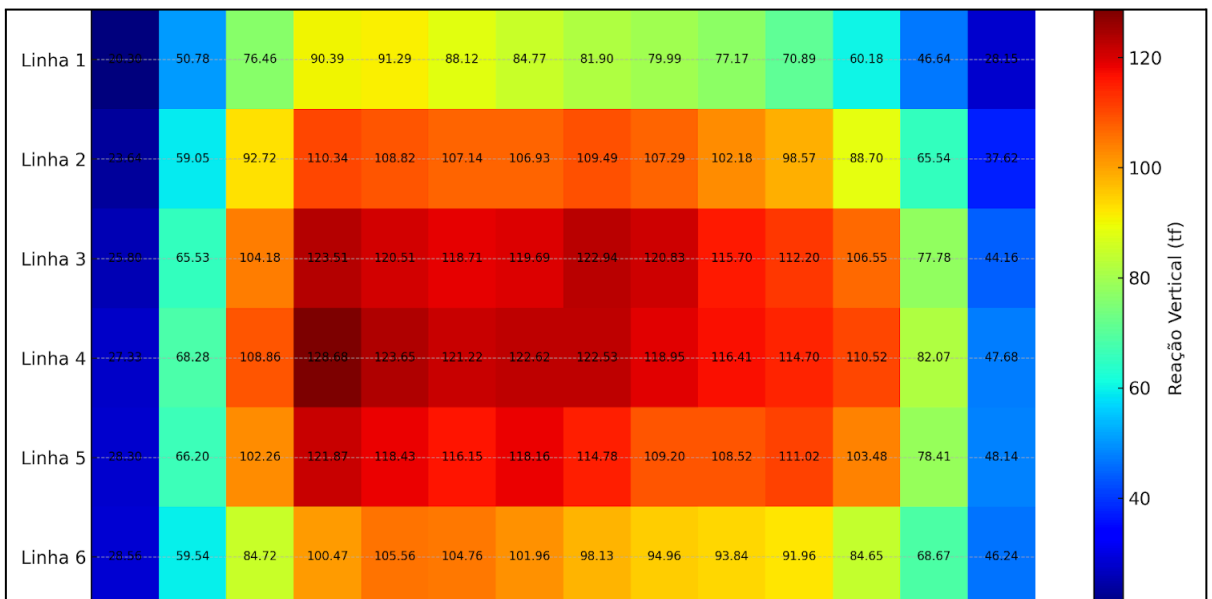
Fonte: a autora, 2025.

Figura 19 - Mapa de calor do Bloco B30 sem molas nas estacas



Fonte: a autora, 2025.

Figura 20 - Mapa de calor do Bloco B30 com molas nas estacas



Fonte: a autora, 2025.

Sakai (2010, p. 101) afirma que em modelagem feitas com a utilização de molas a partir de programas computacionais comerciais, as estacas centrais tendem a apresentar maiores concentrações de cargas. Dessa forma, observa-se que o bloco de coroamento flexível em estudo de fato alimenta uma redistribuição de esforços e as cargas nas estacas mais sobrecarregadas são àquelas do núcleo

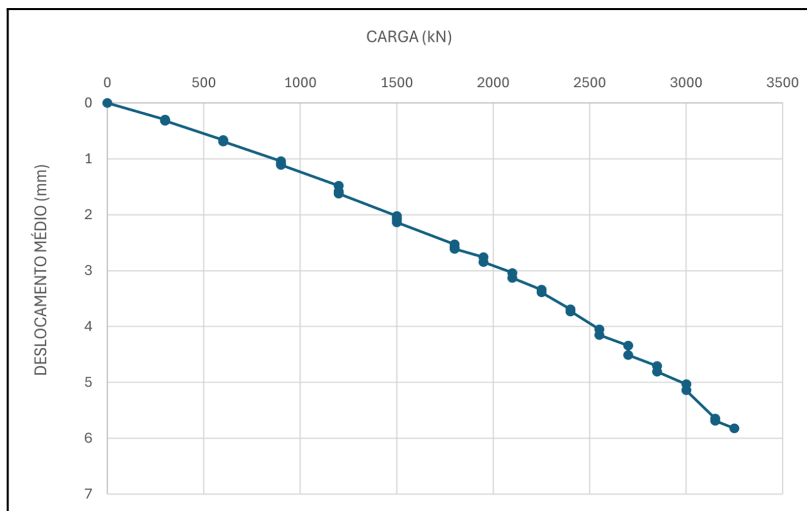
geral, que engloba a presença dos pilares do bloco. De modo concomitante, a inserção de molas proporcionou uma distribuição de cargas mais uniforme, permitindo que até as estacas de canto recebessem uma parcela de compressão. Fato oposto ocorreu no caso das estacas engastadas ao bloco, ou seja, sem o uso de molas, no qual visualizou-se picos de cargas nas regiões dos pilares, menor parcela de carga transmitida às estacas de canto e ocorrência de estacas tracionadas. Observando os valores de reações nas estacas, percebe-se que a variabilidade de carga da estaca mais carregada foi de 128,26 tf para o modelo com molas e de 571,16 tf para o modelo sem molas, resultando em uma diferença significativa de reação vertical na estaca mais crítica. Quando o bloco é modelado sem a inserção de molas, ele apresenta uma rigidez elevada, que impede a redistribuição de cargas quando o bloco é submetido aos esforços da superestrutura, principalmente os excêntricos, que tendem a girar o elemento. Posto isso, embora o modelo de cálculo apresente ações de tração em algumas estacas, como verificado na Figura 19, esse fato reduziria a participação do solo quanto à resistência, visto que sua contribuição seria apenas quanto ao atrito lateral entre a estaca e o solo, sendo necessário a presença de armaduras internas para o combate à tração. Assim, nota-se a importância de adotar um modelo que se adeque em condições mais realistas, como pela incorporação de molas nas estacas, que permite deformações do bloco e por conseguinte, a redistribuição de esforços que mantém todas as estacas comprimidas, garantindo assim, que o solo contribua na resistência das solicitações de maneira mais efetiva.

4.2.2 COEFICIENTE DE MOLA

A fim de avaliar o comportamento flexível do bloco de coroamento, o coeficiente de mola é um parâmetro essencial de análise. Para o edifício em pesquisa, foi realizado um ensaio de prova de carga estática, com intuito de validar os resultados obtidos pela calculadora “molas na fundação” do software TQS.

De acordo com Carvalho et al. (*apud* Oliveira 2018) para definir o coeficiente de mola a partir de ensaio de prova de carga estática, deve-se buscar no gráfico que relaciona a carga e o deslocamento, o trecho de comportamento elástico da estaca. Com base nos valores obtidos no ensaio, foi possível desenvolver o Gráfico 10, a fim de se extrair o valor que contempla o trecho procurado.

Gráfico 10 - Carga x Deslocamento



Fonte: a autora, 2025.

Logo, com base na análise de tendência e erros relativos da curva do Gráfico 10, adotou-se o valor de 900 kN considerado aproximadamente o limite final do trecho de elasticidade e um deslocamento de 1,11 mm, que representa o tempo de 30 minutos de aplicação de carga e consta a estabilização da estaca, conforme valores expressos na Figura 21. Com isso, obtêm-se um valor de coeficiente de mola, de 810,81 kN/mm, que convertido para a unidade usual do TQS, resulta em 82.613,11 tf/m.

Figura 21 - Carga x Deslocamento x Tempo para o trecho elástico

Carga (kN)	Deslocamento Médio (mm)	Tempo (min)
0	0,00	0
300	0,30	0
300	0,31	5
300	0,31	10
300	0,32	15
300	0,32	30
600	0,66	0
600	0,67	5
600	0,68	0
600	0,69	15
600	0,69	30
900	1,04	0
900	1,08	5
900	1,09	10
900	1,10	15
900	1,11	30

Fonte: a autora, 2025.

Quanto aos valores obtidos pela calculadora do TQS, expostos na Figura 22, o modelo se baseou no método empírico de Aoki Velloso e contou com os dados de entrada da geometria da fundação e do ensaio SPT.

Figura 22 - Calculadora “molas na fundação” do TQS

Estaca
 Sapata

Fundação - Materiais

f_{ck} MPa

F1

F2

Fundação - Geometria

Qte de Estacas

Diâmetro das estacas cm

Cota do indeslocável m

Cota do Niv. água m

Cota de assentamento m

Distx cm

Disty cm

Carga topo tf

Sondagem - SPT

	Nº Golpes
1	4
2	2
3	2
4	3
5	1
6	2
7	12
8	40
9	

Salvar sondagem
Abrir sondagem

Cálculo de coeficientes de fundação

Bloco sobre 01 estaca. Diâmetro = 60,0 cm
Carga de Topo (por estaca): 129.0 (tf)
Capacidade Carga: Método Aoki-Velloso
Resistência lateral = 35.6(tf);
Resistência de Ponta = 254.5(tf);
Resistência Total (por estaca) = 290.1 (tf).

Valores dos coeficientes de mola:

Kx = 270.31 tf/m
Ky = 270.31 tf/m
Kz = 78068.75 tf/m
Rotx = 0.00 tfm/rad
Roty = 0.00 tfm/rad

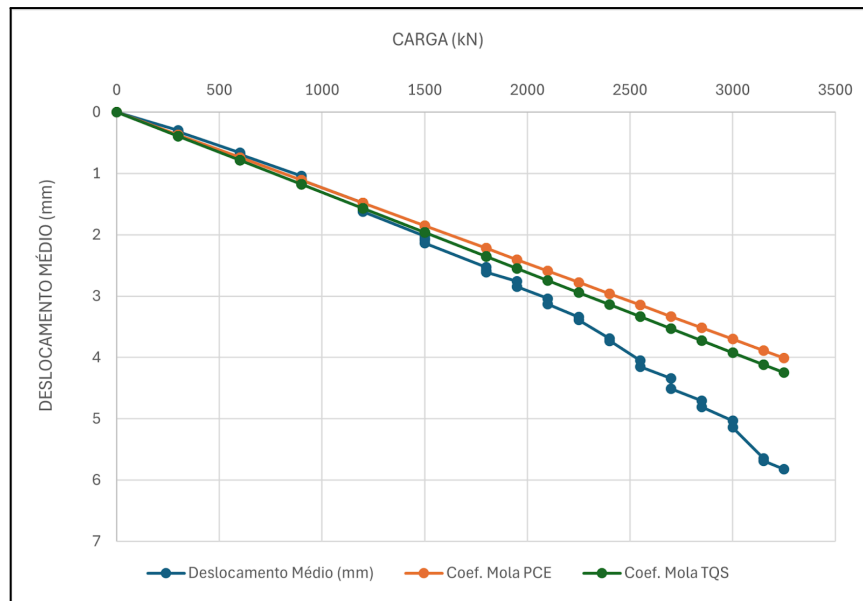
Obs.: [Módulo de Young do solo, Coeficiente de Poisson]

Cota (m)	SPT Nr. golpes		
1	4	Argila, alfa = 0.024, K = 35.0	[12., 0.40]
2	2	Argila, alfa = 0.060, K = 20.0	[12., 0.40]
3	2	Argila, alfa = 0.060, K = 20.0	[12., 0.40]
4	3	Argila, alfa = 0.060, K = 20.0	[12., 0.40]
5	1	Argila, alfa = 0.060, K = 20.0	[12., 0.40]
6	2	Argila, alfa = 0.024, K = 35.0	[150., 0.40]
7	12	Argila, alfa = 0.040, K = 22.0	[200., 0.40]
8	40	Argila, alfa = 0.028, K = 45.0	[200., 0.40]

Fonte: a autora, 2025.

Dessa maneira, com as informações previamente obtidas, é possível elaborar o Gráfico 11, que contempla os dois valores de coeficientes de mola em função linear, permitindo a verificação do comportamento de ambos.

Gráfico 11 - Relação linear dos coeficientes de mola obtidos



Fonte: a autora, 2025.

Logo, com base nos valores obtidos para ambos os casos, observa-se uma convergência significativa entre os resultados, apresentando uma diferença de apenas 5,82% entre o método empírico de Aoki Velloso utilizado pela calculadora de molas nas fundações do TQS (78.068,75 tf/m) e o obtido por ensaio de prova de carga estática (82.613,11 tf/m). Essa validação realizada entre os métodos demonstra alta confiabilidade, comprovando que ambos apresentam valores consistentes.

5 CONCLUSÕES

A priori, para a estabilidade global, o coeficiente Gama-Z passou de 1,17 para 1,20, indicando um acréscimo de 2,56%, enquanto o parâmetro $P-\Delta$ sofreu também um acréscimo com valor resultante em 1,69% quando comparados os modelos, confirmando que a flexibilidade conferida afeta o comportamento estrutural. Além disso, pode-se perceber que, embora o bloco flexível tenha conferido maiores permissões de deformabilidade ao sistema, este, por sua vez, apresenta um núcleo de rigidez sólido, capaz de limitar os parâmetros de instabilidade, mesmo com o uso de molas na fundação.

Quanto à dinâmica, ao analisar os modos de vibração combinados pelo TQS, houve aumento dos períodos e redução das frequências. Juntamente, o modelo com ISE apresentou melhor resposta dinâmica quanto ao total acumulado, de maneira que o modelo com inserção de molas atingiu mais de 90% da massa efetiva acumulada para as direções X e Y, em menos modos de vibração. Fato esse, não visualizado para nenhuma das duas direções no modelo sem ISE, chegando ao valor acumulado de apenas 80,61%. Além disso, observou-se que o edifício trabalha em condições predominantes de flexão em ambas as direções, já que para o Modo 1, caracterizado por Flexão em Y, a estrutura possui uma participação modal de 53,29% e para o Modo 3, que possui predomínio de Flexão em X, a participação foi de 57,41%. O Modo 2, qualificado como domínio de efeito de torção, teve apenas 2,28% de mobilização de massa do edifício.

Durante a análise dos esforços nos pilares, para os casos de vento, os pilares apresentaram reduções de cargas. Ademais, observaram-se reduções máximas de 9,26% e 4,60%, no P32 e P30, respectivamente, entre os dois modelos, para ventos nas direções de 90° e 180°. Para os casos de ações verticais, verificou-se um alívio de cargas no pilar mais centralizado ao bloco e que se encontra na zona de maior valor de recalque. Em contrapartida, os demais pilares, que se encontram em regiões de menores recalques e mais próximos às bordas do bloco, apresentaram acréscimo de cargas. Entre estes, o que apresentou menor incremento, em ambos os casos observados, foi o P31, uma vez que suas condições de contorno são mais semelhantes às do P32, estando próximo aos maiores recalques e ao centro do bloco.

Para os deslocamentos laterais, verificou-se aumento ou constância em todos os casos observados, com ênfase para os casos 16 e 22, que apresentaram incrementos de 0,38 cm e 0,40 cm, respectivamente. Ainda, observa-se que mesmo para o caso 23, que contempla o máximo deslocamento, no valor de 4,97 cm, ele se enquadra dentro do limite de 5,33 cm estabelecido pela relação apresentada pela NBR 6118:2023, garantindo estabilidade e conforto ao usuário.

Quanto ao bloco de coroamento flexível, verificou-se comportamentos discrepantes entre o modelo sem a inserção de molas e o bloco com o acréscimo das molas nas estacas. Para o modelo que contempla o uso de molas, percebeu-se um comportamento mais uniforme, com todas as estacas comprimidas, estacas dos cantos contribuindo com as solicitações e carregamento máximo de estaca de 128,68 tf para a análise do carregamento de todas as permanentes e acidentais, quando em contrapartida, para o modelo sem molas, a carga mais carregada trabalharia com condições de 571,16 tf. Além disso, nas regiões do bloco onde há pilares, houve picos de tensões de compressão, tornando o comportamento do bloco desigual, enquanto as estacas dos cantos apresentaram pouca solicitação e ainda outras manifestaram comportamentos de tração. Juntamente, para os valores do coeficiente de mola, observou-se uma convergência entre o método empírico utilizado pela calculadora do TQS e o ensaio de prova de carga, resultando em uma diferença de apenas 5,82% entre os métodos.

Por fim, observa-se, que os objetivos específicos, e por conseguinte, o objetivo geral, foram atingidos em sua totalidade, visto que os impactos dos efeitos das molas na superestrutura e no bloco de coroamento afirmam que a consideração da ISE gera diferenças significativas na análise estrutural da edificação e deve ser incluída no momento do dimensionamento de estruturas de concreto armado, visando garantir de modo mais fiel o real comportamento da edificação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. 4. ed. Rio de Janeiro, 2023. 282 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2019. 108 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2023. 96 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2025. 23 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15421: Projeto de estruturas resistentes a sismos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2023. 27 p.

BAHIA, Gabriela de A. D.; CUNHA, Renato P. da; MOTA, Neusa M. B.. **Desempenho de edifícios altos com emprego da interação solo-estrutura**. PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 12, n. 00, p. e021005, 2021. DOI: 10.20396/parc.v12i00.8658248. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8658248>. Acesso em: 01 jun. 2025.

BARBOSA, Anna Carolina Caliarri Ottoni. **Análise de edifícios altos: modelos estruturais, métodos construtivos e segurança**. Relatório (Iniciação Científica) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2018/relatorios_pdf/ctc/CIV/CIV-Anna%20Carolina%20Caliari%20Ottoni%20Barbosa.pdf. Acesso em: 22 maio. 2025.

COELHO, Eduardo Raique Soares. **Análise dos modos de vibração e de frequências naturais de vigas em concreto armado através do método dos elementos finitos**. 2025. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Crateús, 2025. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/80099/1/2025_tcc_erscoelho.pdf?utm_source. Acesso em: 20 out. 2025.

CUNHA, Alexandre de Melo. **Análise Comparativa entre o coeficiente Gama-Z e o Processo P-Delta em estruturas de concreto armado**. 2017. 61 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/items/7a48fdee-1900-4d5e-9f77-c5aa5b27110d>. Acesso em: 20 out. 2025.

GREZELLE, Patricia. **Solução de problemas dinâmicos envolvendo a interação solo-estrutura pelo método de espaço de estados**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/26159>. Acesso em: 13 set. 2025.

GUSMÃO, Alexandre Duarte. **Estudo da interação solo-estrutura e sua influência em recalques de edificações**. 1990. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 1990. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/3934>. Acesso em 18 maio. 2025.

HOLANDA JÚNIOR, Osvaldo Gomes de. **Interação solo-estrutura para edifícios de concreto armado sobre fundações diretas**. 1998. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-21122017-114906/pt-br.php>. Acesso em: 14 set. 2025.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017. Disponível em: https://ia804601.us.archive.org/7/items/Fundamentos_de_metodologia_cientfica_8._ed._-__www.meulivro.biz/Fundamentos_de_metodologia_cientfica_8._ed._-__www.meulivro.biz.pdf. Acesso em: 22 maio. 2025.

MACHADO, Vítor de Córdova. **Análise dinâmica experimental e computacional da estrutura do tampo de um violão artesanal**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2019. Disponível em: <https://repositorio.udesc.br/entities/publication/b110fb8d-4770-4156-a438-8f0edcd748ae>. Acesso em: 21 out. 2025.

MONTES, Roger Otávio Pires; GONTIJO, Dayana Silva Moreira. **Análise da influência da interação solo-estrutura no dimensionamento de edifícios multipavimentos em concreto armado**. Revista Uniaraguaia (Online), Goiânia, v. 15, n. 1, p. 38-61, jan./abr. 2020. Disponível em: <https://sipe.uniaraguaia.edu.br/index.php/REVISTAUNIARAGUAIA/article/view/932>. Acesso em: 6 set. 2025.

OLIVEIRA, Diôgo Silva de. **Análise do Comportamento Estrutural de Blocos de Concreto Armado sobre Cinco e Seis Estacas**. 2013. 234 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-08042013-105751/publico/2013ME_DiogoSilvaOliveira.pdf. Acesso em: 01 jun. 2025.

OLIVEIRA, Yuri Miguel de. **Machine learning aplicado na estimativa do coeficiente de mola de estacas com validação por meio de provas de carga estáticas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/13984/1/21456352.pdf>. Acesso em: 19 out. 2025.

PINTO, Camila Patrícia Jeronymo. **Análise de Estrutura com Interação Solo-Estrutura e as Molas de Winkler**. 2021. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021. Disponível em: <https://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2020.2/analise-de-estrutura-com-interacao-solo-estrutura-e-as-molas-de-winkler.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2025.

SAKAI, Erika. **Análise de blocos de concreto armado sobre estacas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/items/9dbe408e-2dba-417a-80e6-a4ab265a70f0>. Acesso em: 24 set. 2025.

SILVA, Amanda Carla Ávila; NASCIMENTO, Adauto Cezar Rosa do. **Avaliação da interação solo-estrutura no comportamento global de um edifício alto de concreto armado**. Revista Focus in Scientiae – Brazilian Journal of Focus in Scientiae, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.itpacporto.app.br/arquivos/biblioteca/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20intera%C3%A7%C3%A3o%20solo-estrutura%20no%20com.pdf>. Acesso em 22 maio. 2025.

TQS INFORMÁTICA LTDA. **Modelo VI – CAD/TQS 16**. TQS, s.d. Disponível em: <https://www.tqs.com.br/v16/destaques/modelo-vi-projeto-estrutural.html>. Acesso em: 23 ago. 2025.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.