

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANA BEATRIZ LEDA RIBEIRO**

**ESTUDO DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA EM EDIFÍCIOS SOBRE  
FUNDAÇÕES PROFUNDAS**

São Luís  
2019

**ANA BEATRIZ LEDA RIBEIRO**

**ESTUDO DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA EM EDIFÍCIOS SOBRE  
FUNDAÇÕES PROFUNDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil – UEMA, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Azevedo Neves.

São Luís  
2019

Ribeiro, Ana Beatriz Leda.

Estudo da interação solo estrutura em edifício sobre fundações profundas / Ana Beatriz Leda Ribeiro. – São Luís, 2019.

161f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Azevedo Neves.

1.Interação solo - estrutura. 2.Coefficiente de molas. 3.Fundações profundas. 4.Rigidez. 5.Esforços axiais. I.Título

CDU: 624.131

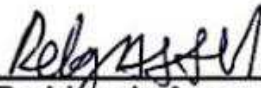
**ANA BEATRIZ LEDA RIBEIRO**

**ESTUDO DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA EM EDIFÍCIOS SOBRE  
FUNDAÇÕES PROFUNDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao curso de graduação em Engenharia Civil –  
UEMA, como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

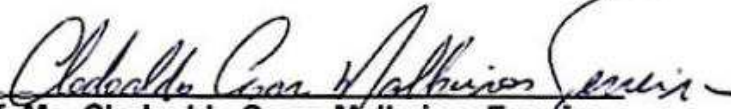
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Azevedo  
Neves.

Aprovado em: 04 / 12 / 2019



---

**Prof. Dr. Rodrigo de Azevedo Neves**  
Prof. Orientador  
Universidade Estadual do Maranhão



---

**Prof. Me. Clodoaldo Cesar Malheiros Ferreira**  
Membro titular  
Universidade Estadual do Maranhão



---

**Prof. Me. Caio Cesar Pereira de Aguiar**  
Membro titular  
Universidade Estadual do Maranhão



Para honra e glória do Nosso Senhor Jesus Cristo,  
à virgem Maria Santíssima, aos anjos e santos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pois se cheguei até aqui foi por Sua graça e infinita misericórdia.

À minha família, em especial a minha mãe, Denise Bessa Leda, que não mede esforços para me dar todo apoio em tudo que preciso.

À Caio Antônio, MJ, que foi meu maior companheiro nessa jornada, e assim eu espero que continue sendo para sempre.

A todos os meus amigos que fiz no curso, em especial, Marcus, Natalia, Isabella, Mateus e André, que fizeram com que esses cinco anos fossem muito mais leves e divertidos.

À minhas amigas Ana Vitória e Ana Raissa, que desde sempre estão ao meu lado, me apoiando e incentivando em todas as etapas da minha vida.

Ao meu orientador Rodrigo de Azevedo Neves, pelo suporte dado durante a produção deste trabalho.

Ao professor Luciano Carneiro Reis que me deu todas as oportunidades para crescer profissionalmente e sempre me incentivou a alçar voos mais altos.

À todas as empresas que me abriram as portas para estagiar, Spot, Concreto Engenharia e Construmall Engenharia, onde pude aprender e desenvolver muito profissionalmente ao longo do curso.

A todos os meus amigos do Grupo Um Novo Caminho, que me ajudam a manter os olhos fixos Naquele que é o objetivo de tudo.

## RESUMO

Este trabalho busca analisar algumas metodologias de Interação Solo-Estrutura em fundações profundas do tipo estacas por meio do uso da modelagem do solo através de coeficientes de reação de mola. Foram utilizados alguns critérios para a obtenção dos valores das constantes elásticas do solo, como a utilização de correlações entre a resistência a penetração e o diâmetro da estaca, ensaios de prova de carga estática e publicações sobre o tema na área de fundações. Utilizou-se 39 modelos, com as mais diversas condições de vinculação elástica como representação do maciço de solo. Alguns parâmetros para validação do modelo foram utilizados, dentre eles a redistribuição de esforços axiais nos pilares, a verificação da estabilidade global das estruturas por meio do coeficiente gama z e os deslocamentos horizontais. Por fim, observou-se a influência da consideração da rigidez do maciço de solo com os esforços solicitantes advindos da análise estrutural.

**Palavras-chave:** Interação Solo-Estrutura. Coeficiente de mola. Fundações profundas. Rigidez. Esforços axiais.

## ABSTRACT

This paper seeks to analyze some soil-structure interaction methodologies in deep pile-type foundations by using soil modeling through spring reaction coefficients. Some criteria were used to obtain the values of soil elastic constants, such as the use of correlations between penetration resistance and pile diameter, tests of static load testing and publications on the subject in the area of foundations. We used 39 models, with the most diverse conditions of elastic binding as a representation of the soil massif. Some parameters to validate the model were used, among them the redistribution of axial forces on the pillars, the verification of the overall stability of the structures through the gamma coefficient  $\gamma$  and the horizontal displacements. Finally, the influence of the consideration of the rigidity of the soil mass with the requesting efforts coming from the structural analysis was observed.

**Key-words:** Soil-Structure Interaction. Coefficient of spring. Deep foundations. Rigidity. Axial efforts.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de referência .....	12
Figura 2 - Hipóteses básicas do projeto convencional estrutural e de fundações. ....	13
Figura 3 - Consequência do não atendimento dos requisitos básicos de segurança. .....	14
Figura 4 - Influência das cargas aplicadas e da rigidez relativa fundação-solo nas pressões de contato. ....	15
Figura 5 - Curva isorecalques calculados considerando o efeito de grupo e isolados. .....	17
Figura 6 - Curva recalque-tempo no pilar mais carregado considerando a sequência de carregamento. ....	18
Figura 7 - Elementos estruturais de fundação direta apoiados sobre solo estratificado. .....	19
Figura 8 - Parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga.....	20
Figura 9 - Casos Reais de fissuração, exemplo 48. ....	31
Figura 10 - Torre de Pisa, Itália. ....	32
Figura 11 - Prédios tortos da orla de Santos-SP. ....	32
Figura 12 - Edifício da Companhia Paulista de Seguros. ....	33
Figura 13 - Basílica Nossa Senhora de Guadalupe, Cidade do México. ....	34
Figura 14 - Esquema de Reação por Estacas de Tração.....	37
Figura 15 - Gráfico Carga x Recalque.....	38
Figura 16 - Planta Baixa para edifícios de 4 pavimentos. ....	44
Figura 17 - Modelo MOD04-I-A no software SAP2000.....	45
Figura 18 - Configuração adotada para os modelos MOD04-I-B e MOD04-I-C no SAP2000.....	46
Figura 19 - Planta de locação para todos os modelos da classificação MOD04-II....	47
Figura 20 - Configuração do modelo MOD04-II-A no SAP2000.....	48
Figura 21 - Configuração dos modelos MOD04-II-B a MOD04-II-E no SAP2000. ....	49
Figura 22 - Planta de locação para os modelos da classificação MOD04-III. ....	50
Figura 23 - Coeficientes de mola adotados nos MOD04-II-C E MOD04-III-C no SAP2000.....	50
Figura 24 - Planta Baixa para os edifícios de 8 pavimentos.....	51
Figura 25 - Planta de forma para os modelos com classificação MOD08-II.....	52
Figura 26 - Planta de forma para os modelos com classificação MOD08-III.....	52
Figura 27 - Planta baixa para as edificações de 12 pavimentos. ....	53
Figura 28 - Planta de forma para os modelos MOD12-II.....	54
Figura 29 - Planta de forma para os modelos de classificação MOD12-III.....	54
Figura 30 - Edifícios de 12 pavimentos sem e com a consideração da ISE (MOD12-II). .....	55
Figura 31 - Gráfico demonstrativo dos esforços axiais nos pilares. ....	57
Figura 32 - Diferenças percentuais entre esforços axiais dos MOD12-I-A e MOD12-II- B.....	59
Figura 33 - Diferenças percentuais entre esforços axiais dos MOD12-I-A e MOD12-II- C.....	59
Figura 34 - Gráfico demonstrativo dos esforços axiais nos pilares. ....	60
Figura 35 - Gráfico demonstrativo dos esforços axiais nos pilares. ....	60
Figura 36 - Esforços Axiais nos pilares dos modelos MOD04-II para a combinação SC X+.....	64

Figura 37 - Esforços Axiais nos pilares dos modelos MOD08-II para a combinação SC X+.....	64
Figura 38 -Esforços Axiais nos pilares dos modelos MOD12-II para a combinação SC X+.....	65
Figura 39 - Esforços Axiais nos pilares dos modelos MOD04-III para a combinação SC X+.....	68
Figura 40 - Esforços Axiais nos pilares dos modelos MOD08-III para a combinação SC X+.....	68
Figura 41 - Esforços Axiais nos pilares dos modelos MOD12-III para a combinação SC X+.....	69
Figura 42 - Deslocamentos horizontais nos modelos de 4 pavimentos.....	73
Figura 43 -Deslocamentos horizontais nos modelos de 8 pavimentos.....	73
Figura 44 - Deslocamentos horizontais nos modelos de 12 pavimentos.....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de correção F1 e F2.....	23
Tabela 2 - Coeficiente K e razão de atrito $\alpha$ .....	24
Tabela 3 - Coeficiente característico do solo C.....	26
Tabela 4 - Valores do fator $\alpha$ em função do tipo de estaca e do tipo de solo. ....	26
Tabela 5 - Valores do fator $\beta$ em função do tipo e do tipo de solo. ....	26
Tabela 6 - Valores do parâmetro $\alpha$ .....	27
Tabela 7 - Valores do parâmetro $\beta$ .....	28
Tabela 8 - Valores de atrito lateral $rL$ .....	28
Tabela 9 - Modelos Desenvolvidos. ....	42
Tabela 10 - Diferenças percentuais entre esforços axiais dos MOD04-I-A e MOD04-II-B.....	56
Tabela 11 - Diferenças percentuais entre os esforços axiais dos MOD04-I-A e MOD04-I-C. ....	57
Tabela 12 - Diferenças percentuais entre esforços axiais dos MOD08-I-A e MOD08-II-B.....	58
Tabela 13 - Diferenças percentuais entre esforços axiais dos MOD08-I-A e MOD08-II-C.....	58
Tabela 14 – Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-II-A e MOD04-II-B. ....	61
Tabela 15 - Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-II-A e MOD04-II-C. ....	62
Tabela 16 - Diferenças percentuais entre os esforços axiais MOD04-II-A e MOD04-II-D.....	63
Tabela 17 - Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-II-A e MOD04-II-E. ....	63
Tabela 18 - Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-III-A e MOD04-III-B. ....	66
Tabela 19 - Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-III-A e MOD04-III-C. ....	66
Tabela 20 - Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-III-A e MOD04-III-D. ....	67
Tabela 21 - Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-III-A e MOD04-III-E. ....	67
Tabela 22 - Valores de $\gamma_z$ para os modelos analisados. ....	69
Tabela 23 - Comparação entre os coeficientes $\gamma_z$ para os modelos MOD04-I. ....	70
Tabela 24 - Comparação entre os coeficientes de $\gamma_z$ para os modelos MOD04-II. ....	70
Tabela 25 - Comparação entre os coeficientes de $\gamma_z$ para os modelos MOD04-III. ....	70
Tabela 26 - Comparação entre os coeficientes de $\gamma_z$ para os modelos MOD08-I. ....	70
Tabela 27 - Comparação entre os coeficientes $\gamma_z$ de para os modelos MOD08-II. ....	70
Tabela 28 - Comparação entre os coeficientes $\gamma_z$ de para os modelos MOD08-III. ....	71
Tabela 29 - Comparação entre os coeficientes $\gamma_z$ de para os modelos MOD12-I. ....	71
Tabela 30 - Comparação entre os coeficientes $\gamma_z$ de para os modelos MOD012-II. ....	71
Tabela 31 - Comparação entre os coeficientes $\gamma_z$ de para os modelos MOD12-III. ....	71

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1	Justificativa .....	10
1.2	Objetivo Geral.....	11
1.3	Objetivos específicos .....	11
1.4	Estrutura do trabalho.....	11
<b>2</b>	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b> .....	<b>11</b>
2.1	Infraestrutura.....	11
2.2	Interação Solo-Estrutura .....	14
2.2.1	Fatores que influenciam na Interação Solo-Estrutura.....	15
2.3	Fundações Profundas.....	19
2.3.1	Métodos Semiempíricos .....	21
2.4	Considerações sobre Recalques.....	28
2.4.1	Danos causados por recalques .....	31
2.5	Método de Winkler .....	34
2.5.1	Coeficiente de reação vertical ( $K_v$ ) .....	35
2.5.2	Coeficiente de reação horizontal ( $K_h$ ) .....	36
2.6	Ensaio de Prova de Carga .....	36
2.7	Estabilidade Global.....	38
<b>3</b>	<b>EXEMPLOS NÚMERICOS</b> .....	<b>40</b>
3.1	Caracterização da Estrutura.....	40
3.1.1	Modelos “MOD04” .....	44
3.1.2	Modelos “MOD08” .....	51
3.1.3	Modelos “MOD12” .....	52
3.2	Análise dos Resultados.....	55
3.2.1	Redistribuição dos Esforços Axiais.....	55
3.2.2	Estabilidade Global.....	69
3.2.3	Deslocamentos Horizontais .....	72
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>74</b>



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Justificativa

Na Engenharia Civil, para fins de estudo em análise estrutural, costuma-se considerar que uma edificação é composta por três macrossistemas: a superestrutura, a infraestrutura e o terreno de fundação. Segundo Gusmão (1990), o que governa o desempenho real dessa edificação é a interação entre estas três partes, e esse mecanismo é o que se denomina Interação Solo-Estrutura (ISE).

Toda estrutura que esteja em contato com o solo, independentemente de ser uma edificação, uma casa ou uma barragem, exerce influência sobre ele e, conseqüentemente, recebe uma resposta de volta por parte do solo. É habitual, porém, que para simplificação de cálculo não se considere essa interação. Considera-se a estrutura sobre apoios rígidos, sendo a superestrutura e a infraestrutura calculadas isoladamente. Dessa maneira, ignoram-se os esforços originados pela rigidez da estrutura e pela deformação do solo, e o comportamento efetivo da estrutura diante dos recalques e acomodações sofridos é desconsiderado.

Apesar de serem considerados aceitáveis os resultados obtidos no dimensionamento com o uso do procedimento de cálculo que desconsidera essa interação, ele se distancia do comportamento real da estrutura. Isto pode ocasionar o surgimento de danos aos elementos estruturais e patologias, que podem comprometer a edificação tanto visualmente quanto em questões de segurança estrutural.

Com a ascensão da tecnologia e o desenvolvimento de softwares que integram os conhecimentos de estruturas e geotecnia, tornou-se mais acessível e difundida a possibilidade de avaliar as conseqüências da utilização da interação solo-estrutura, comparativamente aos resultados conseqüentes das simplificações habitualmente utilizadas nos dimensionamentos. Com isso, muitos estudos vêm sendo elaborados em cima do comportamento das estruturas considerando a ISE.

Tem-se conhecimento, por exemplo, que há uma tendência de redistribuição das cargas entre os elementos estruturais. Pilares inicialmente mais carregados, transferem cargas para aqueles que estavam menos solicitados. A possibilidade de estimar os efeitos dessa redistribuição de esforços em toda a estrutura, a forma e a intensidade dos recalques diferenciais, tornam os projetos cada vez mais eficientes e confiáveis com a consideração da interação solo-estrutura.

Tendo em vista a busca de dimensionamentos cada vez mais eficientes e condizentes com os resultados reais obtidos em campo, esse trabalho surge com o intuito de contribuir nos estudos acerca da influência da Interação Solo-Estrutura, analisando em quais ocasiões ela causa efeitos mais significativos entre os modelos propostos e a viabilidade do uso dos softwares disponíveis no mercado.

## **1.2 Objetivo Geral**

Analisar a influência da consideração da Interação Solo-Estrutura nos esforços causados nos elementos estruturais de edifícios de múltiplos pavimentos sobre fundações profundas do tipo estacas.

## **1.3 Objetivos específicos**

- Definir o conceito de Interação Solo-Estrutura e aplicar nas edificações escolhidas;
- Calcular no SAP 2000 o modelo escolhido para a edificação variando o número de pavimentos e a consideração ou não da interação da estrutura com o solo.
- Comparar os resultados encontrados para cada modelo calculado.

## **1.4 Estrutura do trabalho**

Este trabalho foi estruturado em: uma primeira parte que diz respeito às Considerações Iniciais, onde são trazidas as discussões sobre Infraestrutura; Interação Solo-Estrutura; Fundações Profundas; Considerações sobre Recalques e Método de Winkler. Uma segunda parte composta por Exemplos Numéricos e, por fim, as Conclusões.

# **2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

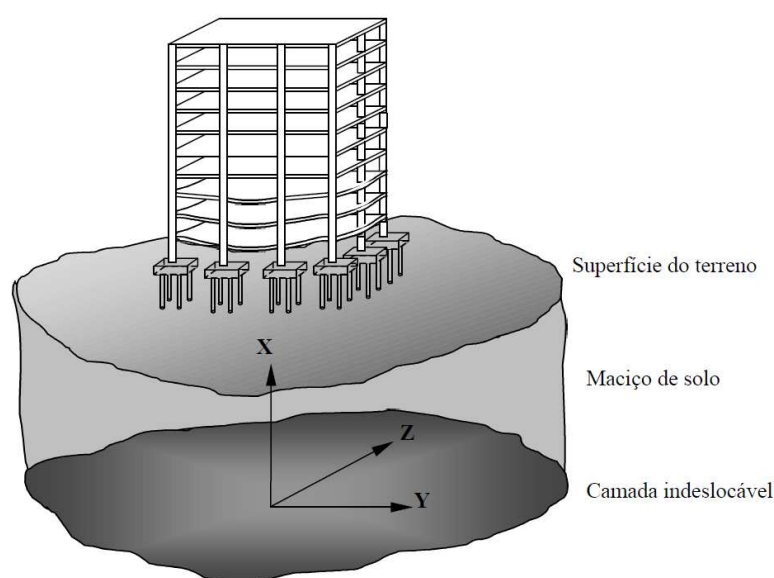
## **2.1 Infraestrutura**

Define-se como infraestrutura a parte composta pelo sistema de fundações e o maciço de solo responsáveis por dar sustentação a superestrutura. Sabe-se, no

entanto que, os elementos estruturais de fundações por si só não subsistem, são sempre fundações de alguma superestrutura.

Segundo Iwamoto (2000), o que deveria ser considerado na verdade em uma classificação das partes do sistema construtivo seria a estrutura como um todo, sendo os elementos estruturais que são comumente chamados de “fundações”, parte integrante da estrutura, e o maciço de solo. Sendo o maciço de solo um conjunto formado por um certo número de elementos de solos, que circunvizinha a estrutura e ocupa o espaço físico delineado pela superfície do terreno e a superfície de uma camada indeslocável.

Figura 1 - Sistema de referência

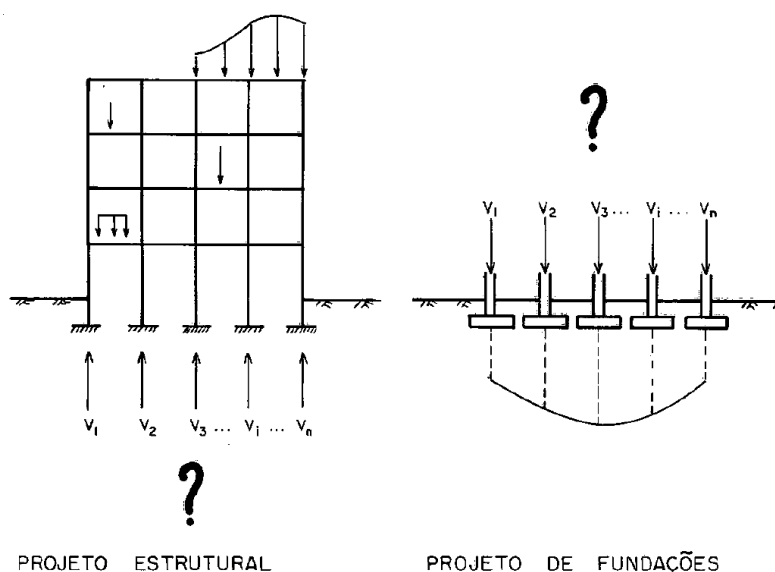


Fonte: Iwamoto (2000).

Porém, sabe-se que nos escritórios de cálculo estrutural não é assim que costuma acontecer. O engenheiro estrutural calcula a “superestrutura” considerando o apoio indeslocável e passa os valores resultantes do conjunto de cargas para que o engenheiro geotécnico dimensione a fundação. Um dos principais problemas então, encontra-se na divergência da escolha do sistema de referência adotado por cada um.

Enquanto o engenheiro estrutural considera o ponto da base da estrutura como sendo a origem global e sentido para cima, os geotécnicos consideram que esse mesmo referencial tem sentido para baixo. No entanto, o mais coerente a se fazer seria a escolha de um ponto de referência abaixo da superfície do solo na profundidade onde se consideraria a camada indeslocável.

Figura 2 - Hipóteses básicas do projeto convencional estrutural e de fundações.



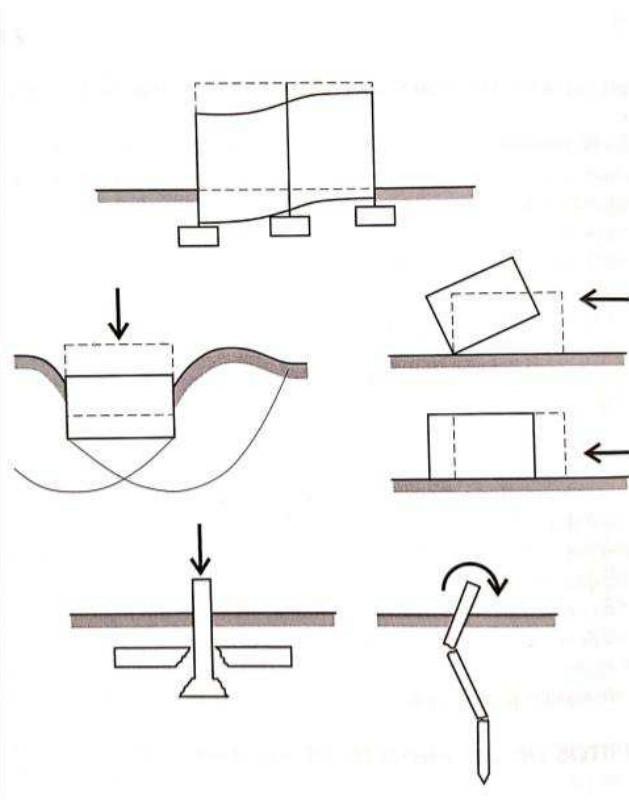
Fonte: Gusmão (1990).

A forma adequada de dimensionamento de um projeto de fundações deve atender a três requisitos básicos que são:

1. Deformações aceitáveis sob as condições de trabalho.
2. Segurança adequada ao colapso do solo de fundação ou estabilidade "externa".
3. Segurança adequada ao colapso dos elementos estruturais ou estabilidade "interna".

Apenas o fato de o sistema de fundação apresentar segurança adequada ao colapso não garante um bom desempenho, pois as deformações e os danos ocasionados pelos recalques podem não satisfazer as condições estéticas, funcionais e de desempenho estrutural. Na figura 3 abaixo são representadas algumas consequências do não atendimento de requisitos de segurança em edificações, dentre as causas que geram tais consequências podem-se ver o colapso estrutural resultante de projetos deficientes, deformações excessivas e o colapso do solo. Com a premissa de ser uma análise mais apurada e fiel a realidade, para garantir o bom desempenho e a segurança, é então que muitos modelos de implantação da Interação Solo-Estrutura vêm sendo elaborados.

Figura 3 - Conseqüências do não atendimento dos requisitos básicos de segurança.



Fonte: Velloso (2010).

## 2.2 Interação Solo-Estrutura

Uma análise de interação solo-estrutura apresenta como seus objetivos principais fornecer os deslocamentos reais da estrutura e seus esforços internos. Para obter esses esforços podem-se chegar a eles de uma forma direta, com a análise da interação, ou de uma forma indireta, que é por meio das pressões de contato. As pressões de contato são tensões na interface estrutura-solo e sua determinação é necessária para o cálculo dos esforços internos na fundação, pois é a partir desses valores que é feito o dimensionamento do elemento.

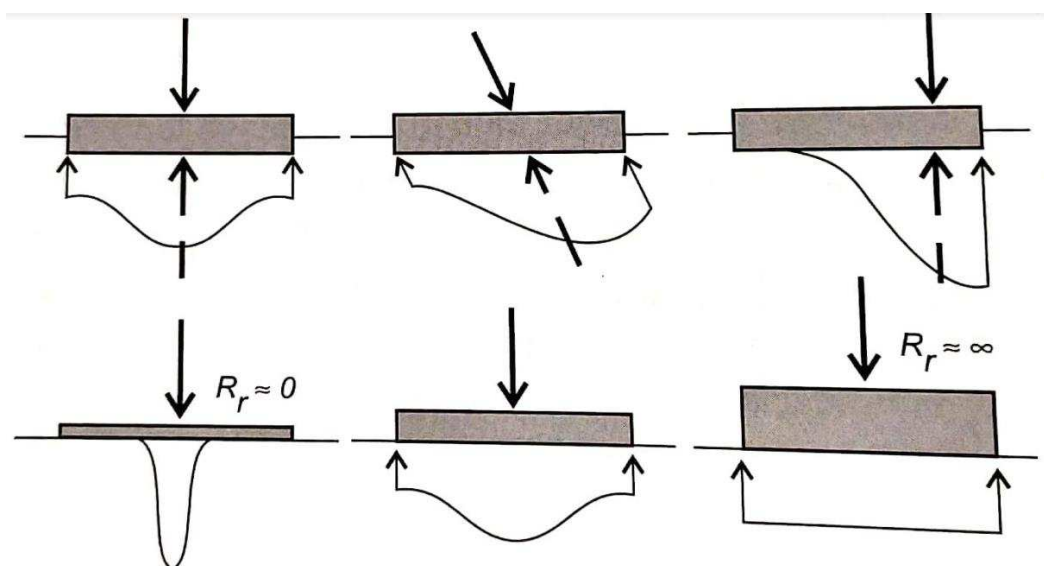
Nos trabalhos realizados por (MEYERHOF, 1953; CHAMECKI, 1955 E 1958; POULOS, 1975<sup>a</sup>; AOKI, 1987 apud GUSMÃO, 1990), pode-se observar que um dos principais efeitos provocados pela interação solo-estrutura é uma redistribuição de esforços que ocorre nos elementos estruturais, em especial nas cargas nos pilares. Esta redistribuição encontra-se relacionada a rigidez relativa estrutura-solo e da deformada de recalques da edificação, como aponta Gusmão (1990). Por conta disso,

deve-se ter muito cuidado com esta redistribuição, que como consequência, pode suscitar o aparecimento de danos na superestrutura.

### 2.2.1 Fatores que influenciam na Interação Solo-Estrutura

Segundo Velloso (2010), as pressões de contato são influenciadas por fatores como: primeiro as características das cargas aplicadas, que constituem um dos mais importantes fatores, uma vez que a resultante dessas pressões deve ser igual e oposta a resultante das cargas.

Figura 4 - Influência das cargas aplicadas e da rigidez relativa fundação-solo nas pressões de contato.



Fonte: Velloso (2010).

Segundo como a rigidez relativa fundação-solo, pois quanto mais flexível for a fundação mais as pressões de contato refletirão o carregamento. De acordo com o tipo de fundação há uma forma de expressar a rigidez relativa, se por vigas ou por placas (se elementos unidimensionais ou bidimensionais).

Terceiro as propriedades do solo, uma vez que a resistência ao cisalhamento do solo gera as pressões máximas nos bordos. E por último, pela intensidade das cargas, já que pela teoria da elasticidade pode-se considerar as pressões nos bordos de uma sapata rígida como infinita e sendo assim, mesmo para uma carga de serviço, há plastificação do solo nos bordos. Velloso (2010, p.125)

ressalta também que “A rigidez da estrutura pode contribuir de forma marcante para a rigidez relativa do conjunto fundação + superestrutura – solo.”

Outra situação onde o papel da superestrutura é também importante é quando a obra possui fundações isoladas e o efeito de uniformizar os recalques só pode vir da superestrutura.

Désir e Crespo (2008) salientam que as particularidades de cada edificação influem diretamente sobre os efeitos causados pela ISE. Em seu trabalho, citam que “[...] a magnitude do problema depende da sensibilidade da estrutura em relação ao solo”. No modelo analisado por eles, pode-se constatar a importância da consideração dos painéis de vedação de alvenaria no comportamento global da estrutura, pois estes contribuíram para uma redução ainda maior nos recalques diferenciais das fundações.

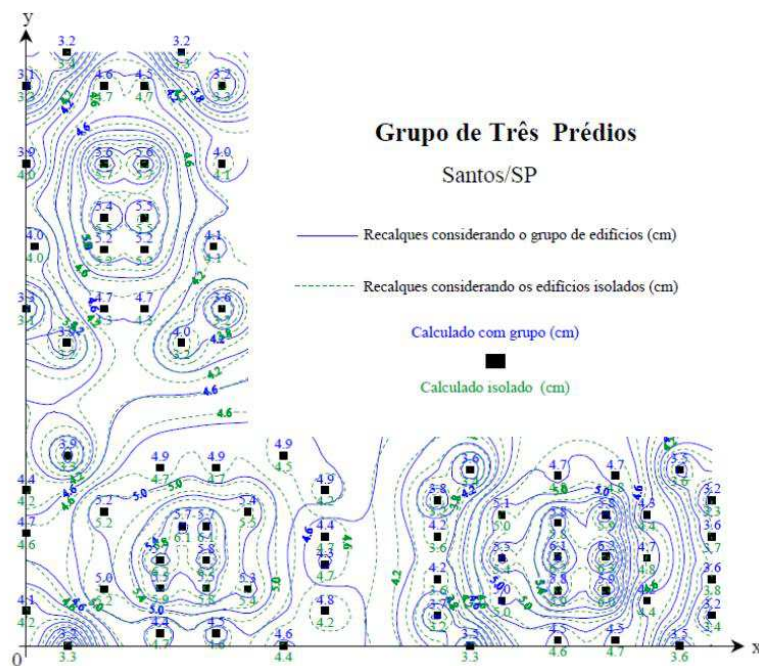
Antoniazzi (2011) diz que a redistribuição dos esforços causados pelos recalques reais na estrutura pode resultar em alterações significativas no dimensionamento, pois podem haver inversões de momentos fletores em alguns elementos estruturais, o que ocasionaria um dimensionamento equivocado.

Entre os fatores que influenciam na análise da interação solo-estrutura, pode-se observar que a presença de edificações vizinhas, a relação entre a rigidez do solo e da superestrutura, o número de pavimentos, o processo construtivo, além das características do solo, são as mais comprovadas nos trabalhos já realizados sobre o tema.

Reis (2000) analisou em seus estudos, três edifícios construídos simultaneamente na cidade de Santos-SP, com fundações superficiais em solos estratificados de argila mole e observou a influência de quatro fatores, sendo eles: a rigidez da estrutura, o efeito de grupo entre as fundações, o processo construtivo e as construções vizinhas.

Ao analisar a consideração do efeito de grupo, Reis (2000) comparou modelos para distâncias de 5m e para distâncias maiores que 15m entre eles, com e sem a consideração do efeito. Obteve em seus resultados que nos pilares periféricos adjacentes ao prédio vizinho, a uma distância de 5m, houve um acréscimo de até 60% nos recalques e uma redução significativa nos demais pilares. O acréscimo foi menos acentuado e identificado apenas nos pilares periféricos as edificações vizinhas para distâncias superiores a 15m.

Figura 5 - Curva isorecalques calculados considerando o efeito de grupo e isolados.



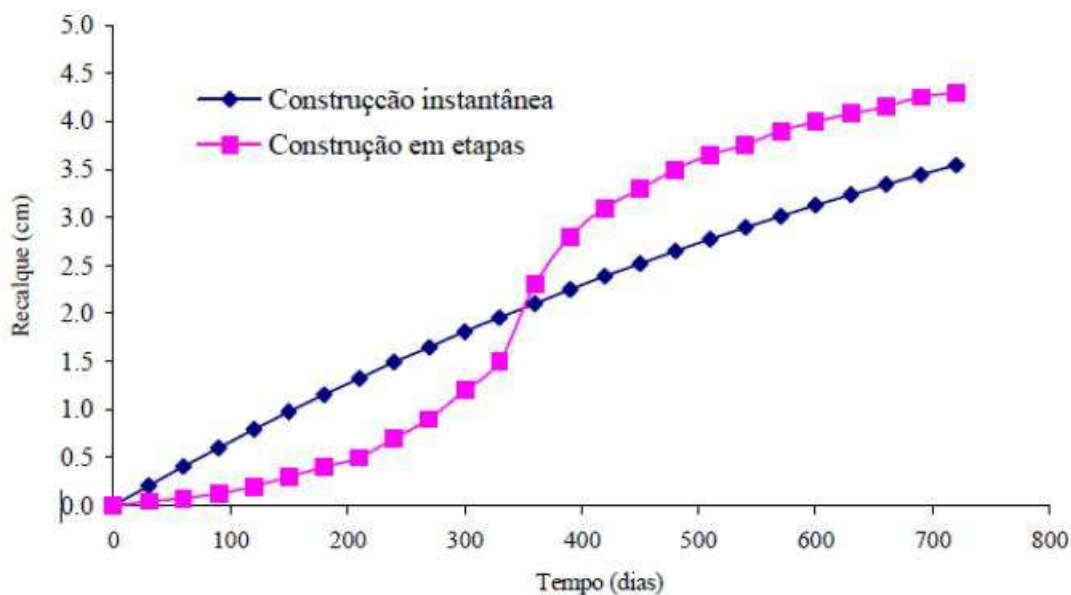
Fonte: Reis (2000).

Ao avaliar o critério dos efeitos da rigidez estrutura-solo, Reis (2000) constatou que um aumento da rigidez uniformiza o estado de tensões e os recalques da estrutura. Para isso ele comparou modelos com vigas de diferentes seções transversais e ao analisar os resultados notou que havia ocorrido um rearranjo das cargas, com uma transferência de esforços dos pilares mais carregados para os menos carregados.

Quanto ao fator referente à influência das etapas construtivas, Reis (2000) observou uma maior importância do processo construtivo para previsão de recalques a curto prazo. Já a longo prazo, identificou que estes ficam muito próximos de recalques considerando o carregamento instantâneo, ou seja, sem a consideração das etapas construtivas em um carregamento sequencial.



Figura 6 - Curva recalque-tempo no pilar mais carregado considerando a sequência de carregamento.

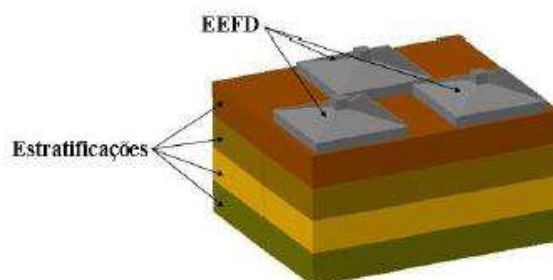


Fonte: Reis (2000).

Holanda Jr (1998) comparou o comportamento da estrutura considerando o solo como uma superfície indeslocável a 15m de profundidade com uma consideração para o solo como semi-infinito. Obteve em seus resultados uma redução em todos os recalques, além de constatar que houve alterações consideráveis nos momentos fletores dos pilares e vigas.

Colares (2006) levou em consideração a grande variabilidade das camadas do solo ao considera-lo em seus estudos como um meio estratificado, conforme figura 6. Com isso, elaborou uma ferramenta para análise que permite avaliar os efeitos da ISE no campo dos deslocamentos e tensões a partir dos carregamentos aplicados pela estrutura, nos elementos estruturais, nas fundações e no solo. Com tal ferramenta, admite-se a previsão e prevenção de possíveis danos e patologias nas edificações.

Figura 7 - Elementos estruturais de fundação direta apoiados sobre solo estratificado.



Fonte: Colares (2006).

### 2.3 Fundações Profundas

Entre os principais fatores na escolha do tipo de fundação de uma edificação estão: o tipo de solo onde a estrutura se apoiará e a capacidade de carga que essa fundação suportará. As fundações podem ser classificadas em superficiais ou profundas, sendo as sapatas e radiers os tipos mais comuns de fundações superficiais, estacas e tubulões os tipos mais comuns para fundações profundas.

Em solos muito moles, normalmente os mais argilosos, o uso de fundações superficiais é muito mais complicado e torna-se uma opção com custo bem mais elevado para o cliente. Nesse caso opta-se pelo uso de fundações profundas. Por definição, segundo a norma ABNT NBR 6120 (2010), fundações profundas são:

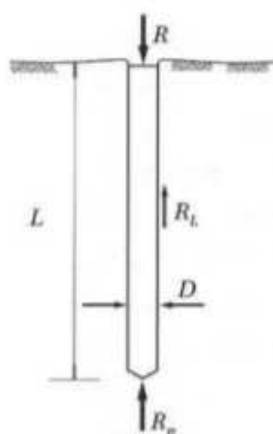
Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0m. (ABNT NBR 6122:2010, p. 3).

Dentre os tipos de fundações profundas citadas acima, o que diferenciam as fundações do tipo estacas para tubulões, é que aquelas são executadas inteiramente por equipamentos e ferramentas, sem que seja necessária a descida de operários em nenhuma das fases de sua execução, fato que ocorre no tipo tubulões. São também caracterizadas por grandes comprimentos e seções transversais pequenas. Podem ser classificadas pelo tipo de materiais, podendo ser executadas em madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto in loco ou mistas. Podem ainda ser

classificadas como estacas de deslocamento ou de substituição, dependendo do processo executivo empregado.

Para a escolha adequada do tipo de estaca que será utilizado como fundação da obra é necessário que se calcule primeiro a capacidade de carga do elemento. O cálculo da capacidade de carga de uma estaca consiste em, considerando uma estaca de comprimento  $L$ , instalada no solo, ao aplicar uma força vertical  $R$ , como na figura 8, na cabeça da estaca, tensões resistentes de atrito lateral e de resistência de ponta começam a ser mobilizadas em função das características geotécnicas das diferentes camadas do solo e sua profundidade (CINTRA, 2010).

Figura 8 - Parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga.



Fonte: Cintra (2010).

De acordo com Cintra e Aoki (2010), a resistência de fuste se dá por adesão em solos argilosos e por atrito em solos arenosos, contudo, predomina o uso da expressão atrito lateral para qualquer tipo de solo.

Para o cálculo de cada uma dessas parcelas, os autores acima citados consideram que para que se obtenham os valores referentes ao atrito lateral basta que se multiplique o perímetro do fuste da estaca pelo somatório das forças resistentes por atrito lateral em cada segmento da estaca, de acordo com a equação 1:

$$R_L = U * \sum (r_L * \Delta_L) \quad (1)$$

Onde,

- $R_L$ : resistência lateral;
- $U$ : perímetro do fuste;
- $r_L$ : força resistente do atrito lateral;
- $\Delta_L$ : espessura de cada uma das camadas do solo;

Já para a parcela da resistência de ponta, basta multiplicar a área da seção transversal da ponta pela tensão resistente de ponta, como na equação 2:

$$R_p = r_p * A_p \quad (2)$$

Onde,

- $R_p$ : resistência de ponta;
- $r_p$ : unidade de tensão na ponta da estaca;
- $A_p$ : área transversal da ponta da estaca;

Dessa forma, tem-se que a expressão da capacidade de carga é:

$$R = R_L + R_p \quad (3)$$

$$R = U * \sum (r_L * \Delta_L) + r_p * A_p \quad (4)$$

### 2.3.1 Métodos Semiempíricos

O modelo analítico para o cálculo da capacidade de carga não leva em consideração diversos fatores importantes que devem ser considerados para que se dimensione a fundação de forma segura e o mais próximo possível da realidade. Não são considerados fatores como a estratificação e a heterogeneidade do solo e a diferença de comportamento entre os diversos tipos de estacas que existem. Dessa forma, por meio de métodos estáticos, busca-se considerar esses fatores, por meio de fórmulas teóricas ou semiempíricas, sendo imenso o repertório de estudos e pesquisas nesse capítulo da engenharia de fundações.

Por se basearem em ensaios in situ de penetração, como o SPT e o CPT, os métodos semiempíricos são os mais utilizados pelos profissionais da área na hora

de calcular a capacidade de carga das estacas. Assim como destaca Velloso (2010) a sondagem a percussão é a investigação do solo mais difundida e realizada no Brasil, de forma que é muito comum que as únicas informações que o engenheiro geotécnico tenha em mãos sobre o solo para onde irá dimensionar as fundações sejam desses ensaios. Por isso a preferência pelos métodos semiempíricos. Ainda segundo Velloso (2010), dentre esses métodos os principais utilizados no Brasil são: Método de Meyerhof (1976), Método de Aoki-Velloso (1975), Método Decourt-Quaresma (1978) e o Método Teixeira (1996).

### 2.3.1.1 Método de Meyerhof (1976)

Meyerhof em seus estudos foi um dos pioneiros a determinar a capacidade de carga a partir do SPT (Velloso, 2010). Dentre os principais resultados que obteve, é válido destacar a fórmula para a resistência unitária de ponta para estacas escavadas em solos arenosos até uma profundidade ( $D$ ), dada por:

$$q_{p,ult} = \frac{0,4 * N * D}{B} \leq 4N \quad (5)$$

Onde,

- $N$ : é o número de golpes nos últimos 30cm do ensaio SPT;
- $D$ : profundidade da estaca;
- $B$ : diâmetro da estaca;
- $q_{p,ult}$ : resistência unitária de ponta em  $kgf/cm^2$

Para a resistência unitária por atrito lateral em estacas escavadas em solos arenosos encontrou que:

$$\tau_{l,ult} = \frac{\bar{N}}{50} \quad (6)$$

Onde,

- $\bar{N}$ : média dos  $N$  ao longo do fuste;
- $\tau_{l,ult}$ : resistência unitária por atrito lateral em  $kgf/cm^2$ ;

E já para o caso de solos com siltes não plásticos, determinou a seguinte fórmula como limite superior da resistência de ponta:

$$q_{p,ult} = 3N \quad (7)$$

Onde,

- $N$ : é o número de golpes nos últimos 30cm do ensaio SPT;
- $q_{p,ult}$ : resistência unitária de ponta em  $kgf/cm^2$ ;

### 2.3.1.2 Método de Aoki e Velloso (1975)

O método de Aoki-Velloso correlaciona inicialmente as incógnitas geotécnicas  $r_L$  e  $r_p$  com as incógnitas dos ensaios de penetração estática CPT, referentes aos valores de resistência de ponta do cone ( $q_c$ ) e do atrito lateral unitário da luva ( $f_s$ ), sendo:

$$r_p = \frac{q_c}{F_1} \quad (8)$$

$$r_L = \frac{f_s}{F_2} \quad (9)$$

Para isso, levam-se em consideração os fatores  $F_1$  e  $F_2$  que correspondem a diferença de comportamento entre a estaca e o cone, além da influência do método executivo de cada tipo de estaca. Esses fatores, foram aprimorados em novos estudos ao longo dos anos e resultaram na tabela 1 abaixo, extraída de Cintra (2010).

Tabela 1 - Fatores de correção  $F_1$  e  $F_2$

Tipo de estaca	$F_1$	$F_2$
Franki	2,50	$2 F_1$
Metálica	1,75	$2 F_1$
Pré-moldada	$1 + D/0,80$	$2 F_1$
Escavada	3,0	$2 F_1$
Raiz, hélice contínua e ômega	2,0	$2 F_1$

Fonte: Cintra (2010).

Como o ensaio SPT é muito mais difundido no Brasil que o ensaio CPT, Aoki e Velloso (1975) propuseram também uma correlação onde é possível substituir a resistência de cone ( $q_c$ ) pela resistência à penetração ( $N_{SPT}$ ) e um coeficiente que depende do tipo de solo ( $K$ ), além de extrair também o atrito lateral em função do  $N_{SPT}$  por meio da razão de atrito ( $\alpha$ ), apresentando então as seguintes equações:

$$q_c = K * N_{SPT} \quad (10)$$

$$\alpha = \frac{f_s}{q_c} \quad (11)$$

$$f_s = \alpha * K * N_{SPT} \quad (12)$$

A tabela 2 apresenta os valores correspondentes aos coeficientes  $K$  e  $\alpha$  que dependem do tipo de solo onde será executada a fundação.

Tabela 2 - Coeficiente K e razão de atrito  $\alpha$

<b>Solo</b>	<b>K (Mpa)</b>	<b><math>\alpha</math>(%)</b>
<b>Areia</b>	1,00	1,4
<b>Areia siltosa</b>	0,80	2,0
<b>Areia Siltoargilosa</b>	0,70	2,4
<b>Areia argilosa</b>	0,60	3,0
<b>Areia argilossiltosa</b>	0,50	2,8
<b>Silte</b>	0,40	3,0
<b>Silte arenoso</b>	0,55	2,2
<b>Silte arenoargiloso</b>	0,45	2,8
<b>Silte argiloso</b>	0,23	3,4
<b>Silte argiloarenoso</b>	0,25	3,0
<b>Argila</b>	0,20	6,0
<b>Argila arenosa</b>	0,35	2,4
<b>Argila arenossiltosa</b>	0,30	2,8
<b>Argila siltosa</b>	0,22	4,0
<b>Argila siltoarenosa</b>	0,33	3,0

Fonte: Aoki e Velloso (1975).

Reescrevendo então as expressões anteriores de  $r_p$  e  $r_L$  tem-se que:

$$r_p = \frac{K * N_p}{F_1} \quad (13)$$

$$r_L = \frac{\alpha * K * N_L}{F_2} \quad (14)$$

Onde,

- $N_p$ :  $N_{SPT}$  na cota de apoio da ponta da estaca;
- $N_L$ :  $N_{SPT}$  médio na camada de solo de espessura  $\Delta_L$ ;

Por fim, como fórmula final do método semiempíricos de Aoki e Velloso (1975), chega-se a:

$$R = \frac{K * N_p}{F_1} * A_p + \frac{U}{F_2} * \sum_1^n (\alpha * K * N_L * \Delta_L) \quad (15)$$

### 2.3.1.3 Método Décourt-Quaresma (1978)

O método elaborado pelos engenheiros Luciano Décourt e Arthur R. Quaresma consiste basicamente em um procedimento com base nos parâmetros obtidos no ensaio SPT para o cálculo da capacidade de carga onde, para a estimativa do atrito lateral ( $r_L$ ), não se distingue quanto ao tipo de solo e aplica-se a expressão:

$$r_L = 10 * \left( \frac{N_L}{3} + 1 \right) \quad (16)$$

Sendo  $N_L$  o valor médio do  $N_{SPT}$  ao longo do fuste e delimitado entre valores de  $N_L \geq 3$  e  $N_L \leq 15$  para o caso de estacas Strauss e tubulões e  $N_L \geq 3$  e  $N_L \leq 50$  para estacas de deslocamento e escavadas com bentonita.

Para os valores da capacidade de carga junto à ponta ( $r_p$ ) o método apresenta a expressão 17 baseada em um coeficiente característico do solo ( $C$ ), que pode ser obtido na tabela 3, e um valor médio de  $N_{SPT}$  que correspondente a três valores: o nível da ponta, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior (CINTRA, 2010).



$$r_p = C * N_p \quad (17)$$

Tabela 3 - Coeficiente característico do solo C

Tipo de solo	C (kPa)
<b>Argila</b>	120
<b>Silte Argiloso</b>	200
<b>Silte Arenoso</b>	250
<b>Areia</b>	400

Fonte: Décourt e Quaresma (1978) apud. Cintra (2010).

É adotado ainda dois fatores ( $\alpha$  e  $\beta$ ) para parcelas das resistências de ponta e lateral, respectivamente. Esses fatores podem ser visualizados nas tabelas 4 e 5 abaixo.

Tabela 4 - Valores do fator  $\alpha$  em função do tipo de estaca e do tipo de solo.

Tipos de Solo	Tipos de Estacas				
	Escavadas em geral	Escavadas (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob alta pressão
<b>Argilas</b>	0,85	0,85	0,3	0,85	1,0
<b>Solos intermediários</b>	0,6	0,6	0,3	0,6	1,0
<b>Areias</b>	0,5	0,5	0,3	0,5	1,0

Fonte: Décourt (1996) apud Cintra, 2010.

Tabela 5 - Valores do fator  $\beta$  em função do tipo e do tipo de solo.

Tipos de Solo	Tipos de Estacas				
	Escavadas em geral	Escavadas (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob alta pressão
<b>Argilas</b>	0,8	0,9	1,0	1,5	3,0
<b>Solos intermediários</b>	0,65	0,75	1,0	1,5	3,0
<b>Areias</b>	0,5	0,6	1,0	1,5	3,0

Fonte: Décourt (1996).

Por fim, após a inclusão dos coeficientes, a expressão final para capacidade de carga pelo Método de Décourt-Quaresma fica:

$$R = \alpha * C * N_p * A_p + \beta * 10 * \left( \frac{N_L}{3} + 1 \right) * U * L \quad (18)$$

#### 2.3.1.4 Método Teixeira (1996)

Baseado em outros métodos de utilização prática e contínua como os anteriormente descritos acima, Teixeira (1996) propôs um modelo de equação unificada para capacidade de carga, em função de dois parâmetros,  $\alpha$  e  $\beta$  (CINTRA, 2010):

$$R = \alpha * N_p * A_p + \beta * N_L * U * L \quad (19)$$

Onde,

- $N_p$ : valor médio do  $N_{SPT}$  medido no intervalo de 4 diâmetros acima da ponta da estaca e 1 diâmetro abaixo;
- $N_L$ : valor médio do  $N_{SPT}$  ao longo do fuste da estaca;

Tabela 6 - Valores do parâmetro  $\alpha$

Solo ( $4 < N_{SPT} < 40$ )	Tipo de estaca – $\alpha$ (kPa)			
	Pré-moldada e perfil metálico	Franki	Escavada a céu aberto	Raiz
<b>Argila siltosa</b>	110	100	100	100
<b>Silte argiloso</b>	160	120	110	110
<b>Argila arenosa</b>	210	160	130	140
<b>Silte arenoso</b>	260	210	160	160
<b>Areia argilosa</b>	300	240	200	190
<b>Areia siltosa</b>	360	300	240	220
<b>Areia</b>	400	340	270	260
<b>Areia com pedregulhos</b>	440	380	310	290

Fonte: Teixeira (1996) apud. Cintra (2010).

Tabela 7 - Valores do parâmetro  $\beta$ 

<i>Tipo de estaca</i>	$\beta$ (kPa)
<b>Pré-moldada e Perfil metálico</b>	4
<b>Franki</b>	5
<b>Escavada a céu aberto</b>	4
<b>Raiz</b>	6

Fonte: Teixeira (1996) apud. Cintra (2010).

O autor do método adverte ainda para o uso de valores tabelados de tensão de atrito lateral ( $r_L$ ), apresentados na tabela 8, em situações como de estacas pré-moldadas flutuantes em camadas espessas de argilas moles, casos em que o  $N_{SPT}$  é normalmente inferior a 3 e o método não se aplica.

Tabela 8 - Valores de atrito lateral  $r_L$ 

<i>Sedimento</i>	$r_L$ (kPa)
<b>Argila fluviolagunar (SFL)*</b>	20 a 30
<b>Argila transicional (AT)**</b>	60 a 80

\*SFL: argilas fluviolagunares e de baías, holocênicas – camadas situadas até cerca de 20 a 25m de profundidade, com valores de  $N_{SPT}$  inferiores a 3, de coloração cinza-escura, ligeiramente pré-adensada.

\*\*AT: argilas transicionais, pleistocênicas – camadas profundas subjacentes ao sedimento SFL, com valores de  $N_{SPT}$  de 4 a 8, às vezes de coloração cinza-clara, com tensões de pré-adensamento maiores do que aquelas das SFL.

Fonte: Teixeira (1996) apud. Cintra (2010).

## 2.4 Considerações sobre Recalques

Ainda que não seja o enfoque principal deste trabalho, para que se entenda plenamente como funciona a Interação Solo-Estrutura faz-se necessário uma abordagem acerca dos aspectos relacionados à teoria dos recalques. Cintra et al. (2011) definem recalque como o deslocamento vertical para baixo, da base da fundação em relação a uma referência fixa, indeslocável, como o topo rochoso. A origem dos recalques está relacionada a uma diminuição de volume e mudança de forma (ou ambos), do maciço de solo compreendido entre a base da fundação e o

ponto considerado como indeslocável. Nas estruturas podem ocorrer dois tipos de recalques, sendo eles:

- Recalque Total ou absoluto ( $\rho$ ): ocorre quando há um deslocamento integral em um dos apoios da estrutura ou na estrutura como um todo.
- Recalque Diferencial ou relativo ( $\delta$ ): dado como a diferença entre os recalques totais de duas fundações.

Por conta de fatores como a heterogeneidade do solo, diferenças geométricas entre as fundações e diferenças entre as solicitações em cada elemento de fundação, dificilmente ocorrerá um recalque uniforme, dessa forma, ocorrem então com muito mais frequência os recalques diferenciais.

Vale ressaltar ainda, que do recalque absoluto obtêm-se duas parcelas referentes ao recalque de adensamento ( $\rho_c$ ) e ao recalque imediato ( $\rho_i$ ). De acordo com Cintra *et al* (2011) temos que:

$$\rho = \rho_c + \rho_i \quad (20)$$

O recalque imediato ( $\rho_i$ ), como fica subentendido no próprio nome, ocorre de forma imediata, rápida e quase que simultaneamente a imposição do carregamento no solo. É chamado também por alguns autores como recalque de distorção pois ele representa uma distorção do elemento de solo, que não apresenta diminuição de volume ou de vazios.

Já o recalque de adensamento ( $\rho_c$ ) resulta em deformações volumétricas por meio da diminuição do índice de vazios. O processo, que ocorre tipicamente em solos de argila saturada sob carregamento permanente, consiste na dissipação das pressões neutras ao longo do tempo, de forma bem lenta pelo fato das argilas apresentarem baixa permeabilidade, que acaba por dificultar a expulsão da água presente entre as partículas do solo.

Para o caso de fundações profundas do tipo estacas, tipo de fundação que será adotada nos modelos analisados neste trabalho, quando falamos em recalques, são analisados dois tipos de deformações que são provocados após a aplicação de uma carga na cabeça do elemento. De acordo com Cintra *et al.* (2011), temos:

- O encurtamento elástico da própria estaca ( $\rho_e$ ).
- As deformações verticais de compressão dos estratos de solo subjacentes à base da estaca ( $\rho_s$ ).

De tal forma que, considerando os dois efeitos, temos para o recalque ( $\rho$ ) nas estacas:

$$\rho = \rho_e + \rho_s \quad (21)$$

Para o encurtamento elástico, Cintra et al. (2011) deduz a fórmula (22) a partir da metodologia de Aoki (1979) para a capacidade de carga ( $R$ ):

$$\rho_e = \frac{1}{A * E_c} * \sum_{i=1}^n (P_i * L_i) \quad (22)$$

Onde,

- $A$ : área da seção transversal do fuste da estaca;
- $E_c$ : módulo de elasticidade da estaca;
- $P_i$ : esforço normal médio na estaca na camada  $i$ ;
- $L_i$ : espessura da camada  $i$ ;
- $n$ : número de camadas;

Já para o recalque do solo abaixo da estaca, pela Teoria da Elasticidade Linear tem-se que:

$$\rho_s = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta\sigma}{E_s} * H \right) \quad (23)$$

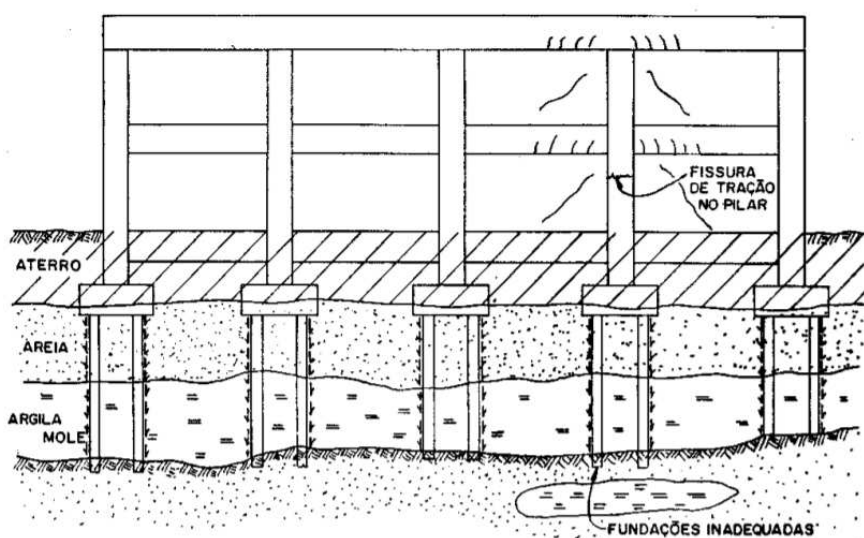
Onde,

- $\rho_s$ : recalque do solo compreendido entre a ponta da estaca e o indeslocável;
- $\frac{\Delta\sigma}{E_s}$ : deformação específica da camada  $i$ ;
- $H$ : espessura da camada  $i$ ;

### 2.4.1 Danos causados por recalques

Em sua coletânea chamada “Fissuração: Casos Reais”, Thomaz (2003) lista a provável causa de muitas fissurações que surgem em construções de concreto armado e protendido. Ele apresenta como sendo uma das origens de muitas delas a não consideração das acomodações que a estrutura sofrerá por estar em contato com o solo. No caso 48, apresentado na Figura 9 abaixo, Thomaz (2003), apresenta uma estrutura em pórticos de concreto armado sobre estacas de fundações. O pórtico além de apresentar fissuras nos painéis de alvenaria e nas vigas adjacentes ao pilar que sofreu recalque, apresenta fissura transversal no pilar, indicando atrito negativo sobre as estacas de fundação. Com o adensamento do aterro sobre solo mole, esforços de tração foram gerados no pilar que ocasionaram tais fissuras.

Figura 9 - Casos Reais de fissuração, exemplo 48.



Fonte: Thomaz (2003).

O exemplo mais conhecido de recalque em edificações ocorreu na Itália, na famosa Torre de Pisa. Ainda durante sua construção foi notado que a torre começou a inclinar para o lado sul. Construída sobre um solo heterogêneo e sobre fundações superficiais, a torre de 14.500 toneladas e 58 metros de altura chegou a apresentar quase 10% de desaprumo e ser interditada por risco de desabamento entre os anos de 1990 e 2001, período que passou por mais uma intervenção para que fosse impedido o seu tombamento.

Figura 10 - Torre de Pisa, Itália.



Fonte: Abril (2018).

No Brasil temos dois casos bem famosos de edificações que sofreram recalques bem acentuados. O primeiro deles, são os prédios tortos da orla de Santos-SP, que devido a característica do solo da cidade apresentar uma camada de aproximadamente 10 metros de areia, seguida por 40 metros de argila, as tensões oriundas das fundações diretas das edificações perpassam a camada de areia e ao serem recebidas na camada de argila, causam adensamento da mesma. Conseqüentemente a camada de areia tende a absorver grande parte das distorções da estrutura que levaram à inclinação dos prédios.

Figura 11 - Prédios tortos da orla de Santos-SP.

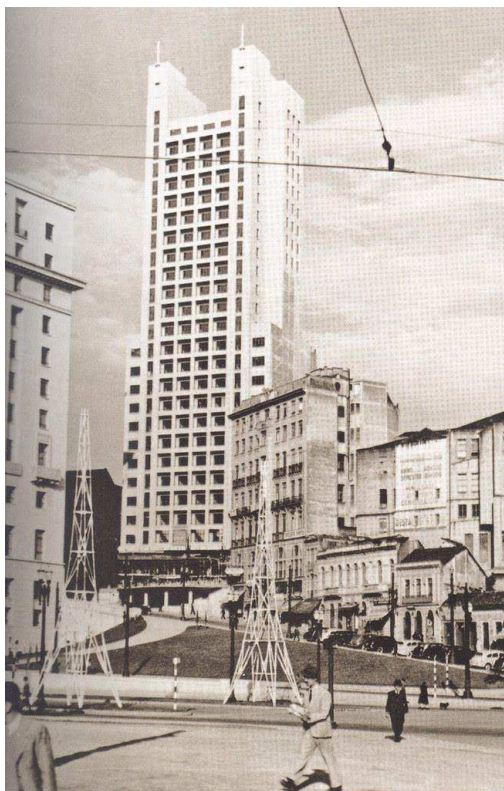


Fonte: Jornal Santista (2016).

Ainda no estado de São Paulo, agora na própria capital, temos também o segundo caso que ficou bem famoso, este pela técnica adotada na época, anos 1940, para solucionar o problema. O Edifício de 26 andares da Companhia Paulista de Seguros, ainda na sua fase de execução, quase concluído, começou a apresentar uma inclinação girando em uma charneira diagonal, em que o recalque final da frente à direita era de cerca de 30 centímetros, enquanto que no canto esquerdo era de cerca de apenas 3 centímetros. Os recalques não apresentavam tendência de estabilização e progrediam cerca de 1mm por dia. A causa do problema foi devido a heterogeneidade das camadas de solo do terreno, em sua maior parte formado por uma camada de argila rija, onde não foi identificado nos ensaios de sondagem uma lente de silte fofo, sendo ignorada no dimensionamento da estaca Franki, escolhida para a fundação.

A técnica adotada para solucionar o problema foi o congelamento do solo para posterior reforço das fundações com abertura de 9 tubulões circulares no terreno congelado. Os mesmos foram preenchidos com concreto de pega rápida, transferindo as cargas do edifício a camada de areia que se encontrava abaixo da camada de silte fofo.

Figura 12 - Edifício da Companhia Paulista de Seguros.



Fonte: IPT (2011).



A Cidade do México, capital mexicana, por ser uma cidade fundada em uma ilha artificial, com o crescimento populacional que sofreu nas últimas décadas, e conseqüentemente aumento de tensões no solo, é outra cidade que vem apresentando bastante casos de recalques em suas construções. A cidade repousa sobre uma camada de mais ou menos 30 metros de argila muito mole e apresenta constante rebaixamento do nível de água que é extraído do solo para abastecimento da população. Por conta disso, as condições para execução de fundações talvez sejam uma das mais difíceis no mundo.

A Catedral de Nossa Senhora de Guadalupe, ponto turístico na cidade, é um belo exemplo de edificação que sofreu inclinação com o recalque do solo. Por fora da Catedral tem-se a sensação de ver suas torres bem tortas e ao adentrar na igreja, sensação de sua estrutura apresentar-se inclinada é ainda maior, ao ponto de terem avisos ao longo de sua nave da igreja, orientando os visitantes em caso de tonturas ou desequilíbrio.

Figura 13 - Basílica Nossa Senhora de Guadalupe, Cidade do México.



Fonte: De mochila e caneca (2017).

## 2.5 Método de Winkler

Para inserir os efeitos da Interação Solo-Estrutura na análise de projetos estruturais, uma das formas a ser considerada para a modelagem do solo é através do Método (ou Hipótese) de Winkler. Tal método consiste na representação do solo como um meio elástico linear através da substituição do mesmo por molas que

trabalham de forma linear e independente umas das outras. Winkler (1867) em seus estudos, considera apenas as deformações ocorridas sob a fundação, sendo as pressões de contato proporcionais aos deslocamentos. Esse tipo de consideração já não ocorre em modelos onde se considera o meio contínuo.

Na consideração do método meio contínuo a modelagem analisa o deslocamento em pontos distintos de aplicação de carga, sendo assim o efeito da continuidade do meio é considerado, aproximando-se de forma conceitual da representação física do solo infinito com mais informações sobre tensões e deformações da massa de solo (CHRISTIAN, 2012). Porém, em relação ao Método de Winkler, o de meio contínuo tem como desvantagem a sua complexidade e dificuldade em parametrização do solo, além de exigir um custo computacional bem elevado por conta da quantidade de dados implantada. (KHOURI, 2001 apud. MELO, 2019).

Para descrever o comportamento do solo por meio do Método de Winkler, utiliza-se a seguinte equação:

$$\sigma = k_v * \rho \quad (24)$$

Onde,

- $\sigma$ : tensão média aplicada na base da fundação.
- $k_v$ : coeficiente de reação vertical do solo;
- $\rho$ : recalque médio da fundação;

### 2.5.1 Coeficiente de reação vertical ( $K_v$ )

A constante de proporcionalidade  $k_v$  comumente chamada de coeficiente de reação vertical, recebe também o nome de coeficiente de recalque, módulo de reação ou coeficiente de mola. De acordo com Terzaghi (1955) *apud*. Christian (2012), esse coeficiente é definido como a razão entre a tensão em qualquer ponto da superfície de contato e o deslocamento vertical produzido pela aplicação da carga. Isolando o coeficiente vertical da equação 24 do Método de Winkler, apresenta-se então a equação 25 para tal coeficiente:

$$k_v = \frac{\sigma}{\rho} \quad (25)$$

Vale ressaltar que o coeficiente vertical é um parâmetro que é dependente tanto do tipo de fundação, pois depende de fatores como a forma e dimensão da área sob a qual será imposta a tensão ao solo, como também do solo correspondente, pois leva em consideração suas propriedades elásticas. É a partir dele que será representado, na mola, a rigidez do solo. O seu valor pode ser obtido de diversas maneiras, seja por meio de ensaio de placa, tabelas de valores típicos ou correlações e pelo cálculo do recalque da fundação real. No presente trabalho optou-se por utilizar dentre um dos parâmetros o método de correlação descrito pelo professor Msc. João H. L. Damasceno, do Núcleo de Capacitação de Engenharia de Estruturas (NCEE) e o método descrito por Cruz (2019).

### 2.5.2 Coeficiente de reação horizontal ( $K_h$ )

Assim como a rigidez vertical do solo é descrita em termos de tensão e de forças, por meio do coeficiente de reação vertical ( $k_v$ ), torna-se necessário também que se obtenha o coeficiente de reação horizontal ( $k_h$ ) para que se represente a rigidez do solo na direção horizontal, ao longo do fuste da estaca. A hipótese do Método de Winkler também é válida para este caso e, segundo Terzaghi (1956), pode-se assumir o valor para este coeficiente a partir do coeficiente vertical e através de uma correlação com o coeficiente de Poisson do solo, de acordo com a equação 25:

$$k_h = k_v * \nu \quad (25)$$

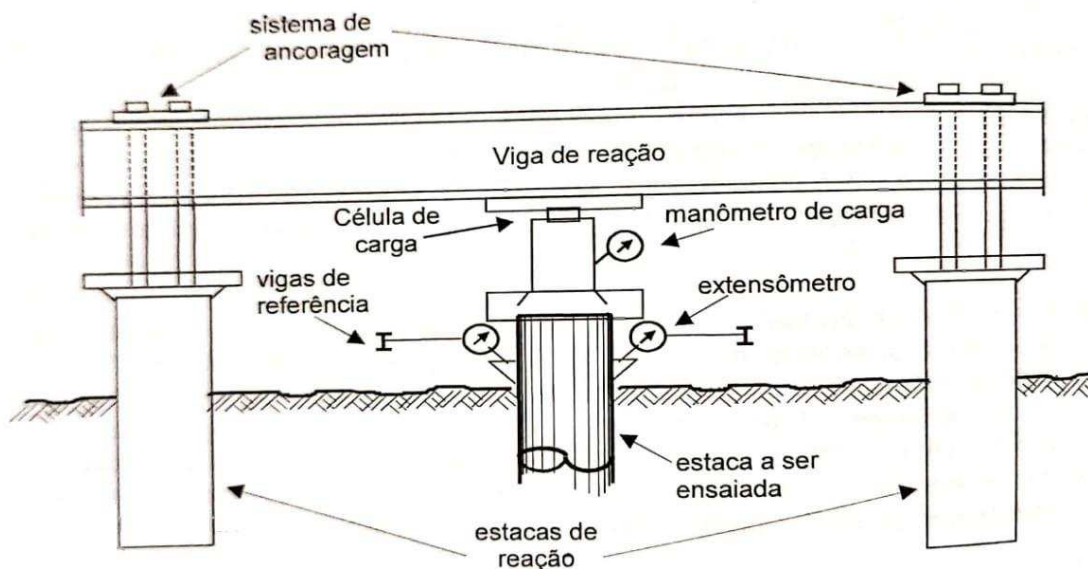
Sendo  $\nu$  igual a 0,29 para solos arenosos e 0,40 para solos argilosos.

## 2.6 Ensaio de Prova de Carga

O ensaio de prova de carga estática em estacas é um dos métodos utilizados na prática para verificar a capacidade de carga de estacas no canteiro de obra. De acordo com a ABNT NBR 12131 (2006), norma que prescreve esse procedimento, a prova de carga consiste em aplicar esforços, que podem ser tanto axiais de tração ou compressão, ou transversais, de forma crescente à estaca, registrando os deslocamentos correspondentes a cada aplicação.

Dentre os dispositivos de aplicação do carregamento o mais comum é a utilização de vigas metálicas e ancoragens embutidas no terreno. Devendo todo o conjunto estaca, macacos hidráulicos e sistemas de reação ser projetados para suportar de forma segura todo o ensaio e garantir a aplicação das cargas desejadas.

Figura 14 - Esquema de Reação por Estacas de Tração.

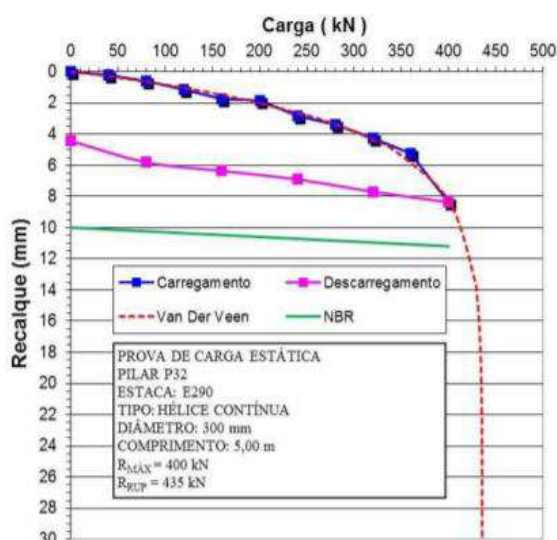


Fonte: Berberian (2018).

A ABNT NBR 6122 (2010), no item 7.8.4.10.3, torna obrigatório o ensaio de prova de carga em no mínimo 1% das estacas de uma obra, sendo no mínimo um número de 3 provas de carga e devendo aumentar a porcentagem para 5% caso as cargas de trabalho estejam entre 600kN e 1000kN.

Dentre os principais resultados obtidos deste ensaio podem ser citados a curva carga x recalque, a capacidade de carga da estaca, o recalque associado à carga de trabalho, parcelas de resistência de ponta e atrito lateral e o coeficiente de segurança do estaqueamento.

Figura 15 - Gráfico Carga x Recalque.



Fonte 1: Soares *et al.* (2016).

A partir dos gráficos de curva-recalque, é possível perceber em certo trecho uma tendência a um comportamento linear da curva, podendo-se obter então um coeficiente angular da reta. Esse coeficiente representa o Coeficiente de Reação do Solo ( $K_S$ ), que também é conhecido como coeficiente de mola e pode ser usado para representar a rigidez do solo em modelos que consideram a interação solo-estrutura na análise. Vale lembrar que o mesmo é obtido levando-se em consideração o tipo de solo e dimensões da estaca e pode ser representado pela equação XX abaixo.

$$K_S = \frac{\sigma}{\rho} \quad (26)$$

Onde,

- $K_S$ : Coeficiente de Reação do Solo.
- $\sigma$ : tensão aplicada.
- $\rho$ : deslocamento.

## 2.7 Estabilidade Global

Na análise estrutural, a avaliação da estabilidade global está entre um dos itens mais importantes para garantir a qualidade e segurança do edifício, de forma que deve ser assegurado que a estrutura como um todo, ou qualquer parte isolada dela,

nunca atinja o estado limite último de instabilidade. Estado este que leva à perda da capacidade resistente da estrutura causada pelo aumento das deformações.

Como formas de avaliar este parâmetro leva-se em consideração os efeitos de 1ª e 2ª ordem que ocorrem nas estruturas, sendo os de 1ª ordem aqueles que ocorrem na estrutura em sua geometria inicial, sem deformação, e os de 2ª ordem aqueles esforços adicionais que são gerados a partir das deformações ocorridas.

No item 15.4 da ABNT NBR 6118 (2014), permite-se desprezar os efeitos globais de segunda ordem, caso seja constatado que sua magnitude não represente um acréscimo maior que 10% dos efeitos de primeira ordem.

O coeficiente  $\gamma_z$  é um dos parâmetros indicados pela ABNT NBR 6118:2014 utilizados para estimar a grandeza dos efeitos de 2ª ordem na estabilidade global da estrutura com no mínimo quatro andares. De acordo com Kimura (2007) os valores coerentes para este coeficiente são aqueles um pouco maiores que 1, como por exemplo, de 1,1 a 1,25. Valores superiores a 1,3 já representam uma instabilidade elevada e superiores a 1,5 revelam que a estrutura é instável e impraticável. Valores menores que 1 também não são satisfatórios, servindo também como indicadores de instabilidade estrutural.

Para o cálculo de  $\gamma_z$ , de acordo com o item 15.5.3 da NBR 6118:2014, para cada combinação de carregamento temos que:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (27)$$

Onde,

- $\Delta M_{tot,d}$ : é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos em primeira ordem.
- $M_{1,tot,d}$ : é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura.

### 3 EXEMPLOS NÚMERICOS

#### 3.1 Caracterização da Estrutura

Para avaliar os efeitos da consideração da Interação Solo-Estrutura nas edificações, com ênfase no que diz respeito a redistribuição de esforços axiais nos pilares e nos deslocamentos da estrutura, foi elaborado um comparativo entre 39 modelos distintos considerando edifícios com o mesmo formato, mas com alturas diferentes e com diferentes formas de considerar a ISE para o caso de fundações profundas.

Na tabela 09 foram listados os modelos desenvolvidos e a nomenclatura adotada para cada um. Esta nomenclatura foi escolhida como forma de melhor organizar os modelos e facilitar a compreensão na fase de análise dos resultados.

Foram consideradas edificações com 4, 8 e 12 pavimentos, no formato retangular de 20x10m, com pé direito de 3 metros e distância entre pilares de 5 metros. Classificadas para uso comercial, sem layout arquitetônico definido. Para as cargas adotadas, seguiu-se as recomendações da ABNT NBR 6120:1980, sendo então 2 kN/m<sup>2</sup> para carga acidental nos pavimentos tipo, 1 kN/m<sup>2</sup> nas lajes da cobertura e 13 kN/m<sup>3</sup> para tijolos furados, como carga de alvenaria, resultando em uma carga linear de 4,875 kN/m.

Para simplificação de cálculo foram desconsideradas escadas, poços para elevador e paredes internas, sendo a carga de alvenaria aplicada apenas nas vigas de bordo, como fechamento da edificação.

De acordo com as tabelas 6.1 e 7.2 da ABNT NBR 6118:2014, considerou-se as edificações em zona marítima, sendo CAA-III e adotando como material para todos os elementos estruturais o concreto da classe C35. As lajes foram consideradas todas maciças com 12cm de espessura, com seções de 20x40cm para vigas baldrames e 20x50cm para as demais vigas. As seções dos pilares variaram de acordo com cada modelo e serão identificadas nos tópicos seguintes desse trabalho.

De acordo também com a ABNT NBR 6118:2014, agora com os itens 11.7 e 11.8, foram realizados quatro tipos de combinações de ações para a análise da estrutura. Sendo dois considerando a sobrecarga como ação principal e os outros dois considerando a ação do vento como principal.

Para consideração da força de vento nas edificações, seguiu-se a ABNT NBR 6123:1988: Forças Devidas ao Vento em Edificações, onde se considerou a força do vento aplicada de forma nodal, levando em consideração a área de influência de cada nó, com velocidade básica de 30 m/s. O cálculo da força e as áreas de influência adotados encontram-se no Anexo deste trabalho.

Os pórticos foram modelados com o auxílio do *software* de cálculo estrutural SAP 2000. Este software possui sua base de formulação no Método dos Elementos Finitos (MEF) e considera os componentes estruturais como barras lineares e não lineares, nós e áreas lineares e não lineares, elementos de ligações, rótulas plásticas e molas, onde são inseridas as propriedades físicas e geométricas de cada elemento.

Para o solo adotado no cálculo da capacidade de carga das estacas, levou-se em consideração um laudo de ensaio SPT disponibilizado pela empresa Atenas Engenharia, que se encontra ao final do trabalho no Anexo. O solo possui camadas uniformes com características silto-arenosas e não foi encontrada a presença de nível d'água, com o limite de sondagem sendo atingido a 17,34 metros de profundidade, conforme o item 6.4.1 da norma NBR 6484:2001 – Solo – Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT.

Para a modelagem das fundações profundas foram adotados dois tipos de estacas: hélice contínua e pré-moldadas. Em todos os modelos com hélice contínua foi adotado o diâmetro de 40 cm, variando o número de estacas de acordo com a carga recebida em cada bloco. Já as de concreto pré-moldado variaram os diâmetros de acordo com o número de pavimentos de cada modelo, seguido o padrão de diâmetros de 22 cm para modelos de 4 pavimentos, 29 cm para modelos de 8 pavimentos e 33 cm para modelos de 12 pavimentos.

Ambos os modelos de estacas foram dimensionados pelo cálculo da capacidade de carga de acordo com o Método de Aoki-Velloso (1975) e o cálculo que se encontra no Anexo.



Tabela 9 - Modelos Desenvolvidos.

<b>Tabela de modelos analisados</b>	
Nome	Descrição
MOD04-I-A	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre apoio rígido com nó engastado.
MOD04-I-B	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre apoio elástico com mola de 100 tf/cm.
MOD04-I-C	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre apoio elástico com mola de 500 tf/cm.
MOD04-II-A	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com ponta engastada.
MOD04-II-B	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com molas variadas de acordo com a camada do solo (Método NCEE).
MOD04-II-C	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com molas de 12,5 tf/cm.
MOD04-II-D	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com molas de 100 tf/cm.
MOD04-II-E	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com molas de 500 tf/cm.
MOD04-III-A	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com ponta engastada.
MOD04-III-B	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com molas variando de acordo com a camada do solo.
MOD04-III-C	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com molas de 12,5 tf/cm.
MOD04-III-D	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com molas de 100 tf/cm.
MOD04-III-E	Edificação de 4 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com molas de 500 tf/cm.
MOD08-I-A	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre apoio rígido com nó engastado.
MOD08-I-B	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre apoio elástico com mola de 100 tf/cm.
MOD08-I-C	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre apoio elástico com mola de 500 tf/cm.
MOD08-II-A	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com ponta engastada.
MOD08-II-B	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com molas variadas de acordo com a camada do solo (Método NCEE).
MOD08-II-C	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com molas de 12,5 tf/cm.
MOD08-II-D	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com molas de 100 tf/cm.
MOD08-II-E	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com molas de 500 tf/cm.
MOD08-III-A	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com ponta engastada.
MOD08-III-B	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com molas variando de acordo com a camada do solo.
MOD08-III-C	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com molas de 12,5 tf/cm.
MOD08-III-D	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com molas de 100 tf/cm.

<b>MOD08-III-E</b>	Edificação de 8 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com molas de 500 tf/cm.
<b>MOD12-I-A</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre apoio rígido com nó engastado.
<b>MOD12-I-B</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre apoio elástico com mola de 100 tf/cm.
<b>MOD12-I-C</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre apoio elástico com mola de 500 tf/cm.
<b>MOD12-II-A</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com ponta engastada.
<b>MOD12-II-B</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com molas variadas de acordo com a camada do solo (Método NCEE).
<b>MOD12-II-C</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com molas de 12,5 tf/cm.
<b>MOD12-II-D</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com molas de 100 tf/cm.
<b>MOD12-II-E</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre estacas hélice contínua com molas de 500 tf/cm.
<b>MOD12-III-A</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com ponta engastada.
<b>MOD12-III-B</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com molas variando de acordo com a camada do solo.
<b>MOD12-III-C</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com molas de 12,5 tf/cm.
<b>MOD12-III-D</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com molas de 100 tf/cm.
<b>MOD12-III-E</b>	Edificação de 12 pavimentos modelada sobre estacas pré-moldadas com molas de 500 tf/cm.

Fonte: Elaborada pela autora.

Os modelos que iniciam com “MOD04” são referentes a edificações com 4 pavimentos, os que iniciam com “MOD08” a 8 pavimentos e os com “MOD12” a edifícios com 12 pavimentos. Os índices I, II e III indicam o tipo de apoio sobre o qual se encontram, sendo:

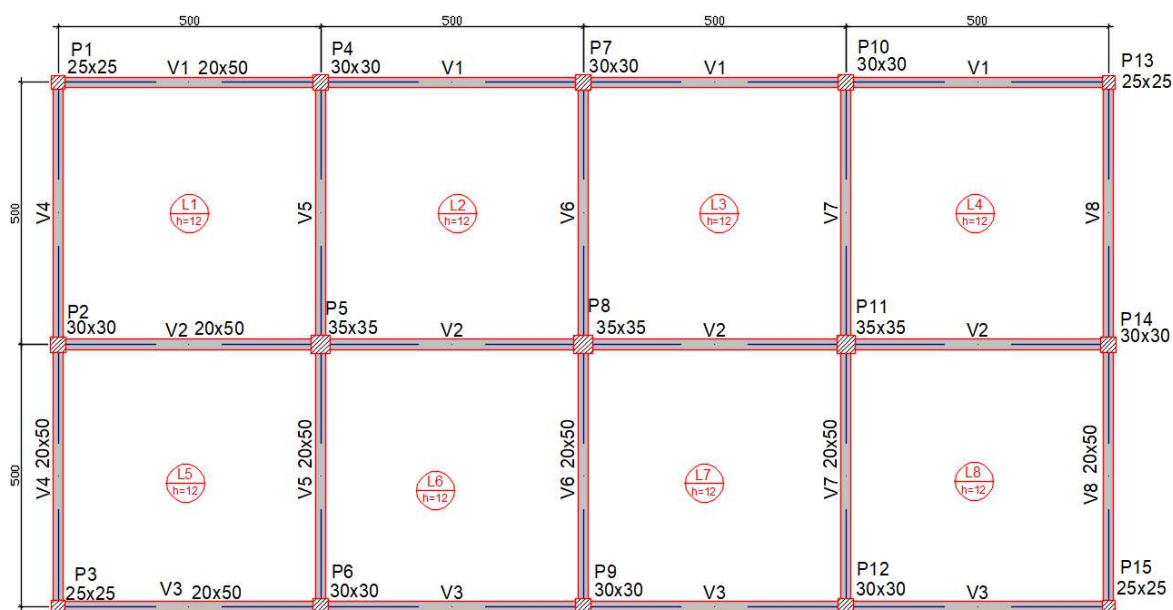
- I: para apoios nodais.
- II: para estacas de hélice contínua.
- III: para estacas de concreto pré-moldado.

Os modelos com índice A correspondem as edificações sem a consideração da interação solo-estrutura, estando todas sobre apoios engastados. Já os índices de “B a E” correspondem aos diferentes tipos de molas adotadas para a consideração da interação solo-estrutura.

### 3.1.1 Modelos “MOD04”

Os modelos de edificações de 4 pavimentos seguiram a planta baixa da figura 16. Para as seções dos pilares foram adotadas seções de 25x25cm para pilares de canto, 30x30cm para pilares de extremidade e 35x35cm para pilares intermediários.

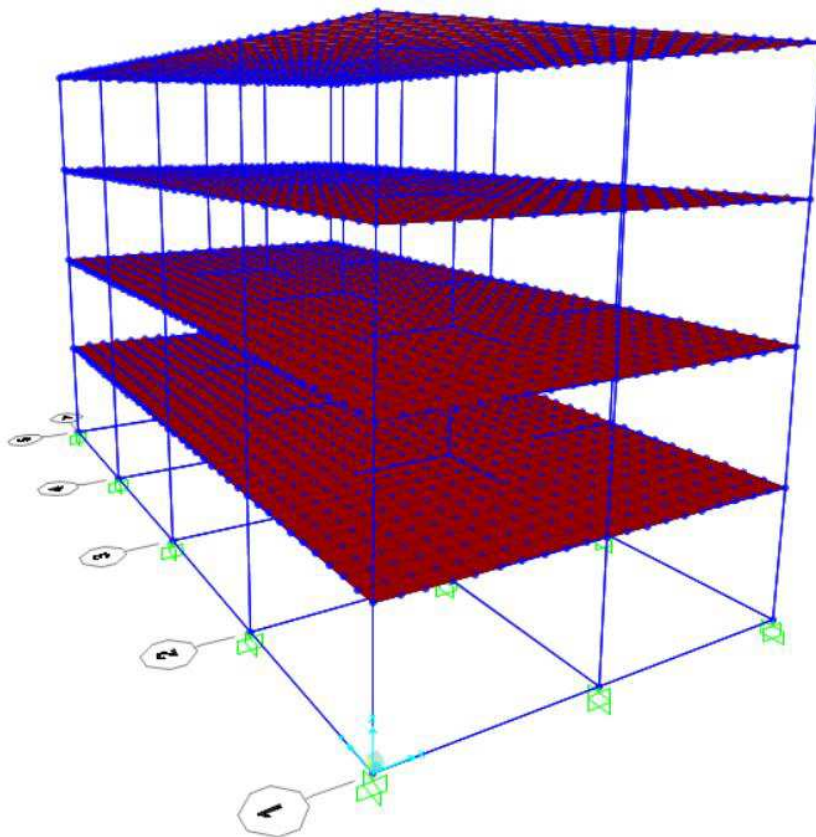
Figura 16 - Planta Baixa para edifícios de 4 pavimentos.



Fonte: Elaborada pela autora.

No caso do MOD04-I-A, em que a edificação foi representada sem a consideração da interação solo-estrutura, sobre apoios engastados, a configuração do modelo no software corresponde a figura 17 abaixo.

Figura 17 - Modelo MOD04-I-A no software SAP2000.

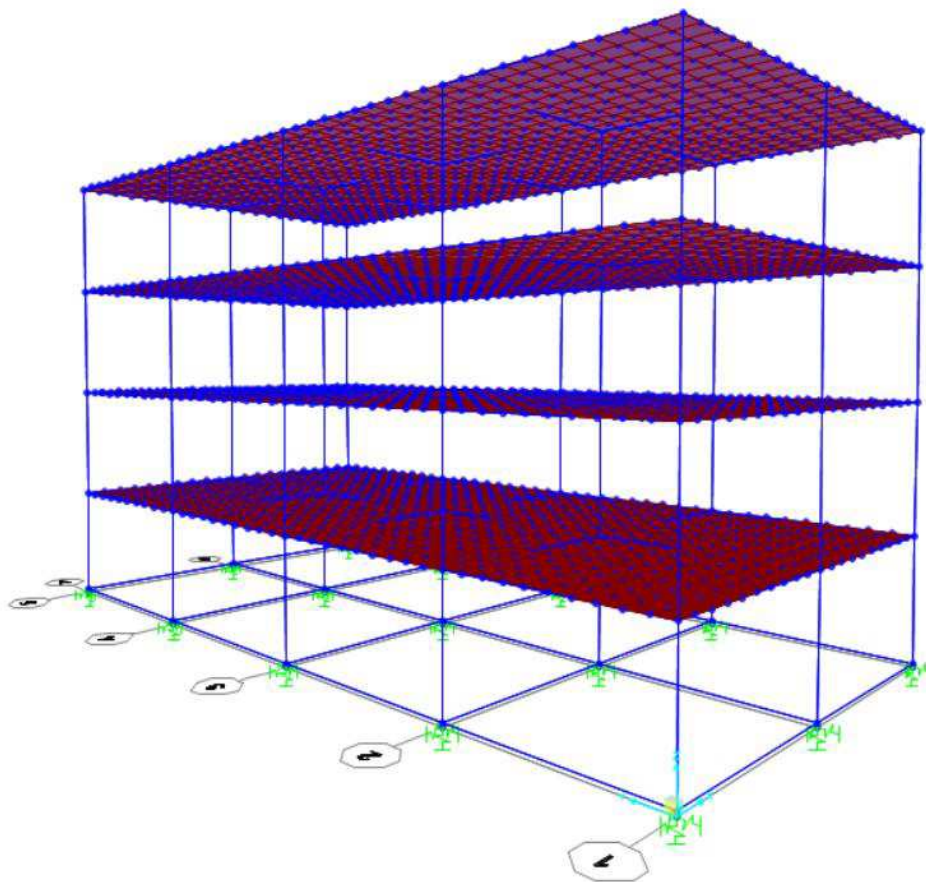


Fonte: Elaborada pela autora.

Para os modelos MOD04-I-B e MOD04-I-C foram consideradas molas nos apoios nodais do MOD04-I-A, com valores de 100 tf/cm e 500 tf/cm, respectivamente. A escolha desses valores foi baseada em resultados de ensaios de provas de cargas já realizados em modelos de estacas semelhantes aos adotados neste trabalho, no intuito de medir a sensibilidade da edificação à consideração da ISE. Sendo o valor de 100tf/cm um coeficiente mais próximo da mola no seu estado limite último e o valor de 500tf/cm um valor mais próximo ao seu estado limite de serviço.

A figura 18 corresponde a configuração dos modelos descritos acima no software utilizado para análise.

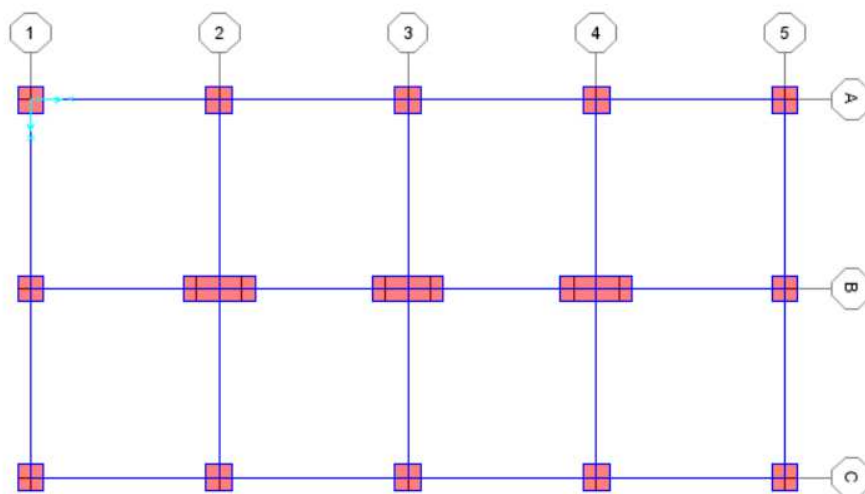
Figura 18 - Configuração adotada para os modelos MOD04-I-B e MOD04-I-C no SAP2000.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para as edificações da classificação MOD04-II, foram modeladas em sua base blocos e estacas do tipo hélice contínua. O dimensionamento da fundação, como já descrito no item 3.1, seguiu o Método de Aoki-Velloso (1975) para capacidade de cargas em estacas. A figura 19 representa a planta de locação dos edifícios desta classificação.

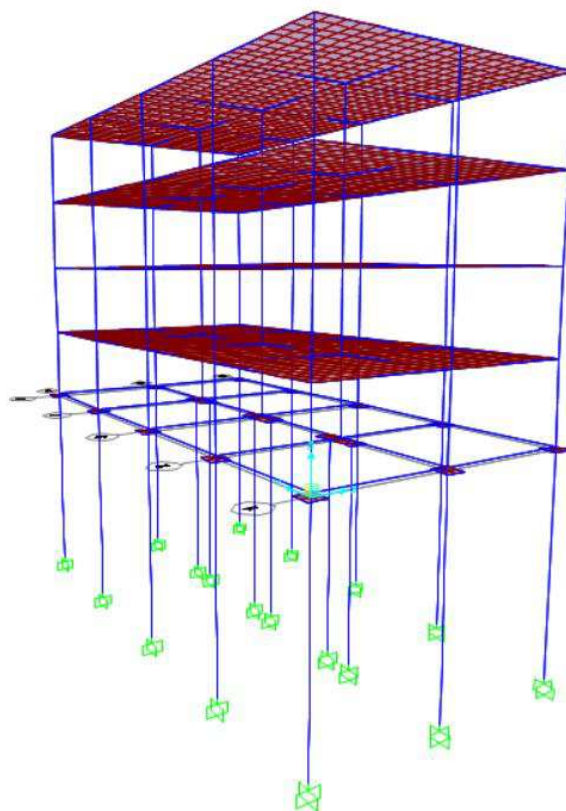
Figura 19 - Planta de locação para todos os modelos da classificação MOD04-II.



Fonte: Elaborada pela autora.

Nesta classificação, para a não consideração da Interação Solo-Estrutura, engastou-se a ponta da estaca no MOD04-II-A. Esta configuração foi considerada em análise devido ao software levar em conta o peso próprio dos blocos e estacas ao calcular a edificação. Sendo assim, os modelos em que foram implementadas as molas precisavam de uma estrutura com características semelhantes para critério de comparação ao avaliar os resultados com a consideração da ISE, não sendo possível comparar efetivamente com o modelo MOD04-I-A, em que não foi considerado a interação com o solo mas também não foram modelados os blocos e estacas. A figura 20 representa a configuração adotada para este modelo no software utilizado.

Figura 20 - Configuração do modelo MOD04-II-A no SAP2000.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para verificação dos modelos da classificação MOD04-II à Interação Solo-Estrutura, foram adotados 4 coeficientes de molas diferentes, dando origem então aos modelos MOD04-II-B, MOD04-II-C, MOD04-II-D e MOD04-II-E. As estacas foram discretizada em nós, de metro em metro ao longo do fuste, onde foram implantadas as molas com os coeficientes para cada caso.

Os valores adotados para os coeficientes de mola no MOD04-II-B foram calculados de acordo com o método ensinado pelo professor João H.L. Damasceno (2017) do NCEE e encontra-se no Anexo. Neste método o coeficiente varia de acordo com a camada do solo, sendo adotado assim diferentes valores para as molas ao longo do fuste da estaca.

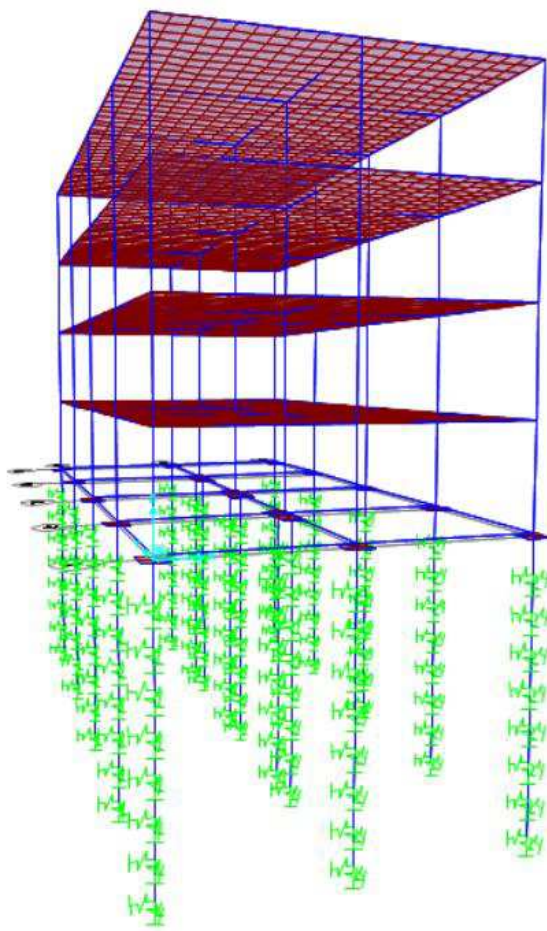
Já para o valor adotado nos coeficientes do MOD04-II-C, o critério de escolha partiu de valores correspondentes aos encontrados por Cruz (2019) em estudo sobre a interpretação da capacidade de carga em provas de carga em estacas,



sendo uniforme ao longo de todo o fuste. Os coeficientes de mola adotados para os MOD04-II-D e MOD04-II-E foram os mesmos adotados respectivamente pelos modelos descritos acima, MOD04-I-B e MOD04-I-C.

A figura 21 representa a configuração dos modelos MOD04-II-B a MOD04-II-E, com as molas discretizadas ao longo do fuste, no software utilizado.

Figura 21 - Configuração dos modelos MOD04-II-B a MOD04-II-E no SAP2000.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para os modelos que seguiram a classificação MOD04-III, na base da edificação foram representados blocos e estacas pré-moldadas, dimensionadas também pelo Método de Aoki-Velloso (1975) para cálculo da capacidade de carga nas estacas. O dimensionamento encontra-se no Anexo, já a planta de locação para esta classificação pode ser observada abaixo na figura 22.





### 3.1.2 Modelos “MOD08”

Os modelos de edificações de 8 pavimentos seguiram a planta baixa da figura 24. Para as seções dos pilares foram adotadas seções quadradas de 30x30 cm para pilares de canto, 40x40 cm para pilares de extremidade e 50x50 cm para pilares intermediários.

Figura 24 - Planta Baixa para os edifícios de 8 pavimentos.

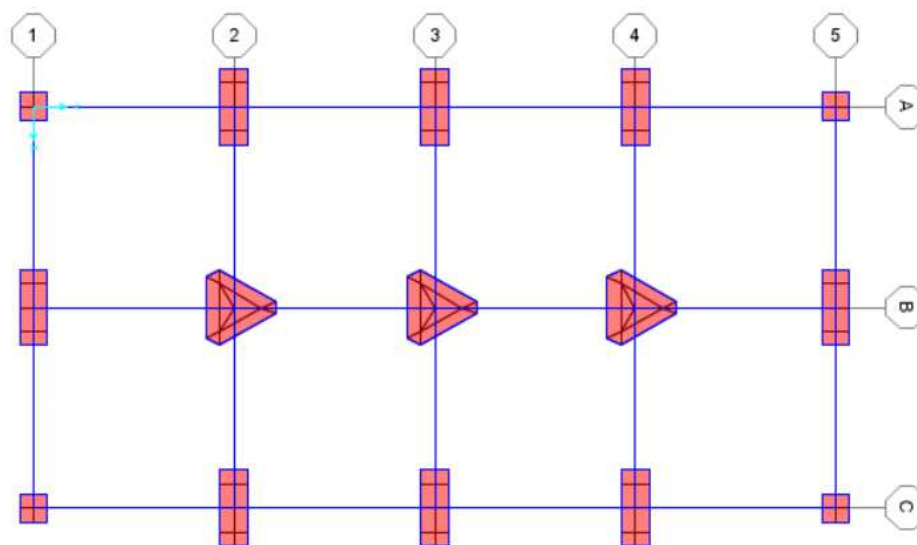


Fonte: Elaborada pela autora.

Os critérios de consideração ou não da Interação Solo Estrutura, escolha dos coeficientes de mola e tipo de apoio da edificação seguiram os mesmos adotados para as classificações equivalentes nos edifícios de 4 pavimentos, já detalhados no item 3.1 e 3.1.1 deste trabalho.

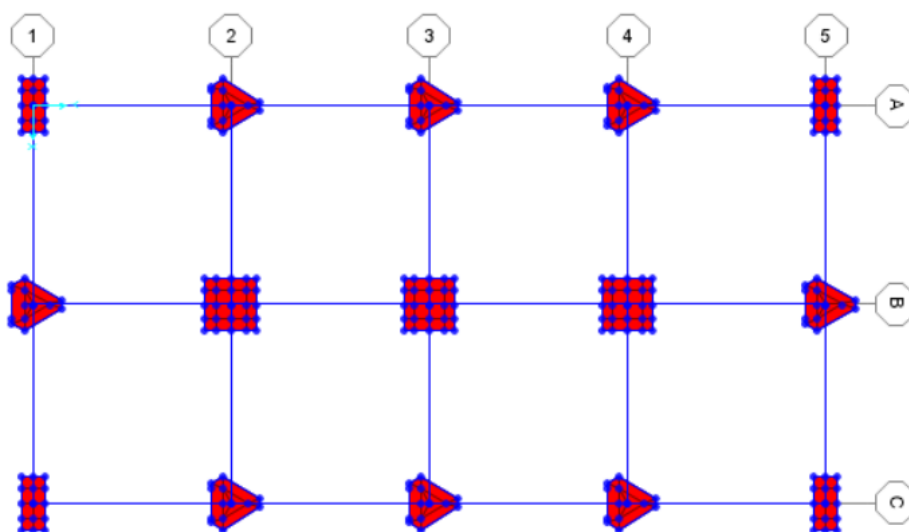
Contudo, com o aumento das cargas devido ao número de pavimentos que duplicou, de 4 para 8, as fundações para os modelos tanto com hélice contínua (MOD08-II) como os com estacas pré-moldadas (MOD08-III) foram redimensionadas e suas plantas de forma podem ser observadas nas figuras 25 e 26.

Figura 25 - Planta de forma para os modelos com classificação MOD08-II.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 26 - Planta de forma para os modelos com classificação MOD08-III.



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.1.3 Modelos “MOD12”

Os modelos de edificações de 8 pavimentos seguiram a planta baixa da figura 27. Para as seções dos pilares foram adotadas seções quadradas de 40x40 cm

para pilares de canto, 50x50 cm para pilares de extremidade e 60x60 cm para pilares intermediários.

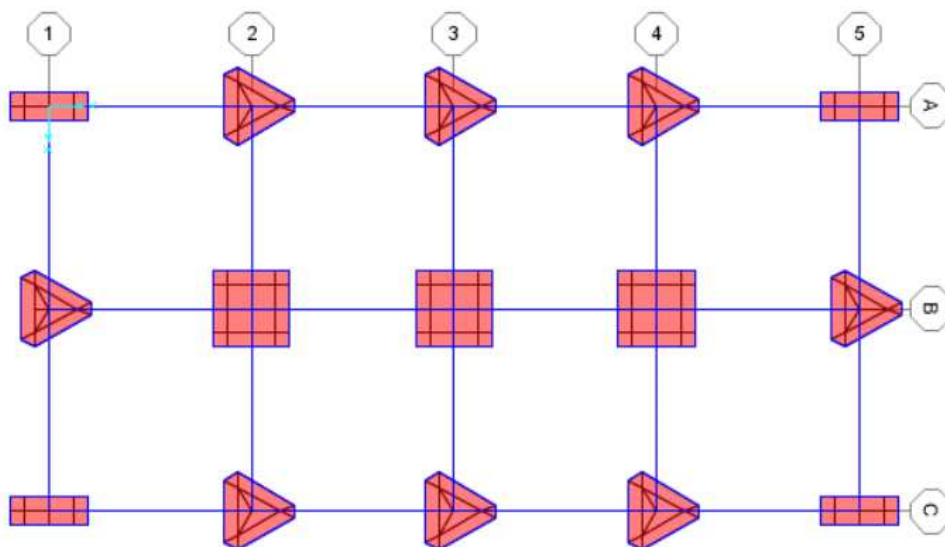
Figura 27 - Planta baixa para as edificações de 12 pavimentos.



Fonte: Elaborada pela autora.

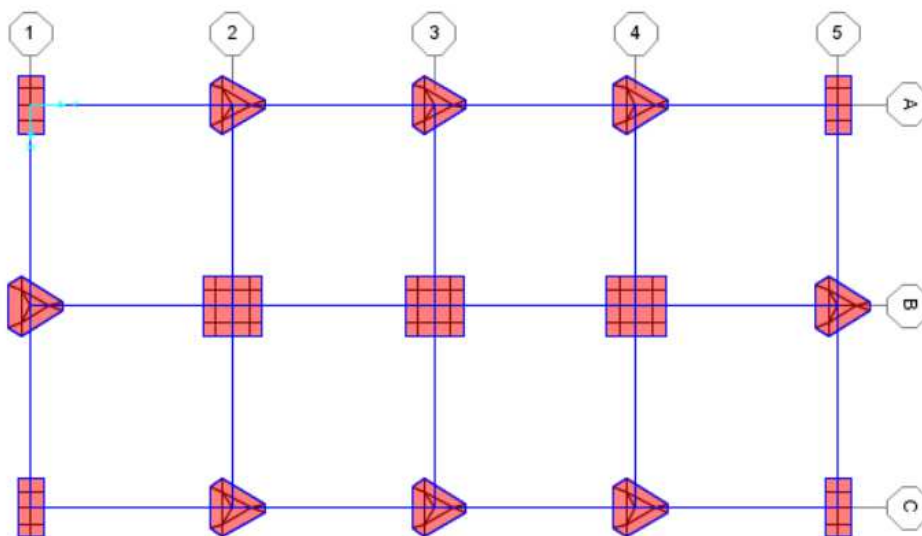
Assim como nos edifícios de 8 pavimentos, a única diferença em relação ao modelo de 4 pavimentos foi o redimensionamento das fundações para os modelos MOD12-II e MOD12-III, devido ao acréscimo de cargas com o aumento do número de pavimentos. Os demais critérios seguiram o mesmo padrão já descritos acima. Abaixo, nas figuras 28 e 29 pode-se observar as plantas de formas para os modelos de hélice contínua (MOD12-II) e pré-moldadas (MOD12-III), respectivamente.

Figura 28 - Planta de forma para os modelos MOD12-II.



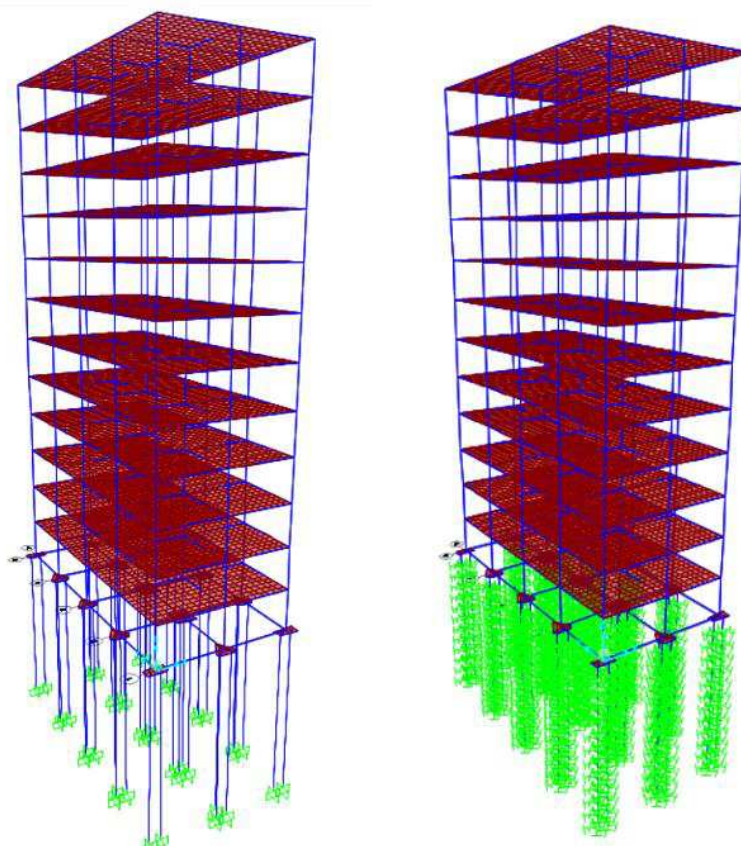
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 29 - Planta de forma para os modelos de classificação MOD12-III.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 30 - Edifícios de 12 pavimentos sem e com a consideração da ISE (MOD12-II).



Fonte: Elaborada pela autora.

## 3.2 Análise dos Resultados

Diante de todos os resultados obtidos para os 39 modelos analisados foram escolhidos os mais interessantes como parâmetro comparativo que serviram de estudo deste trabalho e serão apresentados nos itens abaixo. Foram avaliados a redistribuição de esforços axiais no primeiro tramo dos pilares, à variação da estabilidade global e os deslocamentos horizontais da estrutura.

### 3.2.1 Redistribuição dos Esforços Axiais

Os estudos que vêm sendo feitos acerca da influência da Interação Solo Estrutura trazem como um dos efeitos característicos a redistribuição dos esforços normais nos pilares. Nos 39 modelos analisados neste trabalho, como já era de se esperar, pode-se perceber essa redistribuição. Sendo em alguns modelos com maiores proporções e outros com proporções bem baixas.

Nos modelos em que não foram modeladas as estacas, onde considerou-se apenas a estrutura sobre apoio nodal (modelos de 4, 8 e 12 pavimentos com índice I na classificação da tabela 9) foi onde houveram as maiores porcentagens de redistribuição dos esforços axiais.

O MOD04-I-A que foi considerado sem a Interação Solo-Estrutura, com apoios engastados, serviu como base para os MOD04-I-B e MOD04-I-C onde considerou-se a Interação. Nestes modelos pode-se perceber de forma bem clara a influência da rigidez do solo representada pelo coeficiente de mola na redistribuição dos esforços. No MOD04-I-B onde se adotou um coeficiente de mola mais perto do seu estado limite último com 100tf/cm a redistribuição dos esforços ocorreu em porcentagens bem mais elevadas que no MOD04-I-C, onde se adotou um coeficiente mais perto do seu estado limite serviço com 500tf/cm.

Ou seja, quanto mais rígido for o solo (mola em estado limite de serviço), menores são as redistribuições dos esforços, quanto mais flexível for o solo (mola em estado limite último), maior é a redistribuição. Nas tabelas 10 e 11 pode-se observar quantitativamente a redistribuição dos esforços através das diferenças percentuais entre os modelos analisados. E na figura 31, apresenta-se um gráfico comparativo entre os valores dos esforços axiais nos pilares dos três modelos para a combinação mais desfavorável (SC Y+).

Tabela 10 - Diferenças percentuais entre esforços axiais dos MOD04-I-A e MOD04-II-B.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	16%	16%	15%	15%	18%
P2	-4%	-4%	-4%	-4%	-2%
P3	16%	16%	15%	16%	18%
P4	3%	3%	2%	2%	5%
P5	-18%	-18%	-17%	-17%	-21%
P6	3%	3%	2%	3%	5%
P7	11%	11%	10%	10%	13%
P8	-10%	-10%	-9%	-9%	-12%
P9	11%	11%	10%	11%	13%
P10	3%	3%	3%	2%	5%
P11	-18%	-18%	-17%	-17%	-21%
P12	3%	3%	3%	3%	5%
P13	16%	16%	15%	15%	18%
P14	-4%	-4%	-4%	-4%	-2%
P15	16%	16%	15%	16%	18%

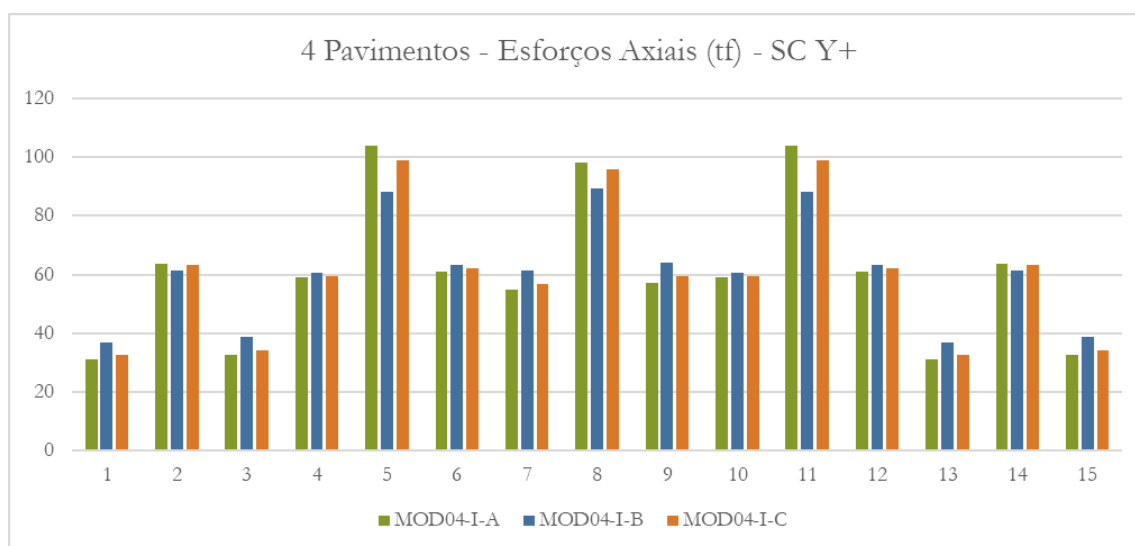
Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 11 - Diferenças percentuais entre os esforços axiais dos MOD04-I-A e MOD04-I-C.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	4%	4%	4%	3%	5%
P2	-1%	-1%	-1%	-1%	0%
P3	4%	5%	4%	5%	5%
P4	1%	1%	1%	0%	2%
P5	-5%	-5%	-5%	-5%	-5%
P6	1%	1%	1%	1%	2%
P7	4%	3%	4%	3%	4%
P8	-2%	-2%	-2%	-2%	-3%
P9	4%	4%	4%	4%	4%
P10	1%	1%	1%	0%	2%
P11	-5%	-5%	-5%	-5%	-5%
P12	1%	1%	1%	1%	2%
P13	4%	4%	4%	3%	5%
P14	-1%	-1%	-1%	-1%	0%
P15	4%	5%	4%	5%	5%

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 31 - Gráfico demonstrativo dos esforços axiais nos pilares.



Fonte: Elaborada pela autora.

Na análise destes modelos pode-se perceber ainda a influência do número de pavimentos na redistribuição dos esforços. Para os modelos de 8 e 12 pavimentos,



MOD08-I-B, MOD08-I-C, MOD12-I-B e MOD12-I-C, comparados com seus respectivos modelos de apoio rígido MOD08-I-A e MOD12-I-A, a porcentagem de redistribuição foi ainda maior que para os modelos com 4 pavimentos. Tal como observa-se nas tabelas 12 a 15.

Tabela 12 - Diferenças percentuais entre esforços axiais dos MOD08-I-A e MOD08-I-B.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
<b>P1</b>	24%	23%	23%	22%	28%
<b>P2</b>	-5%	-5%	-5%	-5%	-3%
<b>P3</b>	24%	24%	23%	23%	28%
<b>P4</b>	2%	2%	2%	2%	5%
<b>P5</b>	-26%	-25%	-25%	-24%	-31%
<b>P6</b>	2%	3%	2%	3%	5%
<b>P7</b>	9%	9%	9%	9%	12%
<b>P8</b>	-18%	-18%	-17%	-17%	-24%
<b>P9</b>	9%	9%	9%	9%	12%
<b>P10</b>	3%	2%	3%	2%	5%
<b>P11</b>	-25%	-25%	-24%	-24%	-31%
<b>P12</b>	3%	3%	3%	3%	5%
<b>P13</b>	23%	23%	23%	22%	28%
<b>P14</b>	-5%	-5%	-5%	-5%	-3%
<b>P15</b>	23%	24%	23%	23%	28%

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 13 - Diferenças percentuais entre esforços axiais dos MOD08-I-A e MOD08-I-C.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
<b>P1</b>	8%	8%	8%	7%	10%
<b>P2</b>	-1%	-1%	-2%	-1%	0%
<b>P3</b>	8%	9%	8%	9%	10%
<b>P4</b>	1%	1%	1%	0%	3%
<b>P5</b>	-8%	-8%	-8%	-8%	-10%
<b>P6</b>	1%	2%	1%	2%	3%
<b>P7</b>	5%	4%	4%	3%	6%
<b>P8</b>	-5%	-5%	-5%	-5%	-7%
<b>P9</b>	5%	5%	4%	5%	6%
<b>P10</b>	1%	1%	1%	0%	3%
<b>P11</b>	-8%	-8%	-8%	-8%	-10%
<b>P12</b>	1%	2%	1%	2%	3%
<b>P13</b>	8%	8%	8%	7%	10%
<b>P14</b>	-1%	-1%	-1%	-1%	0%
<b>P15</b>	8%	9%	8%	9%	10%

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 32 - Diferenças percentuais entre esforços axiais dos MOD12-I-A e MOD12-I-B.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
<b>P1</b>	25%	25%	24%	24%	29%
<b>P2</b>	-4%	-4%	-4%	-4%	-2%
<b>P3</b>	25%	24%	24%	23%	29%
<b>P4</b>	1%	2%	1%	1%	4%
<b>P5</b>	-28%	-27%	-27%	-26%	-34%
<b>P6</b>	1%	2%	1%	2%	4%
<b>P7</b>	6%	6%	6%	6%	8%
<b>P8</b>	-22%	-22%	-21%	-21%	-28%
<b>P9</b>	6%	6%	6%	6%	8%
<b>P10</b>	2%	2%	2%	1%	4%
<b>P11</b>	-27%	-27%	-25%	-26%	-34%
<b>P12</b>	2%	2%	2%	2%	4%
<b>P13</b>	24%	25%	23%	24%	29%
<b>P14</b>	-4%	-4%	-4%	-4%	-2%
<b>P15</b>	24%	24%	23%	23%	29%

Fonte: Elaborada pela autora.

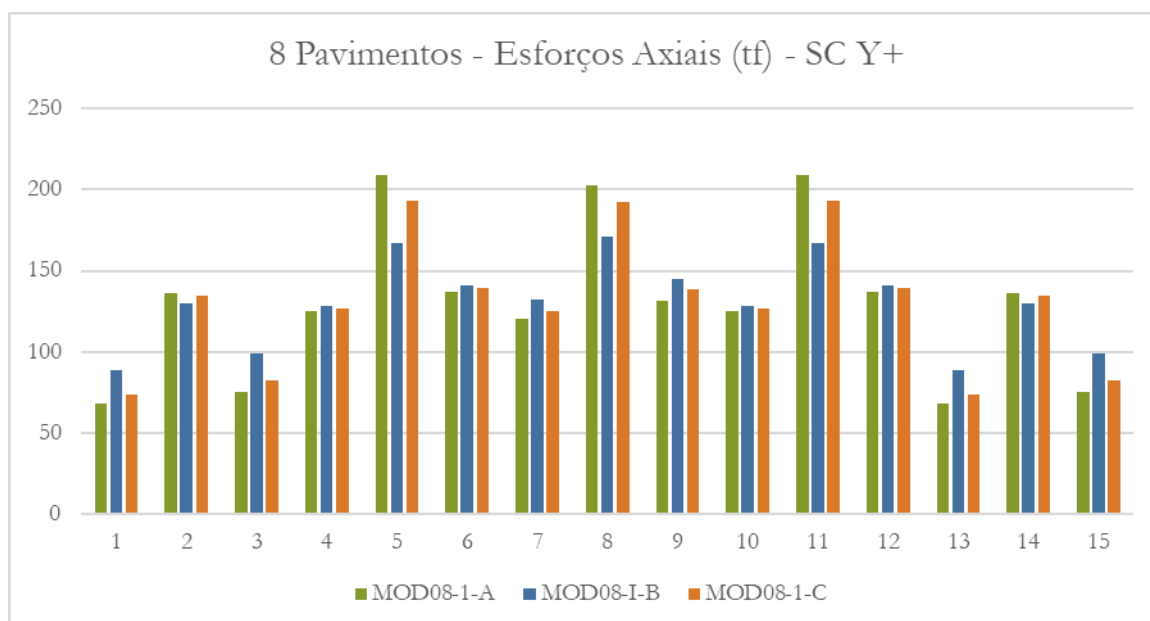
Figura 33 - Diferenças percentuais entre esforços axiais dos MOD12-I-A e MOD12-I-C.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
<b>P1</b>	10%	9%	9%	8%	12%
<b>P2</b>	-2%	-2%	-2%	-2%	-1%
<b>P3</b>	10%	10%	9%	10%	12%
<b>P4</b>	1%	1%	1%	0%	3%
<b>P5</b>	-10%	-10%	-10%	-10%	-12%
<b>P6</b>	1%	2%	1%	2%	3%
<b>P7</b>	4%	4%	4%	3%	5%
<b>P8</b>	-7%	-7%	-7%	-7%	-9%
<b>P9</b>	4%	5%	4%	5%	5%
<b>P10</b>	2%	1%	1%	0%	3%
<b>P11</b>	-10%	-10%	-9%	-10%	-12%
<b>P12</b>	2%	2%	1%	2%	3%
<b>P13</b>	10%	9%	10%	8%	12%
<b>P14</b>	-1%	-2%	-1%	-2%	-1%
<b>P15</b>	10%	10%	10%	10%	12%

Fonte: Elaborada pela autora.

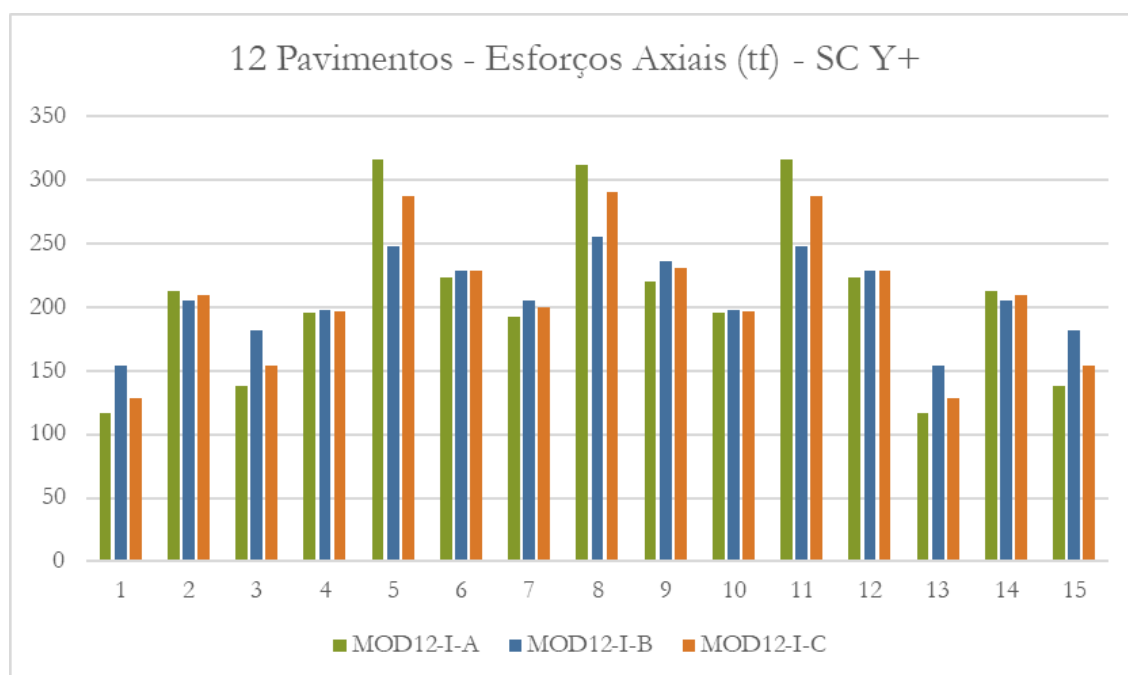
Nos gráficos ilustrados nas figuras 32 e 33 percebe-se ainda que há uma tendência de alívio sempre nos pilares centrais (P5, P8 e P11) de todos os modelos com esse tipo de vinculação.

Figura 34 - Gráfico demonstrativo dos esforços axiais nos pilares.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 35 - Gráfico demonstrativo dos esforços axiais nos pilares.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para o modelo MOD04-II-A considerou-se o apoio rígido engastado na ponta das estacas do tipo hélice contínua modelas sob blocos na base da edificação. Este modelo serviu como parâmetro de não consideração da Interação Solo-Estrutura para os modelos com a mesma tipologia de estacas com o solo modelado como molas

ao longo do fuste. O que se constatou foi uma redistribuição dos esforços em níveis percentuais menores que os expostos para os modelos anteriormente descritos.

No MOD04-II-B, onde utilizou-se a mola variável ao longo das camadas do solo constatou-se um intervalo de variação percentual pequeno, com a maior variação em torno de 2,35%, para a combinação mais desfavorável (SC Y+), nos pilares de canto P3 e P5. Como pode-se observar na tabela 14 abaixo.

Tabela 14 – Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-II-A e MOD04-II-B.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
<b>P1</b>	-0,7793%	0,2181%	-0,4906%	1,2984%	-1,2193%
<b>P2</b>	0,9201%	0,7811%	1,0306%	0,7828%	0,7105%
<b>P3</b>	-0,7793%	<b>-2,3460%</b>	-0,4906%	-3,1901%	-1,2193%
<b>P4</b>	0,4268%	1,3357%	0,4197%	2,0596%	0,3499%
<b>P5</b>	-0,1595%	-0,1279%	-0,2306%	-0,1734%	0,0537%
<b>P6</b>	0,4268%	-0,3899%	0,4197%	-1,0056%	0,3499%
<b>P7</b>	-0,1412%	0,7852%	-0,1114%	1,5633%	-0,2485%
<b>P8</b>	-0,1898%	-0,1899%	-0,2198%	-0,2199%	-0,0597%
<b>P9</b>	-0,1412%	-1,0257%	-0,1114%	-1,6546%	-0,2485%
<b>P10</b>	0,4812%	1,3357%	0,5158%	2,0596%	0,3499%
<b>P11</b>	-0,0964%	-0,1279%	-0,1159%	-0,1734%	0,0537%
<b>P12</b>	0,4812%	-0,3899%	0,5158%	-1,0056%	0,3499%
<b>P13</b>	-1,4129%	0,2181%	-1,5981%	1,2984%	-1,2193%
<b>P14</b>	0,6440%	0,7811%	0,5404%	0,7828%	0,7105%
<b>P15</b>	-1,4129%	<b>-2,3460%</b>	-1,5981%	-3,1901%	-1,2193%

Fonte: Elaborada pela autora.

No caso do modelo MOD04-II-C em que se utilizou o coeficiente de mola indicado por CRUZ (2019), a variação já foi mais significativa. Isso ocorreu pelo fato de o coeficiente de mola possuir um valor menor que os outros, ocasionando uma flexibilização maior do solo. Percebe-se também que os pilares de canto foram os que mais receberam esforços com a redistribuição enquanto os de extremidade foram mais aliviados. As variações percentuais para este modelo encontram-se na tabela 15 abaixo.

Tabela 15 - Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-II-A e MOD04-II-C.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
<b>P1</b>	11,1978%	12,0390%	11,0386%	12,5406%	12,9195%
<b>P2</b>	-8,7942%	-8,9041%	-8,7349%	-8,9307%	-8,4376%
<b>P3</b>	11,1978%	9,8055%	11,0386%	8,6531%	12,9195%
<b>P4</b>	-5,0751%	-4,2679%	-5,2825%	-3,8302%	-3,9670%
<b>P5</b>	1,3207%	1,4059%	1,6670%	1,8206%	-0,7470%
<b>P6</b>	-5,0751%	-5,7005%	-5,2825%	-6,3657%	-3,9670%
<b>P7</b>	-0,4211%	0,3783%	-0,6755%	0,7627%	0,8641%
<b>P8</b>	2,6612%	2,6610%	2,9718%	2,9715%	0,9169%
<b>P9</b>	-0,4211%	-1,1822%	-0,6755%	-1,9941%	0,8641%
<b>P10</b>	-4,9276%	-4,2679%	-5,0203%	-3,8302%	-3,9670%
<b>P11</b>	1,4910%	1,4059%	1,9743%	1,8206%	-0,7470%
<b>P12</b>	-4,9276%	-5,7005%	-5,0203%	-6,3657%	-3,9670%
<b>P13</b>	10,5908%	12,0390%	9,9835%	12,5406%	12,9195%
<b>P14</b>	-9,0125%	-8,9041%	-9,1219%	-8,9307%	-8,4376%
<b>P15</b>	10,5908%	9,8055%	9,9835%	8,6531%	12,9195%

Fonte: Elaborada pela autora.

Para os modelos MOD04-II-D e MOD04-II-E, onde foram utilizados os mesmo coeficientes que nos modelos MOD04-I-B e MOD04-I-C anteriormente descritos, observou-se um efeito diferente. Dessa vez a redistribuição apresentou-se de forma mais dispersa entre os pilares e em um intervalo menor de variação. Mesmo com o acréscimo de pavimentos, no caso dos modelos MOD08-II-D, MOD08-II-E, MOD12-II-D e MOD12-II-E o intervalo de variação não demonstrou grandes diferenças, permanecendo com porcentagens abaixo de 4,5%. As variações percentuais para os modelos MOD04-II-D e MOD04-II-E podem ser observadas nas tabelas 16 e 17. Para os demais modelos, conferir as tabelas completas com os valores dos esforços e os percentuais no Anexo deste trabalho.

Tabela 16 - Diferenças percentuais entre os esforços axiais MOD04-II-A e MOD04-II-D.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
<b>P1</b>	0,1985%	1,1929%	0,4524%	2,2353%	-0,0740%
<b>P2</b>	0,2190%	0,0819%	0,3262%	0,0816%	0,0461%
<b>P3</b>	0,1985%	-1,3662%	0,4524%	-2,2428%	-0,0740%
<b>P4</b>	0,0018%	0,9093%	-0,0175%	1,6197%	0,0023%
<b>P5</b>	0,0044%	0,0396%	-0,0361%	0,0279%	0,0533%
<b>P6</b>	0,0018%	-0,8083%	-0,0175%	-1,4310%	0,0023%
<b>P7</b>	-0,0814%	0,8419%	-0,0723%	1,5962%	-0,0897%
<b>P8</b>	-0,0035%	-0,0036%	-0,0114%	-0,0115%	0,0084%
<b>P9</b>	-0,0814%	-0,9628%	-0,0723%	-1,6094%	-0,0897%
<b>P10</b>	0,0613%	0,9093%	0,0879%	1,6197%	0,0023%
<b>P11</b>	0,0748%	0,0396%	0,0920%	0,0279%	0,0533%
<b>P12</b>	0,0613%	-0,8083%	0,0879%	-1,4310%	0,0023%
<b>P13</b>	-0,4357%	1,1929%	-0,6556%	2,2353%	-0,0740%
<b>P14</b>	-0,0535%	0,0819%	-0,1576%	0,0816%	0,0461%
<b>P15</b>	-0,4357%	-1,3662%	-0,6556%	-2,2428%	-0,0740%

Fonte: Elaborada pela autora.

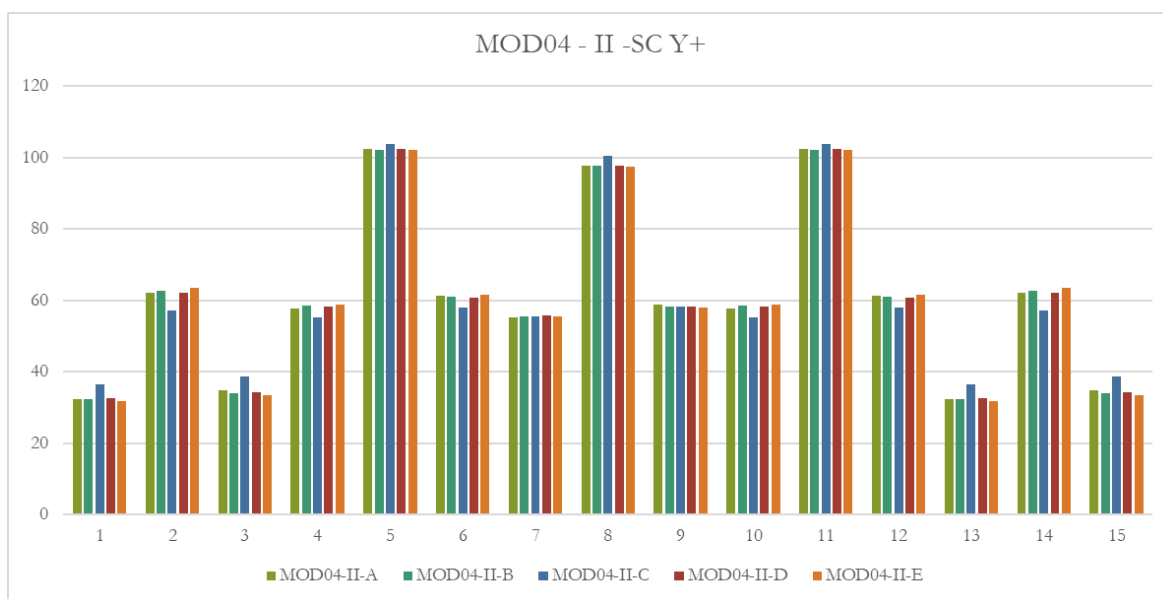
Tabela 17 - Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-II-A e MOD04-II-E.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
<b>P1</b>	-2,3329%	-1,2529%	-1,9711%	-0,0349%	-3,0464%
<b>P2</b>	2,0157%	1,8631%	2,1401%	1,8680%	1,7301%
<b>P3</b>	-2,3329%	-4,0187%	-1,9711%	-4,8779%	-3,0464%
<b>P4</b>	1,0859%	2,0544%	1,0965%	2,8438%	0,8875%
<b>P5</b>	-0,4072%	-0,3777%	-0,5315%	-0,4780%	0,0655%
<b>P6</b>	1,0859%	0,2065%	1,0965%	-0,4392%	0,8875%
<b>P7</b>	-0,2923%	0,6988%	-0,2285%	1,5629%	-0,5523%
<b>P8</b>	-0,4548%	-0,4549%	-0,5195%	-0,5196%	-0,1470%
<b>P9</b>	-0,2923%	-1,2398%	-0,2285%	-1,8827%	-0,5523%
<b>P10</b>	1,1359%	2,0544%	1,1850%	2,8438%	0,8875%
<b>P11</b>	-0,3483%	-0,3777%	-0,4244%	-0,4780%	0,0655%
<b>P12</b>	1,1359%	0,2065%	1,1850%	-0,4392%	0,8875%
<b>P13</b>	-3,0060%	-1,2529%	-3,1484%	-0,0349%	-3,0464%
<b>P14</b>	1,7124%	1,8631%	1,6019%	1,8680%	1,7301%
<b>P15</b>	-3,0060%	-4,0187%	-3,1484%	-4,8779%	-3,0464%

Fonte: Elaborada pela autora.

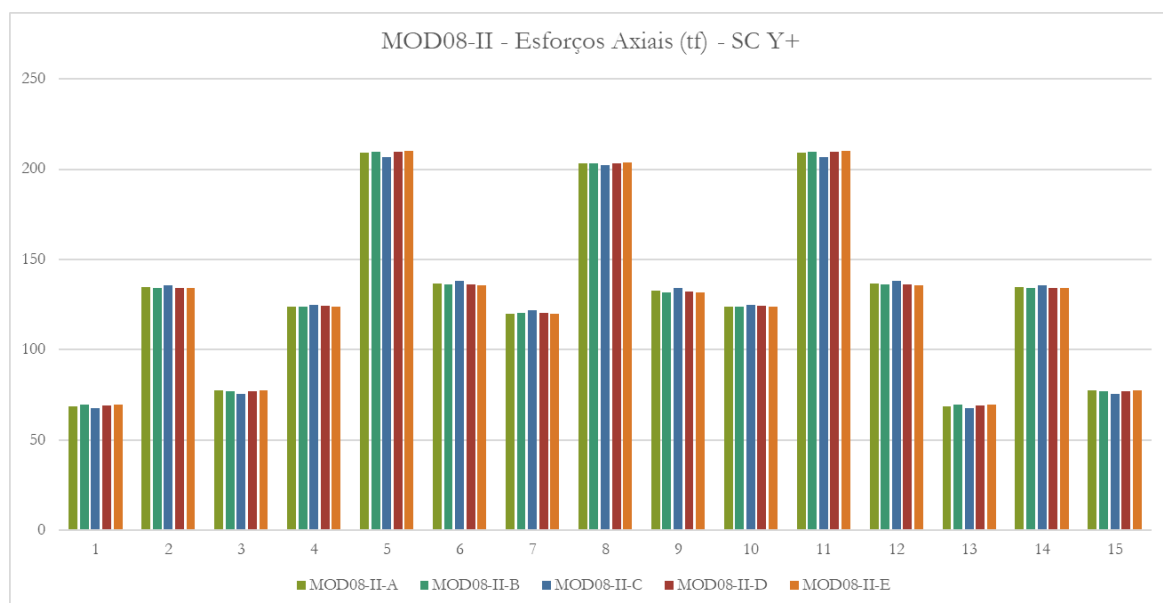
Nas figuras 36 a 38 pode-se observar através dos gráficos ilustrados a pequena variação de esforços que ocorreu entre os pilares, pela equivalência na altura das barras, para a combinação mais desfavorável (SC Y+) nas edificações de 4, 8 e 12 pavimentos respectivamente.

Figura 36 - Esforços Axiais nos pilares dos modelos MOD04-II para a combinação SC Y+.



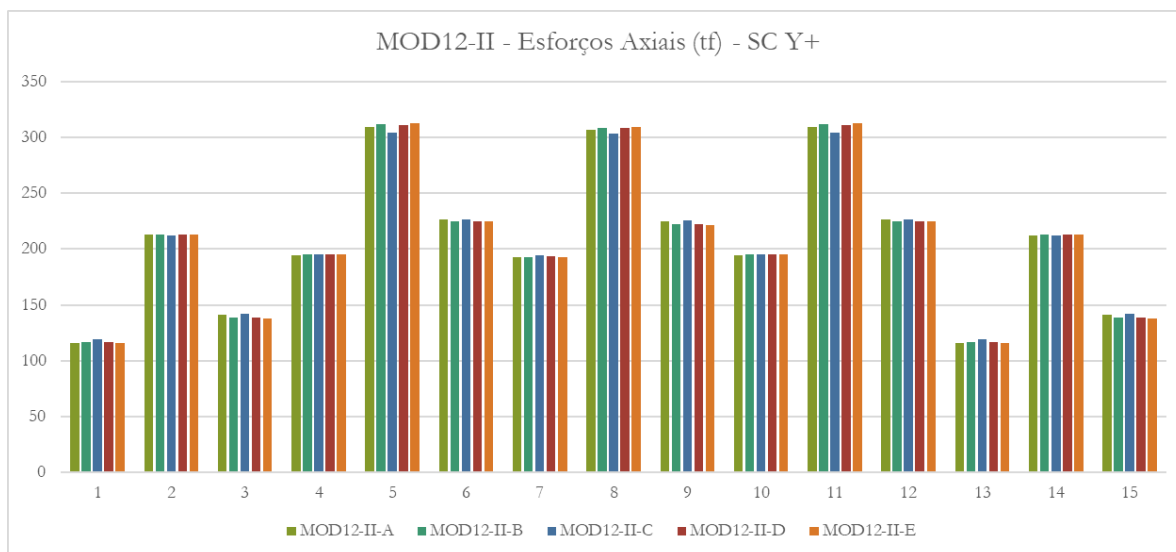
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 37 - Esforços Axiais nos pilares dos modelos MOD08-II para a combinação SC Y+.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 38 - Esforços Axiais nos pilares dos modelos MOD12-II para a combinação SC Y+.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para os modelos com estacas pré-moldadas, todos com a classificação III na tabela 9 deste trabalho, a variação percentual da redistribuição dos esforços axiais apresentou-se em uma faixa intermediária entre os valores expostos acima para os modelos de classificação I e II, em todos os pavimentos. Resultado coerente, devido ao fato de a configuração adotada para este modelo apresentar uma rigidez também intermediária. Ou seja, nem tão rígida como no caso dos modelos de hélice contínua, em que quase não houve redistribuição dos esforços e nem tão flexível como no modelo com apoios nodais, onde as redistribuições já foram bastante considerativas. Nas tabelas de 18 a 21 pode-se observar esta redistribuição para os 4 tipos de molas considerados nos modelos de 4 pavimentos, servindo como base de referência para os modelos da não consideração da ISE o modelo MOD04-III-A, onde engastou-se a ponta do bloco sobre estacas pré-moldadas.



Tabela 18 - Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-III-A e MOD04-III-B.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	0,4966%	0,4235%	0,6174%	0,4913%	-0,0312%
P2	2,4643%	2,1555%	2,6542%	2,1044%	2,4147%
P3	0,4966%	0,5654%	0,6174%	0,7290%	-0,0312%
P4	2,7895%	3,6471%	2,7924%	4,3398%	2,8842%
<b>P5</b>	-4,8668%	-4,9365%	-4,9757%	-5,1022%	-4,3143%
P6	2,7895%	1,9303%	2,7924%	1,2937%	2,8842%
P7	2,7233%	3,7483%	2,7611%	4,6140%	2,7097%
<b>P8</b>	-2,9677%	-2,9670%	-3,0628%	-3,0614%	-2,6186%
P9	2,7233%	1,7456%	2,7611%	1,0560%	2,7097%
P10	2,8236%	3,7046%	2,7968%	4,3854%	2,9584%
<b>P11</b>	-4,0211%	-3,9599%	-4,2090%	-4,0978%	-3,4391%
P12	2,8236%	2,0182%	2,7968%	1,3932%	2,9584%
P13	2,9190%	2,9280%	2,9998%	3,0206%	2,6498%
P14	-1,6812%	-1,3617%	-1,9876%	-1,4243%	-1,1868%
P15	2,9190%	2,9225%	2,9998%	3,0033%	2,6498%

Fonte: Elabora pela autora.

Tabela 19 - Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-III-A e MOD04-III-C.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	0,1509%	-0,0325%	-0,0120%	-0,3449%	1,1358%
P2	3,6155%	3,3498%	3,7917%	3,3182%	4,0916%
P3	0,1509%	0,3303%	-0,0120%	0,3055%	1,1358%
P4	4,2643%	4,9743%	4,1520%	5,4311%	5,4048%
<b>P5</b>	-8,1622%	-8,1879%	-8,0727%	-8,1195%	-9,5501%
P6	4,2643%	3,6423%	4,1520%	3,0728%	5,4048%
P7	5,3521%	6,2199%	5,2062%	6,7718%	6,7526%
<b>P8</b>	-4,0765%	-4,0766%	-4,0221%	-4,0223%	-5,1306%
P9	5,3521%	4,5262%	5,2062%	3,7720%	6,7526%
P10	4,3202%	4,9740%	4,2517%	5,4311%	5,4044%
<b>P11</b>	-8,2138%	-8,1883%	-8,1660%	-8,1198%	-9,5506%
P12	4,3202%	3,6422%	4,2517%	3,0726%	5,4044%
P13	0,1554%	-0,0335%	0,0013%	-0,3467%	1,1328%
P14	3,0864%	3,3487%	2,8550%	3,3174%	4,0907%
P15	0,1554%	0,3288%	0,0013%	0,3043%	1,1328%

Fonte: Elabora pela autora.

Tabela 20 - Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-III-A e MOD04-III-D.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	0,6172%	0,5344%	0,7257%	0,5822%	0,1579%
P2	2,8008%	2,4939%	2,9881%	2,4419%	2,8082%
P3	0,6172%	0,6965%	0,7257%	0,8556%	0,1579%
P4	3,0624%	3,9100%	3,0582%	4,5874%	3,2377%
<b>P5</b>	-5,4071%	-5,4749%	-5,5144%	-5,6378%	-4,9368%
P6	3,0624%	2,2167%	3,0582%	1,5836%	3,2377%
P7	3,1072%	4,1317%	3,1345%	4,9862%	3,1952%
<b>P8</b>	-3,0762%	-3,0762%	-3,1645%	-3,1645%	-2,8041%
P9	3,1072%	2,1293%	3,1345%	1,4295%	3,1952%
P10	3,0271%	3,9100%	2,9957%	4,5876%	3,2377%
<b>P11</b>	-5,5425%	-5,4748%	-5,7603%	-5,6375%	-4,9364%
P12	3,0271%	2,2167%	2,9957%	1,5836%	3,2377%
P13	0,6176%	0,5344%	0,7238%	0,5815%	0,1571%
P14	2,1912%	2,4942%	1,9082%	2,4425%	2,8093%
P15	0,6176%	0,6962%	0,7238%	0,8553%	0,1571%

Fonte: Elaborada pela autora.

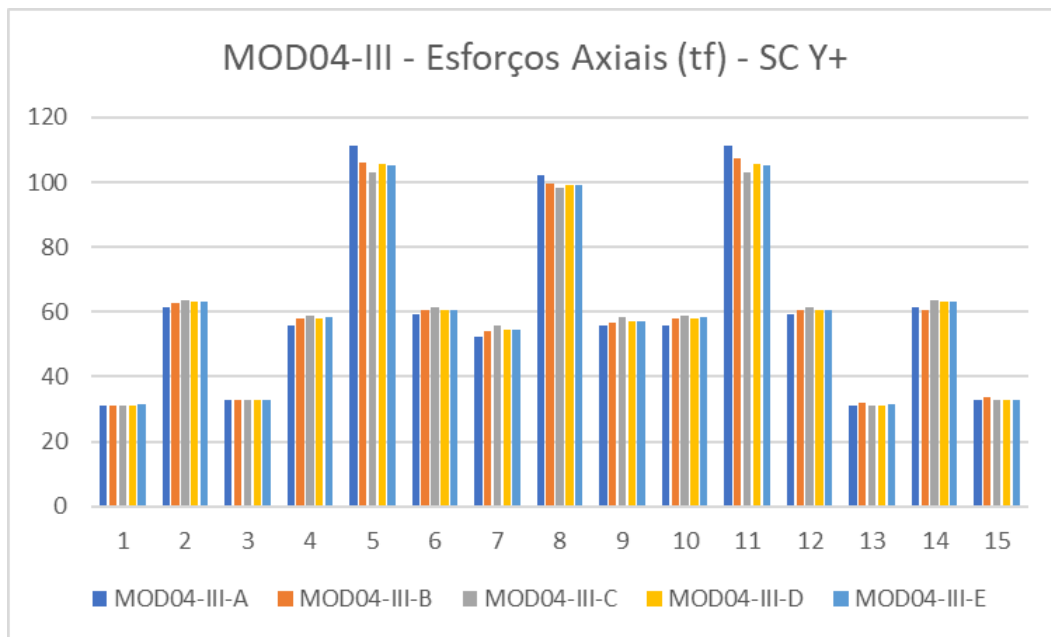
Tabela 21 - Diferenças percentuais entre esforços axiais MOD04-III-A e MOD04-III-E.

	%				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	0,7961%	0,7807%	0,9778%	0,9569%	0,0327%
P2	3,0003%	2,6697%	3,1924%	2,6039%	2,9569%
P3	0,7961%	0,7777%	0,9778%	0,9364%	0,0327%
P4	3,2786%	4,2090%	3,2908%	4,9685%	3,3125%
<b>P5</b>	-5,7531%	-5,8294%	-5,9144%	-6,0532%	-4,9126%
P6	3,2786%	2,3293%	3,2908%	1,6339%	3,3125%
P7	3,1538%	4,2679%	3,2174%	5,2300%	3,0159%
<b>P8</b>	-3,3735%	-3,3736%	-3,4950%	-3,4951%	-2,8729%
P9	3,1538%	2,0884%	3,2174%	1,3578%	3,0159%
P10	3,2202%	4,2089%	3,1874%	4,9687%	3,3125%
<b>P11</b>	-5,9051%	-5,8289%	-6,1910%	-6,0525%	-4,9119%
P12	3,2202%	2,3294%	3,1874%	1,6339%	3,3125%
P13	0,7631%	0,7817%	0,9158%	0,9573%	0,0334%
P14	2,3441%	2,6710%	2,0291%	2,6053%	2,9587%
P15	0,7631%	0,7780%	0,9158%	0,9367%	0,0334%

Fonte: Elaborada pela autora.

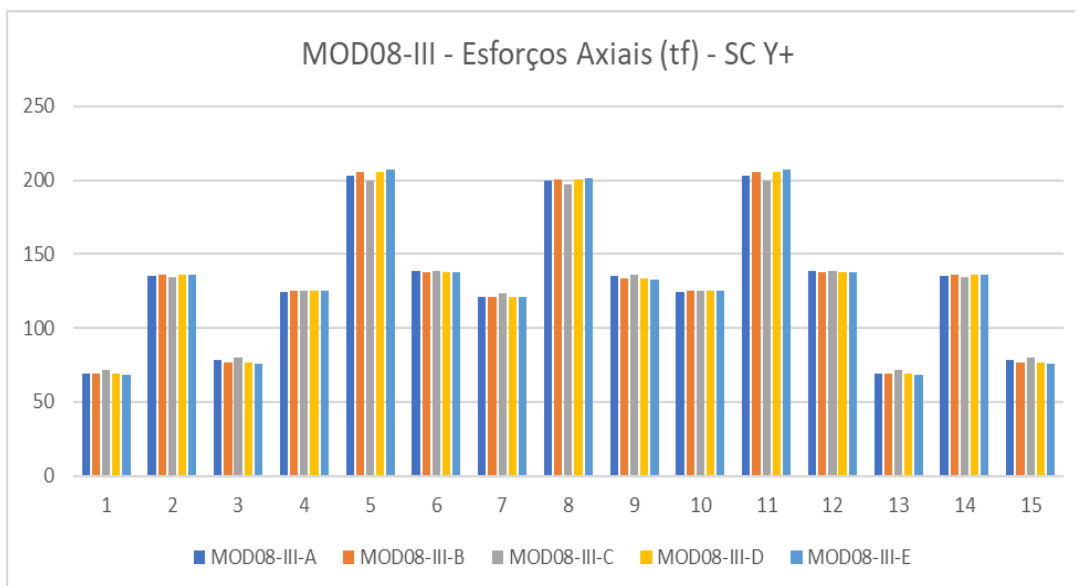
Nas figuras 39 a 41, observa-se a redistribuição dos esforços para a combinação mais desfavorável por meio do gráfico ilustrado para os modelos de 4, 8 e 12 de pavimentos, respectivamente.

Figura 39 - Esforços Axiais nos pilares dos modelos MOD04-III para a combinação SC Y+.



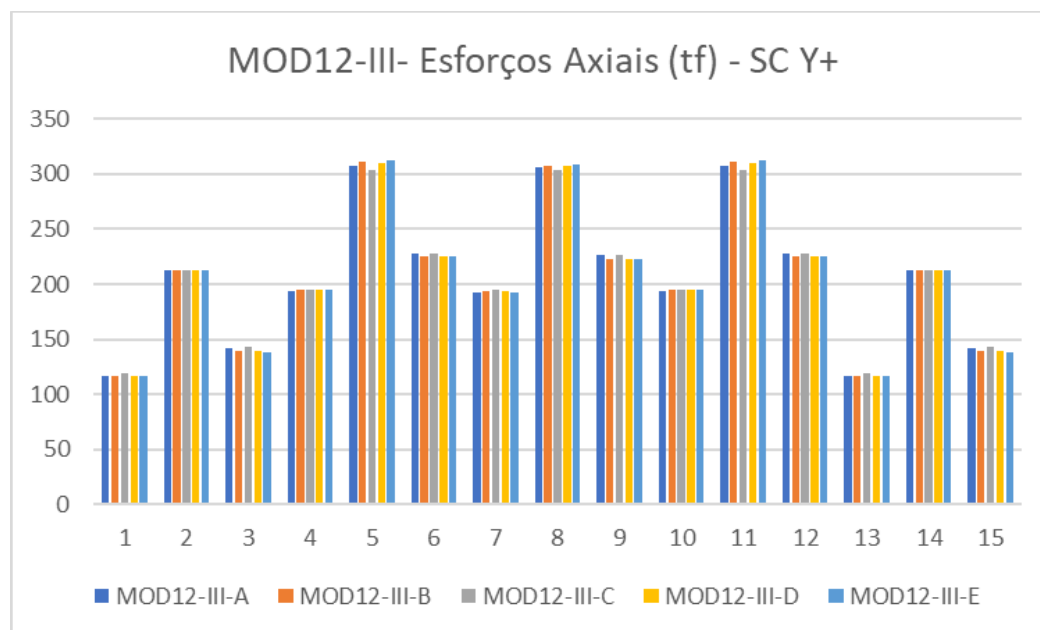
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 40 - Esforços Axiais nos pilares dos modelos MOD08-III para a combinação SC Y+.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 41 - Esforços Axiais nos pilares dos modelos MOD12-III para a combinação SC Y+.



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.2.2 Estabilidade Global

Outro parâmetro analisado em cada modelo foi o coeficiente  $\gamma_z$  para verificar a estabilidade global da estrutura. Os valores encontrados para todos os modelos apresentam-se na tabela 22 abaixo.

Tabela 22 - Valores de  $\gamma_z$  para os modelos analisados.

Coeficientes de $\gamma_z$					
MOD04-I-A	1,023	MOD08-I-A	1,048	MOD12-I-A	1,086
MOD04-I-B	1,03	MOD08-I-B	1,069	MOD12-I-B	1,143
MOD04-I-C	1,028	MOD08-I-C	1,06	MOD12-I-C	1,112
MOD04-II-A	1,189	MOD08-II-A	1,405	MOD12-II-A	1,124
MOD04-II-B	1,034	MOD08-II-B	1,053	MOD12-II-B	1,099
MOD04-II-C	1,052	MOD08-II-C	1,086	MOD12-II-C	1,138
MOD04-II-D	1,034	MOD08-II-D	1,058	MOD12-II-D	1,101
MOD04-II-E	1,031	MOD08-II-E	1,053	MOD12-II-E	1,094
MOD04-III-A	1,042	MOD08-III-A	1,069	MOD12-III-A	1,132
MOD04-III-B	1,034	MOD08-III-B	1,059	MOD12-III-B	1,105
MOD04-III-C	1,048	MOD08-III-C	1,082	MOD12-III-C	1,149
MOD04-III-D	1,034	MOD08-III-D	1,06	MOD12-III-D	1,106
MOD04-III-E	1,03	MOD08-III-E	1,054	MOD12-III-E	1,097

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 23 - Comparação entre os coeficientes  $\gamma_z$  para os modelos MOD04-I.

MOD04-I			
Modelo	A	B	C
Gama Z	1,023	1,03	1,028
Variação	-	0,680%	0,486%

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 24 - Comparação entre os coeficientes de  $\gamma_z$  para os modelos MOD04-II.

MOD04-II					
Modelo	A	B	C	D	E
Gama Z	1,189	1,034	1,052	1,034	1,031
Variação	-	-15%	-13%	-15%	-15%

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 25 - Comparação entre os coeficientes de  $\gamma_z$  para os modelos MOD04-III.

MOD04-III					
Modelo	A	B	C	D	E
Gama Z	1,042	1,034	1,048	1,034	1,03
Variação	-	-0,77%	0,57%	-0,77%	-1,17%

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 26 - Comparação entre os coeficientes de  $\gamma_z$  para os modelos MOD08-I.

MOD08-I			
Modelo	A	B	C
Gama Z	1,048	1,069	1,06
Variação	-	1,964%	1,132%

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 27 - Comparação entre os coeficientes  $\gamma_z$  de para os modelos MOD08-II.

MOD08-II					
Modelo	A	B	C	D	E
Gama Z	1,06	1,053	1,086	1,058	1,053
Variação	-	-0,66%	2,39%	-0,19%	-0,66%

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 28 - Comparação entre os coeficientes  $\gamma_z$  de para os modelos MOD08-III.

MOD08-III					
Modelo	A	B	C	D	E
Gama Z	1,069	1,059	1,082	1,06	1,054
Variação	-	-0,94%	1,20%	-0,85%	-1,42%

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 29 - Comparação entre os coeficientes  $\gamma_z$  de para os modelos MOD12-I.

MOD12-I			
Modelo	A	B	C
Gama Z	1,086	1,143	1,112
Variação	-	4,987%	2,338%

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 30 - Comparação entre os coeficientes  $\gamma_z$  de para os modelos MOD012-II.

MOD12-II					
Modelo	A	B	C	D	E
Gama Z	1,124	1,099	1,138	1,101	1,094
Variação	-	-2,275%	1,230%	-2,089%	-2,742%

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 31 - Comparação entre os coeficientes  $\gamma_z$  de para os modelos MOD12-III.

MOD12-III					
Modelo	A	B	C	D	E
Gama Z	1,132	1,105	1,149	1,106	1,097
Variação	-	-2,443%	1,480%	-2,351%	-3,191%

Fonte: Elaborada pela autora.

Analisado a comparação dos valores dos parâmetros  $\gamma_z$ , podem ser feitas algumas inferências:

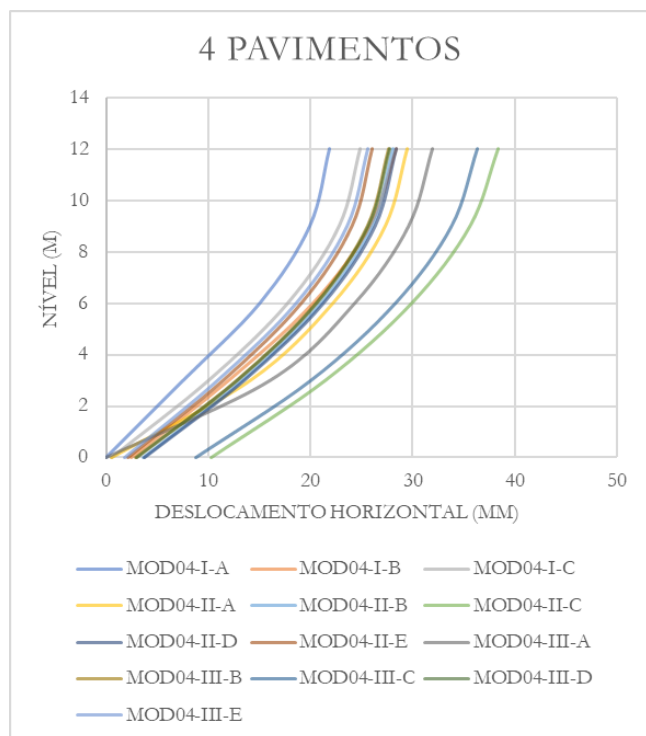
- Para os modelos MOD04-I, MOD08-I e MOD12-I, que possuem apoios nodais, ao aplicar a mola mais flexível, de 100 tf/cm, o coeficiente  $\gamma_z$  dos edifícios aumentou em relação ao edifício engastado. Já o para os modelos com a mola de 500tf/cm, o  $\gamma_z$  resultou em um valor intermediário entre o modelo mais flexível e o mais rígido.

- Para os edifícios em que foram modelados os blocos sobre estacas perceberam-se que a partir do 8º pavimento, o  $\gamma_z$  nos modelos com nó enrijecido na base, representação da não consideração da ISE, começaram a apresentar valores mais altos que o resto dos modelos. Isso se deu por conta do bloco ter rigidez apenas na direção vertical, não sendo plenamente utilizado como travamento rígido nas direções rotacionais e horizontais.
- Mediante a assertiva do tópico anterior, fez-se necessário considerar um novo modelo de referência para análise do  $\gamma_z$ , sendo assim, levou-se em consideração os modelos com índice “E” que são os casos em que se utilizou o coeficiente de mola de 500tf/cm, e que pelos valores que apresentou de  $\gamma_z$ , constatou-se o fato por ter apresentado menores valores para o coeficiente analisado em questão.
- Como forma de validar a hipótese do tópico anterior, observa-se que para a representação do solo mais flexível, nos modelos que contém o índice II-C e III-C na nomenclatura, apresentou maior coeficiente  $\gamma_z$ , indicando maiores influências dos efeitos de 2ª ordem nessas estruturas. E já para a representação do solo mais rígidos, nos modelos com índices II-E e III-E, apresentaram menores valores para tal coeficiente.

### 3.2.3 Deslocamentos Horizontais

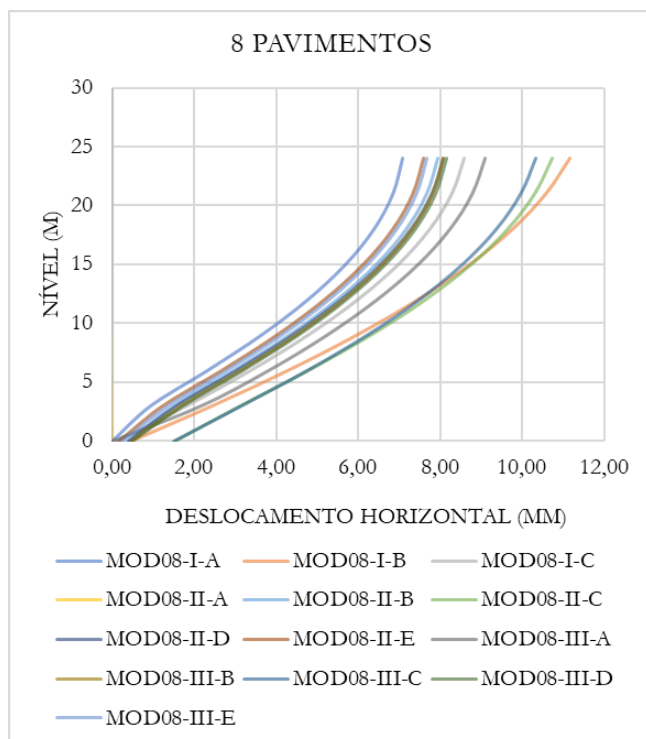
O terceiro parâmetro de análise deste trabalho foram os deslocamentos horizontais apresentados nos modelos em estudo. Estes apresentam correlação direta com a análise feita para o parâmetro de estabilidade global. Nas figuras 42 a 44 abaixo pode-se observar através dos gráficos ilustrados os deslocamentos para os modelos de 4, 8 e 12 pavimentos, respectivamente. Tais deslocamentos foram obtidos pela análise da combinação SC Y+, a mais desfavorável, no pórtico central da estrutura, que contém os pilares P7, P8 e P9.

Figura 42 - Deslocamentos horizontais nos modelos de 4 pavimentos.



Fonte: Elaborado pela autora.

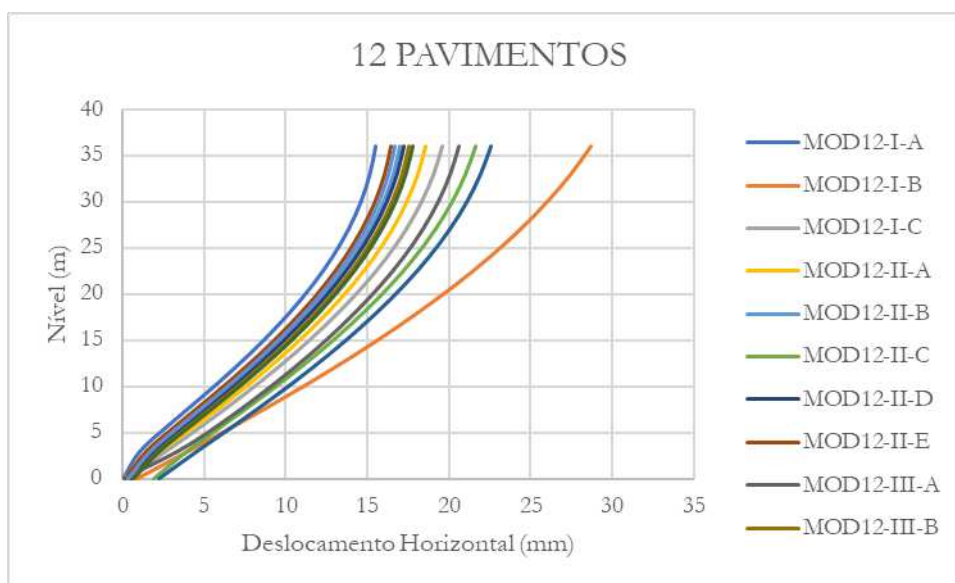
Figura 43 -Deslocamentos horizontais nos modelos de 8 pavimentos.



Fonte: Elabora pela autora.



Figura 44 - Deslocamentos horizontais nos modelos de 12 pavimentos.



Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4 CONCLUSÃO

Por fim, o estudo da ISE em edifícios sobre fundações profundas proporcionou uma melhor compreensão do tema e da complexidade em se considerar a interação em uma modelagem estrutural desse porte.

Os modelos analisados serviram como contribuição para as diferentes formas de se considerar a Interação Solo Estrutura em uma modelagem de edifícios sobre fundações profundas. Observou-se nos resultados que a consideração da Interação Solo-Estrutura para esse tipo de fundação, sem modelar as estacas, apenas aplicando os coeficientes das molas nos apoios nodais, possui uma maior sensibilidade para a redistribuição de esforços, principalmente nos pilares.

Os edifícios onde foram modelados os blocos sobre estacas engastados na ponta apresentaram valores válidos para reações verticais, porém mostraram-se insuficientes para reações horizontais e rotacionais. Logo, conclui-se que se faz importante a consideração da rigidez rotacional e horizontal do bloco na consideração da Interação Solo-Estrutura para fundações profundas, buscando uma maior aproximação do modelo computacional com o comportamento real da estrutura.

Observou-se ainda a influência do tipo de solo e os coeficientes de reação do mesmo. Com isso, é importante destacar que a estimativa dos coeficientes deve ser feita da forma mais precisa possível pois uma escolha equivocada pode gerar

resultados inconsistentes com a realidade, podendo inclusive levar a equívocos projectuais que não ocorreriam caso a ISE não fosse considerada. Sendo assim, esta talvez seja ainda a maior dificuldade em se implantar tal consideração em análises rotineiras, visto que durante a realização deste estudo, um dos pontos de maior dificuldade foi determinar quais coeficientes seriam usados, pelo fato de que foram encontrados poucos métodos que os estimassem baseados nas diferentes profundidades do solo.

Considerando as conclusões obtidas e as considerações realizadas, para trabalhos futuros sugere-se:

- Considerar a influência do bloco na Interação Solo-Estrutura investigando seus parâmetros de rigidez horizontal e rotacional.
- Uma análise não linear considerando as etapas construtivas com as fundações modeladas com a Interação Solo-Estrutura.
- Análise de um bloco sobre estacas de grandes dimensões modelada em ISE.

## 5 REFERÊNCIAS

ABRIL. Super interessante. Disponível em <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/por-que-a-torre-de-pisa-e-inclinada/> 2108. Acesso em 28 outubro de 2019.

ANTONIAZZI, J. P. **Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12131: Estacas – Prova de carga estática – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

BERBERIAN, D. **Engenharia de Fundações**. Brasília: Editora Infrasolo, 2108.

CINTRA, J. C. A. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. São Paulo, Oficina de Textos, 2010.

CINTRA, C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações diretas**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2011.

CHRISTAN, P. de. **Estudo da interação solo-estaca sujeito a carregamento horizontal em ambientes submersos**. Dissertação. – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

COLARES, G. M. **Programa para análise da interação solo-estrutura no projeto de edifícios**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CRUZ, F. V. A. S., **Contribuição à interpretação de provas de carga em estacas realizadas pelo método bidirecional**. Dissertação de mestrado, Universidade de Federal do Rio de Janeiro. 2019.

DAMASCENO, J. H. L. **Projeto de Estruturas de Fundação**. 10 slides. 2017

DÉSIR, J. M.; CRESPO, V. A.S. **Efeito da sensibilidade da estrutura em relação ao solo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50., 2008, Salvador. Anais...Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

GUSMÃO, A. D. **Estudo da interação solo-estrutura e sua influência em recalques de edificações** (dissertação). Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE. Rio de Janeiro, 1990.

HOLANDA JR., O. G. **Interação solo-estrutura para edifícios de concreto armado sobre fundações diretas**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

IWAMOTO, R. K. **Alguns aspectos dos efeitos da interação solo estrutura em edifícios de múltiplos andares com fundação profunda**. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo, São Carlos. 2000.

JORNAL SANTISTA. Os prédios tortos de Santos. Disponível em: <http://www.jornalsantista.com.br/2016/12/os-predios-tortos-de-santos.html>. Acesso em 28 de outubro de 2019.

KIMURA, A. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. SP: Pini, 2007.  
MELO 2019

MEYERHOF, G. G. **Some Recent Foundation Research and its Application to Design**. The Structural Engineer, Vol. 31, pp. 151-167, 1953.

REIS, J. H. C. **Interação solo-estrutura de grupo de edifícios com fundações superficiais em argila mole**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

SOARES, F.L.; CRUZ JR, J.S.; NASCIMENTO, J.D.P. **Análise da Capacidade de Carga de Estaca Hélice Contínua Curta em Terraços Marinhos na Cidade de João Pessoa**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 28. 2016, Belo Horizonte, Minas Gerais. Disponível em <https://ssl4799.websiteseuro.com/swge5/PROCEEDINGS/PDF/CB-04-0147.pdf>. acessado em: 18 Nov. 2019.

TERZAGHI, Karl. **Evaluation of coefficients of subgrade reaction**. Cambridge: Institution. of civil engineers, 1956. 326 p.

THOMAZ, E. C. S. **Fissuração – 168 Casos Reais**. Rio de Janeiro, RJ, 2003. Disponível em: < <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/>>. Acesso em: 28 out. 2019.

VELLOSO, D. de A. **Fundações**: critérios de projetos., investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

## **ANEXOS**

### Cálculo dos coeficientes do solo ( $k_v$ e $k_h$ )

Por meio do método utilizado no curso de Projeto de Estruturas de Fundações, ministrado pelo professor Msc. João H. L. Damasceno do Núcleo de Capacitação de Engenharia de Estruturas (NCEE), obtiveram-se os coeficientes de reação horizontal e vertical adotados para as molas dos modelos MOD04-II-B, MOD04-III-B, MOD08-II-B, MOD08-III-B, MOD12-II-B e MOD12-III-B. O método baseia-se em um intervalo aceitável para o valor de  $k_h$  e leva em consideração o diâmetro da estaca ( $\phi$ ) e o valor de  $N_{SPT}$  de cada camada do solo. Em seguida, a partir desse valor e por relação com o valor do coeficiente de Poisson do solo encontra-se o coeficiente de reação vertical ( $k_v$ ), de acordo com as equações abaixo:

$$k_h = \frac{2000 * N_{SPT}}{\phi} \text{ a } \frac{2000 * N_{SPT}}{\phi}$$

$$k_v = \frac{k_h}{\nu}$$

Os valores resultantes das equações acima estão em  $kN/m^3$ , sendo assim, deve-se multiplicar a área de influência de cada mola pelos valores obtidos para que se encontre o coeficiente que será inserido.

$$A_i = \phi * \Delta l$$

Para o cálculo dos coeficientes utilizados neste trabalho adotou-se o menor valor do intervalo recomendado pelo método e os coeficientes obtidos encontram-se nas tabelas abaixo.

Cota	$N_{SPT}$	$\phi$	$\nu$	$A_i$	$k_h$	$k_v$
1	5	0,22	0,33	0,69	31415,9	95199,8
2	6	0,22	0,33	0,69	37699,1	114239,7
3	7	0,22	0,33	0,69	43982,3	133279,7
4	8	0,22	0,33	0,69	50265,5	152319,6
5	11	0,22	0,33	0,69	69115,0	209439,5
6	15	0,22	0,33	0,69	94247,8	285599,3
7	17	0,22	0,33	0,69	106814,2	323679,2
8	22	0,22	0,33	0,69	138230,1	418879,0

<b>Cota</b>	$N_{SPT}$	$\phi$	$\nu$	$A_i$	$k_h$	$k_v$
1	5	0,29	0,33	0,91	31415,9	95199,8
2	6	0,29	0,33	0,91	37699,1	114239,7
3	7	0,29	0,33	0,91	43982,3	133279,7
4	8	0,29	0,33	0,91	50265,5	152319,6
5	11	0,29	0,33	0,91	69115,0	209439,5
6	15	0,29	0,33	0,91	94247,8	285599,3
7	17	0,29	0,33	0,91	106814,2	323679,2
8	22	0,29	0,33	0,91	138230,1	418879,0
9	25	0,29	0,33	0,91	157079,6	475998,9
10	25	0,29	0,33	0,91	157079,6	475998,9

<b>Cota</b>	$N_{SPT}$	$\phi$	$\nu$	$A_i$	$k_h$	$k_v$
1	5	0,33	0,33	1,04	31415,9	95199,8
2	6	0,33	0,33	1,04	37699,1	114239,7
3	7	0,33	0,33	1,04	43982,3	133279,7
4	8	0,33	0,33	1,04	50265,5	152319,6
5	11	0,33	0,33	1,04	69115,0	209439,5
6	15	0,33	0,33	1,04	94247,8	285599,3
7	17	0,33	0,33	1,04	106814,2	323679,2
8	22	0,33	0,33	1,04	138230,1	418879,0
9	25	0,33	0,33	1,04	157079,6	475998,9
10	25	0,33	0,33	1,04	157079,6	475998,9
11	32	0,33	0,33	1,04	201061,9	609278,6
12	34	0,33	0,33	1,04	213628,3	647358,5



**Deslocamentos horizontais no pórtico central da estrutura para a  
combinação SC Y+**

4 PAVIMENTOS				
MOD04-I-A	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0	0	0
	3	7,5434	0	-6,1298
	6	15,0345	0	-10,5712
	9	19,9193	0	-13,3024
MOD04-I-B	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	2,4681	0	-64,0451
	3	12,0193	0	-70,8621
	6	20,2872	0	-75,793
	9	25,8742	0	-78,84
MOD04-I-C	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,5695	0	-11,8918
	3	10,0675	0	-18,2468
	6	17,7963	0	-22,8431
	9	22,8304	0	-25,6741
MOD04-II-A	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,5	0	-13,4082
	3	14,103	0	-19,4358
	6	22,1948	0	-23,9481
	9	27,3266	0	-26,725
MOD04-II-B	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	3,6573	0	-9,5551
	3	13,3504	0	-15,7874
	6	21,0675	0	-20,2943
	9	26,0751	0	-23,0678
MOD04-II-C	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	10,2862	0	-67,3723
	3	21,472	0	-73,589
	6	29,9365	0	-78,0824
	9	35,6505	0	-80,8491
MOD04-II-D	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	3,7893	0	-12,4795
	3	13,5378	0	-18,7152
	6	21,2893	0	-23,2245
	9	26,33	0	-25,9996
MOD04-II-E	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	2,1732	1,046E-11	-5,305
	3	11,4956	7,118E-11	-11,5281
	6	19,1439	1,321E-10	-16,0289
	9	24,0992	1,751E-10	-18,7984
MOD04-III-A	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0	-0,0178	-21,3625
	3	16,0812	-0,0187	-27,3056
	6	24,3753	-0,0189	-31,5909
	9	29,6521	-0,019	-34,2221
MOD04-III-B	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	2,8771	0,0419	-10,234
	3	12,7654	0,2076	-16,3177
	6	20,5193	0,5614	-20,7156
	9	25,5546	0,9169	-23,4188
MOD04-III-C	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	8,8357	-0,0077	-39,7355
	3	20,0708	-0,0145	-45,9752
	6	28,3143	-0,0149	-50,4857
	9	33,7951	-0,015	-53,261
MOD04-III-D	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	3,0259	-0,0013	-11,1378
	3	12,8795	-0,004	-17,2436
	6	20,6429	-0,0041	-21,6579
	9	25,6914	-0,0042	-24,3718
MOD04-III-E	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	1,8627	0,0001201	-6,4179
	3	10,9399	0,0006751	-12,3123
	6	18,6071	0,0006626	-16,7289
	9	23,5806	0,000663	-19,4443
12	25,5925	0,0006634	-20,4662	

8 PAVIMENTOS				
MOD08-I-A	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0	0	0
	3	0,94165	8,57E-12	-0,81478
	6	2,33039	2,12E-11	-1,52146
	9	3,64474	3,38E-11	-2,11863
	12	4,77906	4,6E-11	-2,60708
	15	5,70331	5,71E-11	-2,98769
	18	6,39976	6,66E-11	-3,2615
	21	6,86262	7,39E-11	-3,42971
24	7,09646	7,82E-11	-3,49312	
MOD08-I-B	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,4666	-0,12576	-9,86405
	3	2,45083	-0,00626	-10,9322
	6	4,29371	0,0009	-11,8511
	9	5,97248	-0,00024	-12,6232
	12	7,45891	-0,00028	-13,2514
	15	8,73318	-0,00044	-13,7381
	18	9,77974	-0,00022	-14,0857
	21	10,59167	-0,00314	-14,2962
24	11,1757	0,02349	-14,3711	
MOD08-I-C	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,12537	9,25E-13	-2,76699
	3	1,80521	1,63E-11	-3,61882
	6	3,3666	3,12E-11	-4,35524
	9	4,76901	4,5E-11	-4,97691
	12	5,97763	5,77E-11	-5,48519
	15	6,97421	6,94E-11	-5,88129
	18	7,74253	7,93E-11	-6,16648
	21	8,27816	8,75E-11	-6,34215
24	8,58147	9,3E-11	-6,40914	
MOD08-II-A	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,01	-0,02635	-2,26514
	3	1,56646	-0,03392	-3,08475
	6	3,12152	-0,04001	-3,79396
	9	4,51831	-0,041	-4,39305
	12	5,72249	-0,04131	-4,88301
	15	6,71467	-0,04152	-5,26478
	18	7,47875	-0,04173	-5,53945
	21	8,00918	-0,04193	-5,70821
24	8,31049	-0,04213	-5,77192	
MOD08-II-B	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,36413	-0,01338	-1,41911
	3	1,49859	-0,04309	-2,23544
	6	2,9525	-0,04901	-2,94261
	9	4,30772	-0,04996	-3,5401
	12	5,47952	-0,05023	-4,02876
	15	6,44071	-0,05041	-4,40952
	18	7,17403	-0,05057	-4,68344
	21	7,67369	-0,05074	-4,85173
24	7,94455	-0,0509	-4,91522	
MOD08-II-C	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	1,53084	-0,00781	-6,91066
	3	3,12717	-0,01664	-7,73996
	6	4,78517	-0,02107	-8,45778
	9	6,30596	-0,022	-9,06415
	12	7,63709	-0,02245	-9,56009
	15	8,75667	-0,02285	-9,94655
	18	9,64817	-0,02323	-10,2247
	21	10,30619	-0,02361	-10,3956
24	10,73409	-0,02399	-10,4603	
MOD08-II-D	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,39724	-0,0127	-1,7021
	3	1,5613	-0,04018	-2,51925
	6	3,02623	-0,04589	-3,22711
	9	4,38977	-0,04683	-3,82516
	12	5,56943	-0,04711	-4,31429
	15	6,53842	-0,04731	-4,69541
	18	7,27952	-0,04749	-4,9696
	21	7,78699	-0,04767	-5,13806
24	8,06555	-0,04785	-5,20164	
MOD08-II-E	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,17132	-0,01062	-0,96399
	3	1,2426	-0,04849	-1,77894
	6	2,67527	-0,05466	-2,48503
	9	4,01624	-0,05563	-3,08161
	12	5,17487	-0,05587	-3,56953
	15	6,12306	-0,05602	-3,9497
	18	6,84342	-0,05615	-4,2232
	21	7,3301	-0,05628	-4,39121
24	7,58812	-0,05641	-4,45459	

MOD08-III-A	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0	0,01195	-2,50213
	3	2,16976	-0,01612	-3,33509
	6	3,81296	-0,01867	-4,05469
	9	5,23382	-0,01917	-4,66231
	12	6,45147	-0,01937	-5,15919
	15	7,45559	-0,01953	-5,54639
	18	8,23131	-0,01969	-5,82504
	21	8,77369	-0,01984	-5,99641
	24	9,08567	-0,01999	-6,06131
MOD08-III-B	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,44818	0,00082	-1,13133
	3	1,66597	-0,02903	-1,95539
	6	3,12341	-0,03255	-2,66914
	9	4,47491	-0,03315	-3,27213
	12	5,6408	-0,03333	-3,76529
	15	6,59584	-0,03345	-4,14959
	18	7,32292	-0,03357	-4,42611
	21	7,81658	-0,03368	-4,59608
	24	8,08047	-0,03379	-4,66032
MOD08-III-C	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	1,49817	0,0092	-4,85649
	3	3,14605	-0,0117	-5,69593
	6	4,755	-0,01384	-6,42207
	9	6,21573	-0,01433	-7,03524
	12	7,48416	-0,01457	-7,53665
	15	8,54076	-0,01479	-7,92739
	18	9,36919	-0,01499	-8,20863
	21	9,96451	-0,0152	-8,3817
	24	10,32871	-0,0154	-8,44742
MOD08-III-D	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,47305	0,00142	-1,28176
	3	1,71635	-0,02763	-2,10666
	6	3,18094	-0,03103	-2,82109
	9	4,53688	-0,03162	-3,42463
	12	5,70677	-0,0318	-3,91824
	15	6,66575	-0,03193	-4,30289
	18	7,39676	-0,03204	-4,57966
	21	7,89436	-0,03216	-4,7498
	24	8,16212	-0,03228	-4,81412
MOD08-III-E	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,24264	-0,002	-0,67649
	3	1,36206	-0,03381	-1,4977
	6	2,79425	-0,03788	-2,20918
	9	4,13132	-0,03855	-2,81032
	12	5,28463	-0,03872	-3,30198
	15	6,22734	-0,03883	-3,6851
	18	6,94216	-0,03892	-3,96076
	21	7,42349	-0,03902	-4,13017
	24	7,67528	-0,03911	-4,19414

12 PAVIMENTOS				
MOD12-I-A	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0	0	0
	3	1,05558	9,615E-12	-0,88001
	6	2,93482	2,673E-11	-1,68313
	9	4,93849	4,535E-11	-2,40791
	12	6,85916	6,363E-11	-3,05444
	15	8,63262	8,086E-11	-3,62316
	18	10,23069	9,67E-11	-4,11468
	21	11,63683	1,106E-10	-4,52972
	24	12,8387	1,224E-10	-4,86904
	27	13,82678	1,323E-10	-5,13343
	30	14,59387	1,399E-10	-5,32373
	33	15,14761	1,449E-10	-5,44082
	36	15,49831	1,486E-10	-5,48533
MOD12-I-B	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,88347	2,036E-11	-23,54994
	3	4,04554	7,813E-11	-24,48463
	6	7,14274	1,351E-10	-25,33279
	9	10,12363	1,899E-10	-26,09579
	12	12,95572	2,422E-10	-26,7749
	15	15,62372	2,912E-10	-27,37126
	18	18,11193	3,356E-10	-27,88601
	21	20,40717	3,752E-10	-28,32028
	24	22,49791	4,1E-10	-28,67519
	27	24,37501	4,401E-10	-28,95181
	30	26,03055	4,643E-10	-29,15121
	33	27,47607	4,811E-10	-29,27445
	36	28,70861	4,932E-10	-29,32227
MOD12-I-C	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,19435	2,975E-12	-4,61701
	3	2,69573	4,055E-11	-5,53396
	6	5,08957	7,696E-11	-6,36728
	9	7,36377	1,119E-10	-7,1179
	12	9,4891	1,45E-10	-7,78671
	15	11,4501	1,758E-10	-8,37457
	18	13,23119	2,033E-10	-8,88235
	21	14,81921	2,275E-10	-9,31099
	24	16,20267	2,482E-10	-9,66139
	27	17,37234	2,656E-10	-9,93451
	30	18,32077	2,789E-10	-10,13128
	33	19,05732	2,869E-10	-10,25267
	36	19,58619	2,916E-10	-10,29934

MOD12-II-A	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0	0,02411	-2,76008
	3	2,30319	-0,03943	-3,65354
	6	4,64655	-0,04944	-4,46646
	9	6,86908	-0,05216	-5,19929
	12	8,93876	-0,05304	-5,85272
	15	10,84389	-0,05347	-6,4274
	18	12,56894	-0,0538	-6,92403
	21	14,10079	-0,0541	-7,34336
	24	15,42801	-0,05438	-7,68618
	27	16,54135	-0,05467	-7,95334
	30	17,43357	-0,05496	-8,14569
	33	18,11276	-0,05524	-8,26413
	36	18,58748	-0,05552	-8,30928
MOD12-II-B	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,46545	0,00559	-1,36747
	3	1,85356	-0,05331	-2,25453
	6	3,87144	-0,0646	-3,06336
	9	5,95247	-0,0677	-3,79308
	12	7,93526	-0,06858	-4,4439
	15	9,76692	-0,06895	-5,01635
	18	11,42209	-0,06919	-5,51107
	21	12,88504	-0,06941	-5,9288
	24	14,14363	-0,06961	-6,27032
	27	15,18841	-0,06981	-6,53645
	30	16,01214	-0,07001	-6,72804
	33	16,62272	-0,07021	-6,84598
	36	17,02942	-0,07041	-6,89089
MOD12-II-C	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	1,9218	0,01873	-6,60426
	3	3,98698	-0,03115	-7,50287
	6	6,33695	-0,03995	-8,32108
	9	8,66053	-0,04254	-9,05882
	12	10,86097	-0,04353	-9,71659
	15	12,9038	-0,04414	-10,29503
	18	14,7684	-0,04466	-10,79486
	21	16,4403	-0,04515	-11,21688
	24	17,90769	-0,04563	-11,5619
	27	19,16124	-0,04611	-11,83079
	30	20,19364	-0,04659	-12,02441
	33	21,01325	-0,04707	-12,14371
	36	21,6275	-0,04754	-12,18927
MOD12-II-D	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,50792	0,00654	-1,64575
	3	1,94041	-0,05143	-2,53366
	6	3,9777	-0,06249	-3,34318
	9	6,07183	-0,06553	-4,07348
	12	8,06593	-0,06641	-4,72482
	15	9,90844	-0,0668	-5,29771
	18	11,57434	-0,06706	-5,79281
	21	13,04798	-0,06729	-6,21086
	24	14,31726	-0,06751	-6,55264
	27	15,37272	-0,06773	-6,81898
	30	16,20713	-0,06795	-7,01071
	33	16,82841	-0,06817	-7,12876
	36	17,24571	-0,06838	-7,17372
MOD12-II-E	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,21902	0,00149	-0,87146
	3	1,50204	-0,05621	-1,75677
	6	3,47636	-0,068	-2,56421
	9	5,53097	-0,07127	-3,29274
	12	7,49211	-0,07214	-3,94254
	15	9,30332	-0,07249	-4,51411
	18	10,93838	-0,0727	-5,00808
	21	12,3813	-0,07288	-5,42518
	24	13,6199	-0,07305	-5,76618
	27	14,64468	-0,07321	-6,0319
	30	15,44844	-0,07338	-6,22319
	33	16,03899	-0,07354	-6,34093
	36	16,42587	-0,0737	-6,38575

MOD12-III-A	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0	-0,00658	-3,82663
	3	3,39747	-0,00976	-4,72525
	6	6,02087	-0,01034	-5,54097
	9	8,35603	-0,0105	-6,27593
	12	10,50048	-0,01055	-6,93114
	15	12,46944	-0,01058	-7,50732
	18	14,25539	-0,01061	-8,00522
	21	15,8474	-0,01063	-8,42561
	24	17,23458	-0,01065	-8,76931
	27	18,40782	-0,01067	-9,03715
	30	19,35993	-0,01069	-9,23001
	33	20,09909	-0,01072	-9,34879
	36	20,63348	-0,01074	-9,3941
MOD12-III-B	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,6321	0,00004396	-1,57665
	3	2,19708	-0,00063	-2,46531
	6	4,26161	-0,00077	-3,27535
	9	6,36498	-0,0008	-4,00604
	12	8,36125	-0,00081	-4,65771
	15	10,20413	-0,00082	-5,23088
	18	11,86994	-0,00082	-5,72622
	21	13,34337	-0,00082	-6,14447
	24	14,6124	-0,00083	-6,48641
	27	15,66761	-0,00083	-6,75287
	30	16,50176	-0,00083	-6,94471
	33	17,1228	-0,00083	-7,06281
	36	17,5398	-0,00083	-7,1078
MOD12-III-C	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	2,26663	-0,00148	-2,97551
	3	4,62481	-0,0044	-3,35596
	6	7,05827	-0,00502	-3,70454
	9	9,41942	-0,00521	-4,02125
	12	11,64464	-0,00528	-4,30605
	15	13,70882	-0,00532	-4,55888
	18	15,59388	-0,00536	-4,77967
	21	17,28601	-0,0054	-4,96839
	24	18,77357	-0,00543	-5,12498
	27	20,04726	-0,00547	-5,24941
	30	21,09979	-0,0055	-5,34165
	33	21,93956	-0,00554	-5,40172
	36	22,5739	-0,00557	-5,42941
MOD12-III-D	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,67489	-0,0000897	-1,8191
	3	2,29143	-0,00105	-2,7085
	6	4,3767	-0,00125	-3,51912
	9	6,49282	-0,00131	-4,25031
	12	8,49974	-0,00132	-4,9024
	15	10,35269	-0,00133	-5,47593
	18	12,02844	-0,00133	-5,97158
	21	13,51176	-0,00134	-6,3901
	24	14,79067	-0,00134	-6,73225
	27	15,85576	-0,00135	-6,99889
	30	16,69978	-0,00135	-7,19085
	33	17,33072	-0,00135	-7,30903
	36	17,75753	-0,00136	-7,35406
MOD12-III-E	h (m)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	0	0,32347	0,00046	-0,94377
	3	1,71134	0,00072	-1,83019
	6	3,70968	0,0008	-2,63852
	9	5,77582	0,00082	-3,36777
	12	7,74268	0,00082	-4,0182
	15	9,55818	0,00083	-4,59029
	18	11,19717	0,00083	-5,08472
	21	12,64392	0,00083	-5,50221
	24	13,88631	0,00083	-5,84353
	27	14,91489	0,00083	-6,1095
	30	15,72244	0,00084	-6,30097
	33	16,31681	0,00084	-6,41884
	36	16,70739	0,00084	-6,46371

**Relação de tabelas com Esforços Axiais (tf) nos pilares dos modelos analisados e comparativo entre modelos com ISE e sem ISE.**



	MOD04-I-A					MOD04-I-B				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	31,7651	31,2936	30,2162	29,4304	13,066	37,734	37,0792	35,6526	34,5612	15,9876
P2	63,4571	63,7787	59,3852	59,9212	28,099	61,0876	61,4219	57,0501	57,6072	27,4581
P3	31,7651	32,648	30,2162	31,6878	13,066	37,734	38,8992	35,6526	37,5946	15,9876
P4	60,1234	59,0794	56,5185	54,7785	26,6562	61,8645	60,6714	57,924	55,9355	28,0587
P5	103,70	103,70	95,03	95,03	52,46	88,0832	88,1265	81,1553	81,2275	43,4486
P6	60,1234	61,1809	56,5185	58,2811	26,6562	61,8645	63,1271	57,924	60,0284	28,0587
P7	56,028	54,9817	52,7102	50,9664	25,0503	62,7785	61,5114	58,7325	56,6207	28,812
P8	98,0707	98,0709	89,8525	89,8527	50,1339	89,2799	89,28	82,1548	82,155	44,6279
P9	56,028	57,074	52,7102	54,4535	25,0503	62,7785	64,0451	58,7325	60,8435	28,812
P10	60,1373	59,0794	56,5418	54,7785	26,6562	61,9345	60,6714	58,0406	55,9355	28,0587
P11	103,6993	103,6997	95,0282	95,0287	52,4646	88,1696	88,1265	81,2993	81,2275	43,4486
P12	60,1373	61,1809	56,5418	58,2811	26,6562	61,9345	63,1271	58,0406	60,0284	28,0587
P13	32,1765	31,2936	30,9018	29,4304	13,066	38,2442	37,0792	36,5029	34,5612	15,9876
P14	64,0997	63,7787	60,4562	59,9212	28,099	61,7553	61,4219	58,163	57,6072	27,4581
P15	32,1765	32,648	30,9018	31,6878	13,066	38,2442	38,8992	36,5029	37,5946	15,9876

	MOD04-I-A					MOD04-I-C				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	31,7651	31,2936	30,2162	29,4304	13,066	33,1769	32,5734	31,4729	30,4672	13,7279
P2	63,4571	63,7787	59,3852	59,9212	28,099	62,9376	63,312	58,8215	59,4455	28,0606
P3	31,7651	32,648	30,2162	31,6878	13,066	33,1769	34,2885	31,4729	33,3257	13,7279
P4	60,1234	59,0794	56,5185	54,7785	26,6562	60,7062	59,4474	56,9935	54,8955	27,1229
P5	103,70	103,70	95,03	95,03	52,46	98,9653	98,9768	90,8434	90,8626	49,7425
P6	60,1234	61,1809	56,5185	58,2811	26,6562	60,7062	61,9902	56,9935	59,1335	27,1229
P7	56,028	54,9817	52,7102	50,9664	25,0503	58,1746	56,8897	54,6247	52,4832	26,2196
P8	98,0707	98,0709	89,8525	89,8527	50,1339	95,9614	95,9616	88,0189	88,0193	48,8019
P9	56,028	57,074	52,7102	54,4535	25,0503	58,1746	59,459	54,6247	56,7653	26,2196
P10	60,1373	59,0794	56,5418	54,7785	26,6562	60,7321	59,4474	57,0366	54,8955	27,1229
P11	103,6993	103,6997	95,0282	95,0287	52,4646	98,9881	98,9768	90,8813	90,8626	49,7425
P12	60,1373	61,1809	56,5418	58,2811	26,6562	60,7321	61,9902	57,0366	59,1335	27,1229
P13	32,1765	31,2936	30,9018	29,4304	13,066	33,685	32,5734	32,3198	30,4672	13,7279
P14	64,0997	63,7787	60,4562	59,9212	28,099	63,6854	63,312	60,0677	59,4455	28,0606
P15	32,1765	32,648	30,9018	31,6878	13,066	33,685	34,2885	32,3198	33,3257	13,7279

	MOD04-II-A					MOD04-II-B				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	33,1838	32,2129	31,4024	29,7842	13,7973	32,9272	32,2833	31,2491	30,176	13,6311
P2	61,7706	62,2129	57,694	58,4312	27,5142	62,3442	62,7027	58,2948	58,8922	27,7111
P3	33,1838	34,8783	31,4024	34,2266	13,7973	32,9272	34,0788	31,2491	33,1685	13,6311
P4	59,5555	57,7367	55,9487	52,9175	26,5462	59,8108	58,5183	56,1845	54,0303	26,6394
<b>P5</b>	<b>102,4334</b>	<b>102,3978</b>	<b>94,0643</b>	<b>94,005</b>	<b>51,3989</b>	<b>102,2703</b>	<b>102,267</b>	<b>93,8479</b>	<b>93,8423</b>	<b>51,4265</b>
P6	59,5555	61,3621	55,9487	58,9598	26,5462	59,8108	61,1238	56,1845	58,3728	26,6394
P7	57,0216	55,1928	53,5675	50,5196	25,654	56,9412	55,6296	53,5079	51,3219	25,5904
<b>P8</b>	<b>97,8428</b>	<b>97,8431</b>	<b>89,7451</b>	<b>89,7455</b>	<b>49,7421</b>	<b>97,6574</b>	<b>97,6576</b>	<b>89,5483</b>	<b>89,5486</b>	<b>49,7124</b>
P9	57,0216	58,8499	53,5675	56,6146	25,654	56,9412	58,2524	53,5079	55,6931	25,5904
P10	59,5439	57,7367	55,9294	52,9175	26,5462	59,8318	58,5183	56,2194	54,0303	26,6394
<b>P11</b>	<b>102,362</b>	<b>102,3978</b>	<b>93,9452</b>	<b>94,005</b>	<b>51,3989</b>	<b>102,2634</b>	<b>102,267</b>	<b>93,8364</b>	<b>93,8423</b>	<b>51,4265</b>
P12	59,5439	61,3621	55,9294	58,9598	26,5462	59,8318	61,1238	56,2194	58,3728	26,6394
P13	33,9072	32,2129	32,6081	29,7842	13,7973	33,4348	32,2833	32,0952	30,176	13,6311
P14	62,6544	62,2129	59,167	58,4312	27,5142	63,0605	62,7027	59,4885	58,8922	27,7111
P15	33,9072	34,8783	32,6081	34,2266	13,7973	33,4348	34,0788	32,0952	33,1685	13,6311

	MOD04-II-A					MOD04-II-C				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	33,1838	32,2129	31,4024	29,7842	13,7973	37,3682	36,6218	35,2989	34,0549	15,8443
P2	61,7706	62,2129	57,694	58,4312	27,5142	56,7775	57,1263	53,0593	53,6407	25,3733
P3	33,1838	34,8783	31,4024	34,2266	13,7973	37,3682	38,6701	35,2989	37,4688	15,8443
P4	59,5555	57,7367	55,9487	52,9175	26,5462	56,679	55,3734	53,1415	50,9654	25,5333
<b>P5</b>	<b>102,4334</b>	<b>102,3978</b>	<b>94,0643</b>	<b>94,005</b>	<b>51,3989</b>	<b>103,8043</b>	<b>103,858</b>	<b>95,6589</b>	<b>95,7482</b>	<b>51,0178</b>
P6	59,5555	61,3621	55,9487	58,9598	26,5462	56,679	58,0528	53,1415	55,4312	25,5333
P7	57,0216	55,1928	53,5675	50,5196	25,654	56,7825	55,4024	53,2081	50,9079	25,8776
<b>P8</b>	<b>97,8428</b>	<b>97,8431</b>	<b>89,7451</b>	<b>89,7455</b>	<b>49,7421</b>	<b>100,5178</b>	<b>100,518</b>	<b>92,4938</b>	<b>92,494</b>	<b>50,2024</b>
P9	57,0216	58,8499	53,5675	56,6146	25,654	56,7825	58,1623	53,2081	55,5077	25,8776
P10	59,5439	57,7367	55,9294	52,9175	26,5462	56,7476	55,3734	53,2558	50,9654	25,5333
<b>P11</b>	<b>102,362</b>	<b>102,3978</b>	<b>93,9452</b>	<b>94,005</b>	<b>51,3989</b>	<b>103,9113</b>	<b>103,858</b>	<b>95,8373</b>	<b>95,7482</b>	<b>51,0178</b>
P12	59,5439	61,3621	55,9294	58,9598	26,5462	56,7476	58,0528	53,2558	55,4312	25,5333
P13	33,9072	32,2129	32,6081	29,7842	13,7973	37,9236	36,6218	36,2246	34,0549	15,8443
P14	62,6544	62,2129	59,167	58,4312	27,5142	57,4745	57,1263	54,221	53,6407	25,3733
P15	33,9072	34,8783	32,6081	34,2266	13,7973	37,9236	38,6701	36,2246	37,4688	15,8443

	MOD04-II-A					MOD04-II-D				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	33,1838	32,2129	31,4024	29,7842	13,7973	33,2498	32,6018	31,5451	30,4652	13,7871
P2	61,7706	62,2129	57,694	58,4312	27,5142	61,9062	62,2639	57,8828	58,4789	27,5269
P3	33,1838	34,8783	31,4024	34,2266	13,7973	33,2498	34,4082	31,5451	33,4758	13,7871
P4	59,5555	57,7367	55,9487	52,9175	26,5462	59,5566	58,2665	55,9389	53,7887	26,5468
<b>P5</b>	<b>102,4334</b>	<b>102,3978</b>	<b>94,0643</b>	<b>94,005</b>	<b>51,3989</b>	<b>102,4379</b>	<b>102,438</b>	<b>94,0304</b>	<b>94,0312</b>	<b>51,4263</b>
P6	59,5555	61,3621	55,9487	58,9598	26,5462	59,5566	60,8701	55,9389	58,128	26,5468
P7	57,0216	55,1928	53,5675	50,5196	25,654	56,9752	55,6614	53,5288	51,3391	25,631
<b>P8</b>	<b>97,8428</b>	<b>97,8431</b>	<b>89,7451</b>	<b>89,7455</b>	<b>49,7421</b>	<b>97,8394</b>	<b>97,8396</b>	<b>89,7349</b>	<b>89,7352</b>	<b>49,7463</b>
P9	57,0216	58,8499	53,5675	56,6146	25,654	56,9752	58,2887	53,5288	55,7179	25,631
P10	59,5439	57,7367	55,9294	52,9175	26,5462	59,5804	58,2665	55,9786	53,7887	26,5468
<b>P11</b>	<b>102,362</b>	<b>102,3978</b>	<b>93,9452</b>	<b>94,005</b>	<b>51,3989</b>	<b>102,4386</b>	<b>102,438</b>	<b>94,0317</b>	<b>94,0312</b>	<b>51,4263</b>
P12	59,5439	61,3621	55,9294	58,9598	26,5462	59,5804	60,8701	55,9786	58,128	26,5468
P13	33,9072	32,2129	32,6081	29,7842	13,7973	33,7601	32,6018	32,3957	30,4652	13,7871

P14	62,6544	62,2129	59,167	58,4312	27,5142	62,6209	62,2639	59,0739	58,4789	27,5269
P15	33,9072	34,8783	32,6081	34,2266	13,7973	33,7601	34,4082	32,3957	33,4758	13,7871

	MOD04-II-A					MOD04-II-E				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	33,1838	32,2129	31,4024	29,7842	13,7973	32,4273	31,8143	30,7954	29,7738	13,3894
P2	61,7706	62,2129	57,694	58,4312	27,5142	63,0413	63,394	58,9557	59,5435	27,9986
P3	33,1838	34,8783	31,4024	34,2266	13,7973	32,4273	33,5308	30,7954	32,6347	13,3894
P4	59,5555	57,7367	55,9487	52,9175	26,5462	60,2093	58,9477	56,569	54,4664	26,7839
<b>P5</b>	<b>102,4334</b>	<b>102,3978</b>	<b>94,0643</b>	<b>94,005</b>	<b>51,3989</b>	<b>102,018</b>	<b>102,013</b>	<b>93,567</b>	<b>93,5578</b>	<b>51,4326</b>
P6	59,5555	61,3621	55,9487	58,9598	26,5462	60,2093	61,4891	56,569	58,702	26,7839
P7	57,0216	55,1928	53,5675	50,5196	25,654	56,8554	55,5812	53,4454	51,3217	25,5131
<b>P8</b>	<b>97,8428</b>	<b>97,8431</b>	<b>89,7451</b>	<b>89,7455</b>	<b>49,7421</b>	<b>97,3998</b>	<b>97,4</b>	<b>89,2813</b>	<b>89,2816</b>	<b>49,6691</b>
P9	57,0216	58,8499	53,5675	56,6146	25,654	56,8554	58,1292	53,4454	55,5684	25,5131
P10	59,5439	57,7367	55,9294	52,9175	26,5462	60,228	58,9477	56,6001	54,4664	26,7839
<b>P11</b>	<b>102,362</b>	<b>102,3978</b>	<b>93,9452</b>	<b>94,005</b>	<b>51,3989</b>	<b>102,0067</b>	<b>102,013</b>	<b>93,5482</b>	<b>93,5578</b>	<b>51,4326</b>
P12	59,5439	61,3621	55,9294	58,9598	26,5462	60,228	61,4891	56,6001	58,702	26,7839
P13	33,9072	32,2129	32,6081	29,7842	13,7973	32,9177	31,8143	31,6128	29,7738	13,3894
P14	62,6544	62,2129	59,167	58,4312	27,5142	63,746	63,394	60,1302	59,5435	27,9986
P15	33,9072	34,8783	32,6081	34,2266	13,7973	32,9177	33,5308	31,6128	32,6347	13,3894





	MOD08-1-A					MOD08-I-B				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	70,4786	68,1182	66,234	62,3	28,4721	92,2056	88,8539	85,9285	80,3424	39,5215
P2	134,2186	136,2736	124,551	127,9759	58,884	128,1532	130,0487	118,6703	121,8294	57,3899
P3	70,4786	75,4148	66,234	74,4611	28,4721	92,2056	98,6405	85,9285	96,6534	39,5215
P4	130,8204	125,3264	122,6529	113,4962	57,2065	134,1487	128,4865	125,0966	115,6596	60,3891
P5	208,7615	208,9553	191,5444	191,8675	104,292	166,3301	166,8574	153,5846	154,4635	79,5887
P6	130,8204	136,8033	122,6529	132,6243	57,2065	134,1487	140,7808	125,0966	136,1501	60,3891
P7	125,8967	120,2265	118,1769	108,7267	55,5615	138,7134	132,4337	129,5319	119,0657	63,0311
P8	202,4537	202,454	185,7424	185,7429	102,2728	171,268	171,2681	158,286	158,2861	82,8002
P9	125,8967	131,5662	118,1769	127,6261	55,5615	138,7134	144,9924	129,5319	139,9968	63,0311
P10	131,3101	125,3264	123,469	113,4962	57,2065	135,1193	128,4865	126,7142	115,6596	60,3891
P11	209,1489	208,9553	192,1901	191,8675	104,292	167,3846	166,8574	155,3422	154,4635	79,5887
P12	131,3101	136,8033	123,469	132,6243	57,2065	135,1193	140,7808	126,7142	136,1501	60,3891
P13	73,0542	68,1182	70,5268	62,3	28,4721	95,2885	88,8539	91,0667	80,3424	39,5215
P14	138,3272	136,2736	131,3986	127,9759	58,884	131,943	130,0487	124,9866	121,8294	57,3899
P15	73,0542	75,4148	70,5268	74,4611	28,4721	95,2885	98,6405	91,0667	96,6534	39,5215

	MOD08-1-A					MOD08-1-C				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	70,4786	68,1182	66,234	62,3	28,4721	76,6597	73,7068	71,7302	66,8086	31,5974
P2	134,2186	136,2736	124,551	127,9759	58,884	132,2382	134,4249	122,4562	126,1007	58,6313
P3	70,4786	75,4148	66,234	74,4611	28,4721	76,6597	82,6614	71,7302	81,7331	31,5974
P4	130,8204	125,3264	122,6529	113,4962	57,2065	132,6215	126,4945	124,0653	113,8537	58,7371
P5	208,7615	208,9553	191,5444	191,8675	104,292	192,8965	193,2258	177,3808	177,9296	94,9811
P6	130,8204	136,8033	122,6529	132,6243	57,2065	132,6215	139,4034	124,0653	135,3685	58,7371
P7	125,8967	120,2265	118,1769	108,7267	55,5615	131,8531	125,3559	123,4746	112,646	58,9842
P8	202,4537	202,454	185,7424	185,7429	102,2728	192,4906	192,4909	177,0092	177,0097	95,9314
P9	125,8967	131,5662	118,1769	127,6261	55,5615	131,8531	138,3493	123,4746	134,3015	58,9842
P10	131,3101	125,3264	123,469	113,4962	57,2065	133,2776	126,4945	125,1588	113,8537	58,7371
P11	209,1489	208,9553	192,1901	191,8675	104,292	193,5547	193,2258	178,4777	177,9296	94,9811
P12	131,3101	136,8033	123,469	132,6243	57,2065	133,2776	139,4034	125,1588	135,3685	58,7371
P13	73,0542	68,1182	70,5268	62,3	28,4721	79,7081	73,7068	76,8108	66,8086	31,5974
P14	138,3272	136,2736	131,3986	127,9759	58,884	136,6098	134,4249	129,7422	126,1007	58,6313
P15	73,0542	75,4148	70,5268	74,4611	28,4721	79,7081	82,6614	76,8108	81,7331	31,5974



	MOD08-II-A					MOD08-II-B				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	71,129	68,4859	66,2952	61,89	29,3894	71,8481	69,4117	67,3282	63,2675	29,3681
P2	131,9287	134,5487	121,9718	126,3386	58,2791	132,0741	134,2648	122,4223	126,0735	58,1171
P3	71,129	77,474	66,2952	76,8703	29,3894	71,8481	77,1552	67,3282	76,1734	29,3681
P4	129,8519	123,7057	121,5574	111,3138	57,1586	129,6519	124,0163	121,4516	112,0589	56,9335
P5	208,8855	209,1645	192,0707	192,5357	102,9308	209,4089	209,6721	192,4068	192,8454	103,6693
P6	129,8519	136,7524	121,5574	133,0584	57,1586	129,6519	135,8967	121,4516	131,8596	56,9335
P7	126,3532	119,931	118,4451	107,7414	56,2005	126,0066	120,1204	118,1741	108,3637	55,8936
P8	203,2709	203,2671	186,8367	186,8303	101,5554	203,4377	203,4328	186,8759	186,8676	102,0238
P9	126,3532	132,7782	118,4451	129,1534	56,2005	126,0066	131,8972	118,1741	127,9918	55,8936
P10	130,5998	123,7013	122,8072	111,3097	57,1564	130,2513	124,01	122,4551	112,053	56,9305
P11	209,4127	209,1249	192,9789	192,4994	102,9106	209,9038	209,6268	193,2655	192,8039	103,6465
P12	130,5998	136,7481	122,8072	133,0543	57,1564	130,2513	135,8908	122,4551	131,8542	56,9305
P13	74,8083	68,4639	72,4437	61,8697	29,3782	74,6739	69,3674	72,0707	63,2266	29,3458
P14	137,0476	134,4318	130,5902	126,2306	58,2203	136,3415	134,1564	129,6155	125,9736	58,0628
P15	74,8083	77,4521	72,4437	76,85	29,3782	74,6739	77,1112	72,0707	76,1329	29,3458

	MOD08-II-A					MOD08-II-C				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	71,129	68,4859	66,2952	61,89	29,3894	70,3679	67,7996	65,7009	61,4203	29,5404
P2	131,9287	134,5487	121,9718	126,3386	58,2791	133,3425	135,6453	123,4987	127,3366	58,9413
P3	71,129	77,474	66,2952	76,8703	29,3894	70,3679	75,7095	65,7009	74,6035	29,5404
P4	129,8519	123,7057	121,5574	111,3138	57,1586	130,9811	124,977	122,412	112,4052	58,1028
P5	208,8855	209,1645	192,0707	192,5357	102,9308	206,3192	206,8923	190,0957	191,0508	99,8952
P6	129,8519	136,7524	121,5574	133,0584	57,1586	130,9811	137,9715	122,412	134,0626	58,1028
P7	126,3532	119,931	118,4451	107,7414	56,2005	127,9751	121,6043	119,7751	109,1571	57,4559
P8	203,2709	203,2671	186,8367	186,8303	101,5554	202,2472	202,2458	186,3845	186,3822	99,3851
P9	126,3532	132,7782	118,4451	129,1534	56,2005	127,9751	134,3466	119,7751	130,3942	57,4559
P10	130,5998	123,7013	122,8072	111,3097	57,1564	131,9593	124,9693	124,0479	112,3979	58,0989
P11	209,4127	209,1249	192,9789	192,4994	102,9106	207,4366	206,86	191,9821	191,0211	99,8785
P12	130,5998	136,7481	122,8072	133,0543	57,1564	131,9593	137,9639	124,0479	134,0555	58,0989
P13	74,8083	68,4639	72,4437	61,8697	29,3782	73,1208	67,7797	70,3035	61,4017	29,5301
P14	137,0476	134,4318	130,5902	126,2306	58,2203	137,8758	135,5754	131,1057	127,2717	58,9063
P15	74,8083	77,4521	72,4437	76,85	29,3782	73,1208	75,6896	70,3035	74,585	29,5301

	MOD08-II-A					MOD08-II-D				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	71,129	68,4859	66,2952	61,89	29,3894	71,7349	69,2881	67,2058	63,1279	29,3738
P2	131,9287	134,5487	121,9718	126,3386	58,2791	132,1887	134,3888	122,5226	126,1895	58,1812
P3	71,129	77,474	66,2952	76,8703	29,3894	71,7349	77,0453	67,2058	76,0566	29,3738
P4	129,8519	123,7057	121,5574	111,3138	57,1586	129,7546	124,0913	121,5289	112,0901	57,0183
P5	208,8855	209,1645	192,0707	192,5357	102,9308	209,1777	209,4612	192,2321	192,7046	103,3979
P6	129,8519	136,7524	121,5574	133,0584	57,1586	129,7546	136,0516	121,5289	132,024	57,0183
P7	126,3532	119,931	118,4451	107,7414	56,2005	126,134	120,2149	118,2749	108,4097	56,0035
P8	203,2709	203,2671	186,8367	186,8303	101,5554	203,3523	203,3478	186,8356	186,828	101,8513
P9	126,3532	132,7782	118,4451	129,1534	56,2005	126,134	132,0571	118,2749	128,1466	56,0035
P10	130,5998	123,7013	122,8072	111,3097	57,1564	130,3787	124,0848	122,5739	112,084	57,0151
P11	209,4127	209,1249	192,9789	192,4994	102,9106	209,7133	209,4172	193,1577	192,6642	103,3757
P12	130,5998	136,7481	122,8072	133,0543	57,1564	130,3787	136,0454	122,5739	132,0184	57,0151
P13	74,8083	68,4639	72,4437	61,8697	29,3782	74,5566	69,2468	71,9394	63,0896	29,3529
P14	137,0476	134,4318	130,5902	126,2306	58,2203	136,48	134,2851	129,752	126,0938	58,1292
P15	74,8083	77,4521	72,4437	76,85	29,3782	74,5566	77,0042	71,9394	76,0187	29,3529

	MOD08-II-A					MOD08-II-E				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	71,129	68,4859	66,2952	61,89	29,3894	72,0529	69,6385	67,5646	63,5408	29,3546
P2	131,9287	134,5487	121,9718	126,3386	58,2791	131,9233	134,0763	122,3082	125,8965	58,0174
P3	71,129	77,474	66,2952	76,8703	29,3894	72,0529	77,3065	67,5646	76,3208	29,3546
P4	129,8519	123,7057	121,5574	111,3138	57,1586	129,4981	123,9262	121,3409	112,0545	56,7954
P5	208,8855	209,1645	192,0707	192,5357	102,9308	209,7632	209,997	192,6609	193,0505	104,1239
P6	129,8519	136,7524	121,5574	133,0584	57,1586	129,4981	135,6341	121,3409	131,5676	56,7954
P7	126,3532	119,931	118,4451	107,7414	56,2005	125,802	119,9894	118,0154	108,3278	55,7083
P8	203,2709	203,2671	186,8367	186,8303	101,5554	203,5475	203,5418	186,9108	186,9011	102,3029
P9	126,3532	132,7782	118,4451	129,1534	56,2005	125,802	131,6198	118,0154	127,7119	55,7083
P10	130,5998	123,7013	122,8072	111,3097	57,1564	130,0517	123,9199	122,2681	112,0485	56,7923
P11	209,4127	209,1249	192,9789	192,4994	102,9106	210,2005	209,9505	193,4246	193,0079	104,1005
P12	130,5998	136,7481	122,8072	133,0543	57,1564	130,0517	135,6281	122,2681	131,5622	56,7923
P13	74,8083	68,4639	72,4437	61,8697	29,3782	74,8387	69,5856	72,247	63,4919	29,3281
P14	137,0476	134,4318	130,5902	126,2306	58,2203	136,1087	133,962	129,3692	125,7913	57,9601
P15	74,8083	77,4521	72,4437	76,85	29,3782	74,8387	77,2539	72,247	76,2723	29,3281







	MOD 12-I-A					MOD 12-I-B				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	123,3161	116,2897	114,8111	103,1005	52,6416	163,6787	154,1823	151,4124	135,5851	73,8789
P2	207,2792	212,3406	191,4395	199,875	94,1631	200,1433	204,7538	184,5686	192,2528	92,5703
P3	123,3161	137,8819	114,8111	139,0874	52,6416	163,6787	181,5255	151,4124	181,1571	73,8789
P4	208,7089	194,8834	195,971	172,9284	93,665	211,8245	197,9371	197,563	174,4173	97,6053
P5	315,0597	315,5305	290,1579	290,9427	158,3503	246,2826	247,7426	228,0875	230,5216	118,3622
P6	208,7089	223,5092	195,971	220,6381	93,665	211,8245	228,4366	197,563	225,2498	97,6053
P7	206,2229	192,1194	193,8579	170,3521	93,2052	220,1101	204,72	206,0445	180,3943	101,7816
P8	311,0639	311,0644	286,5115	286,5123	157,8734	255,0047	255,0047	236,9155	236,9156	123,1716
P9	206,2229	220,3255	193,8579	217,3622	93,2052	220,1101	235,4994	206,0445	231,6934	101,7816
P10	209,685	194,8834	197,5978	172,9284	93,665	214,5499	197,9371	202,1054	174,4173	97,6053
P11	316,0009	315,5305	291,7267	290,9427	158,3503	249,2028	247,7426	232,9553	230,5216	118,3622
P12	209,685	223,5092	197,5978	220,6381	93,665	214,5499	228,4366	202,1054	225,2498	97,6053
P13	130,8551	116,2897	127,3761	103,1005	52,6416	172,0287	154,1823	165,3291	135,5851	73,8789
P14	217,3999	212,3406	208,3072	199,875	94,1631	209,3631	204,7538	199,9348	192,2528	92,5703
P15	130,8551	137,8819	127,3761	139,0874	52,6416	172,0287	181,5255	165,3291	181,1571	73,8789

	MOD 12-I-A					MOD 12-I-C				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	123,3161	116,2897	114,8111	103,1005	52,6416	136,7367	128,1408	126,7385	112,4119	59,7511
P2	207,2792	212,3406	191,4395	199,875	94,1631	203,7556	208,9982	187,7611	196,4988	93,5112
P3	123,3161	137,8819	114,8111	139,0874	52,6416	136,7367	153,8856	126,7385	155,32	59,7511
P4	208,7089	194,8834	195,971	172,9284	93,665	211,2909	196,2775	197,8054	172,783	96,07
P5	315,0597	315,5305	290,1579	290,9427	158,3503	285,8856	286,7829	263,8792	265,3747	141,2473
P6	208,7089	223,5092	195,971	220,6381	93,665	211,2909	227,9237	197,8054	225,5266	96,07
P7	206,2229	192,1194	193,8579	170,3521	93,2052	215,0095	199,1675	201,6434	175,2399	98,4656
P8	311,0639	311,0644	286,5115	286,5123	157,8734	290,3444	290,3447	268,2553	268,2559	144,8041
P9	206,2229	220,3255	193,8579	217,3622	93,2052	215,0095	230,8504	201,6434	228,0448	98,4656
P10	209,685	194,8834	197,5978	172,9284	93,665	212,9118	196,2775	200,5067	172,783	96,07
P11	316,0009	315,5305	291,7267	290,9427	158,3503	287,6797	286,7829	266,8695	265,3747	141,2473
P12	209,685	223,5092	197,5978	220,6381	93,665	212,9118	227,9237	200,5067	225,5266	96,07
P13	130,8551	116,2897	127,3761	103,1005	52,6416	145,2891	128,1408	140,9926	112,4119	59,7511
P14	217,3999	212,3406	208,3072	199,875	94,1631	214,2384	208,9982	205,2324	196,4988	93,5112
P15	130,8551	137,8819	127,3761	139,0874	52,6416	145,2891	153,8856	140,9926	155,32	59,7511

	MOD 12-II-A					MOD 12-II-B				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	124,5492	115,8273	115,4947	102,0531	54,0381	123,8519	116,5505	115,1657	102,9967	53,2757
P2	207,1272	212,6782	190,8932	200,1449	94,6025	207,8418	212,9982	191,8762	200,4701	94,6147
P3	124,5492	141,4423	115,4947	143,6499	54,0381	123,8519	138,7197	115,1657	139,9454	53,2757
P4	209,732	194,235	196,5542	170,7259	94,7824	209,62	195,4186	196,6347	172,9657	94,4338
P5	308,4349	309,2683	284,4473	285,8362	153,1094	310,9592	311,6192	286,6079	287,7079	155,2211
P6	209,732	226,8324	196,5542	225,0548	94,7824	209,62	225,0943	196,6347	222,4252	94,4338
P7	208,6239	192,6569	195,8757	169,2639	94,9957	207,754	193,165	195,1601	170,8451	94,3049
P8	306,9689	306,9728	283,268	283,2745	154,0222	308,4999	308,5069	284,4327	284,4444	155,6127
P9	208,6239	224,5864	195,8757	222,4798	94,9957	207,754	222,3352	195,1601	219,4622	94,3049
P10	211,3003	194,1955	199,1983	170,6902	94,763	210,8586	195,3736	198,7322	172,9238	94,413
P11	310,1094	309,2848	287,2261	285,8519	153,1172	312,2907	311,6466	288,8073	287,7339	155,2337
P12	211,3003	226,7888	199,1983	225,0124	94,763	210,8586	225,0482	198,7322	222,3815	94,413
P13	132,5983	115,7821	128,9908	102,0111	53,9864	131,2908	116,4329	127,65	102,8869	53,2218
P14	218,1321	212,5755	209,3087	200,0477	94,5541	218,0376	212,871	208,9609	200,35	94,5559
P15	132,5983	141,3251	128,9908	143,5356	53,9864	131,2908	138,5998	127,65	139,8317	53,2218

	MOD 12-II-A					MOD 12-II-C				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	124,5492	115,8273	115,4947	102,0531	54,0381	127,024	119,3233	117,811	104,9764	55,7124
P2	207,1272	212,6782	190,8932	200,1449	94,6025	206,8704	212,1331	190,7983	199,5693	94,6398
P3	124,5492	141,4423	115,4947	143,6499	54,0381	127,024	142,2743	117,811	143,2283	55,7124
P4	209,732	194,235	196,5542	170,7259	94,7824	210,0732	195,3851	196,5903	172,11	95,4695
P5	308,4349	309,2683	284,4473	285,8362	153,1094	303,2547	304,4282	280,0101	281,9659	148,809
P6	209,732	226,8324	196,5542	225,0548	94,7824	210,0732	226,7927	196,5903	224,456	95,4695
P7	208,6239	192,6569	195,8757	169,2639	94,9957	210,2391	194,7986	197,2101	171,476	96,2632
P8	306,9689	306,9728	283,268	283,2745	154,0222	303,565	303,568	280,6571	280,662	150,5449
P9	208,6239	224,5864	195,8757	222,4798	94,9957	210,2391	225,6757	197,2101	222,9379	96,2632
P10	211,3003	194,1955	199,1983	170,6902	94,763	212,0737	195,3504	199,9502	172,0781	95,4525
P11	310,1094	309,2848	287,2261	285,8519	153,1172	305,5955	304,4283	283,9113	281,966	148,8091
P12	211,3003	226,7888	199,1983	225,0124	94,763	212,0737	226,7559	199,9502	224,4207	95,4525
P13	132,5983	115,7821	128,9908	102,0111	53,9864	134,4845	119,2402	130,3068	104,8997	55,6721
P14	218,1321	212,5755	209,3087	200,0477	94,5541	217,3053	212,0395	208,2571	199,4808	94,5947
P15	132,5983	141,3251	128,9908	143,5356	53,9864	134,4845	142,1866	130,3068	143,1436	55,6721

	MOD 12-II-A					MOD 12-II-D				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	124,5492	115,8273	115,4947	102,0531	54,0381	124,0637	116,7343	115,3421	103,1264	53,4361
P2	207,1272	212,6782	190,8932	200,1449	94,6025	207,7618	212,9274	191,7891	200,3984	94,6094
P3	124,5492	141,4423	115,4947	143,6499	54,0381	124,0637	138,9609	115,3421	140,1708	53,4361
P4	209,732	194,235	196,5542	170,7259	94,7824	209,6507	195,413	196,6317	172,9021	94,5062
P5	308,4349	309,2683	284,4473	285,8362	153,1094	310,4307	311,1229	286,1588	287,3125	154,7761
P6	209,732	226,8324	196,5542	225,0548	94,7824	209,6507	225,211	196,6317	222,5654	94,5062
P7	208,6239	192,6569	195,8757	169,2639	94,9957	207,9396	193,2916	195,3128	170,8995	94,4526
P8	306,9689	306,9728	283,268	283,2745	154,0222	308,1816	308,1882	284,1899	284,201	155,2833
P9	208,6239	224,5864	195,8757	222,4798	94,9957	207,9396	222,5801	195,3128	219,7138	94,4526
P10	211,3003	194,1955	199,1983	170,6902	94,763	210,9394	195,3691	198,8118	172,8613	94,4858
P11	310,1094	309,2848	287,2261	285,8519	153,1172	311,8249	311,1477	288,4645	287,3359	154,7875
P12	211,3003	226,7888	199,1983	225,0124	94,763	210,9394	225,166	198,8118	222,5228	94,4858
P13	132,5983	115,7821	128,9908	102,0111	53,9864	131,5077	116,62	127,8326	103,0197	53,3836
P14	218,1321	212,5755	209,3087	200,0477	94,5541	217,9784	212,8033	208,9063	200,2811	94,5518
P15	132,5983	141,3251	128,9908	143,5356	53,9864	131,5077	138,8442	127,8326	140,06	53,3836

	MOD12-II-A					MOD12-II-E				
	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD	SC X+	SC Y+	VT X+	VT Y+	DEAD
P1	124,5492	115,8273	115,4947	102,0531	54,0381	123,4599	116,2496	114,8472	102,8301	52,9701
P2	207,1272	212,6782	190,8932	200,1449	94,6025	208,0058	213,1361	192,059	200,6094	94,6249
P3	124,5492	141,4423	115,4947	143,6499	54,0381	123,4599	138,218	114,8472	139,444	52,9701
P4	209,732	194,235	196,5542	170,7259	94,7824	209,5573	195,4584	196,639	173,141	94,2897
P5	308,4349	309,2683	284,4473	285,8362	153,1094	311,9846	312,5831	287,4767	288,4742	156,0914
P6	209,732	226,8324	196,5542	225,0548	94,7824	209,5573	224,8301	196,639	222,0937	94,2897
P7	208,6239	192,6569	195,8757	169,2639	94,9957	207,3845	192,9418	194,8562	170,7852	94,0104
P8	306,9689	306,9728	283,268	283,2745	154,0222	309,1069	309,1147	284,8942	284,907	156,2467
P9	208,6239	224,5864	195,8757	222,4798	94,9957	207,3845	221,8186	194,8562	218,9132	94,0104
P10	211,3003	194,1955	199,1983	170,6902	94,763	210,6964	195,4115	198,572	173,0971	94,2682
P11	310,1094	309,2848	287,2261	285,8519	153,1172	313,1954	312,6147	289,472	288,5042	156,1058
P12	211,3003	226,7888	199,1983	225,0124	94,763	210,6964	224,7825	198,572	222,0489	94,2682
P13	132,5983	115,7821	128,9908	102,0111	53,9864	130,8741	116,1262	127,2942	102,7144	52,9142
P14	218,1321	212,5755	209,3087	200,0477	94,5541	218,1428	213,0008	209,0515	200,4815	94,5628
P15	132,5983	141,3251	128,9908	143,5356	53,9864	130,8741	138,0936	127,2942	139,3268	52,9142

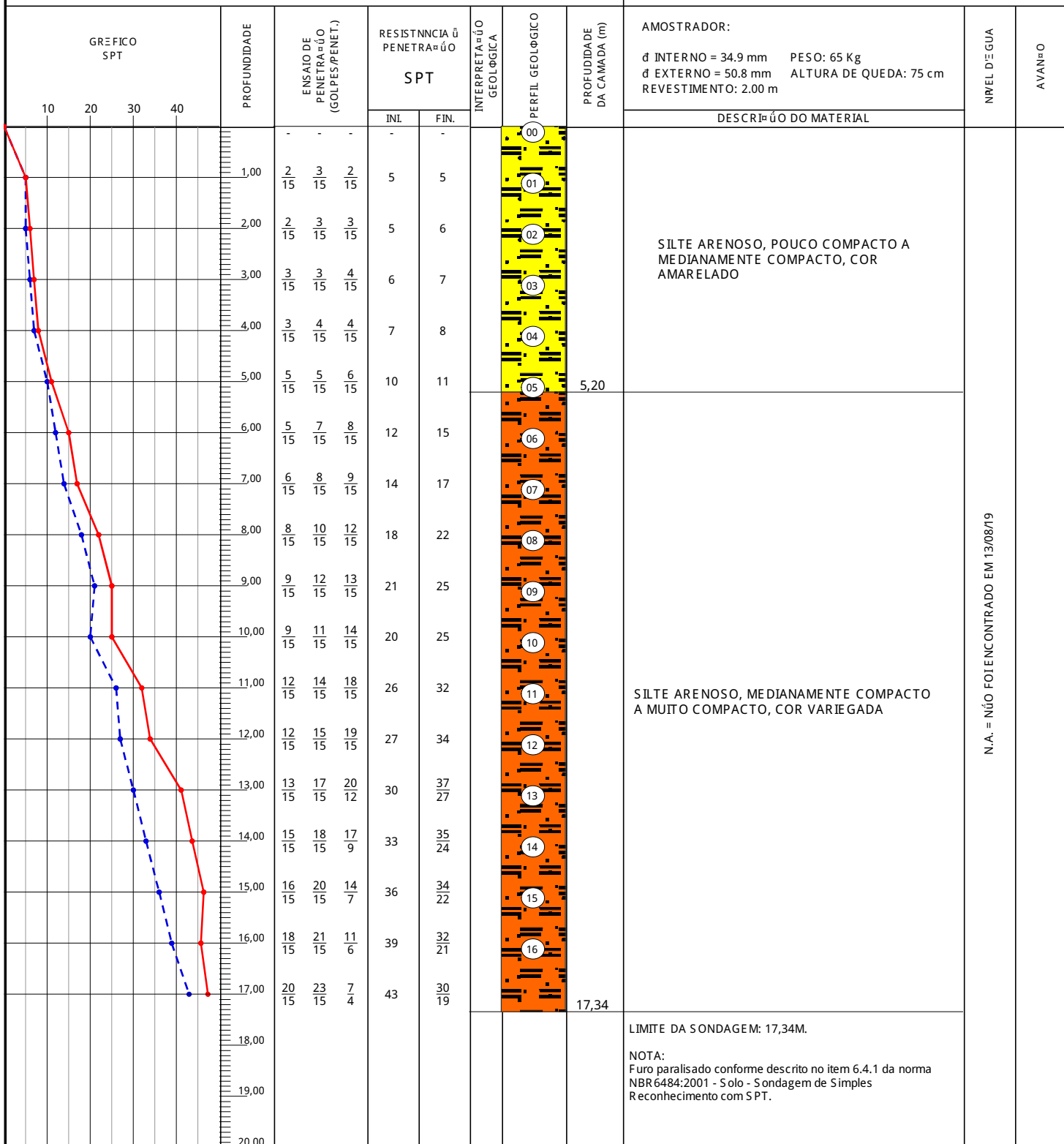






## SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO COM SPT NBR 6484/01

CLIENTE: BIRD PARTICIPAÇÕES LTDA OBRA: RESIDÊNCIA LOCAL:	SONDAGEM DE PERCUSSÃO SP-01 INÍCIO: 12/08/19      TÉRMINO: 13/08/19 COTA: 0,00      COORD. N:      E:
--	---



OBS.:

LEGENDAS:  
 30 cm INICIAIS    - - -    •    30 cm FINAIS    - - -    •    TRADO CAVADEIRA - TC    •    TRADO HELICOIDAL - TH    •    CIRCULAÇÃO DE ÁGUA - CA    •    REVESTIMENTO    ||

	DATA: 16/08/19	TRABALHO N.º: 55/19	FOLHA: 01	<b>Nicanor Azevedo Filho</b> Eng. Civil CREA/RJ - 34.790D
	ESCALA: 1/100	DESENHISTA:	SONDADOR: RAFAEL RODRIGO S. DE JESUS	



## Cálculo da Capacidade de carga em estacas pelo método Aoki-Velloso (1975)

Para estacas do tipo hélice contínua

12 PAVIMENTOS

Diâmetro da Estaca:

$$\phi_d := 33 \text{ cm}$$

Área da Estaca:

$$A_e := \frac{\pi \cdot \phi_d^2}{4} = 855.2986 \text{ cm}^2$$

Perímetro da Estaca:

$$U_e := \pi \cdot \phi_d = 103.6726 \text{ cm}$$

Comprimento da Estaca:

$$L_e := 12 \text{ m}$$

### Método Aoki-Velloso

Resistência de Ponta:

$$N_{SPT.P} := 34$$

Coefficiente de Solo:

$$K := 0.55 \text{ MPa}$$

Parâmetro da estaca:

$$F_1 := 1 + \frac{\phi_d}{0.8 \text{ m}}$$

$$F_1 = 1.4125$$

$$r_p := \frac{K \cdot N_{SPT.P}}{F_1} = 13238.9381 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Resistência Lateral:

Parâmetro  $\alpha$

$$\alpha := 2.2\%$$

Parâmetro da estaca:

$$F_2 := 2 \cdot F_1 = 2.825$$

$$N_M := \frac{5 + 6 + 7 + 8 + 11 + 15 + 17 + 22 + 25 + 25 + 32}{11}$$

$$N_M = 15.7273$$

$$r_l := \frac{\alpha \cdot K \cdot N_M}{F_2} = 67.3628 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$F_2 \quad m^2$$

Resistência Total:

$$R_{adm} := r_p \cdot A_e + r_l \cdot U_e \cdot L_e$$

$$R_{adm} = 1970.3658 \text{ kN}$$

$$R_U := \frac{R_{adm}}{2} = 985.1829 \text{ kN}$$

## 8 PAVIMENTOS

Diâmetro da Estaca:

$$\phi_d := 29 \text{ cm}$$

Área da Estaca:

$$A_e := \frac{\pi \cdot \phi_d^2}{4} = 660.5199 \text{ cm}^2$$

Perímetro da Estaca:

$$U_e := \pi \cdot \phi_d = 91.1062 \text{ cm}$$

Comprimento da Estaca:

$$L_e := 10 \text{ m}$$

## Método Aoki-Velloso

Resistência de Ponta:

$$N_{SPT.P} := 34$$

Coefficiente de Solo:

$$K := 0.55 \text{ MPa}$$

Parâmetro da estaca:

$$F_1 := 1 + \frac{\phi_d}{0.8 \text{ m}}$$

$$F_1 = 1.3625$$

$$r_p := \frac{K \cdot N_{SPT.P}}{F_1} = 13724.7706 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Resistência Lateral:

Par° metro  $\alpha$

$$\alpha := 2.2\%$$

Par° metro da estaca:

$$F_2 := 2 \quad F_1 = 2.725$$

$$N_M := \frac{5 + 6 + 7 + 8 + 11 + 15 + 17 + 22 + 25}{9}$$

$$N_M = 12.8889$$

$$r_l := \frac{\alpha \cdot K \cdot N_M}{F_2} = 57.2314 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Resist\_ncia Total:

$$R_{adm} := r_p \cdot A_e + r_l \cdot U_e \cdot L_e$$

$$R_{adm} = 1427.9618 \text{ kN}$$

$$R_U := \frac{R_{adm}}{2} = 713.9809 \text{ kN}$$

#### 4 PAVIMENTOS

Di° metro da Estaca:

$$\phi_d := 22 \text{ cm}$$

Área da Estaca:

$$A_e := \frac{\pi \cdot \phi_d^2}{4} = 380.1327 \text{ cm}^2$$

Perímetro da Estaca:

$$U_e := \pi \cdot \phi_d = 69.115 \text{ cm}$$

Comprimento da Estaca:

$$L_e := 8 \text{ m}$$

## Método Aoki-Velloso

Resistencia de Ponta:

$$N_{SPT.P} := 34$$

Coeficiente de Solo:

$$K := 0.55 \text{ MPa}$$

Parâmetro da estaca:

$$F_1 := 1 + \frac{\phi_d}{0.8 \text{ m}}$$

$$F_1 = 1.275$$

$$r_p := \frac{K \cdot N_{SPT.P}}{F_1} = 14666.6667 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Resistência Lateral:

Parâmetro  $\alpha$

$$\alpha := 2.2\%$$

Parâmetro da estaca:

$$F_2 := 2 \quad F_1 = 2.55$$

$$N_M := \frac{5 + 6 + 7 + 8 + 11 + 15 + 17 + 22 + 25 + 25 + 32}{11}$$

$$N_M = 15.7273$$

$$r_l := \frac{\alpha \cdot K \cdot N_M}{F_2} = 74.6275 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Resistência Total:

$$R_{adm} := r_p \cdot A_e + r_l \cdot U_e \cdot L_e$$

$$R_{adm} = 970.1583 \text{ kN}$$

$$R_U := \frac{R_{adm}}{2} = 485.0792 \text{ kN}$$

## CÁLCULO DO COEFICIENTE DE ESTABILIDADE GLOBAL Gama-Z

### MOD04-I-A

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.2184 \text{ cm} \quad N_1 := 207.712 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.1992 \text{ cm} \quad N_2 := 448.553 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.1503 \text{ cm} \quad N_3 := 690.098 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.0754 \text{ cm} \quad N_4 := 921.059 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 3.079 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.023$$

### MOD04-I-B

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.28446 \text{ cm} \quad N_1 := 193.842 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.25874 \text{ cm} \quad N_2 := 413.514 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.20287 \text{ cm} \quad N_3 := 634.382 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.12019 \text{ cm} \quad N_4 := 875.538 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 3.961 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.03$$

### MOD04-I-C

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.24883 \text{ cm} \quad N_1 := 204.517 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.22830 \text{ cm} \quad N_2 := 440.219 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.17796 \text{ cm} \quad N_3 := 676.793 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.10068 \text{ cm} \quad N_4 := 941.062 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 3.666 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.028$$

### MOD04-II-A

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 1.02805 \text{ cm} \quad N_1 := 207.583 \text{ kN}$$

$$U_2 := 1.00658 \text{ cm} \quad N_2 := 447.856 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.95526 \text{ cm} \quad N_3 := 688.858 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.87434 \text{ cm} \quad N_4 := 959.513 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 21.612 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_2 := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.189$$

### MOD04-II-B

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.28111 \text{ cm} \quad N_1 := 207.244 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.26075 \text{ cm} \quad N_2 := 447.098 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.21068 \text{ cm} \quad N_3 := 687.688 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.13350 \text{ cm} \quad N_4 := 957.694 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 4.476 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.034$$

### MOD04-II-C

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.38402 \text{ cm} \quad N_1 := 212.515 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.35651 \text{ cm} \quad N_2 := 458.892 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.29937 \text{ cm} \quad N_3 := 705.998 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.21472 \text{ cm} \quad N_4 := 985.744 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 6.682 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.052$$



**MOD04-II-D**

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.283992 \text{ cm} \quad N_1 := 207.574 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.2633 \text{ cm} \quad N_2 := 447.851 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.212893 \text{ cm} \quad N_3 := 688.856 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.135378 \text{ cm} \quad N_4 := 959.479 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 4.534 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_2 := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.034$$

**MOD04-II-E**

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.260823 \text{ cm} \quad N_1 := 206.781 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.240992 \text{ cm} \quad N_2 := 446.042 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.191439 \text{ cm} \quad N_3 := 686.054 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.114956 \text{ cm} \quad N_4 := 955.168 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 4.026 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.031$$

### MOD04-III-A

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.31982 \text{ cm} \quad N_1 := 214.519 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.29652 \text{ cm} \quad N_2 := 465.586 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.2437 \text{ cm} \quad N_3 := 717.04 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.16081 \text{ cm} \quad N_4 := 1003.344 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 5.428 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.042$$

### MOD04-III-B

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.27630 \text{ cm} \quad N_1 := 209.67 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.25555 \text{ cm} \quad N_2 := 453.695 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.20519 \text{ cm} \quad N_3 := 698.264 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.12765 \text{ cm} \quad N_4 := 974.433 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 4.415 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.034$$

### MOD04-III-C

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.36302 \text{ cm} \quad N_1 := 208.232 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.33795 \text{ cm} \quad N_2 := 449.583 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.28314 \text{ cm} \quad N_3 := 691.646 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.20071 \text{ cm} \quad N_4 := 964.044 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 6.169 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.048$$

### **MOD04-III-D**

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.27778 \text{ cm} \quad N_1 := 209.651 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.25691 \text{ cm} \quad N_2 := 453.337 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.20643 \text{ cm} \quad N_3 := 697.64 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.12880 \text{ cm} \quad N_4 := 973.4 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 4.441 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.034$$

### MOD04-III-E

$$V_1 := 3.76 \text{ kN} \quad h_1 := 12 \text{ m}$$

$$V_2 := 6.99 \text{ kN} \quad h_2 := 9 \text{ m}$$

$$V_3 := 6.32 \text{ kN} \quad h_3 := 6 \text{ m}$$

$$V_4 := 5.31 \text{ kN} \quad h_4 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.25593 \text{ cm} \quad N_1 := 209.181 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.23581 \text{ cm} \quad N_2 := 452.198 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.18607 \text{ cm} \quad N_3 := 695.845 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.10940 \text{ cm} \quad N_4 := 970.6 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 = 3.958 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4) = 135.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_2 := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.03$$

## CÁLCULO DO COEFICIENTE DE ESTABILIDADE GLOBAL Gama-Z

### MOD08-I-A

$$V_1 := 4.84 \text{ kN} \quad h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN} \quad h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN} \quad h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN} \quad h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN} \quad h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN} \quad h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN} \quad h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN} \quad h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.7096 \text{ cm} \quad N_1 := 216.028 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.6863 \text{ cm} \quad N_2 := 463.889 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.64 \text{ cm} \quad N_3 := 712.547 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.5703 \text{ cm} \quad N_4 := 961.215 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.4779 \text{ cm} \quad N_5 := 1209.275 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.3645 \text{ cm} \quad N_6 := 1458.806 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.2630 \text{ cm} \quad N_7 := 1707.435 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.0942 \text{ cm} \quad N_8 := 1931.285 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.048$$

**MOD08-I-B**

$$V_1 := 4.84 \text{ kN} \quad h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN} \quad h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN} \quad h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN} \quad h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN} \quad h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN} \quad h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN} \quad h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN} \quad h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 1.1176 \text{ cm} \quad N_1 := 188.436 \text{ kN}$$

$$U_2 := 1.0592 \text{ cm} \quad N_2 := 400.118 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.9780 \text{ cm} \quad N_3 := 613.577 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.8733 \text{ cm} \quad N_4 := 826.283 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.7459 \text{ cm} \quad N_5 := 1038.334 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.5972 \text{ cm} \quad N_6 := 1249.495 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.4294 \text{ cm} \quad N_7 := 1459.077 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.2451 \text{ cm} \quad N_8 := 1679.566 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 \left( V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 \right)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.069$$

**MOD08-I-C**

$$V_1 := 4.84 \text{ kN} \quad h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN} \quad h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN} \quad h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN} \quad h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN} \quad h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN} \quad h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN} \quad h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN} \quad h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.8581 \text{ cm} \quad N_1 := 207.359 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.8278 \text{ cm} \quad N_2 := 443.666 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.7743 \text{ cm} \quad N_3 := 681.105 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.6974 \text{ cm} \quad N_4 := 918.309 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.5978 \text{ cm} \quad N_5 := 1155.359 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.4769 \text{ cm} \quad N_6 := 1392.172 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.3367 \text{ cm} \quad N_7 := 1628.309 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.1805 \text{ cm} \quad N_8 := 1887.691 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 \left( V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 \right)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.06$$



**MOD08-II-A**

$$V_1 := 4.84 \text{ kN} \quad h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN} \quad h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN} \quad h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN} \quad h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN} \quad h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN} \quad h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN} \quad h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN} \quad h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.8310 \text{ cm} \quad N_1 := 216.814 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.8009 \text{ cm} \quad N_2 := 465.58 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.7479 \text{ cm} \quad N_3 := 715.129 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.6715 \text{ cm} \quad N_4 := 964.714 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.5722 \text{ cm} \quad N_5 := 1214.403 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.4518 \text{ cm} \quad N_6 := 1464.19 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.3122 \text{ cm} \quad N_7 := 1713.77 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.1566 \text{ cm} \quad N_8 := 1993.37 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 \left( V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 \right)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.06$$

**MOD08-II-B**

$$V_1 := 4.84 \text{ kN} \quad h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN} \quad h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN} \quad h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN} \quad h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN} \quad h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN} \quad h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN} \quad h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN} \quad h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.7945 \text{ cm} \quad N_1 := 216.949 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.7674 \text{ cm} \quad N_2 := 465.908 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.7174 \text{ cm} \quad N_3 := 715.642 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.6441 \text{ cm} \quad N_4 := 965.419 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.5480 \text{ cm} \quad N_5 := 1215.306 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.4308 \text{ cm} \quad N_6 := 1465.299 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.2953 \text{ cm} \quad N_7 := 1715.099 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.1499 \text{ cm} \quad N_8 := 1994.994 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 \left( V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 \right)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.053$$

**MOD08-II-C**

$$V_1 := 4.84 \text{ kN}$$

$$h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN}$$

$$h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN}$$

$$h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN}$$

$$h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN}$$

$$h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN}$$

$$h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN}$$

$$h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN}$$

$$h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 1.0734 \text{ cm}$$

$$N_1 := 215.997 \text{ kN}$$

$$U_2 := 1.0306 \text{ cm}$$

$$N_2 := 463.615 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.9648 \text{ cm}$$

$$N_3 := 712.065 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.8757 \text{ cm}$$

$$N_4 := 960.511 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.7637 \text{ cm}$$

$$N_5 := 1209.018 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.6306 \text{ cm}$$

$$N_6 := 1457.57 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.4785 \text{ cm}$$

$$N_7 := 1705.828 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.3127 \text{ cm}$$

$$N_8 := 1983.354 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.086$$

**MOD08-II-D**

$$V_1 := 4.84 \text{ kN} \quad h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN} \quad h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN} \quad h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN} \quad h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN} \quad h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN} \quad h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN} \quad h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN} \quad h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.8066 \text{ cm} \quad N_1 := 216.879 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.7787 \text{ cm} \quad N_2 := 465.741 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.7280 \text{ cm} \quad N_3 := 715.382 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.6538 \text{ cm} \quad N_4 := 965.063 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.5569 \text{ cm} \quad N_5 := 1214.852 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.4390 \text{ cm} \quad N_6 := 1464.742 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.3026 \text{ cm} \quad N_7 := 1714.434 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.1561 \text{ cm} \quad N_8 := 1994.161 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 \left( V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 \right)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.058$$

**MOD08-II-E**

$$V_1 := 4.84 \text{ kN} \quad h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN} \quad h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN} \quad h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN} \quad h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN} \quad h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN} \quad h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN} \quad h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN} \quad h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.7588 \text{ cm} \quad N_1 := 217.04 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.7330 \text{ cm} \quad N_2 := 466.126 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.6843 \text{ cm} \quad N_3 := 715.984 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.6123 \text{ cm} \quad N_4 := 965.887 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.5175 \text{ cm} \quad N_5 := 1215.905 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.4016 \text{ cm} \quad N_6 := 1466.032 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.2675 \text{ cm} \quad N_7 := 1715.979 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.1243 \text{ cm} \quad N_8 := 1996.063 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 \left( V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 \right)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.053$$

**MOD08-III-A**

$$V_1 := 4.84 \text{ kN} \quad h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN} \quad h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN} \quad h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN} \quad h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN} \quad h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN} \quad h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN} \quad h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN} \quad h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.9086 \text{ cm} \quad N_1 := 213.404 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.8774 \text{ cm} \quad N_2 := 457.699 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.8231 \text{ cm} \quad N_3 := 702.899 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.7456 \text{ cm} \quad N_4 := 948.036 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.6451 \text{ cm} \quad N_5 := 1193.183 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.5234 \text{ cm} \quad N_6 := 1438.308 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.3813 \text{ cm} \quad N_7 := 1683.034 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.2170 \text{ cm} \quad N_8 := 1955.358 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 \left( V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 \right)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.069$$

**MOD08-III-B**

$$V_1 := 4.84 \text{ kN} \quad h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN} \quad h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN} \quad h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN} \quad h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN} \quad h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN} \quad h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN} \quad h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN} \quad h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.8080 \text{ cm} \quad N_1 := 214.581 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.7817 \text{ cm} \quad N_2 := 460.478 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.7323 \text{ cm} \quad N_3 := 707.23 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.6596 \text{ cm} \quad N_4 := 953.956 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.5641 \text{ cm} \quad N_5 := 1200.725 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.4475 \text{ cm} \quad N_6 := 1447.518 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.3123 \text{ cm} \quad N_7 := 1693.981 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.1666 \text{ cm} \quad N_8 := 1968.841 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.059$$

**MOD08-III-C**

$$V_1 := 4.84 \text{ kN} \quad h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN} \quad h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN} \quad h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN} \quad h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN} \quad h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN} \quad h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN} \quad h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN} \quad h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 1.0329 \text{ cm} \quad N_1 := 211.693 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.9965 \text{ cm} \quad N_2 := 453.682 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.9369 \text{ cm} \quad N_3 := 696.648 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.8541 \text{ cm} \quad N_4 := 939.5 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.7484 \text{ cm} \quad N_5 := 1182.312 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.6216 \text{ cm} \quad N_6 := 1425.04 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.4755 \text{ cm} \quad N_7 := 1667.275 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.3146 \text{ cm} \quad N_8 := 1935.81 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 \left( V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 \right)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.082$$



**MOD08-III-D**

$$V_1 := 4.84 \text{ kN} \quad h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN} \quad h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN} \quad h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN} \quad h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN} \quad h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN} \quad h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN} \quad h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN} \quad h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.8162 \text{ cm} \quad N_1 := 214.447 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.7894 \text{ cm} \quad N_2 := 460.159 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.7397 \text{ cm} \quad N_3 := 706.734 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.6666 \text{ cm} \quad N_4 := 953.277 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.5707 \text{ cm} \quad N_5 := 1199.86 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.4537 \text{ cm} \quad N_6 := 1446.461 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.3181 \text{ cm} \quad N_7 := 1692.725 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.1716 \text{ cm} \quad N_8 := 1967.281 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 \left( V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 \right)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.06$$

**MOD08-III-E**

$$V_1 := 4.84 \text{ kN} \quad h_1 := 24 \text{ m}$$

$$V_2 := 9.36 \text{ kN} \quad h_2 := 21 \text{ m}$$

$$V_3 := 9 \text{ kN} \quad h_3 := 18 \text{ m}$$

$$V_4 := 8.6 \text{ kN} \quad h_4 := 15 \text{ m}$$

$$V_5 := 8.14 \text{ kN} \quad h_5 := 12 \text{ m}$$

$$V_6 := 7.57 \text{ kN} \quad h_6 := 9 \text{ m}$$

$$V_7 := 6.84 \text{ kN} \quad h_7 := 6 \text{ m}$$

$$V_8 := 5.75 \text{ kN} \quad h_8 := 3 \text{ m}$$

$$U_1 := 0.7675 \text{ cm} \quad N_1 := 215.016 \text{ kN}$$

$$U_2 := 0.7423 \text{ cm} \quad N_2 := 461.508 \text{ kN}$$

$$U_3 := 0.6942 \text{ cm} \quad N_3 := 708.837 \text{ kN}$$

$$U_4 := 0.6227 \text{ cm} \quad N_4 := 956.153 \text{ kN}$$

$$U_5 := 0.5284 \text{ cm} \quad N_5 := 1203.526 \text{ kN}$$

$$U_6 := 0.4131 \text{ cm} \quad N_6 := 1450.938 \text{ kN}$$

$$U_7 := 0.2794 \text{ cm} \quad N_7 := 1698.051 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.1362 \text{ cm} \quad N_8 := 1973.867 \text{ kN}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 \left( V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 \right)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.054$$

## CÁLCULO DO COEFICIENTE DE ESTABILIDADE GLOBAL Gama-Z

### MOD12-I-A

$$U_1 := 1.54983 \text{ cm} \quad N_1 := 220.797 \text{ kN}$$

$$U_2 := 1.51476 \text{ cm} \quad N_2 := 473.857 \text{ kN}$$

$$U_3 := 1.4534 \text{ cm} \quad N_3 := 727.783 \text{ kN}$$

$$U_4 := 1.3827 \text{ cm} \quad N_4 := 981.703 \text{ kN}$$

$$U_5 := 1.2839 \text{ cm} \quad N_5 := 1235.883 \text{ kN}$$

$$U_6 := 1.1637 \text{ cm} \quad N_6 := 1490.271 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.0231 \text{ cm} \quad N_7 := 1744.885 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.8633 \text{ cm} \quad N_8 := 1999.741 \text{ kN}$$

$$U_9 := 0.6859 \text{ cm} \quad N_9 := 2254.851 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 0.4938 \text{ cm} \quad N_{10} := 2510.554 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.2935 \text{ cm} \quad N_{11} := 2765.821 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.1056 \text{ cm} \quad N_{12} := 2984.786 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN} \quad h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_2 := 10.88 \text{ kN} \quad h_2 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN} \quad h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$

$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN}$$

$$h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN}$$

$$h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12})$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.086$$

### MOD12-I-B

$$U_1 := 2.8709 \text{ cm}$$

$$N_1 := 185.54 \text{ kN}$$

$$U_2 := 2.7476 \text{ cm}$$

$$N_2 := 397.084 \text{ kN}$$

$$U_3 := 2.6031 \text{ cm}$$

$$N_3 := 610.172 \text{ kN}$$

$$U_4 := 2.4375 \text{ cm}$$

$$N_4 := 822.712 \text{ kN}$$

$$U_5 := 2.2498 \text{ cm}$$

$$N_5 := 1034.844 \text{ kN}$$

$$U_6 := 2.0407 \text{ cm}$$

$$N_6 := 1246.365 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.8112 \text{ cm}$$

$$N_7 := 1457.123 \text{ kN}$$

$$U_8 := 1.5624 \text{ cm}$$

$$N_8 := 1666.953 \text{ kN}$$

$$U_9 := 1.2956 \text{ cm}$$

$$N_9 := 1875.678 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 1.0124 \text{ cm}$$

$$N_{10} := 2083.185 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.7143 \text{ cm}$$

$$N_{11} := 2288.878 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.4046 \text{ cm}$$

$$N_{12} := 2500.742 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN}$$

$$h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_2 := 10.88 \text{ kN}$$

$$h_2 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN}$$

$$h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$

$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN} \quad h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN} \quad h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12})$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.143$$

### MOD12-I-C

$$U_1 := 1.9586 \text{ cm} \quad N_1 := 207.914 \text{ kN}$$

$$U_2 := 1.9057 \text{ cm} \quad N_2 := 445.711 \text{ kN}$$

$$U_3 := 1.8321 \text{ cm} \quad N_3 := 684.61 \text{ kN}$$

$$U_4 := 1.7372 \text{ cm} \quad N_4 := 923.344 \text{ kN}$$

$$U_5 := 1.6203 \text{ cm} \quad N_5 := 1162.049 \text{ kN}$$

$$U_6 := 1.4819 \text{ cm} \quad N_6 := 1400.643 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.3231 \text{ cm} \quad N_7 := 1744.885 \text{ kN}$$

$$U_8 := 1.1450 \text{ cm} \quad N_8 := 1639.076 \text{ kN}$$

$$U_9 := 0.9489 \text{ cm} \quad N_9 := 2115.231 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 0.7364 \text{ cm} \quad N_{10} := 2352.876 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.5090 \text{ cm} \quad N_{11} := 2589.887 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.2696 \text{ cm} \quad N_{12} := 2847.309 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN} \quad h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_2 := 10.88 \text{ kN} \quad h_2 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN} \quad h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$

$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN} \quad h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN} \quad h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12})$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.112$$

**MOD12-II-A**

$$U_1 := 1.8587 \text{ cm} \quad N_1 := 218.264 \text{ kN}$$

$$U_2 := 1.8113 \text{ cm} \quad N_2 := 468.32 \text{ kN}$$

$$U_3 := 1.7434 \text{ cm} \quad N_3 := 719.252 \text{ kN}$$

$$U_4 := 1.6541 \text{ cm} \quad N_4 := 970.214 \text{ kN}$$

$$U_5 := 1.5428 \text{ cm} \quad N_5 := 1221.338 \text{ kN}$$

$$U_6 := 1.5428 \text{ cm} \quad N_6 := 1472.6 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.4101 \text{ cm} \quad N_7 := 1724.005 \text{ kN}$$

$$U_8 := 1.2569 \text{ cm} \quad N_8 := 1975.552 \text{ kN}$$

$$U_9 := 1.0844 \text{ cm} \quad N_9 := 2227.237 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 0.8939 \text{ cm} \quad N_{10} := 2479.1 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.4647 \text{ cm} \quad N_{11} := 2730.887 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.2303 \text{ cm} \quad N_{12} := 3010.375 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN} \quad h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_2 := 10.88 \text{ kN} \quad h_2 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN} \quad h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$

$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN} \quad h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN}$$

$$h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12})$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.124$$

### MOD12-II-B

$$U_1 := 1.7029 \text{ cm} \quad N_1 := 219.215 \text{ kN}$$

$$U_2 := 1.6623 \text{ cm} \quad N_2 := 470.404 \text{ kN}$$

$$U_3 := 1.6012 \text{ cm} \quad N_3 := 722.448 \text{ kN}$$

$$U_4 := 1.5188 \text{ cm} \quad N_4 := 974.541 \text{ kN}$$

$$U_5 := 1.4144 \text{ cm} \quad N_5 := 1226.814 \text{ kN}$$

$$U_6 := 1.2885 \text{ cm} \quad N_6 := 1479.251 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.1422 \text{ cm} \quad N_7 := 1731.86 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.9767 \text{ cm} \quad N_8 := 1984.647 \text{ kN}$$

$$U_9 := 0.7935 \text{ cm} \quad N_9 := 2237.613 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 0.5952 \text{ cm} \quad N_{10} := 2490.8 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.3871 \text{ cm} \quad N_{11} := 2743.983 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.1854 \text{ cm} \quad N_{12} := 3025.419 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN} \quad h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_2 := 10.88 \text{ kN} \quad h_2 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN} \quad h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$



$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$

$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN} \quad h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN} \quad h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12})$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.099$$

### MOD12-II-C

$$U_1 := 2.1628 \text{ cm} \quad N_1 := 216.161 \text{ kN}$$

$$U_2 := 2.1013 \text{ cm} \quad N_2 := 463.723 \text{ kN}$$

$$U_3 := 2.0194 \text{ cm} \quad N_3 := 712.208 \text{ kN}$$

$$U_4 := 1.9161 \text{ cm} \quad N_4 := 960.68 \text{ kN}$$

$$U_5 := 1.7908 \text{ cm} \quad N_5 := 1209.274 \text{ kN}$$

$$U_6 := 1.6440 \text{ cm} \quad N_6 := 1457.952 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.4768 \text{ cm} \quad N_7 := 1706.706 \text{ kN}$$

$$U_8 := 1.2904 \text{ cm} \quad N_8 := 1955.526 \text{ kN}$$

$$U_9 := 1.0861 \text{ cm} \quad N_9 := 2204.395 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 0.8661 \text{ cm} \quad N_{10} := 2453.34 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.6337 \text{ cm} \quad N_{11} := 2702.083 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.3987 \text{ cm} \quad N_{12} := 2976.985 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN} \quad h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_2 := 10.88 \text{ kN} \quad h_2 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN} \quad h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$

$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN} \quad h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN} \quad h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 \left( V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12} \right)$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.138$$

**MOD12-II-D**

$$U_1 := 1.7246 \text{ cm} \quad N_1 := 219.02 \text{ kN}$$

$$U_2 := 1.6828 \text{ cm} \quad N_2 := 469.975 \text{ kN}$$

$$U_3 := 1.6207 \text{ cm} \quad N_3 := 721.789 \text{ kN}$$

$$U_4 := 1.5373 \text{ cm} \quad N_4 := 973.649 \text{ kN}$$

$$U_5 := 1.4317 \text{ cm} \quad N_5 := 1225.685 \text{ kN}$$

$$U_6 := 1.3048 \text{ cm} \quad N_6 := 1477.88 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.1574 \text{ cm} \quad N_7 := 1730.241 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.9908 \text{ cm} \quad N_8 := 1982.772 \text{ kN}$$

$$U_9 := 0.8066 \text{ cm} \quad N_9 := 2235.474 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 0.6072 \text{ cm} \quad N_{10} := 2488.388 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.3978 \text{ cm} \quad N_{11} := 2741.285 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.1940 \text{ cm} \quad N_{12} := 3022.294 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN} \quad h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_2 := 10.88 \text{ kN} \quad h_2 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN} \quad h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$

$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN} \quad h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN}$$

$$h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12})$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.101$$

### MOD12-II-E

$$U_1 := 1.6426 \text{ cm} \quad N_1 := 219.592 \text{ kN}$$

$$U_2 := 1.6039 \text{ cm} \quad N_2 := 471.231 \text{ kN}$$

$$U_3 := 1.5448 \text{ cm} \quad N_3 := 723.716 \text{ kN}$$

$$U_4 := 1.4645 \text{ cm} \quad N_4 := 976.258 \text{ kN}$$

$$U_5 := 1.3620 \text{ cm} \quad N_5 := 1228.987 \text{ kN}$$

$$U_6 := 1.2381 \text{ cm} \quad N_6 := 1481.89 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.0938 \text{ cm} \quad N_7 := 1734.977 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.9303 \text{ cm} \quad N_8 := 1988.255 \text{ kN}$$

$$U_9 := 0.7492 \text{ cm} \quad N_9 := 2241.729 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 0.5531 \text{ cm} \quad N_{10} := 2495.441 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.3476 \text{ cm} \quad N_{11} := 2749.184 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.1502 \text{ cm} \quad N_{12} := 3031.379 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN} \quad h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_2 := 10.88 \text{ kN} \quad h_2 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN} \quad h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$

$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN} \quad h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN} \quad h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12})$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.094$$

### MOD12-III-A

$$U_1 := 2.0633 \text{ cm} \quad N_1 := 217.457 \text{ kN}$$

$$U_2 := 2.0099 \text{ cm} \quad N_2 := 466.555 \text{ kN}$$

$$U_3 := 1.9360 \text{ cm} \quad N_3 := 716.547 \text{ kN}$$

$$U_4 := 1.8408 \text{ cm} \quad N_4 := 966.553 \text{ kN}$$

$$U_5 := 1.7235 \text{ cm} \quad N_5 := 1216.705 \text{ kN}$$

$$U_6 := 1.5847 \text{ cm} \quad N_6 := 1466.974 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.4255 \text{ cm} \quad N_7 := 1717.359 \text{ kN}$$

$$U_8 := 1.2469 \text{ cm} \quad N_8 := 1967.857 \text{ kN}$$

$$U_9 := 1.0500 \text{ cm} \quad N_9 := 2218.457 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 0.8356 \text{ cm} \quad N_{10} := 2469.196 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.6021 \text{ cm} \quad N_{11} := 2719.809 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.3397 \text{ cm} \quad N_{12} := 2997.559 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN} \quad h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_2 := 10.88 \text{ kN} \quad h_2 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN} \quad h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$

$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN} \quad h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN} \quad h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 \cdot (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12})$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.132$$

### MOD12-III-B

$$U_1 := 1.7540 \text{ cm} \quad N_1 := 218.855 \text{ kN}$$

$$U_2 := 1.7123 \text{ cm} \quad N_2 := 469.617 \text{ kN}$$

$$U_3 := 1.6502 \text{ cm} \quad N_3 := 721.241 \text{ kN}$$

$$U_4 := 1.5668 \text{ cm} \quad N_4 := 972.908 \text{ kN}$$

$$U_5 := 1.4612 \text{ cm} \quad N_5 := 1224.747 \text{ kN}$$

$$U_6 := 1.3343 \text{ cm} \quad N_6 := 1476.74 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.1870 \text{ cm} \quad N_7 := 1728.893 \text{ kN}$$

$$U_8 := 1.0204 \text{ cm} \quad N_8 := 1981.21 \text{ kN}$$

$$U_9 := 0.8361 \text{ cm} \quad N_9 := 2233.691 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 0.6365 \text{ cm} \quad N_{10} := 2486.376 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.4262 \text{ cm} \quad N_{11} := 2739.029 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.2197 \text{ cm} \quad N_{12} := 3019.682 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN} \quad h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_2 := 10.88 \text{ kN} \quad h_2 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN} \quad h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$

$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN} \quad h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN} \quad h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12})$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.105$$

### MOD12-III-C

$$U_1 := 2.25739 \text{ cm} \quad N_1 := 215.983 \text{ kN}$$

$$U_2 := 2.19396 \text{ cm} \quad N_2 := 463.335 \text{ kN}$$

$$U_3 := 2.10998 \text{ cm} \quad N_3 := 711.614 \text{ kN}$$

$$U_4 := 2.00473 \text{ cm} \quad N_4 := 959.876 \text{ kN}$$

$$U_5 := 1.87736 \text{ cm} \quad N_5 := 1235.883 \text{ kN}$$

$$U_6 := 1.72860 \text{ cm} \quad N_6 := 1456.715 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.55939 \text{ cm} \quad N_7 := 1705.245 \text{ kN}$$

$$U_8 := 1.37088 \text{ cm} \quad N_8 := 1953.832 \text{ kN}$$

$$U_9 := 1.16446 \text{ cm} \quad N_9 := 2202.46 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 0.94194 \text{ cm} \quad N_{10} := 2451.155 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.70583 \text{ cm} \quad N_{11} := 2699.636 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.46248 \text{ cm} \quad N_{12} := 2974.168 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN} \quad h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_2 := 10.88 \text{ kN} \quad h_2 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN} \quad h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$



$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN} \quad h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN} \quad h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12})$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.149$$

### MOD12-III-D

$$U_1 := 1.7758 \text{ cm} \quad N_1 := 218.692 \text{ kN}$$

$$U_2 := 1.7331 \text{ cm} \quad N_2 := 469.259 \text{ kN}$$

$$U_3 := 1.6700 \text{ cm} \quad N_3 := 720.693 \text{ kN}$$

$$U_4 := 1.5856 \text{ cm} \quad N_4 := 972.165 \text{ kN}$$

$$U_5 := 1.4791 \text{ cm} \quad N_5 := 1223.807 \text{ kN}$$

$$U_6 := 1.3512 \text{ cm} \quad N_6 := 1475.599 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.2028 \text{ cm} \quad N_7 := 1727.545 \text{ kN}$$

$$U_8 := 1.0353 \text{ cm} \quad N_8 := 1979.65 \text{ kN}$$

$$U_9 := 0.85 \text{ cm} \quad N_9 := 2231.911 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 0.6493 \text{ cm} \quad N_{10} := 2484.368 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.4377 \text{ cm} \quad N_{11} := 2736.783 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.2291 \text{ cm} \quad N_{12} := 3017.081 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN} \quad h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.88 \text{ kN} \quad h_5 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN} \quad h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$

$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN} \quad h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN} \quad h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12})$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.106$$

### MOD12-III-E

$$U_1 := 1.6707 \text{ cm} \quad N_1 := 219.314 \text{ kN}$$

$$U_2 := 1.6317 \text{ cm} \quad N_2 := 470.624 \text{ kN}$$

$$U_3 := 1.5722 \text{ cm} \quad N_3 := 722.787 \text{ kN}$$

$$U_4 := 1.4915 \text{ cm} \quad N_4 := 975 \text{ kN}$$

$$U_5 := 1.3886 \text{ cm} \quad N_5 := 1227.395 \text{ kN}$$

$$U_6 := 1.2644 \text{ cm} \quad N_6 := 1479.956 \text{ kN}$$

$$U_7 := 1.1197 \text{ cm} \quad N_7 := 1732.692 \text{ kN}$$

$$U_8 := 0.9558 \text{ cm} \quad N_8 := 1985.609 \text{ kN}$$

$$U_9 := 0.7743 \text{ cm} \quad N_9 := 2238.709 \text{ kN}$$

$$U_{10} := 0.5776 \text{ cm} \quad N_{10} := 2492.034 \text{ kN}$$

$$U_{11} := 0.3710 \text{ cm} \quad N_{11} := 2745.365 \text{ kN}$$

$$U_{12} := 0.1711 \text{ cm} \quad N_{12} := 3026.967 \text{ kN}$$

$$V_1 := 5.56 \text{ kN} \quad h_1 := 36 \text{ m}$$

$$V_2 := 10.88 \text{ kN} \quad h_2 := 33 \text{ m}$$

$$V_3 := 10.62 \text{ kN} \quad h_3 := 30 \text{ m}$$

$$V_4 := 10.35 \text{ kN} \quad h_4 := 27 \text{ m}$$

$$V_5 := 10.05 \text{ kN} \quad h_5 := 24 \text{ m}$$

$$V_6 := 9.72 \text{ kN} \quad h_6 := 21 \text{ m}$$

$$V_7 := 9.35 \text{ kN} \quad h_7 := 18 \text{ m}$$

$$V_8 := 8.93 \text{ kN} \quad h_8 := 15 \text{ m}$$

$$V_9 := 8.45 \text{ kN} \quad h_9 := 12 \text{ m}$$

$$V_{10} := 7.86 \text{ kN} \quad h_{10} := 9 \text{ m}$$

$$V_{11} := 7.1 \text{ kN} \quad h_{11} := 6 \text{ m}$$

$$V_{12} := 5.97 \text{ kN} \quad h_{12} := 3 \text{ m}$$

$$M_1 := N_1 \cdot U_1 + N_2 \cdot U_2 + N_3 \cdot U_3 + N_4 \cdot U_4 + N_5 \cdot U_5 + N_6 \cdot U_6 + N_7 \cdot U_7 + N_8 \cdot U_8 + N_9 \cdot U_9 + N_{10} \cdot U_{10} + N_{11} \cdot U_{11} + N_{12} \cdot U_{12}$$

$$M_2 := 1.4 \cdot 0.6 (V_1 \cdot h_1 + V_2 \cdot h_2 + V_3 \cdot h_3 + V_4 \cdot h_4 + V_5 \cdot h_5 + V_6 \cdot h_6 + V_7 \cdot h_7 + V_8 \cdot h_8 + V_9 \cdot h_9 + V_{10} \cdot h_{10} + V_{11} \cdot h_{11} + V_{12} \cdot h_{12})$$

$$\gamma_z := \frac{1}{1 - \frac{M_1}{M_2}} = 1.097$$

Velocidade Característica:

Velocidade Básica:

$$V_o := 30$$

Fator Topográfico:

$$S_1 := 1.00$$

Fator Estatístico:

$$S_3 := 1.00$$

Fator de Rugosidade:

$$b := 0.85$$

$$F_r := 1.00$$

$$p := 0.125$$

Força de arrasto:

**Para 4 andares:**

Altura Total:

$$H_4 := 12$$

Vento 0°:

$$L_{1.0} := 20$$

$$L_{2.0} := 10$$

$$\frac{L_{1.0}}{L_{2.0}} = 2$$

$$\frac{H_4}{L_{1.0}} = 0.6$$

$$C_{a.0} := 1.2$$

Vento 90°:

$$L_{1.90} := 10$$

$$L_{2.90} := 20$$

$$\frac{L_{1.90}}{L_{2.90}} = 0.5$$

$$\frac{H_4}{L_{1.90}} = 1.2$$

$$C_{a.90} := 0.78$$

Áreas nodais:

$$A_{1.0} := 1.5 \cdot 2.5$$

$$A_{3.0} := 5 \cdot 1.5$$

$$A_{2.0} := 3 \cdot 2.5$$

$$A_{4.0} := 5 \cdot 3$$

Ξrea 1

$$F_{a.1}(z) := C_{a.0} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{1.0}$$

$$F_{a.1}(12) = 1.877 \cdot 10^3$$

Ξrea 2

$$F_{a.2}(z) := C_{a.0} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{2.0}$$

$$F_{a.2}(3) = 2.655 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(6) = 3.157 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(9) = 3.494 \cdot 10^3$$

Ξrea 3:

$$F_{a.3}(z) := C_{a.0} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{3.0}$$

$$F_{a.3}(12) = 3.755 \cdot 10^3$$

Ξrea 4

$$F_{a.4}(z) := C_{a.0} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{4.0}$$

$$F_{a.4}(3) = 5.31 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(6) = 6.315 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(9) = 6.988 \cdot 10^3$$

## VENTO 90é

$$A_{1.90} := 1.5 \cdot 2.5$$

$$A_{3.90} := 5 \cdot 1.5$$

$$A_{2.90} := 3 \cdot 2.5$$

$$A_{4.90} := 5 \cdot 3$$

Área 1

$$F_{a.1.90}(z) := C_{a.90} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{1.90}$$

$$F_{a.1.90}(12) = 1.22 \cdot 10^3$$

Área 2

$$F_{a.2.90}(z) := C_{a.90} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{2.90}$$

$$F_{a.2.90}(3) = 1.726 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(6) = 2.052 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(9) = 2.271 \cdot 10^3$$

Área 3:

$$F_{a.3.90}(z) := C_{a.90} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{3.90}$$

$$F_{a.3.90}(12) = 2.441 \cdot 10^3$$

Área 4

$$F_{a.4.90}(z) := C_{a.90} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{4.90}$$

$$F_{a.4.90}(3) = 3.451 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(6) = 4.105 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(9) = 4.542 \cdot 10^3$$

## Para 8 andares:

Altura Total:

$$H_8 := 24$$

Vento 0é:

$$L_{1.0} := 20$$

$$L_{2.0} := 10$$

$$\frac{L_{1.0}}{L_{2.0}} = 2$$

$$\frac{H_8}{L_{1.0}} = 1.2$$

$$C_{a.0} := 1.3$$

Vento 90é:

$$L_{1.90} := 10$$

$$L_{2.90} := 20$$

$$\frac{L_{1.90}}{L_{2.90}} = 0.5$$

$$\frac{H_8}{L_{1.90}} = 2.4$$

$$C_{a.90} := 1.05$$

Áreas nodais:

$$A_{1.0} := 1.5 \cdot 2.5$$

$$A_{3.0} := 5 \cdot 1.5$$

$$A_{2.0} := 3 \cdot 2.5$$

$$A_{4.0} := 5 \cdot 3$$

Área 1

$$F_{a.1}(z) := C_{a.0} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{1.0}$$

$$F_{a.1}(24) = 2.419 \cdot 10^3$$

Área 2

$$F_{a.2}(z) := C_{a.0} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{2.0}$$

$$F_{a.2}(3) = 2.876 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(6) = 3.42 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(9) = 3.785 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(12) = 4.068 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(15) = 4.301 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(18) = 4.502 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(21) = 4.678 \cdot 10^3$$

Ξrea 3:

$$F_{a.3}(z) := C_{a.0} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{3.0}$$

$$F_{a.2}(24) = 4.837 \cdot 10^3$$

Ξrea 4

$$F_{a.4}(z) := C_{a.0} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{4.0}$$

$$F_{a.4}(3) = 5.752 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(6) = 6.841 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(9) = 7.571 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(12) = 8.135 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(15) = 8.602 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(18) = 9.003 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(21) = 9.357 \cdot 10^3$$

## VENTO 90é

$$A_{1.90} := 1.5 \cdot 2.5$$

$$A_{3.90} := 5 \cdot 1.5$$

$$A_{2.90} := 3 \cdot 2.5$$

$$A_{4.90} := 5 \cdot 3$$

Ξrea 1

$$F_{a.1.90}(z) := C_{a.90} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{1.90}$$



$$F_{a.1.90}(24) = 1.954 \cdot 10^3$$

Area 2

$$F_{a.2.90}(z) := C_{a.90} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{2.90}$$

$$F_{a.2.90}(3) = 2.323 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(6) = 2.763 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(9) = 3.057 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(12) = 3.285 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(15) = 3.474 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(18) = 3.636 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(21) = 3.779 \cdot 10^3$$

Area 3:

$$F_{a.3.90}(z) := C_{a.90} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{3.90}$$

$$F_{a.3.90}(24) = 3.907 \cdot 10^3$$

Area 4

$$F_{a.4.90}(z) := C_{a.90} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{4.90}$$

$$F_{a.4.90}(3) = 4.646 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(18) = 7.272 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(6) = 5.525 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(9) = 6.115 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(21) = 7.557 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(12) = 6.571 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(15) = 6.948 \cdot 10^3$$

## Para 12 andares:

Altura Total:

$$H_{12} := 36$$

Vento 0é:

$$L_{1.0} := 20$$

$$L_{2.0} := 10$$

$$\frac{L_{1.0}}{L_{2.0}} = 2$$

$$\frac{H_{12}}{L_{1.0}} = 1.8$$

$$C_{a.0} := 1.35$$

Vento 90é:

$$L_{1.90} := 10$$

$$L_{2.90} := 20$$

$$\frac{L_{1.90}}{L_{2.90}} = 0.5$$

$$\frac{H_{12}}{L_{1.90}} = 3.6$$

$$C_{a.90} := 1.11$$

Áreas nodais:

$$A_{1.0} := 1.5 \cdot 2.5$$

$$A_{3.0} := 5 \cdot 1.5$$

$$A_{2.0} := 3 \cdot 2.5$$

$$A_{4.0} := 5 \cdot 3$$

Área 1

$$F_{a.1}(z) := C_{a.0} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{1.0}$$

$$F_{a.1}(36) = 2.78 \cdot 10^3$$

Área 2

$$F_{a.2}(z) := C_{a.0} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{2.0}$$

$$F_{a.2}(3) = 2.987 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(6) = 3.552 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(9) = 3.931 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(12) = 4.224 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(15) = 4.466 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(18) = 4.675 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(21) = 4.858 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(24) = 5.023 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(27) = 5.173 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(30) = 5.311 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2}(33) = 5.44 \cdot 10^3$$

Area 3:

$$F_{a.3}(z) := C_{a.0} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{3.0}$$

$$F_{a.2}(36) = 5.559 \cdot 10^3$$

Area 4

$$F_{a.4}(z) := C_{a.0} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{4.0}$$

$$F_{a.4}(3) = 5.974 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(6) = 7.104 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(9) = 7.862 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(12) = 8.448 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(15) = 8.933 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(18) = 9.349 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(21) = 9.717 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4}(24) = 1.005 \cdot 10^4$$

$$F_{a.4}(27) = 1.035 \cdot 10^4$$

$$F_{a.4}(30) = 1.062 \cdot 10^4$$

$$F_{a.4}(33) = 1.088 \cdot 10^4$$

## VENTO 90°

$$A_{1.90} := 1.5 \cdot 2.5$$

$$A_{3.90} := 5 \cdot 1.5$$

$$A_{2.90} := 3 \cdot 2.5$$

$$A_{4.90} := 5 \cdot 3$$

Área 1

$$F_{a.1.90}(z) := C_{a.90} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{1.90}$$

$$F_{a.1.90}(36) = 2.285 \cdot 10^3$$

Área 2

$$F_{a.2.90}(z) := C_{a.90} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{2.90}$$

$$F_{a.2.90}(3) = 2.456 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(6) = 2.921 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(9) = 3.232 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(12) = 3.473 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(15) = 3.672 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(18) = 3.844 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(21) = 3.995 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(24) = 4.13 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(27) = 4.254 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(30) = 4.367 \cdot 10^3$$

$$F_{a.2.90}(33) = 4.473 \cdot 10^3$$

Área 3:

$$F_{a.3.90}(z) := C_{a.90} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{3.90}$$

$$F_{a.3.90}(36) = 4.571 \cdot 10^3$$

Area 4

$$F_{a.4.90}(z) := C_{a.90} \cdot \left( 0.613 \cdot \left( V_o \cdot S_1 \cdot b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \cdot S_3 \right)^2 \right) \cdot A_{4.90}$$

$$F_{a.4.90}(3) = 4.912 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(6) = 5.841 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(9) = 6.464 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(12) = 6.946 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(15) = 7.345 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(18) = 7.687 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(21) = 7.989 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(24) = 8.261 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(27) = 8.507 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(30) = 8.734 \cdot 10^3$$

$$F_{a.4.90}(33) = 8.945 \cdot 10^3$$