



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Enzo Cosenza Zucchi

**INTERAÇÃO SOLO x ESTRUTURA.
ANÁLISE DE UM CASO DE OBRA COM ACOMPANHAMENTO DOS
RECALQUES**

Rio de Janeiro

2021

Enzo Cosenza Zucchi

Interação solo x estrutura.

Análise de um caso de obra com acompanhamento dos recalques



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geotecnia.

Orientadoras: Prof.^a Bernadete Ragoni Danziger, D.Sc

Prof.^a Eliane Maria Lopes Carvalho, D.Sc

Rio de Janeiro

2021

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

- Z94 Zucchi, Enzo Cosenza.
Interação solo x estrutura. Análise de um caso de obra com acompanhamento dos recalques / Enzo Cosenza Zucchi. – 2021. 232f.
- Orientadoras: Bernadete Ragoni Danziger, Eliane Maria Lopes Carvalho.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.
1. Engenharia civil - Teses. 2. Mecânica do solo - Teses. 3. Fundações (Engenharia) - Teses. 4. Recalque de estruturas - Teses. I. Danziger, Bernadete Ragoni. II. Carvalho, Eliane Maria Lopes. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 624.131.382

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

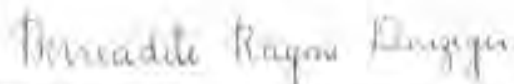
Enzo Cosenza Zucchi

Interação solo-estrutura. Análise de um caso de obra com acompanhamento dos recalques

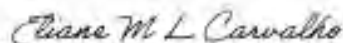
Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geotecnia.

Aprovado em: 09 de dezembro de 2021.

Banca Examinadora:



Profa. Dra. Bernadete Ragoni Danziger (Orientadora)
Faculdade de Engenharia – UERJ



Profa. Dra. Eliane Maria Lopes Carvalho (Orientadora)
Universidade Federal Fluminense – UFF



Profa. Dra. Alessandra Conde de Freitas
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ



Prof. Dr. Nelson Aoki
Universidade de São Paulo – USP

Rio de Janeiro

2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, por todo o amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me permitir ter saúde e perseverança para ultrapassar todos os obstáculos nessa trajetória acadêmica.

Agradeço a minha mãe Lia, que é meu maior exemplo de vida. Obrigado por sempre se empenhar para dar o melhor para seus filhos. Graças a você pude realizar muitos sonhos, inclusive concluir minha formação em engenharia e continuar os estudos. Agradeço também, por sempre me apoiar com conselhos nos momentos difíceis. Dedico esse trabalho e todo meu esforço durante essa fase acadêmica a você.

Ao meu pai, Emilio Cesar, por me vigiar aí de cima.

Agradeço também, a minha irmã, Carla, que sempre foi muito solícita a me ajudar, até no que não estava ao seu alcance. Obrigado pelos momentos de descontração e lazer.

Agradeço a minha namorada, Renata, por sempre se mostrar compreensiva nos dias em que não pude dar atenção devido aos períodos de provas, pelas diversas vezes que me ajudou, pelos momentos de descontração e principalmente pelo seu amor.

Agradeço aos meus amigos do PGECIV por cada reunião e discussão que tornaram o curso muito mais interessante e produtivo, por cada resenha ocorrida nos nossos poucos intervalos.

Agradeço à minha orientadora, Prof. Dra. Bernadete Ragoni Danziger, por todo tempo dedicado a me auxiliar na pesquisa e por suas ótimas aulas e conselhos.

Agradeço também, a minha orientadora, Prof. Dra. Eliane Maria Lopes Carvalho, que foi muito solícita e ajudou muito com os modelos numéricos estruturais.

Aos engenheiros Eduardo Cabral e Mauricio Sgarbi, por me sugerirem o estudo no tema e colaborarem com o fornecimento de informação que permitiram a realização do trabalho.

As Empresas Sigma 1 Consultoria & Projetos e Visione Engenharia, por autorizar a utilização dos dados.

À UERJ, por me proporcionar realizar mais um sonho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço por fim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para esta pesquisa.

RESUMO

ZUCCHI, Enzo Cosenza. **Interação solo x estrutura**. Análise de um caso de obra com acompanhamento dos recalques. 2021. 232f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

Na análise estrutural, a hipótese de apoios indeslocáveis vem sendo utilizada há muitos anos devido a sua simplicidade, consistindo em se desprezar o efeito dos recalques do solo. Ao sofrerem pequenos deslocamentos, as fundações podem dar origem à redistribuição de esforços na estrutura. Portanto, analisar a interação entre solo, fundação e estrutura é importante para o desenvolvimento de um bom projeto, sendo atualmente uma recomendação da norma brasileira para o projeto de fundações, em especial para algumas situações. O presente trabalho contempla a análise de um caso real de obra com acompanhamento dos recalques durante a construção. Trata-se do estudo da interação solo – estrutura (ISE) de um edifício de 21 pavimentos em concreto armado sobre fundações mistas, consistindo em sua grande maioria de sapatas. As análises realizadas no software de cálculo estrutural, SAP2000, incluíram aspectos relevantes quanto à modelagem da estrutura e comportamento do solo (por meio de molas). Foram realizadas comparações entre o modelo sem considerar ISE (apoios indeslocáveis) e considerando apoios elásticos. No caso dos apoios elásticos, foi adotado o método AOKI LOPES (1975) para estimativa de recalque e utilizado um processo iterativo para a ISE. Os resultados obtidos mostraram a redistribuição de esforços nos pilares, sendo observada uma tendência de alívio nos pilares centrais e aumento nos pilares periféricos. O Fator de recalque (AR) mostrou-se um parâmetro interessante para indicar a tendência de comportamento da transferência da carga dos pilares, como análise preliminar. Com relação aos recalques, nota-se a uniformização quando comparada às curvas de iso-recalque e a distribuição de recalque dos modelos com e sem ISE. É válido ressaltar que, pelo projeto contemplar fundações assentes muito próximas ao impenetrável à percussão, e o maciço ser composto de um material residual com resistência elevada, a Interação solo-estrutura mostrou-se evidente, porém não muito significativa. Por fim, o autor ressalta a importância das investigações e instrumentações serem executadas com qualidade, para que as análises possam, de fato, refletir a realidade.

Palavras-chave: Interação solo – estrutura. Instrumentação de recalques. Modelagem numérica.

ABSTRACT

ZUCCHI, Enzo Cosenza. **The soil x structure interaction**: analysis of a construction work case with monitoring of the settlements. 2021. 232f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

In structural analysis, the hypothesis of non-displaceable supports has been used for many years due to its simplicity, by neglecting the effect of soil settlement. When submitted to small displacements, the foundations can cause load redistribution. The analysis of the interaction between soil, foundation and structure is important for the development of an adequate design, being suggested by the Brazilian NBR standard for foundation design, especially for some situations. The present research analyzes a real case study that includes the monitoring and analysis of settlements during the construction. The focus was on studying the soil-structure interaction (SSI) of a 21-storey reinforced concrete building on mixed foundations, consisting mostly of footings. The analyzes carried out in the software (SAP2000) included relevant aspects regarding the modeling of the structure and behavior of the soil (by means of springs). Comparisons were made between the model considering fixed supports and considering the interaction effect. The AOKI LOPES (1975) method was adopted for the settlement estimation and an iterative process was used for the SSI. The results has shown the redistribution of the column loads, with a tendency of loading relief in the central columns and loading increase in the periphery. The Settlement Factor (AR) has proven to be an interesting parameter to indicate a trend in the behavior of load transfer from columns, as a preliminary analysis. In relation to settlements, the effect of SSI results in a more uniform behavior when the iso-settlement curves are compared to that analyzed without considering the SSI. It is worth highlighting that since the project comprehends foundations laid very close to the rigid layer (impenetrable to percussion), and the massif is composed of a residual material with high resistance, the soil-structure interaction is evident, but not very significant in the present case. Ultimately, the author emphasizes the importance of performing the investigations and instrumentations with quality, so that the analyzes can, in fact, reflect the reality.

Keywords: Soil-structure interaction. Instrumentation of settlements. Numerical modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Efeito da interação Solo-Estrutura nos recalques e Reações de apoio (GUSMÃO, 1990)	29
Figura 1.2– Recalque versus rigidez relativa estrutura-solo (LOPES & GUSMÃO, 1991)	31
Figura 1.3 – Casos de interação solo-estrutura (CHAMECKI,1969)	31
Figura 1.4 – Efeito da sequência construtiva (GUSMÃO e GUSMÃO FILHO, 1994) ..	33
Figura 1.5 – Efeito de construções vizinhas, adaptado de COSTA NUNES (1956) ..	34
Figura 1.6 – Modelo de Winkler: (a) – (c). VELLOSO E LOPES (2010)	36
Figura 1.7 – Comparação do modelo de Winkler e o solo Real, adaptado de SANTA MARIA (1999).....	36
Figura 1.8 – Modelo do meio continuo (a) Elástico; (b) Elastoplástico (VELLOSO E LOPES (2010).	37
Figura 1.9 – Sistema equivalente de forças concentradas (AOKI e LOPES, 1975) ..	38
Figura 1.10 – Distribuição da carga ao longo da estaca (AOKI e LOPES, 1975).....	38
Figura 1.11 – Parâmetros das equações de Mindlin (AOKI e LOPES, 1975)	39
Figura 1.12 – Discretização da base da estaca cilíndrica (AOKI e LOPES, 1975)....	39
Figura 1.13 – Discretização do fuste da estaca (AOKI e LOPES, 1975).....	39
Figura 1.14 – Metodologia de Steinbrenner para solos estratificados (IWAMOTO, 2000)	43
Figura 2.1 – Localização da construção.....	44
Figura 2.2 – Proposta da Edificação concluída.	45
Figura 2.3 – Elevação esquemática edificação.	46
Figura 2.4 – Planos de Cortes e Locação das sondagens	48
Figura 2.5 - Perfil geotécnico A – A'	49
Figura 2.6 - Perfil geotécnico B – B'	50
Figura 2.7 – Perfil geotécnico C – C'	51
Figura 2.8 – Perfil geotécnico D – D'	52
Figura 2.9 - Planta de Fundações.	55
Figura 2.10 – Seção típica das sapatas (Sigma1 Consultoria & Projetos).	56
Figura 2.11 – Seção típica das estacas Raiz (Sigma1 Consultoria & Projetos).	57
Figura 2.12 – Execução da Edificação (Sigma1 Consultoria & Projetos).	58

Figura 2.13 – Ancoragem do Bench Mark.....	59
Figura 2.14 – Porta-mira e pino de recalque	60
Figura 2.15 – Arranjo esquemático de medida de recalques com nivelamento ótico (adaptado de Russo Neto, 2005).	60
Figura 2.16 – Esquema da parte construída equivalente à Etapa inicial de leitura. ..	62
Figura 2.17 – Esquema mostrando a parte construtiva equivalente à 1ª Etapa	63
Figura 2.18 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 2ª Etapa.	63
Figura 2.19 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 3ª Etapa.	64
Figura 2.20 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 4ª Etapa.	64
Figura 2.21 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 5ª Etapa.	65
Figura 2.22 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 6ª Etapa.	66
Figura 2.23 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 7ª Etapa	67
Figura 2.24 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 8ª Etapa.	68
Figura 2.25 – Esquema mostrando a etapa construtiva equivalente à 9ª Etapa.	69
Figura 2.26 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 10ª Etapa.	70
Figura 2.27 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 11ª Etapa.	71
Figura 2.28 – Curvas iso-recalques, em centímetros, 4ª etapa, Instrumentados.	75
Figura 2.29 – Curvas iso-recalques, em centímetros, 7ª etapa, Instrumentados.	75
Figura 2.30 – Curvas iso-recalques, em centímetros, 11ª etapa, Instrumentados.	75
Figura 3.1 – EPMT de argilas em função do número de golpes do N ₆₀ , KULHAWY e MAYNE (1990).	77
Figura 3.2 – Relação entre N e o Módulo de elasticidade de solos residuais (SANDRONI, 1991)	80
Figura 3.3 – Modelo numérico da edificação em estudo.	84
Figura 3.4 – Isométrico da ligação excêntrica Viga-Pilar usando o artifício da viga fictícia.	85
Figura 3.5 – Isométrico da viga extremamente flexível - Carregamento da Alvenaria.	85
Figura 3.6 – Estrutura sobre apoios rígidos.....	86
Figura 3.7 – Modelos numéricos (a) etapa inicial; (b) 1ª etapa.	90
Figura 3.8 – Modelos numéricos (a) 2ª etapa; (b) 3ª etapa	90
Figura 3.9 – Modelos numéricos (a) 4ª etapa; (b) 5ª etapa.	90
Figura 3.10 – Modelos numéricos (a) 6ª etapa; (b) 7ª etapa.	91
Figura 3.11 – Modelos numéricos (a) 8ª etapa; (b) 9ª etapa.	91

Figura 3.12 – Modelos numéricos (a) 10ª etapa; (b) 11ª etapa.	92
Figura 3.13 – Fluxograma da metodologia utilizada.	93
Figura 3.14 – Recalque médio x Carregamento x tempo.	104
Figura 4.1 – Curvas iso-recalques para a 4ª etapa, Sem ISE.	105
Figura 4.2 – Curvas iso-recalques para a 7ª etapa, Sem ISE.	106
Figura 4.3 – Curvas iso-recalques para a 11ª etapa, Sem ISE.	106
Figura 4.4 – Curva de Iso – AR correspondente a Etapa 11.	109
Figura 4.5 – Curvas iso-recalques para a 4ª etapa, considerando a 4ª iteração.	109
Figura 4.6 – Curvas iso-recalques para a 7ª etapa, considerando a 4ª iteração.	110
Figura 4.7 – Curvas iso-recalques para a 11ª etapa, considerando a 4ª iteração.	110
Figura 4.8 – Planta esquemática das fundações pertencentes a cada área.	111
Figura 4.9 - Distribuição de recalque (Etapa 11) – Área A – Longitudinal.	111
Figura 4.10 - Distribuição de recalque (Etapa 11) – Área B – Transversal.	112
Figura 4.11 – Relação entre cargas dos modelos de apoios rígidos (sem ISE) e modelo com apoio de molas (com ISE), para 4ª iteração da etapa 11 (última).	114
Figura 5.1 – Curvas iso-recalques da 4ª etapa: (a) medidos e (b) calculados, com 4 interações.	117
Figura 5.2 – Curvas iso-recalques da 7ª etapa: (a) medidos e (b) calculados, com 4 interações.	117
Figura 5.3 – Curvas iso-recalques da 10ª etapa: (a) medidos e (b) calculados, com 4 interações.	117
Figura 5.4 – Média dos recalques medidos e estimados, a partir do início da instrumentação.	118
Figura 5.5 – Desvio padrão dos recalques medidos e estimados, a partir do início da instrumentação.	119
Figura 5.6 – Coeficiente de variação dos recalques medidos e estimados, a partir do início da instrumentação.	120
Figura 5.7 – Exemplos de deformadas correspondentes aos recalques estimados e medidos e suas respectivas curvas de frequência. GUSMÃO (1990)	121
Figura 5.8 – Curvas Gaussiana do modelo sem ISE, com ISE e Medida relativos à Etapa 10.	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Relação dos pinos de recalque – pilares.....	61
Tabela 2.2 – Datas das realizações das leituras de recalque.	62
Tabela 2.3 – Resumo das Etapas Construtivas	72
Tabela 2.4 - Recalques medidos ao longo do tempo (em milímetros).	74
Tabela 3.1 – Coeficiente K, TEIXEIRA & GODOY (1996).	77
Tabela 3.2 – Coeficiente α , TEIXEIRA & GODOY (1996).	78
Tabela 3.3 – Valores do Coeficiente de Buisman, BARATA (1984).	78
Tabela 3.4 – Valores de K para emprego na correlação entre o ensaio de cone e a sondagem a percussão, DANZIGER (1982).	79
Tabela 3.5 – Tabela típica: Valores para Sondagem SP01.....	80
Tabela 3.6 – Parâmetros de compressibilidade médios empregados.	82
Tabela 3.7 – Cargas de alvenaria.	86
Tabela 3.8 – Quadro comparativo de cargas nos pilares.	87
Tabela 3.9 – Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) das Etapas 4, 7 e 11 (apoio rígido).	94
Tabela 3.10 – Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) das Etapas 4,7 e 11 (1ª iteração).	96
Tabela 3.11 – Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) das Etapas 4,7 e 11 (2ª iteração).	98
Tabela 3.12 – Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) das Etapas 4,7 e 11 (3ª iteração).	100
Tabela 3.13 – Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) das Etapas 4, 7 e 11 (4ª iteração).	102
Tabela 4.1 – Fator de recalque para cada pilar.....	108
Tabela 4.2 – Redistribuição de cargas, após estudo da ISE.	113
Tabela 5.1 – Valores medidos em centímetros pós ajuste.	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
AR	Fator de Recalque absoluto
BM	Bench Mark
CPT	Cone Penetration Test
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ISE	Interação Solo-Estrutura
NBR	Norma Brasileira
PEISE	Pórtico Espacial com Interação Solo-Estrutura
PMT	Pressiometer Menard test
PR	Pino de Recalque
SISEs	Sistema de Interação Solo – Estrutura
SPT	Standard Penetration Test
SSI	Soil-Structure Interaction
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
V.F	Viga Fictícia

LISTA DE SÍMBOLOS

K_v	Rigidez média das vigas
K_l	Rigidez média das colunas inferiores
K_u	Rigidez média das colunas superiores
I_{pl}	Inércia à flexão das colunas inferiores
I_{pu}	Inércia à flexão das colunas superiores
L	Comprimento total do pórtico
h_1	Altura do pavimento (pé direito)
l	Vão médio do pórtico
n	Número de pavimentos da estrutura
$\{V\}$	Vetor das reações de apoio considerando a interação solo – Estrutura
$\{V_o\}$	Vetor das reações para a condição de apoios indeslocáveis
$[SM]$	Matriz de rigidez da estrutura determinada pela imposição de deslocamentos unitários nas três direções de cada apoio
$\{\delta\}$	Vetor dos deslocamentos (translações e rotações dos apoios)
$[FM]$	Matriz de flexibilidade do sistema de fundação ou matriz de influência do solo
$[I]$	Matriz identidade
E_c	Módulo de elasticidade do material da estrutura
E_s	Módulo de elasticidade do solo
I_b	Momento de inercia da viga típica
l	Comprimento do vão entre pilares
K_{ss}	Rigidez relativa solo-estrutura
C_v	Coefficiente de variação de recalque
q	Carga atuante na mola
k_v	Coefficiente de reação vertical do solo
w	Deslocamento da mola

P_b	Carga atuante na ponta da estaca
P_a	Carga atuante na estaca por atrito lateral
F_1	Atrito lateral na profundidade D1
F_2	Atrito lateral na profundidade D2
D_1	Profundidade início do diagrama de atrito lateral
D_2	Profundidade do fim do diagrama de atrito lateral
w_r	Deslocamento radial
w_x	Deslocamento na direção x
w_y	Deslocamento na direção y
w_z	Deslocamento na direção z
θ	Ângulo entre a direção w_r e o eixo x
ν	Coefficiente de Poisson
ϕ	Ângulo de atrito do solo
c	Coesão do solo
G	Módulo de elasticidade transversal
P	Força vertical
Q	Força horizontal
r_a	Recalque da camada inferior (camada 2)
r_b	Recalque da camada superior (camada 1)
r_i^∞	Recalque no topo da camada considerada
r_h^∞	Recalque no nível considerado indeslocável
N_1	Números de golpes para os primeiros 15 cm
N_2	Números de golpes para os segundos 15 cm
N_3	Números de golpes para os últimos 15 cm
N_t	Números de golpes total do martelo para penetrar o amostrador nos 45 cm
E_{PMT}	Módulo de elasticidade horizontal Obtidos pelo ensaio de pressiómetro (PMT)
E_u	Módulo de elasticidade em condições não drenadas
$q_{alvenaria}$	Cargas de alvenaria
$h_{pé}$	Altura do pé direito
h_{viga}	Altura da viga
E_{ci}	Módulo de deformação tangente inicial do concreto

f_{ck}	Feature Compression Know - Resistência Característica do Concreto à Compressão
E_{cs}	Módulo de elasticidade secante do concreto
N_{60}	Resultado do ensaio SPT corrigido para Energia relativa a 60%
N_{SPT}	Número de Golpes para cravar os últimos 30 cm do amostrador no ensaio SPT
K	Coeficiente empírico que correlaciona o número de golpes da sondagem a percussão com a resistência obtidas no ensaio de cone
α	Coeficiente de Buisman
q_c	Resistência de ponta do ensaio de cone
p_a	Pressão atmosférica
$E_{estimado}$	Módulo de elasticidade estimado pela retroanálise
$E_{calibrado}$	Módulo de elasticidade de calibrado pela retroanálise
$\rho_{calculado}$	Recalque estimado
ρ_{medido}	Recalque medido pela instrumentação
$E_{Solo\ residual\ jovem}$	Módulo de elasticidade calibrado para a camada de solo residual jovem
$E_{Rocha\ extremamente\ alterada}$	Módulo de elasticidade calibrado para o trecho de rocha extremamente alterada
$E_{Rocha\ muito\ alterada}$	Módulo de elasticidade calibrado para o trecho de rocha muito alterada
$E_{Solo,SPT}$	Módulo de elasticidade médio das camadas de solo acima do trecho rochoso
w_o	Recalque estimados no topo da estaca
w_s	Deformação axial do fuste
w_{pp}	Recalque na ponta devido à carga transmitida pela ponta
w_{ps}	Recalque na ponta devido à carga transmitida ao longo do fuste
$Q(z)$	Esforços normais na estaca ao longo da profundidade
A	Área da seção transversal da estaca
E_p	Módulo de elasticidade do material da estaca

$\tau_{l,rup}$	Atrito lateral unitário
f_s	Atrito lateral unitário na luva do cone
R_l	Atrito lateral por metro de comprimento de estaca
E_{ci}	Módulo de elasticidade tangente do concreto
E_{cs}	Módulo de elasticidade secante do concreto
AR	Fator de recalque
ρ_i	Recalque do pilar i em análise
$\bar{\rho}$	Recalque médio dos pilares
γ_z	Coeficiente majorador dos esforços de primeira ordem
$\Delta M_{1,tomb}$	Soma dos momentos produzidos pelas cargas verticais atuantes na estrutura relativas aos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de primeira ordem, na combinação de carregamento considerada
$M_{1,tomb}$	Momento de tombamento calculado como a soma de todos os momentos produzidos pelas forças horizontais em relação à base da estrutura
γ_z^{SSI}	Coeficiente γ_z calculado com o efeito da interação solo x estrutura
γ_z^{FN}	Coeficiente γ_z calculado sem interação e usando apoios fixos
β	Fator de amplificação do parâmetro γ_z devido à interação entre as fundações e a superestrutura da edificação

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
Objetivo	20
Estrutura da dissertação	20
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
1.1. Histórico de trabalhos	21
1.2. Metodologia clássicas para consideração Solo-Estrutura	27
1.3. Efeitos da interação Solo-estrutura	29
1.3.1. Rigidez relativa Estrutura-solo	30
1.3.2. Influência do tempo	31
1.3.3. Influência do número de pavimentos e processo construtivo	32
1.3.4. Influência da vizinhança	34
1.4. Modelagem do Solo	35
1.5. Programa Aoki e Lopes	37
1.5.1. Solução de MINDLIN	41
1.5.2. Procedimento de STEINBRENNER	43
2. ESTUDO DE CASO	44
2.1. Características Gerais da obra	44
2.2. Características geotécnicas	47
2.3. Características estruturais e das fundações	54
2.4. Andamento da construção	57
2.5. Instrumentação - Monitoramento dos recalques	58
2.5.1. Resultado das medições de Recalque	73
3. MODELOS ESTRUTURAIS E DO SOLO	76
3.1. Determinação dos parâmetros do solo	76
3.2. Metodologia de análise e premissas	83
4. COMPORTAMENTO ESTIMADO DAS FUNDAÇÕES	105
4.1. Apoios Indeslocáveis	105
4.2. Apoios Móveis	109
5. ANÁLISE COMPARATIVA – ESTIMADOS X MEDIDO	115
6. CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE FUTUROS ESTUDOS	126
REFERÊNCIAS	129

Apêndices.....	135
----------------	-----

INTRODUÇÃO

Os projetos estruturais de edificações geralmente abordam a hipótese de que a base dos pilares se encontra sobre apoios indeslocáveis, enquanto os projetos de fundações consideram apenas as cargas originárias da superestrutura e as características do solo de fundação. A independência entre os projetos acaba por se distanciar da realidade, pois é sabido que a rigidez da estrutura afeta o comportamento da fundação, assim como a movimentação da fundação afeta a redistribuição de esforços na estrutura. Deve-se ter muito cuidado com a redistribuição de esforços, pois, em casos de significativas deformações, esta pode provocar o aparecimento de danos na superestrutura, como observa GUSMÃO (1987).

Atualmente, com o surgimento de novas tecnologias, novos softwares e maior poder de processamento, tornou-se menos custoso o estudo com consideração da interação entre a estrutura e o solo de fundação em análises com solicitações estáticas. Tratar os projetos de estrutura e fundação de forma unificada, ou seja, considerar a interação, consiste na introdução de uma série de etapas nas análises. Do ponto de vista estrutural, deve-se considerar: a sequência construtiva, os detalhes do projeto, os carregamentos aplicados e as propriedades dos materiais. Do ponto de vista do projetista de fundação, deve-se preocupar com: o perfil do maciço, a adequada caracterização do solo, a variabilidade de suas propriedades, a estimativa dos parâmetros geotécnicos, o processo executivo e o efeito da influência do comportamento conjunto dos vários elementos que compõem as fundações. Para contornar essas dificuldades, hoje são utilizados métodos numéricos refinados juntamente com hipóteses simplificadoras que têm apresentado resultados satisfatórios.

Segundo GUSMÃO (1990), a interação solo – estrutura gera dois efeitos marcantes: a redistribuição de esforços entre os elementos estruturais, principalmente as cargas nos pilares, e a uniformização dos recalques, consequência da solidarização dos elementos estruturais que agregam rigidez à estrutura. O citado autor alerta que se deve ter muito cuidado com o efeito da redistribuição dos esforços, pois pode provocar danos à estrutura, como esmagamento de pilares periféricos devido à sobrecarga.

A instrumentação de recalques em edificações durante o processo construtivo vem se mostrando muito importante na avaliação do desempenho das fundações e contribui para o entendimento do tema. A presente pesquisa colabora, portanto, para o aumento do banco de dados existente de estudos anteriores, analisando um caso de uma edificação com 21 pavimentos sobre fundações mistas, abordando, por meio de modelos numéricos, a interação solo – estrutura e sua aferição com dados instrumentados. Além disso, o fato do edifício ser relativamente alto, torna necessário uma análise considerando a ISE, já que a última atualização da Norma de Fundações da ABNT, NBR 6122 (2019), em seu item 5.5, preconiza o estudo para o caso de edificações altas em que a deformabilidade do solo pode influenciar na distribuição de esforços.

Objetivo

O presente estudo faz parte de uma linha de pesquisa do Programa de Pós-Graduação da UERJ. O objetivo principal é analisar o comportamento em conjunto da superestrutura e da fundação por meio de modelo numérico associado a processos iterativos, visando, assim, evidenciar os efeitos decorrentes da ISE e contribuir para o entendimento e para a extensão do banco de dados disponível.

Como objetivos adicionais, destacam-se:

- 1) Verificação da capacidade de estimar os parâmetros de deformabilidade dos solos a partir de correlações que abordam ensaios de campo SPT.
- 2) Verificação do Fator de Recalque Absoluto como indicador de redistribuição de esforços, na previsão do aumento ou redução das cargas nos pilares.
- 3) Mediante instrumentação da obra em estudo, incluindo o monitoramento dos recalques, confrontar as bacias de recalques previstas (Sem ISE e com ISE) e medidas.

Estrutura da dissertação

No próximo capítulo, apresenta-se uma revisão bibliográfica, incluindo um resumo de pesquisas anteriores e algumas referências mais recentes, relativas ao tema, bem como alguns tópicos necessários para melhor compreensão das análises realizadas no decorrer da pesquisa.

Descrevem-se, no segundo capítulo, as características gerais da edificação considerada nesta pesquisa, assim como as características geotécnicas e estruturais da obra, etapas construtivas e instrumentação de campo realizada.

No terceiro capítulo, por sua vez, é abordada a metodologia usada para análise, assim como os modelos numéricos da estrutura correspondentes a cada etapa construtiva, desenvolvidos no *Software* SAP2000. A natureza e a caracterização do solo são também abordadas neste capítulo.

O capítulo quatro apresenta os resultados dos modelos com a hipótese de apoios indeslocáveis (sem ISE) e com apoios que permitem o deslocamento (com ISE). São realizadas análises comparativas, de forma a mostrar os principais efeitos da interação solo – estrutura.

No quinto capítulo, são confrontadas as análises do modelo desenvolvido da edificação com os valores medidos (instrumentação) para várias etapas construtivas, e são discutidos os resultados.

Por fim, no último capítulo, são descritas as principais conclusões e algumas sugestões para nortear futuras pesquisas.

Em sequência, seguem a lista de referências e os apêndices.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Histórico de trabalhos

Neste tópico serão apresentados, de forma sucinta e cronológica, um apanhado de trabalhos que abordaram a interação entre a estrutura e o solo. O tema vem ganhando força nas últimas décadas, aliado ao desenvolvimento de técnicas numéricas e *softwares* modernos.

O trabalho de MEYERHOF (1953) é considerado como o primeiro que procurou avaliar os efeitos da interação solo – estrutura em edificações. O autor baseou-se na teoria da elasticidade, tanto para a estrutura quanto para solo e avaliou os recalques totais, recalques diferenciais e momentos fletores na fundação. O autor chegou à conclusão de que a rigidez da estrutura tem grande importância frente aos recalques diferenciais e sugeriu expressões para cálculo de rigidez equivalente.

CHAMECKI (1954) foi o primeiro autor brasileiro a tratar deste tema. O citado autor apresentou, no 1º congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, uma metodologia baseada em um processo iterativo, que costuma ser utilizada até a atualidade, com algumas modificações. CHAMECKI (1954) verificou que a consideração da rigidez da estrutura influencia a estimativa dos recalques diferenciais, tendendo a reduzir o valor das distorções e suavizando a bacia de recalques, quando se compara aos valores de recalques calculados por métodos convencionais.

LEE e HARRISON (1970), conforme relatam GUSMÃO (1990) e GONÇALVES (2004), apresentaram soluções para a análise de estruturas sobre sapatas associadas e radier baseadas na hipótese de Winkler e em técnicas analíticas simples. Os autores observaram que, na ausência de leis fundamentais do comportamento tensão-deformação para solos, era necessário recorrer a modelos matematicamente simples. Verificaram ainda que, apesar das reconhecidas limitações da hipótese de Winkler, esta é bastante aceitável em alguns casos, particularmente em fundações com baixa rigidez relativa.

DIAS (1977) agrupou vários métodos de previsão de recalque para fundações em estacas e estabeleceu comparações com resultados reais de campo. O autor debruçou nos métodos baseados na teoria da elasticidade e deu ênfase ao método AOKI e LOPES (1975), sendo um dos primeiros a utilizar em trabalhos acadêmicos.

BROWN e YU (1986) analisaram a interação solo-estrutura, objetivando a comparação do efeito da progressão de carga em estruturas em relação ao carregamento instantâneo, tanto em análises planas como tridimensionais. Desse modo, concluíram que, para efeitos de interação, a rigidez do edifício carregado progressivamente pode ser estimada, aproximadamente, pela metade da rigidez da edificação concluída, considerando o carregamento instantâneo.

GUSMÃO (1990) teve como objetivo avaliar quantitativa e qualitativa os fatores que influenciam o mecanismo da ISE. Para isso, realizou estudos paramétricos nos principais fatores (rigidez relativa, número de pavimentos, efeitos dos primeiros pavimentos, entre outros) utilizando em suas análises a metodologia de POULOS (1975). Além disso, o autor apresenta análise de um caso real de obra confrontando valores estimados com os medidos.

FONTE ET AL. (1994) realizaram o estudo em um edifício com 14 andares considerando a ISE e o processo construtivo, por meio de modelo computacional utilizando método de elementos finitos. Os autores compararam três modelos: modelo convencional (sem ISE e com carregamento instantâneo), modelo com ISE e carregamento instantâneo e o modelo com ISE considerando a sequência construtiva. Concluíram, portanto, que o modelo convencional superestima os recalques diferenciais, enquanto o modelo considerando ISE e carregamento instantâneo subestima, já que agrega à estrutura uma rigidez maior que a real.

GUSMÃO FILHO (1995) apresentou um estudo baseado no acompanhamento da construção de um conjunto habitacional composto por 7 edifícios na cidade de Recife. Foi observado um comportamento distinto entre eles, já que, apesar de serem idênticos, existia uma variabilidade do perfil geotécnico do terreno. Todos os edifícios apresentaram os efeitos decorrentes da ISE e foram constatados que os primeiros andares sofrem maior influência. Diante dos fatos constatados, o autor recomenda o adiamento da execução de alvenarias até que se conclua a estrutura, para que se evite danos a elas.

MAUGERI ET AL (1998) reforçam a importância de conhecer os movimentos sofridos pela fundação, devido a possíveis danos estruturais. Em razão da dificuldade de se obter amostras indeformáveis de solo não coesivo e, portanto, parâmetros do solo de melhor qualidade, destacou a importância da utilização da instrumentação para medir os recalques. O estudo abrangeu dois edifícios em concreto armado, localizados na Itália, com fundações superficiais assentes em areia e concluiu que os métodos clássicos de previsão (SCHMERTMANN, 1970; SCHMERTMANN ET AL., 1978; BURLAND e BURBIDGE, 1985 e BERARDI e LANCELLOTTA, 1991) apresentaram resultados positivos. Ressaltou, no entanto, a necessidade de se fazer uma boa investigação in situ.

REIS (2000) estudou o tema interação solo-estrutura em um grupo de edifícios com fundações superficiais sobre solos moles localizados em Santos/SP. O autor configura o solo mole como visco elástico, por meio do modelo reológico de Kelvin, com parâmetros obtidos de retroanálise das curvas recalque – tempo. Para a interação entre a superestrutura e o maciço, foi utilizada a metodologia de CHAMECKI (1956) associada ao método AOKI e LOPES (1975). A pesquisa destaca a importante influência da rigidez da estrutura, efeito de grupo entre as fundações, processo construtivo e influência das construções vizinhas. REIS (2000) concluiu que a interação solo-estrutura impõe uma uniformização de recalque e que a distribuição dos esforços ocorre de forma mais acentuada nos andares inferiores. Para um grupo de prédios, o desempenho é comandado pelo efeito do grupo.

MENDONÇA (2000) concentrou esforços no desenvolvimento de uma ferramenta, que permitiu o estudo de interação solo – estrutura, para carregamento vertical. O autor buscou uma solução para compatibilizar o cálculo matricial com um procedimento iterativo. Dessa forma, a solução encontrada foi unir as propostas de POULOS (1975) com a proposta de CHAMECKI (1956), adequando um método com base matricial a um procedimento iterativo convergente. O programa confirmou os relatos pertinentes ao tema, como: homogeneização dos recalques nos apoios e redistribuição de cargas. Com o aumento da rigidez do pórtico, há uma tendência do comportamento se assemelhar ao de um bloco rígido.

Em DANZIGER ET AL. (2000), os autores relatam o fato de que as instrumentações de recalque só acontecem quando surgem problemas visuais e funcionais nas edificações. Além disso, sugerem o monitoramento de recalques desde o início da construção, como forma de garantir o controle e o desempenho das fundações. No mesmo trabalho, realizaram estudos que envolveram medições de recalque desde o início da construção de uma edificação situada no Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro. A construção é composta por 13 pavimentos e fundações em estacas Franki assentes em areia. A instrumentação mostrou que mesmo após o fim da construção os recalques continuaram a ocorrer, tendo uma magnitude média, em 6 anos, de 25mm. Por fim, foi constatada a uniformização dos recalques e a redistribuição de cargas devido a interação entre o solo e a estrutura.

IWAMOTO (2000) buscou mostrar a importância da consideração da interação solo x estrutura mediante exemplos de modelos numéricos. Em sua análise, o citado autor ressalta que a não consideração da sequência construtiva pode levar o projetista a estimar o comportamento da estrutura de forma errônea, diferente do real. Como justificativa, o autor afirma que na prática a estrutura recebe acréscimo de carga e rigidez de acordo com a elevação dos pavimentos e que, por consequência, os recalques e distribuição de cargas serão diferentes caso estes acréscimos sejam considerados instantâneos. Foi observado que nos primeiros andares, a parcela dos esforços nos elementos estruturais decorrentes da interação solo – estrutura são mais significativas e que, com o aumento da rigidez, ocorre uma diminuição dos recalques distorcionais.

HOLLANDA JUNIOR (2002) estudou o comportamento da alvenaria estrutural frente a deslocamentos sofridos pela fundação. O autor realizou modelos experimentais em escala reduzida compostos por uma parede estrutural, uma viga, um apoio fixo e dois apoios hidráulicos que permitiam impor deslocamentos. Foram realizadas análises considerando várias combinações de deslocamentos e aberturas na alvenaria, de forma a compreender a evolução das trincas e fissuras. Os resultados obtidos com os modelos em escala reduzida foram confrontados com os do modelo numérico e ficou evidente a importância de considerar elementos de contato (não – linearidade de contato) entre a parede e a viga. Apesar dos resultados numéricos mostrarem comportamento muito próximos aos experimentais, o autor ressalta a necessidade de aprimorar a interface parede-viga.

COSTA (2003) analisou duas obras muito distintas, situadas na cidade do Rio de Janeiro, nas quais foram monitorados os recalques. Enquanto um dos edifícios

está sobre fundações superficiais em solo arenoso, o outro apresenta uma solução de estacas em solo estratificado. O autor estudou a redistribuição de cargas nos pilares, a uniformização dos recalques e o desempenho global da estrutura. Constatou-se que os pilares periféricos, em sua maioria, sofreram sobrecarga, enquanto alguns pilares centrais sofreram alívio. COSTA (2003) concluiu que modelos convencionais não representam de forma adequada o comportamento da estrutura, sendo necessário modelos mais elaborados.

GONÇALVES (2004) realizou estudos em um edifício no Recreio dos Bandeirantes, RJ, que foi monitorado desde o início da construção. Utilizou pinos de recalques e extensômetros mecânicos, a fim de monitorar os recalques e medir indiretamente a carga nos pilares, respectivamente. A autora comparou resultados obtidos de um modelo numérico com apoios indeslocáveis e um modelo com imposição de deslocamentos, que no caso foram os recalques medidos. A divergência dos valores de coeficiente de variação foi atribuída a existência da interação solo – estrutura. O coeficiente de variação, com o avanço e finalização das estruturas e alvenarias, sofreu um acentuado decréscimo no modelo de imposição dos deslocamentos, caracterizando a influência de tais elementos na rigidez do conjunto.

ROSA (2005) apresentou um caso de obra no qual ocorreram danos durante a vida útil da estrutura. A construção em estudo foi assente sobre fundações superficiais em solo arenoso seguido de solo argiloso de consistência mole. Foram feitas análises e investigações para obter-se a grandeza e o desenvolvimento com o tempo dos recalques já ocorridos. Posteriormente, foi estudada a interação solo-estrutura, em que conseguiu-se reproduzir todos os problemas documentados, como trinca e fissuras. Assim como REIS (2000), foi utilizado o modelo de Kelvin para simular o comportamento do solo. Com o modelo detalhado da estrutura em elementos finitos e considerando as alvenarias, concluiu-se que, mesmo com simplificações, e, portanto, parâmetros do solo aproximados, a análise foi capaz de reconstituir a localização dos danos e prever o mal comportamento da fundação.

DANZIGER ET AL. (2005) analisaram uma edificação de 4 pavimentos com 36 pilares no nível do térreo. O subsolo constitui-se de um horizonte arenoso, onde as sapatas foram assentadas. Foram utilizados pinos de recalque em 10 pilares selecionados para acompanhar o desenvolvimento dos recalques desde o início da construção. Assim, os autores realizaram modelos e análises para cada etapa de medição e concluíram que, considerando a interação solo x estrutura, as cargas foram razoavelmente diferentes das apresentadas pelo calculista, que considerou apoios rígidos. O modelo mostrou uma tendência de transferência de carga dos pilares centrais para os periféricos e uma equalização dos recalques. Os autores afirmaram, portanto, com base nos resultados, que esse comportamento é válido para casos de maciço homogêneo horizontalmente.

SILVA (2005), por sua vez, estudou as cargas nas fundações por meio das leituras de deformações realizadas nas faces dos pilares durante o processo construtivo de uma edificação, também estudada por COSTA (2003). A autora desenvolveu um programa, em MathCad, para transformar as leituras de deformações em valores de cargas, de forma a considerar as parcelas do efeito da fluência e

retração do concreto. Buscou-se comparar, nesta pesquisa, os resultados experimentais com os resultados numéricos, evidenciando a importância do efeito de fluência e retração, mesmo que, segundo a autora, estimadas de forma excessiva.

COLARES (2006), assim como outros autores, focou no desenvolvimento de uma ferramenta que pudesse facilitar e agilizar o estudo de interação entre solo e a estrutura. Por meio da Linguagem FORTRAN, o autor criou um programa capaz de realizar os cálculos de deslocamento, segundo o método de AOKI e LOPES (1975), compatibilizando com o deslocamento da estrutura de fundação, discretizada em elementos finitos de cascas. O programa apresenta limitações a respeito do tipo e da forma da fundação, somente sendo aceitas sapatas retangulares.

SAVARIS (2008) teve como objetivo estudar o comportamento da estrutura em virtude dos deslocamentos da fundação. O autor projetou e desenvolveu um sistema de monitoração baseado em fotografias digitais associados a um sistema hidráulico para acompanhar e medir os recalques ocorridos desde o início da construção. O edifício estudado é composto por 12 pavimentos com fundações mistas e está localizado no município de Campo de Goytacazes. Por meio de modelos numéricos tridimensionais foram feitas análises comparativas entre a estrutura com apoios indeslocáveis e apoios com imposição dos recalques medidos, tendo sido observada a redistribuição das cargas entre os pilares. Além disso, foi evidenciada a influência dos recalques na estrutura nos primeiros estágios de construção, em razão da menor rigidez.

MOTA (2009) desenvolveu um código computacional, conhecido como PEISE (Pórtico Espacial com Interação Solo-Estrutura), que trata a superestrutura e os elementos de fundação como estruturas únicas acopladas ao modelo proposto por AOKI e LOPES (1975) para efetuar os cálculos de deslocamentos no solo. Após validado o software, através da análise de muitos exemplos disponíveis na literatura, a autora o colocou em prática em um caso de obra real. Localizado em Fortaleza, o edifício composto por 26 pavimentos foi monitorado desde o início da construção, com medidas de recalques e deformações nos pilares. Foi observada uma tendência de uniformização dos recalques com a evolução da obra, por meio da redução do coeficiente de variação, assim como relatados anteriormente por outros autores. Não foi observada redistribuição de cargas, fato este atribuído à distribuição em planta dos pilares, sendo, em sua maioria, de periferia.

ARAUJO (2010) analisou um caso de obra cujas fundações foram executadas em estacas tipo raiz assentes em solo arenoso, sendo os recalques monitorados desde o início da construção. Como muitos outros autores, utilizou do método de AOKI e LOPES (1975) para realizar os cálculos para a estimativa dos recalques. Inicialmente, foram considerados apoios indeslocáveis que, posteriormente, foram substituídos por apoios elásticos com coeficiente de mola obtidos por processo iterativo. Dessa forma, foram avaliados os efeitos da interação solo x estrutura durante o processo construtivo por comparação entre os modelos com apoios indeslocáveis e elásticos. Mesmo com recalques bem reduzidos, devido ao emprego de estacas tipo raiz, foi evidenciada a redistribuição de cargas, assim como a uniformização dos recalques.

ANTONIAZZI (2011), de forma muito didática, apresentou comparações de resultados entre exemplos de modelos numéricos com e sem a adoção da interação solo – estrutura. A autora utilizou desde modelos simples (pórtico plano) a modelos mais elaborados (pórtico espacial), para mostrar que, mesmo com simplificações, é possível constatar os efeitos devido à interação. Ademais, destacou a importância da consideração da sequência construtiva nas análises.

MENDONÇA (2012) abordou o tema, buscando entender o comportamento da estrutura em solução mista (aço – concreto) e, para isso, utilizou de elementos finitos a fim de modelar a estrutura, por meio do Software ANSYS. Com o intuito de simular o comportamento do solo, aplicou nos nós, referentes à fundação, molas discretas, lineares e elásticas. As constantes elásticas da mola foram obtidas com auxílio do *software* PLAXIS. O autor realizou a análise para diferentes tipos de solo e comparou os resultados entre modelo com apoios indeslocáveis e apoios móveis (molas), e constatou variação de esforços atuantes nos pilares, principalmente nos primeiros pavimentos.

ROSA (2015) desenvolveu seus estudos com foco nos efeitos da fluência e retração do concreto no contexto das análises de interação solo x estrutura. O caso analisado consistiu numa edificação em Niterói, RJ, composta de 18 pavimentos. A instrumentação se iniciou quando já existiam 4 pavimentos construídos e contemplou medidas de recalques e de deformações nos pilares. A autora desenvolveu modelos de elementos finitos para representar a superestrutura em conjunto com o método de AOKI LOPES (1975) para previsão de recalques. Nas análises, foram confrontados os resultados instrumentados com os estimados considerando ISE (com e sem efeitos da fluência e retração). A autora conclui que a consideração da fluência e retração na análise se mostra pouco significativa quando comparada ao efeito da interação.

SANTOS (2016) realizou um estudo dos efeitos da interação solo x estrutura em edifícios de parede de concreto. Por meio de modelos estruturais em elementos finitos juntamente com o método de AOKI LOPES (1975), foram feitos estudos paramétricos para quantificar a influência do tipo de fundação (superficial e profunda), forma da edificação (quadrada ou alongada) e número de pavimentos. O autor evidenciou que em todas as situações ocorreram a redistribuição das cargas e uniformização dos recalques (redução dos recalques máximos e diferenciais). Em relação às paredes de concreto, os resultados apontaram modificações importantes nos esforços, principalmente nos dois primeiros pavimentos.

DORSCHIEDT (2018) buscou, em seu trabalho, entender os diferentes tipos de abordagens, no que diz respeito à modelagem do sistema de interação solo-estrutura, tanto para fundações superficiais, quanto para profundas. Utilizou-se somente de modelos em pórtico plano, e foram apresentadas as vantagens e as desvantagens das diferentes escolhas de modelagem do solo. Foram utilizados três diferentes modos para simular o solo, entre eles, o Modelo de Winkler e Método dos Elementos Finitos pelo SAP2000 (comportamento elástico) e PLAXIS (comportamento elastoplástico). O autor conclui que ao considerar a hipótese de Winkler, os efeitos do entorno não são considerados, apresentando resultados divergentes dos demais modelos. Ao invés de melhorar os resultados frente ao modelo clássico indeslocável,

acabou tornando mais distantes de uma resposta precisa. Com relação às propostas numéricas, a variação mínima dos resultados foi atribuída à inclusão de propriedades plásticas pelo *software* PLAXIS, mostrando-se viável a aproximação do comportamento do solo como meio elástico em edificações de porte médio sobre maciço de boa resistência.

RITTER ET AL. (2020) investigaram a influência da interação solo-estrutura em construções de pequeno porte com fundações profundas por um ponto de vista de consumo/custo de material. Com simulações numéricas por meio do *software* comercial CAD/TQS com módulo SISEs, os autores concluíram que os efeitos foram pouco significativos, influenciando pouquíssimo no custo.

GUSMAO ET AL. (2020), destacam o efeito de grupo em blocos de estacas. Os autores apresentam, de forma prática, dois casos localizados em Recife/PE de pilares apoiados em blocos de estacas. No primeiro caso, em que as estacas eram flutuantes, o efeito de grupo influenciou muito os recalques, enquanto no segundo caso, de estacas metálicas embutidas em solo resistente, o efeito de grupo foi insignificante. No mesmo artigo, foram apresentadas análises de duas soluções em radier estaqueado, para edifícios altos, presentes no trabalho de SILVA (2018), considerando a interação solo – estrutura. Ambos os casos evidenciaram a uniformização dos recalques e redistribuição das cargas. Por fim, alertou-se que a ISE maximiza os efeitos globais de segunda ordem.

Outros trabalhos serão mencionados no decorrer do texto, à medida que os tópicos relevantes irão surgindo.

1.2. Metodologia clássicas para consideração Solo-Estrutura

As metodologias apresentadas são utilizadas para a consideração da interação solo x estrutura em análises cujo as solicitações são estáticas.

Em MEYERHOF (1953), considerado um dos primeiros trabalhos que estudou o efeito da interação solo – estrutura em edificações, o autor ressaltou que, na prática, a rigidez da fundação (infraestrutura) é muito menor que a rigidez da superestrutura, principalmente em estruturas aporticadas. Dessa forma, foram observados que os recalques diferenciais, além de serem muito influenciados pela compressibilidade do solo, eram também dependentes da rigidez da estrutura. MEYERHOF (1953) propôs expressões para a estimativa da rigidez de estruturas aporticadas e sugeriu a possibilidade, em uma análise interativa, de substituição de uma estrutura real por outra mais simples com rigidez equivalente.

O processo iterativo, sistemático, proposto por CHAMECKI (1954), inicia-se a partir das reações de apoio da estrutura, considerados como indeslocáveis, dos coeficientes de transferência de carga (reações verticais dos apoios provenientes de

recalques unitários de cada apoio individual) e por fim, são calculados os recalques. Em seguida, para consideração da rigidez da estrutura, são impostos os deslocamentos (recalques calculados anteriormente) e o processo é repetido até que haja a convergência dos recalques e das reações nos apoios.

A metodologia, proposta por POULOS (1975), possibilita uma análise tridimensional da fundação, baseada no cálculo matricial que considera a interação entre superestrutura – fundação – solo. Para isso, o autor apresenta duas equações: (a) equações que relacionam o comportamento da superestrutura com o recalque na fundação, chamada de equação de interação superestrutura – fundação e (b) equação que relacionam o comportamento da fundação e do solo.

(a) Equação interação superestrutura – fundação

$$\{V\} = \{V_o\} + [SM] \cdot \{\delta\} \quad (1.1)$$

(b) Equação interação solo – fundação

$$\{\delta\} = [FM] \cdot \{V\} \quad (1.2)$$

Onde:

$\{V\}$ – Vetor das reações de apoio considerando a interação solo – Estrutura;

$\{V_o\}$ – Vetor das reações para a condição de apoios indesejáveis;

$[SM]$ – Matriz de rigidez da estrutura determinada pela imposição de deslocamentos unitários nas três direções de cada apoio;

$\{\delta\}$ – Vetor dos deslocamentos (translações e rotações dos apoios);

$[FM]$ – Matriz de flexibilidade do sistema de fundação ou matriz de influência do solo, determinada pela imposição de forças unitárias nas três direções de cada apoio.

Combinando as equações (1.1) e (1.2), tem-se:

$$\{V_o\} = [I - [SM][FM]]\{V\} \quad (1.3)$$

Onde:

$[I]$ – Matriz identidade

A Equação (1.3) fornece todas as reações desconhecidas, $\{V\}$, por seguinte, obtém-se todos os deslocamentos pela Equação (1.2). Considerando um sistema tridimensional em cada apoio, existirão seis componentes de reação (3 forças e 3 momentos) e seis componentes de deslocamento (3 translações e 3 rotações). Portanto, para n apoios, a matriz de flexibilidade será quadrada $6n \times 6n$. Ressalta-se que as equações podem ser aplicadas a qualquer tipo de estrutura e tipo de terreno, porém, para comportamento de solos não – lineares, deve-se adotar o processo iterativo.

AOKI (1989), apresenta um modelo simples de transferência de carga da estaca isolada para o maciço de solo. Posteriormente, AOKI (1997) estendeu o modelo para blocos com grupos de estacas. Para considerar a interação solo – estrutura é proposto um roteiro iterativo resumido abaixo.

1. Calcula-se as reações nos apoios considerados indesejáveis;
2. Essas reações são aplicadas nos elementos de fundação e calcula-se os recalques do grupo;
3. Calculam-se os coeficientes rigidez (coeficiente de mola) dos apoios, dividindo a reação por seu respectivo deslocamento;
4. Aplicam-se as molas na estrutura e recalcula-se as reações;
5. O procedimento é repetido até que ocorra a convergência dos recalques e/ou reações.

1.3. Efeitos da interação Solo-estrutura

Ao considerar, nas análises, a interação solo-estrutura, ou seja, apoios que respeitam a deformação do maciço, a superestrutura ao tentar movimentar-se será parcialmente impedida pela rigidez das ligações entre os elementos. Dessa forma, ocorre uma redistribuição de esforços e uma suavização dos recalques diferenciais, deformadas mais brandas, quando comparadas a análises convencionais (Figura 1.1).

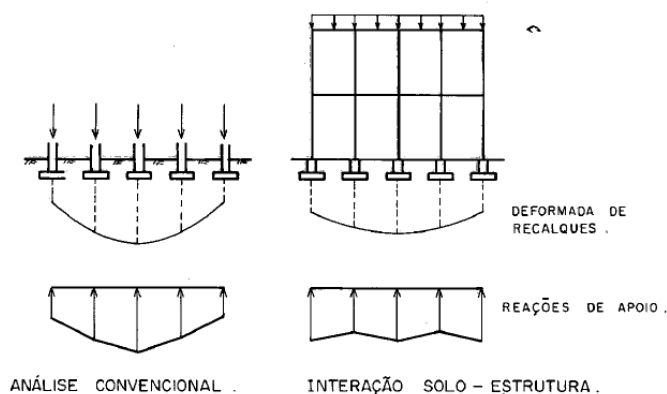


Figura 1.1 – Efeito da interação Solo-Estrutura nos recalques e Reações de apoio (GUSMÃO, 1990)

1.3.1. Rigidez relativa Estrutura-solo

GUSMÃO (1990), mediante desenvolvimento de estudos paramétricos de fatores influentes, observou, em todos os casos analisados, uma tendência à uniformização dos recalques ao se considerar a interação solo-estrutura. Conclusivamente, segundo o autor, o desempenho da edificação é governado pela rigidez relativa estrutura-solo e que os recalques diferenciais são bem mais influenciados pela ISE que o recalques absolutos.

Segundo RAMALHO & CORRÊA (1991), através de suas análises em edifícios com sistemas distintos, a consideração de rigidez para o solo, mesmo que elevada (rígido), mostrou-se influenciar bastante em alguns elementos estruturais, quando comparada a apoios fixos. O autor ressalta que edifícios com sistema de laje-cogumelo apresentou maior sensibilidade a fundações flexíveis do que edifícios com sistema clássico, laje-viga-pilar.

LOPES & GUSMÃO (1991), após analisarem o comportamento de um edifício de concreto armado modelado como um pórtico sobre meio elástico, sugeriram o parâmetro rigidez relativa estrutura-solo (K_{ss}) como forma aproximada de avaliar a variação da ordem de grandeza dos recalques.

$$K_{ss} = \frac{E_c \cdot I_b}{E_s \cdot l^4} \quad (1.4)$$

Onde

E_c é o módulo de elasticidade do material da estrutura;

E_s é o módulo de elasticidade do solo;

I_b é o momento de inércia da viga típica;

l é o comprimento do vão entre pilares.

A viga típica utilizada em LOPES & GUSMÃO (1991), conforme MEYERHOF (1953), a fim de quantificar a rigidez à flexão da superestrutura, nada mais é do que a representação de um pórtico por meio de uma viga de rigidez equivalente ao somatório das rigidezes à flexão de todas as barras que constituem tal pórtico. Já a rigidez do maciço de solos é representada pelo módulo de elasticidade da camada mais compressível. LOPES & GUSMÃO (1991), assim como MEYERHOF (1953), concluíram que o aumento da rigidez relativa estrutura-solo (K_{ss}) diminui os valores dos recalques, tendo uma redução mais significativa nos recalques diferenciais, Figura 1.2.

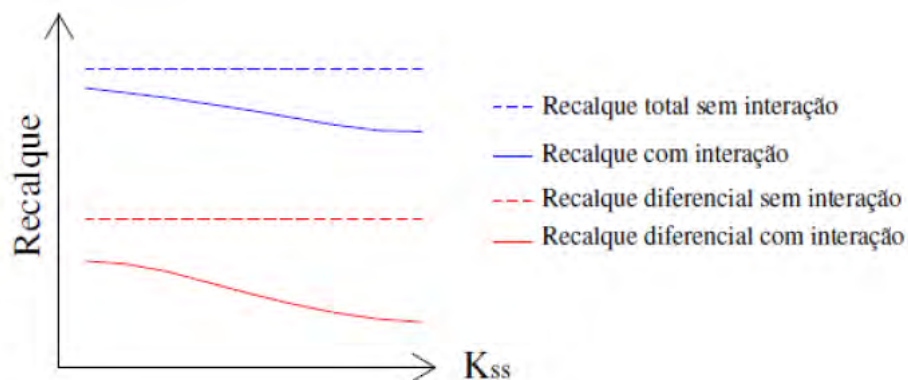


Figura 1.2– Recalque versus rigidez relativa estrutura-solo (LOPES & GUSMÃO, 1991)

1.3.2. Influência do tempo

CHAMECKI (1969) apud IWAMOTO (2000) apresenta tipos de casos de interação solo-estrutura que relacionam a rigidez da estrutura e o comportamento do solo ao tempo (Figura 1.3).

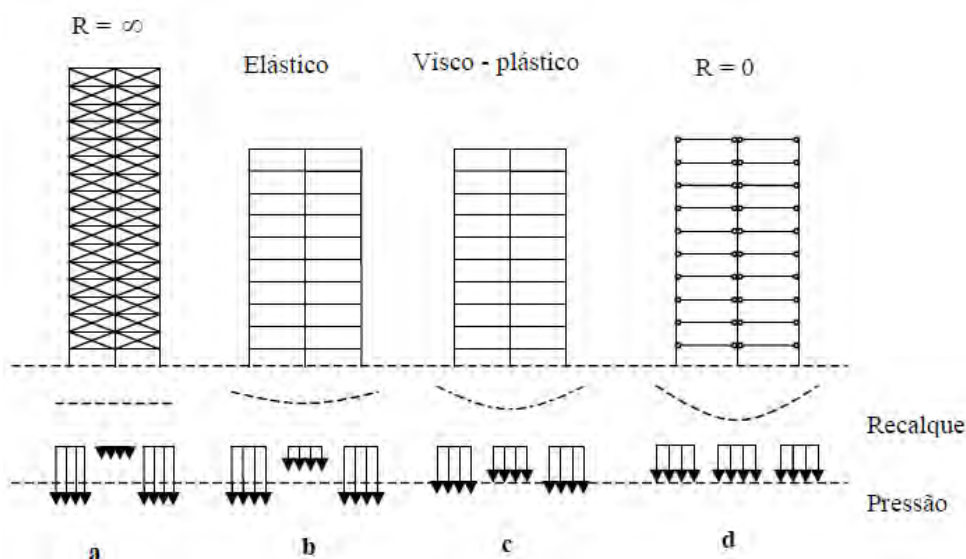


Figura 1.3 – Casos de interação solo-estrutura (CHAMECKI,1969)

O caso (a) enquadra estruturas infinitamente rígidas que consequentemente apresentam recalques uniformes. Edifícios muito altos com fechamento de paredes de alvenaria estrutural trabalhando em conjunto com a estrutura aproximam-se desse comportamento.

O caso (d) é uma situação completamente oposta ao caso (a), uma vez que apresenta estruturas extremamente flexíveis (tendendo a uma rigidez nula) e, por isso, acomoda-se às deformações do maciço de solo. Edifícios muito longitudinais (comprimento maior que a largura, vista em planta) exemplificam esse caso.

Os casos intermediários são identificados pelas situações (b) e (c). O caso (b) representa uma estrutura perfeitamente elástica, no qual a rigidez não depende da velocidade de progressão dos recalques. Estruturas metálicas assemelham-se a tal comportamento. Já o caso (c), estrutura viscoelástica, apresenta rigidez que depende da velocidade de progressão dos recalques diferenciais. O comportamento aproxima-se de elástico quando os recalques ocorrem rapidamente. Em situações em que os recalques são muito lentos, a estrutura tende a um comportamento viscoso, dessa forma, deve-se investigar o fenômeno de fluência do material. SANTA MARIA ET AL. (1999), conforme relatam RUSSO NETO (2005) e GONÇALVES (2004), apresentaram uma metodologia para análise de vigas contínuas sobre apoios viscoelásticos, a qual permite o estudo da interação solo-estrutura. Os autores perceberam que os esforços tanto nas vigas, bem como nos apoios, variavam ao longo do tempo e que a não consideração do comportamento viscoelástico poderia gerar erros contra a segurança.

Em ROSA (2015), foram abordados profundamente os efeitos da fluência e da retração com análises numéricas. A autora observou que os efeitos da interação e da fluência caminham em sentidos opostos com relação à redistribuição das cargas nos pilares. Além disso, observou que tais efeitos não modificaram de forma relevante os padrões de distribuição de recalque e que, frente ao efeito de interação, são muito menos expressivos.

1.3.3. Influência do número de pavimentos e processo construtivo

Segundo GUSMÃO (1994), com o aumento do número de pavimentos da edificação, o conjunto estrutural torna-se gradativamente mais rígido. Porém, GOSHY (1978) observou que o ganho de rigidez não apresenta linearidade, ou seja, os primeiros pavimentos contribuem de maneira muito mais significativa que os andares mais altos.

GUSMÃO E GUSMÃO FILHO (1994) observaram que se aumentando progressivamente o número de pavimentos, a rigidez da estrutura tende a um valor limite. Ao atingir tal valor, o aumento do número de andares passa a não influenciar a parcela de esforços nos pilares, devido à interação solo-estrutura. Além disso, os recalques, a partir desse momento, tornam-se dependentes apenas do carregamento. Com relação a distribuição do recalque, GUSMÃO (1990) e LOPES E GUSMÃO (1991), ao fixar o valor de rigidez relativa solo-estrutura (K_{ss}) e variar o número de

pavimentos, concluíram que, com o crescimento vertical do edifício, os recalques diferenciais diminuem, principalmente após os primeiros pavimentos.

O coeficiente de variação de recalques, C_v , é definido como a razão entre o desvio padrão e a média dos recalques. Deste modo, pode-se avaliar o efeito de uniformização dos recalques, consequência do ganho de rigidez da construção. A Figura 1.4 mostra que, com o progresso vertical da construção, o C_v diminui como consequência da tendência de diminuição do desvio padrão dos recalques e do aumento da média dos recalques.

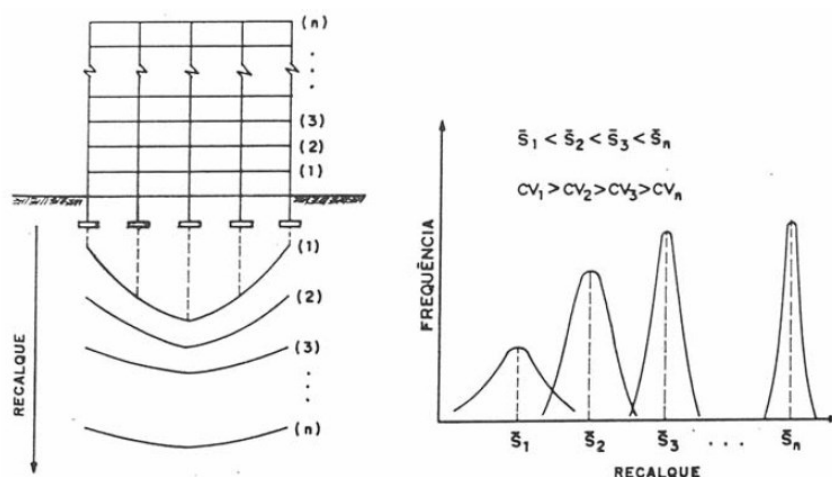


Figura 1.4 – Efeito da sequência construtiva (GUSMÃO e GUSMÃO FILHO, 1994)

FONTE et.al (1994), segundo IWAMOTO (2000), afirmaram que a aplicação de carregamento instantâneo, ou seja, não considerar sequência construtiva, acaba subestimando a previsão de recalques. Ao considerar as etapas de construção, o acréscimo de rigidez se dá de forma gradual, sofrendo modificações em cada etapa, sendo assim resultando em um comportamento mais próximo do real.

MOURA (1995) evidenciou que as solicitações nos elementos estruturais, causados, exclusivamente, pela interação, apresentaram maior significância nos primeiros pavimentos e se dissiparam para os andares superiores. Dessa forma, o efeito da sequência construtiva é relevante, podendo levar projetistas a subestimar esforços que, futuramente, serão causas de patologias.

1.3.4. Influência da vizinhança

COSTA NUNES (1956), o primeiro a trazer a discussão da influência de construções vizinhas, tipificou em quatro situações distintas de movimentos das edificações:

- Edificações construídas simultâneas. Ocorrência de maiores recalques na região central devido à superposição de tensões. Movimentos dos edifícios em direções opostas. (Figura 1.5a)
- Edificações construídas em momentos diferentes. A primeira construção provoca um pré-adensamento no solo na região próxima. O segundo edifício ao ser construído gera acréscimo de tensões no solo, que, na região central, ocorrerá superposição induzindo um aumento nos recalques. Porém, como o segundo prédio será assentado em solo pré-adensado, os recalques afastados ao vizinho serão maiores que os da região próxima, sendo assim, o tombamento do conjunto ocorre na mesma direção. (Figura 1.5b)
- Prédio construído entre outros já existentes. O prédio recém-construído provoca acréscimo de tensões nas regiões centrais entre os vizinhos. Dessa forma, os prédios vizinhos irão tombar na direção da última construção. Sendo simétrico, o prédio central não sofrerá desaprumo. (Figura 1.5c)
- Edifícios construídos vizinhos a um já existente. O prédio já existente gerará um pré-adensamento no maciço de forma que os recalques nas regiões mais afastadas do primeiro edifício serão maiores. Sendo simétricos, o prédio central não sofrerá desaprumo. (Figura 1.5d)

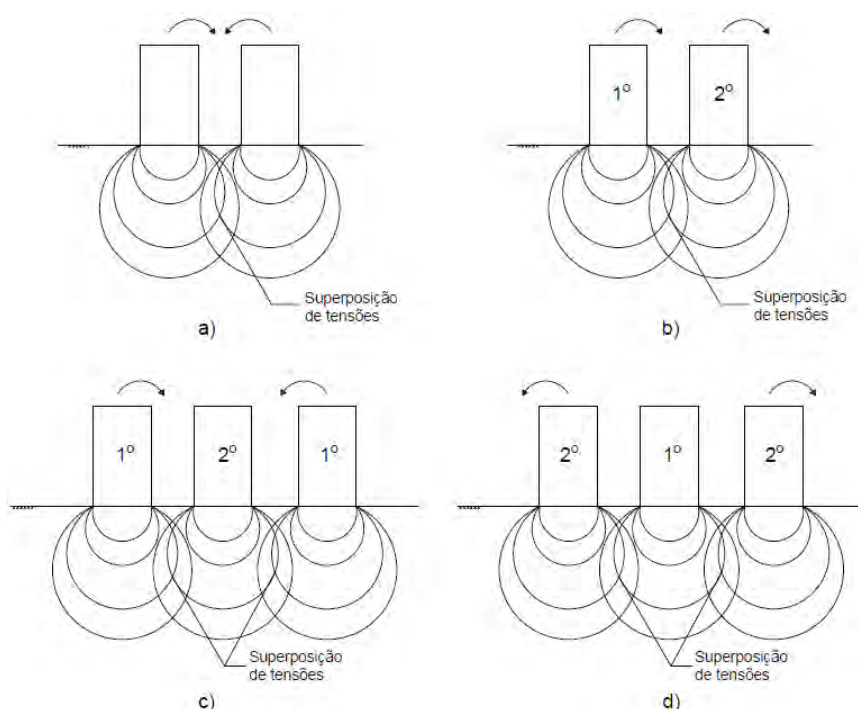


Figura 1.5 – Efeito de construções vizinhas, adaptado de COSTA NUNES (1956)

REIS (2000) abordou o tema interação solo-estrutura com a presença de um grupo de 3 edifícios em fundações superficiais construídos conjuntamente sobre argila mole. Para avaliar os efeitos de um prédio sobre o outro, realizou estudos paramétricos entre dois edifícios idênticos e construídos simultaneamente, Caso (a) – apresentado por COSTA NUNES (1956). Tal estudo mostrou que, ao considerar um grupo de edifícios, obtém-se recalques superiores a quando se analisa apenas o bloco isolado. Além disso, quanto maior a distância entre os edifícios vizinhos, menores serão os recalques induzidos por efeito da vizinhança.

RIBEIRO (2005) analisou exemplos simplificados de blocos idênticos isolados e em grupos de 2 e 4 com a utilização do programa computacional desenvolvido em seus estudos, considerando a ISE via acoplamento entre Métodos dos Elementos de Contorno – Método dos Elementos Finitos. Os resultados apresentaram convergência com os resultados apresentados por REIS (2000).

1.4. Modelagem do Solo

Em uma análise considerando ISE, a representação adequada do comportamento do solo é uma tarefa imprescindível nas análises de interação solo-estrutura para obter bons resultados. Segundo VELLOSO e LOPES (2010), existem dois modelos principais: o Modelo de Winkler e o Modelo do meio contínuo.

Em 1867, Winkler propôs um modelo no qual o maciço de solo é substituído por um sistema de molas independentes entre si e com rigidez equivalente (Figura 1.6). Dessa forma, as cargas geram deslocamentos somente no ponto de aplicação, ou seja, não são considerados os efeitos de continuidade do meio e impõe-se um comportamento elástico ao solo. É notável que o modelo de Winkler é simples e que permite considerar as fundações como apoios móveis. A Equação (1.5) representa a descrição matemática do comportamento de cada mola do sistema.

$$Q = k_v \cdot w \quad (1.5)$$

Onde

k_v é o módulo de reação do solo (coeficiente de reação vertical)

w é o deslocamento sofrido pela mola

Q é a carga na mola

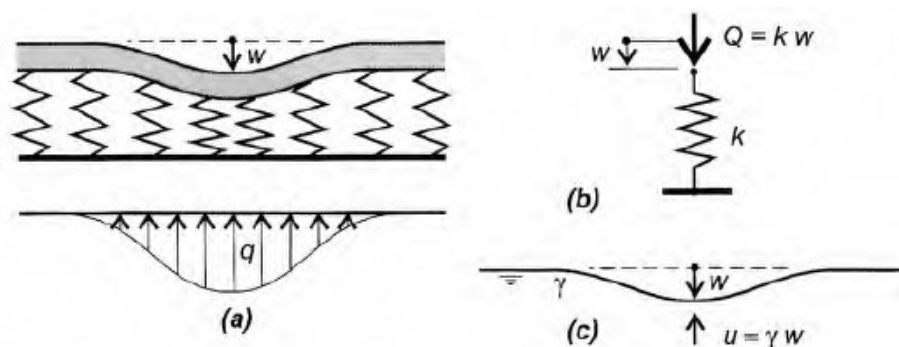


Figura 1.6 – Modelo de Winkler: (a) – (c). VELLOSO E LOPES (2010)

Deve-se atentar, devido às simplificações, que o modelo, por não contemplar a continuidade do solo, torna-se pouco representativo, não contemplando a influência entre fundações e vizinhos. Dependendo do problema a ser analisado, os resultados podem ficar muito distantes da realidade. A Figura 1.7 mostra graficamente a comparação entre o modelo de Winkler e a realidade.

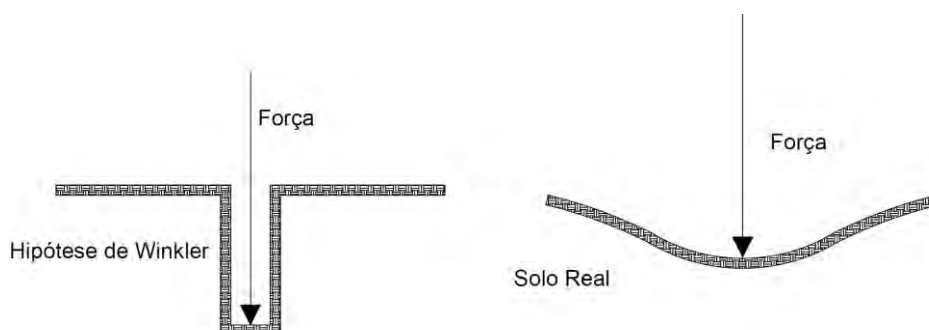


Figura 1.7 – Comparação do modelo de Winkler e o solo Real, adaptado de SANTA MARIA (1999).

O modelo contínuo elástico é uma aproximação da representação comportamental do maciço de solo. Essa consideração contém muito mais informação acerca das tensões e deformações da massa de solo. O modelo é regido pela teoria da elasticidade, com parâmetros de entrada do material, como Módulo de elasticidade (E) e coeficiente de Poisson (ν) (Figura 1.8a). Ressalta-se que, mesmo o solo não sendo um material elástico, vários estudos têm demonstrado bons resultados, desde que sejam pequenas deformações e que sejam escolhidos parâmetros condizentes com as propriedades mecânicas do solo. Um grande diferencial de considerar o solo como meio contínuo é o fato de a aplicação de cargas gerarem deslocamentos em pontos distintos. Dessa forma, sendo contemplada a influência recíproca entre os elementos de fundação, o recalque gerado em uma fundação resulta da carga da própria fundação e também das demais, que se encontram próximas.

Posteriormente, o modelo contínuo elastoplástico surgiu para representar de forma mais consistente o comportamento do solo, suprimindo algumas deficiências dos modelos apresentados anteriormente. O material, ao ser carregado inicialmente,

deforma elasticamente e, ao ultrapassar determinada tensão, passa a sofrer deformações plásticas, ou seja, permanentes. Por este modelo ser mais complexo, o material necessita ser caracterizado por mais parâmetros, como: Módulo de elasticidade, Coeficiente de Poisson, coesão e ângulo de atrito (Figura 1.8b). A solução de problemas é de difícil conclusão na mecânica do contínuo, sendo necessária uma aproximação numérica, utilizando por exemplo, o Método dos Elementos Finitos.

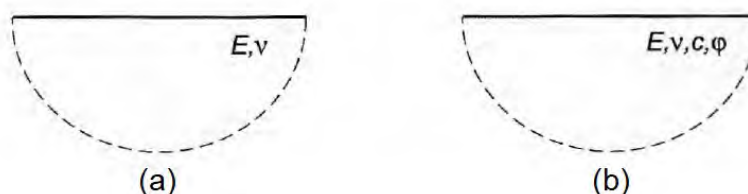


Figura 1.8 – Modelo do meio contínuo (a) Elástico; (b) Elastoplástico (VELLOSO E LOPES (2010)).

1.5. Programa Aoki e Lopes

O método de AOKI e LOPES (1975), utilizado na presente pesquisa, estima tensões e recalques no interior do maciço de solo por meio de um processo numérico. As cargas que a fundação transmite ao solo são discretizadas em um sistema equivalente de cargas concentradas (Figura 1.9), sendo assim, feita uma superposição de efeitos nos pontos em estudo.

A carga atuante na estaca é dividida em duas parcelas: parcela de ponta, P_b , e outra de atrito lateral, P_a . Considera-se que o atrito lateral é linearmente distribuído ao longo de cada trecho, definindo-se F_2 como o valor do atrito lateral na profundidade D_2 e $F_1 = \xi F_2$ na profundidade D_1 . Já para a carga na base, esta é considerada como uniformemente distribuída (Figura 1.10).

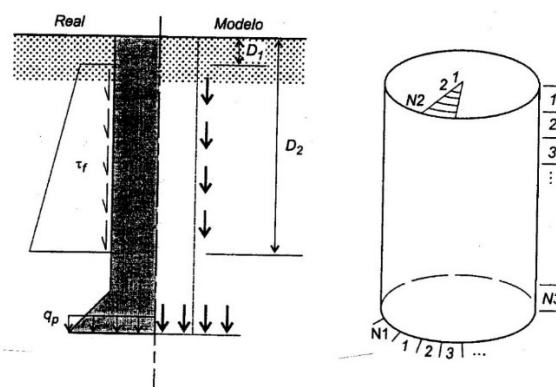


Figura 1.9 – Sistema equivalente de forças concentradas (AOKI e LOPES, 1975)

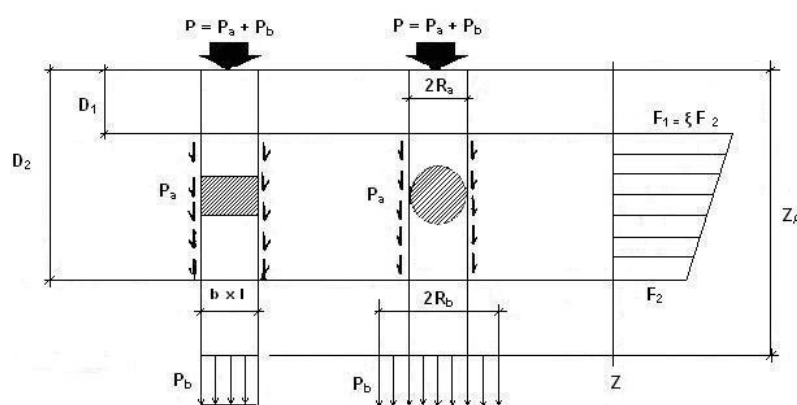


Figura 1.10 – Distribuição da carga ao longo da estaca (AOKI e LOPES, 1975)

As tensões e os deslocamentos verticais, produzidos por uma carga concentrada no interior do semi-espço infinito, homogêneo, isotrópico e linear elástico podem ser obtidos pelas equações de MINDLIN (1936). Para isso, é preciso conhecer a força concentrada (P), a profundidade (c) do ponto em estudo (B), as coordenadas (x, y) do ponto B , a distância horizontal (r) do ponto B ao eixo da estaca, o Módulo de Young e o Coeficiente de Poisson do meio (Figura 1.11). A estaca é definida pelas coordenadas cartesianas (X_A, Y_A, Z_A), centro da área da base, além do raio da base (R_B) e do raio do fuste (R_S). A base é dividida em $n_1 \times n_2$ subáreas iguais, sendo n_1 e n_2 , respectivamente, o número de divisões da circunferência e do raio (Figura 1.12).

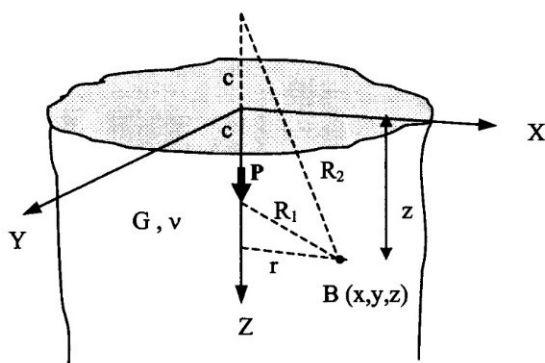


Figura 1.11 – Parâmetros das equações de Mindlin (AOKI e LOPES, 1975)

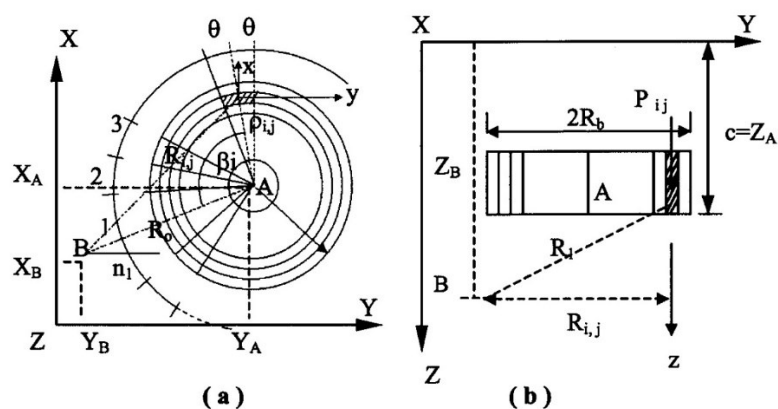


Figura 1.12 – Discretização da base da estaca cilíndrica (AOKI e LOPES, 1975)

A carga de atrito P_a é equivalente a um sistema de forças $P_{i,k}$ aplicadas no ponto $i_{i,k}$, na profundidade c_k (Figura 1.13).

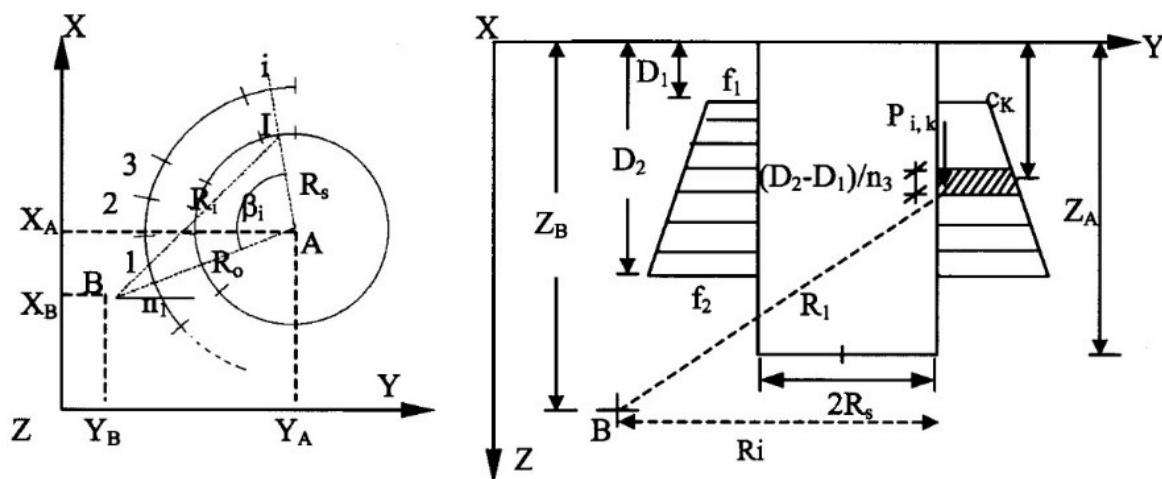


Figura 1.13 – Discretização do fuste da estaca (AOKI e LOPES, 1975)

Todas as equações que descrevem a decomposição das forças, as coordenadas dos diversos pontos onde se deseja calcular os recalques, bem como as demais informações necessárias para a aplicação das equações propostas por MINDLIN (1936) são desenvolvidas e detalhadas por AOKI e LOPES (1975). Como na natureza, geralmente, são encontrados maciços de solo estratificados, apenas as equações de Mindlin não satisfazem as hipóteses do problema, já que admitem um semi-espaço infinito, homogêneo, isotrópico e linear elástico. Para considerar tal estratificação, AOKI e LOPES (1975) sugerem a adoção do procedimento de STEINBRENNER (1934).

Como todo programa, é necessário introduzir dados de entrada. Além dos dados geométricos, são necessários os parâmetros do meio (solo). Sendo assim, o módulo de Young e o Coeficiente de Poisson são estimados a partir de correlações e experiências propostas na literatura.

A respeito do carregamento, o método de AOKI e LOPES (1975) utiliza o modo de transferência de carga ao longo do fuste da estaca. Segundo a literatura, para estimular o atrito lateral são necessários pequenos deslocamentos. Por outro lado, para a ponta são requeridos deslocamentos maiores. Dessa forma, é aceitável assumir que toda a capacidade de carga disponível do solo no fuste seja atingida antes de iniciada a mobilização da resistência de ponta. Em outras palavras, apenas a carga de trabalho excedente ao atrito lateral é transmitida à ponta.

Deve-se atentar que, ao recalque previsto do solo (estimado pelo método), deve ser acrescida a parcela referente ao encurtamento elástico do fuste, considerando um Módulo de Young do material da estaca. O método foi criado para ser utilizado com fundações profundas (estacas), porém o uso em fundações superficiais é válido, bastando apenas desconsiderar a parcela de atrito lateral.

O programa necessita do sistema operacional MS-DOS, além dos cinco arquivos-base escritos em bloco de notas. As expressões desenvolvidas em cada sub-rotina do programa são apresentadas em AOKI e LOPES (1975). Abaixo são descritos os arquivos base.

- 1) OBRA: arquivo onde constam os dados da obra, tais como local, data, etc.;
- 2) SOLO: arquivo que apresenta os dados relativos ao solo, como número máximo de camadas, número de camadas de cada perfil de sondagem e, para eles, a profundidade de cada camada, o módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson para estas camadas de cada perfil;
- 3) CARGA: este arquivo apresenta os dados referentes às cargas atuantes, como número de elementos de fundações do grupo, número máximo de diagramas de atrito, coordenadas X e Y dos pontos que caracterizam a geometria da fundação, largura e comprimento da fundação, profundidade da base da fundação, carga na base, número de discretizações dos lados L e B, número de discretizações do atrito lateral, número de diagramas de atrito lateral, ângulo

que o lado L faz com o eixo X, além de dados relativos ao diagrama de atrito, como profundidade do início e do fim de cada diagrama e o atrito por unidade de comprimento.

- 4) PONTOS: arquivo que apresenta as coordenadas X, Y e Z de cada ponto e o perfil de sondagem mais próximo a esse ponto;
- 5) RESULTS: apresenta os resultados dos valores de recalque calculados para cada ponto.

1.5.1. Solução de MINDLIN

MINDLIN (1936), baseado na teoria da elasticidade, propôs equações que permitiram analisar tensões e deformações em um meio elástico e semi-infinito. Para isso, o autor impôs hipóteses simplificadoras, considerando o solo como um material perfeitamente elástico, homogêneo e isótropo. A seguir serão apresentadas as equações de forma resumida para cada tipo de força aplicada, vertical e horizontal. A Figura 1.11, apresentada na seção anterior, pode ser usada como auxiliar gráfica para entendimento das equações.

Segundo MINDLIN (1936), para uma força P aplicada perpendicular à superfície temos os seguintes deslocamentos:

$$w_r = \frac{P r}{16\pi G(1-\nu)} \left[\frac{z-c}{R_1^3} + \frac{(3-4\nu)(z-c)}{R_2^3} - \frac{4(1-\nu)(1-2\nu)}{R_2(R_2+z+c)} + \frac{6cz(z+c)}{R_2^5} \right] \quad (1.6)$$

$$w_z = \frac{P}{16\pi G(1-\nu)} \left[\frac{3-4\nu}{R_1} + \frac{8(1-\nu)^2 - (3-4\nu)}{R_2} + \frac{(z-c)^2}{R_1^3} + \frac{(3-4\nu)(z+c)^2 - 2cz}{R_2^3} + \frac{6cz(z+c)^2}{R_2^5} \right] \quad (1.7)$$

$$w_y = w_r \sin \theta \quad (1.8)$$

$$w_x = w_r \cos \theta \quad (1.9)$$

Para uma força Q aplicada paralelamente à superfície, temos os seguintes deslocamentos:

$$w_x = \frac{Q}{16\pi G(1-\nu)} \left[\frac{3-4\nu}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{x^2}{R_1^3} + \frac{(3-4\nu)x^2}{R_2^3} + \frac{2cz}{R_2^3} \left(1 - \frac{3x^2}{R_2^2} \right) + \frac{4(1-\nu)(1-2\nu)}{R_2+z+c} \left(1 - \frac{x^2}{R_2(R_2+z+c)} \right) \right] \quad (1.10)$$

$$w_y = \frac{Qxy}{16\pi G(1-\nu)} \left[\frac{1}{R_1^3} + \frac{(3-4\nu)}{R_2^3} - \frac{6cz}{R_2^5} - \frac{2cz}{R_2^3} - \frac{4(1-\nu)(1-2\nu)}{R_2(R_2+z+c)^2} \right] \quad (1.11)$$

$$w_z = \frac{Qx}{16\pi G(1-\nu)} \left[\frac{(z-c)}{R_1^3} + \frac{(3-4\nu)(z-c)}{R_2^3} - \frac{6cz(z+c)}{R_2^5} + \frac{4(1-\nu)(1-2\nu)}{R_2(R_2+z+c)} \right] \quad (1.12)$$

$$R_1 = \sqrt{r^2 + (z-c)^2} \quad (1.13)$$

$$R_2 = \sqrt{r^2 + (z+c)^2} \quad (1.14)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1.15)$$

Onde:

w_r é o deslocamento radial;

w_x é o deslocamento na direção x;

w_y é o deslocamento na direção y;

w_z é o deslocamento na direção z;

θ é o ângulo entre a direção w_r e o eixo x;

ν é o coeficiente de Poisson;

E é o modulo de Elasticidade longitudinal;

G é o módulo de elasticidade transversal dado por: $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$;

P é a força vertical;

Q é a força horizontal.

Para uma força qualquer aplicada inclinada à superfície do terreno, basta decompor em um sistema de forças que resultem em forças paralela e perpendicular ao terreno. Calculados os deslocamentos para ambas as forças, basta sobrepor os de mesma direção.

1.5.2. Procedimento de STEINBRENNER

Para contornar os casos de maciços estratificados com espessura finita, que não podem ser abordados somente por MINDLIN (1936), AOKI E LOPES (1975) sugerem adotar o procedimento de STEINBRENNER (1934). O método consiste em calcular o recalque de baixo para cima em etapas.

Primeiramente, calcula-se o recalque no nível indeslocável (r_h^∞) e no topo da camada 2 (r_i^∞), admitindo que todo solo do indeslocável para cima, seja do mesmo material da camada 2 (Figura 1.14b). O recalque nesta camada será r_a , dado pela equação (1.16):

$$r_a = r_i^\infty - r_h^\infty \quad (1.16)$$

O processo é repetido trasladando o indeslocável para o topo da camada calculada anteriormente e utilizando as propriedades do solo imediatamente acima (Figura 1.14c). Calcula-se o recalque r_b por:

$$r_b = r_i^\infty - r_h^\infty \quad (1.17)$$

O recalque no nível da aplicação da carga será obtido pela sobreposição dos recalques das camadas, mostrado, graficamente, na Figura 1.14a.

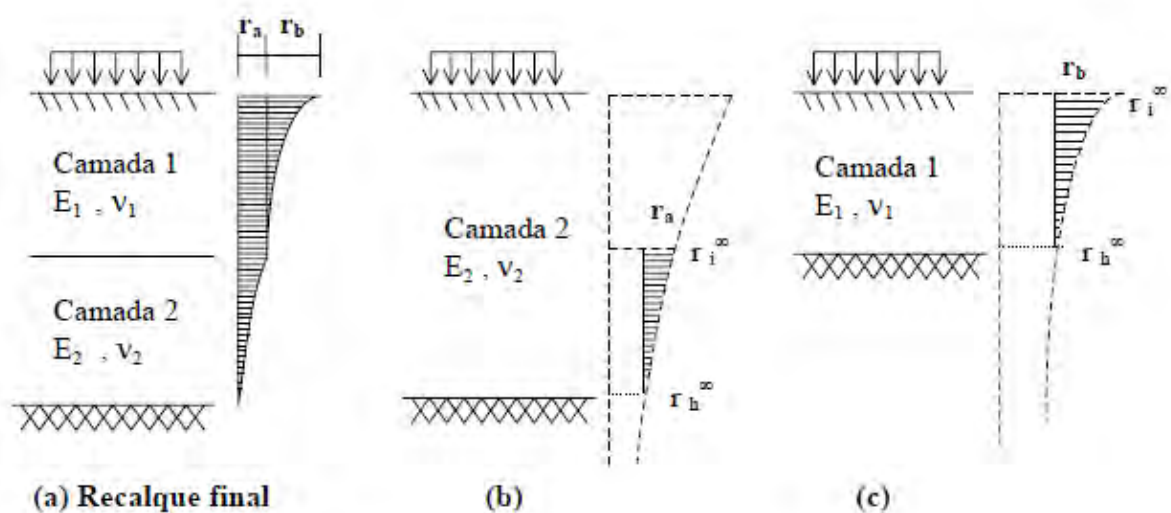


Figura 1.14 – Metodologia de Steinbrenner para solos estratificados (IWAMOTO, 2000)

2. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, abordam-se todos os aspectos relevantes da obra em estudo. As características gerais, geotécnicas e estruturais necessárias serão apresentadas para a familiarização com o empreendimento. Além disso, o andamento da obra e a instrumentação são descritos resumidamente.

2.1. Características Gerais da obra

A obra analisada no presente estudo situa-se no Estado do Rio de Janeiro, município de Nova Iguaçu, bairro da Luz (Figura 2.1), próximo à antiga Pedreira Vigné, atualmente ocupada pelo Shopping Nova Iguaçu. O terreno apresenta um formato retangular, faceando três dos seus lados com as ruas Professor Joaquim Cardoso de Matos, Antônio Viêira, a Avenida Luís de Matos e um dos lados com a construção vizinha. A Figura 2.2 mostra uma projeção de quando a edificação estiver em pleno funcionamento.



Figura 2.1 – Localização da construção.



Figura 2.2 – Proposta da Edificação concluída.

Configura-se um prédio misto (residencial/comercial), com a seguinte disposição:

1º Pavimento: Térreo/ Lojas e Estacionamento G1;

2º Pavimento: Estacionamento G2;

3º Pavimento: Estacionamento G3;

4º Pavimento: Pavimento de uso Comum (PUC) e estacionamento G4;

5º ao 21º Pavimento: Pavimento Tipo composto de 8 apartamentos;

Pavimento técnico: Reservatórios superiores, casa de máquinas de incêndio, barrilhetes, depósito, escada de incêndio e laje.

A edificação é constituída de dois blocos separados por uma junta de dilatação, conforme pode ser observado nas plantas e cortes do projeto estrutural nos Apêndice 1 e Apêndice 2. Para entendimento do leitor, em todos os esquemas de elevação, o bloco à esquerda do leitor será chamado de trecho A, enquanto o bloco à direita, de trecho B. Na Figura 2.3 é mostrado um corte esquemático.

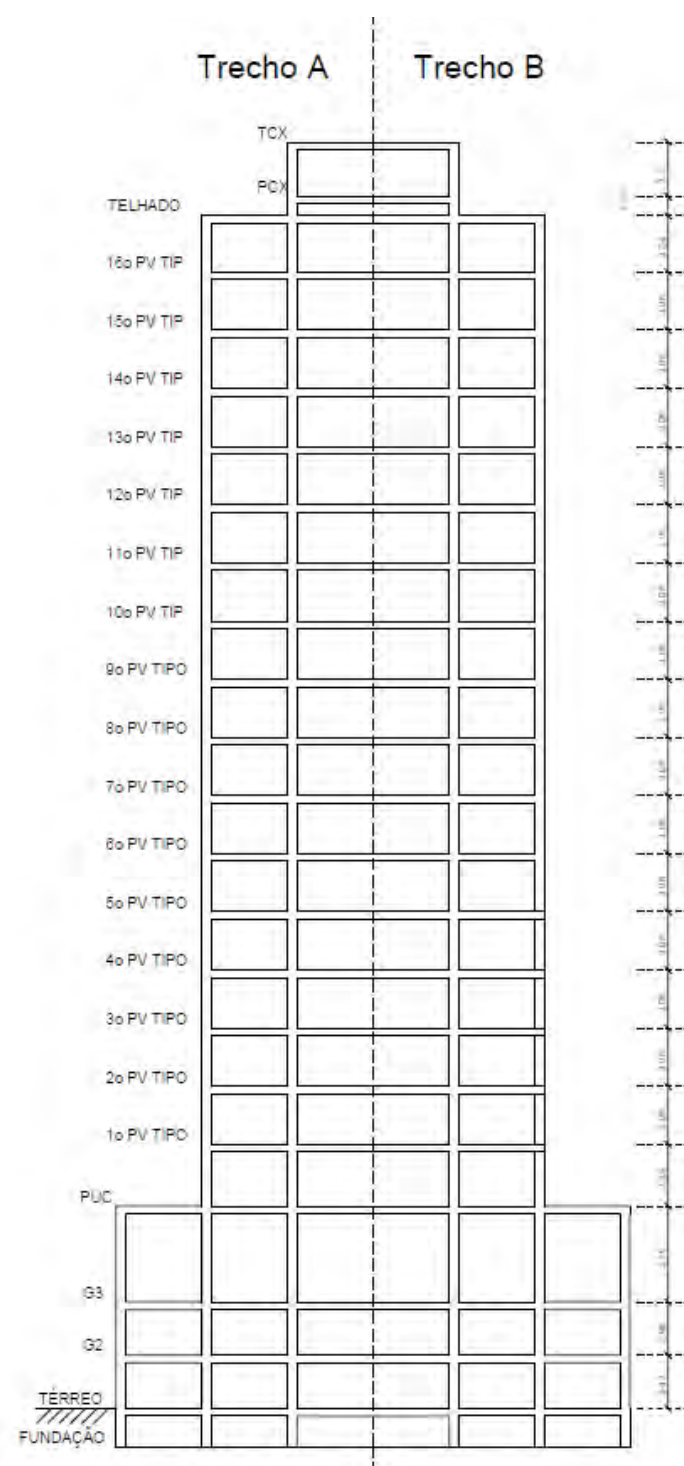


Figura 2.3 – Elevação esquemática edificação.

No geral, os pilares mais centralizados, em planta, apresentam cargas superiores em relação aos pilares localizados na região periférica. O pavimento PUC foi concebido de forma a fazer a transição dos pilares superiores (pavimentos Tipo) para os pilares que compõem os pavimentos inferiores (Garagens e térreo). Para isso, foram utilizadas vigas de transição robustas que são responsáveis por fazer essa

transferência entre pilares que “nascem” em localizações diferentes dos pilares que “morrem”. Além disso, existem casos de pilares com seções variáveis ao longo do comprimento.

O projeto de fundações contempla uma particularidade. Foram executadas fundações mistas, ou seja, fundações profundas, estaca do tipo raiz, na região de fronteira com os vizinhos e fundações superficiais, sapatas, no restante. Além disso, utilizou-se de vigas de equilíbrio em alguns pontos devido a excentricidades. No Apêndice 1, está apresentada a planta de fundações e seus detalhes.

2.2. Características geotécnicas

De forma a conhecer o maciço de solo de apoio às fundações, foram realizadas duas baterias de sondagens, apresentadas, em planta, na Figura 2.4. Na primeira, foram executados 11 furos de sondagens a percussão (cor azul) distribuídos pelo terreno durante o período de 29 de março a 03 de abril do ano de 2018. Uma segunda bateria foi executada em junho do mesmo ano e contemplou 4 furos de sondagem mista (cor vermelha). Ambas as sondagens utilizaram martelo de 65 Kg a uma altura de queda de 75 cm. As perfurações rotativas foram executadas no diâmetro BX (externo de 73,2 mm e interno de 65,0 mm), buscando ultrapassar o impenetrável à percussão e caracterizar o embasamento rochoso. As perfurações foram executadas com barrilete amostrador em diâmetro apropriado e coroa, conforme o caso (diamantada para rocha, alteração de rocha e/ou pedregulho e vídea para solo). O boletim das sondagens a percussão está apresentado no Apêndice 3. Já as sondagens mistas (percussão seguida de rotativa) estão no Apêndice 4.

Nas Figura 2.5 a Figura 2.8, foram representados graficamente os perfis geotécnicos obtidos a partir de cortes na planta de fundações associados à locação de sondagens próximas. O terreno apresenta superficialmente uma camada de aterro que varia de 0,5 a 2 metros de espessura. Abaixo, apresenta uma camada de argila arenosa com espessuras variadas e que, em alguns pontos, é seguida de uma camada de areia siltosa menos espessa. Por fim, atinge um maciço impenetrável à percussão. Observa-se um aumento de resistência à penetração com a profundidade, ou seja, número de golpes cada vez maiores, perfil característico de um maciço de natureza residual. O nível do terreno apresenta variações: em seu trecho mais baixo encontra-se na cota +22,00 m e, no mais alto, na cota 24,15 m. A profundidade do nível d'água varia entre 0,5 e 2 metros em relação à superfície.

A região impenetrável à percussão foi caracterizada pelas sondagens rotativas que mostraram, em geral, solo residual seguido de rocha extrusiva (Traquito), variando de extremamente alterado (A5), muito alterado (A4) e pouco alterado a Rocha Sã (A1).

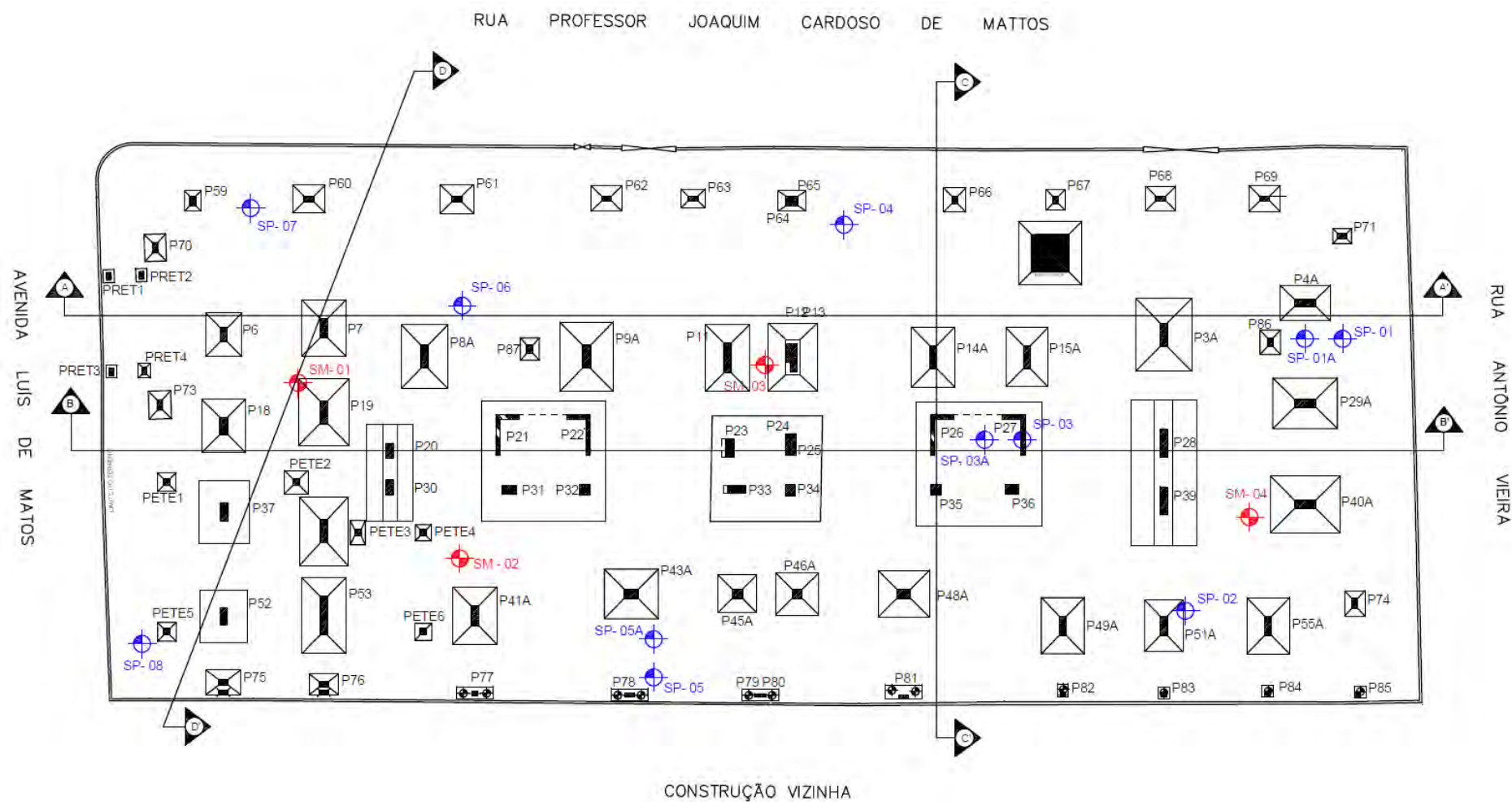


Figura 2.4 – Planos de Cortes e Locação das sondagens

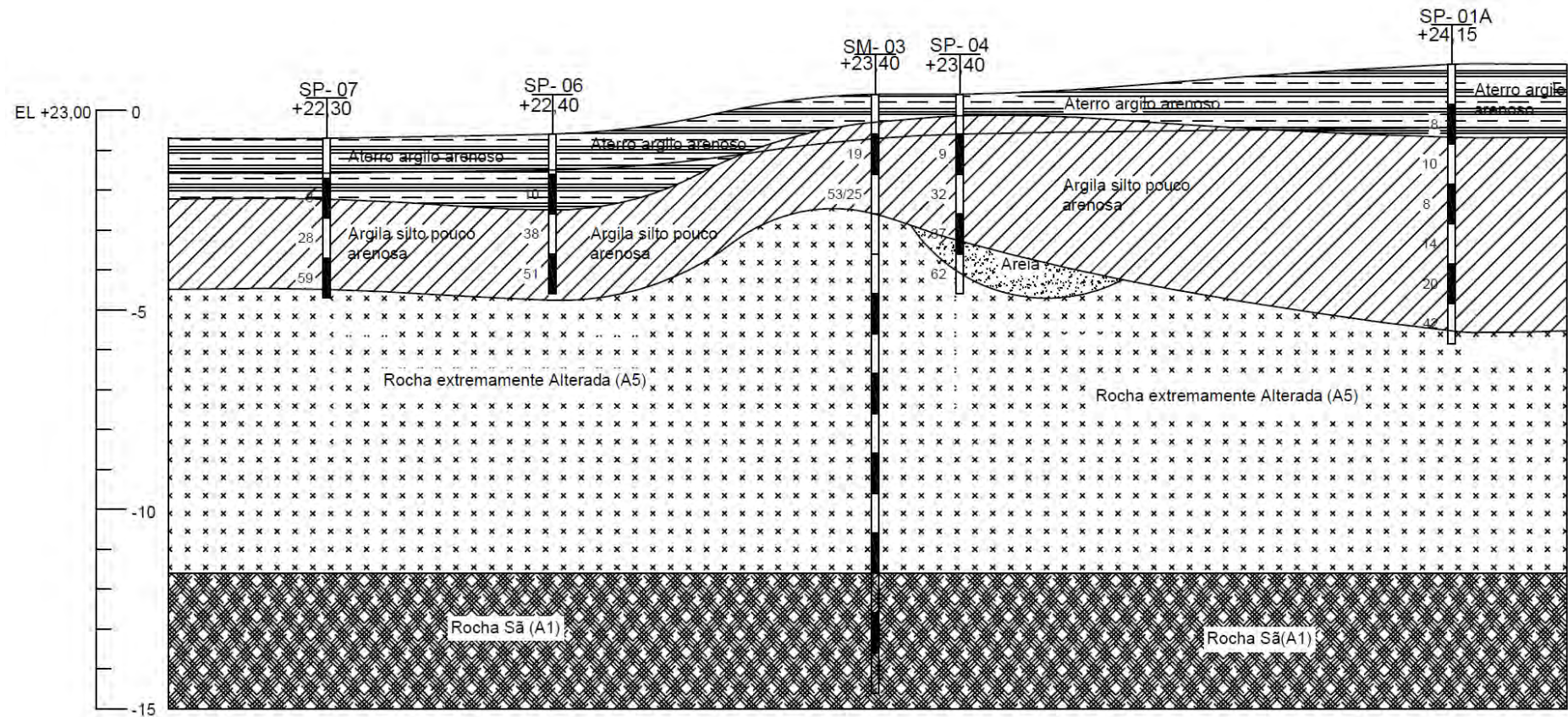


Figura 2.5 - Perfil geotécnico A – A'

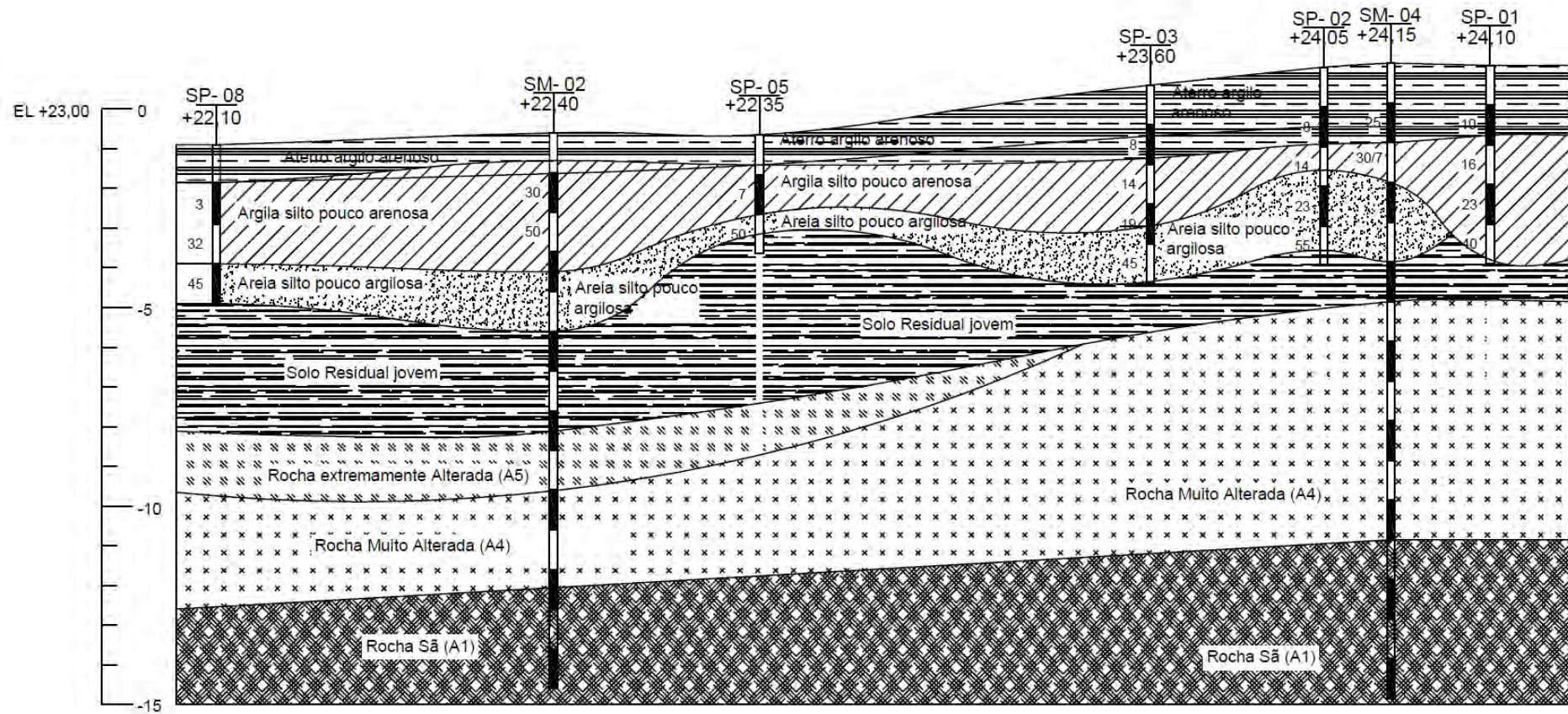


Figura 2.6 - Perfil geotécnico B – B'

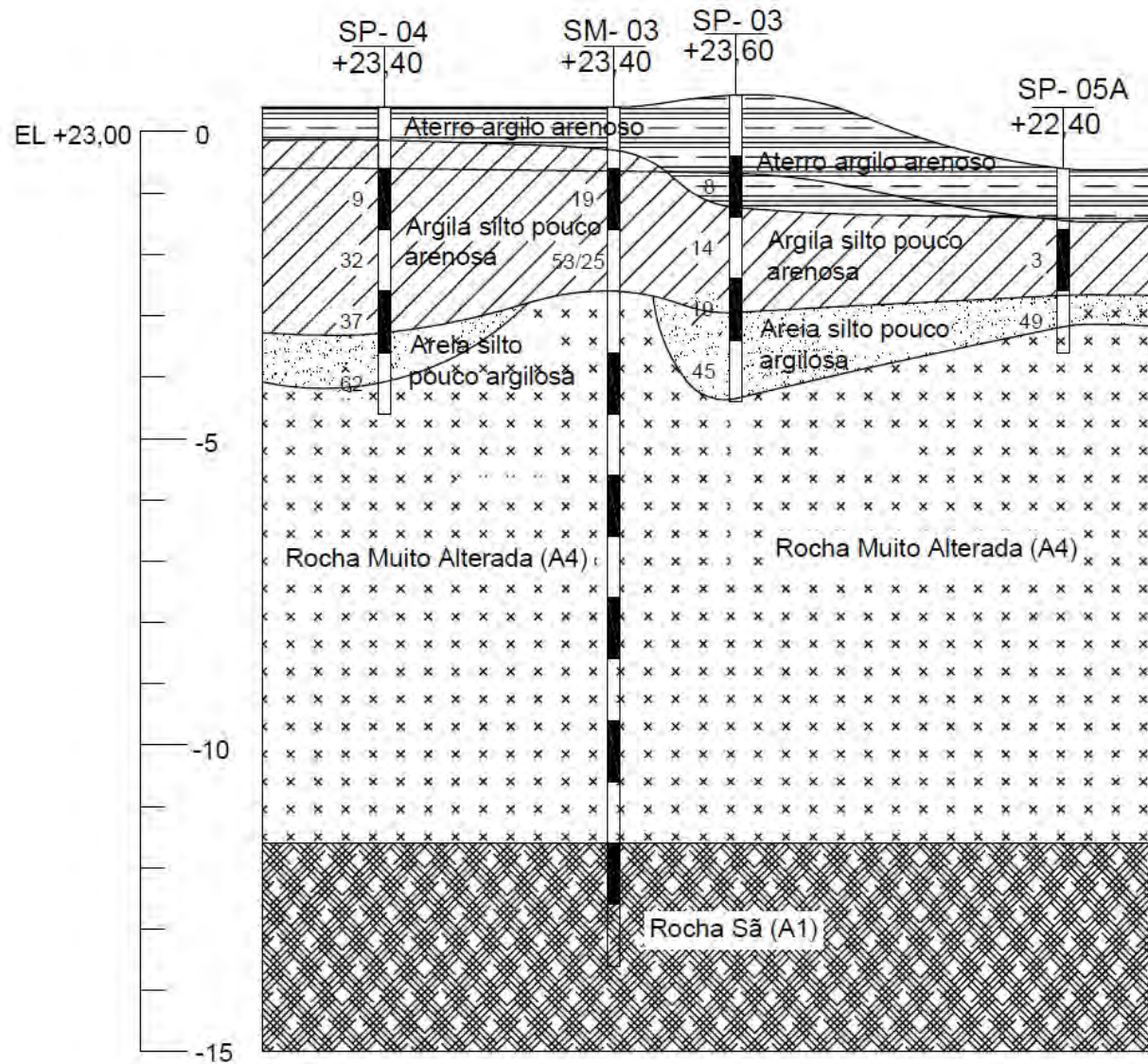


Figura 2.7 – Perfil geotécnico C – C'

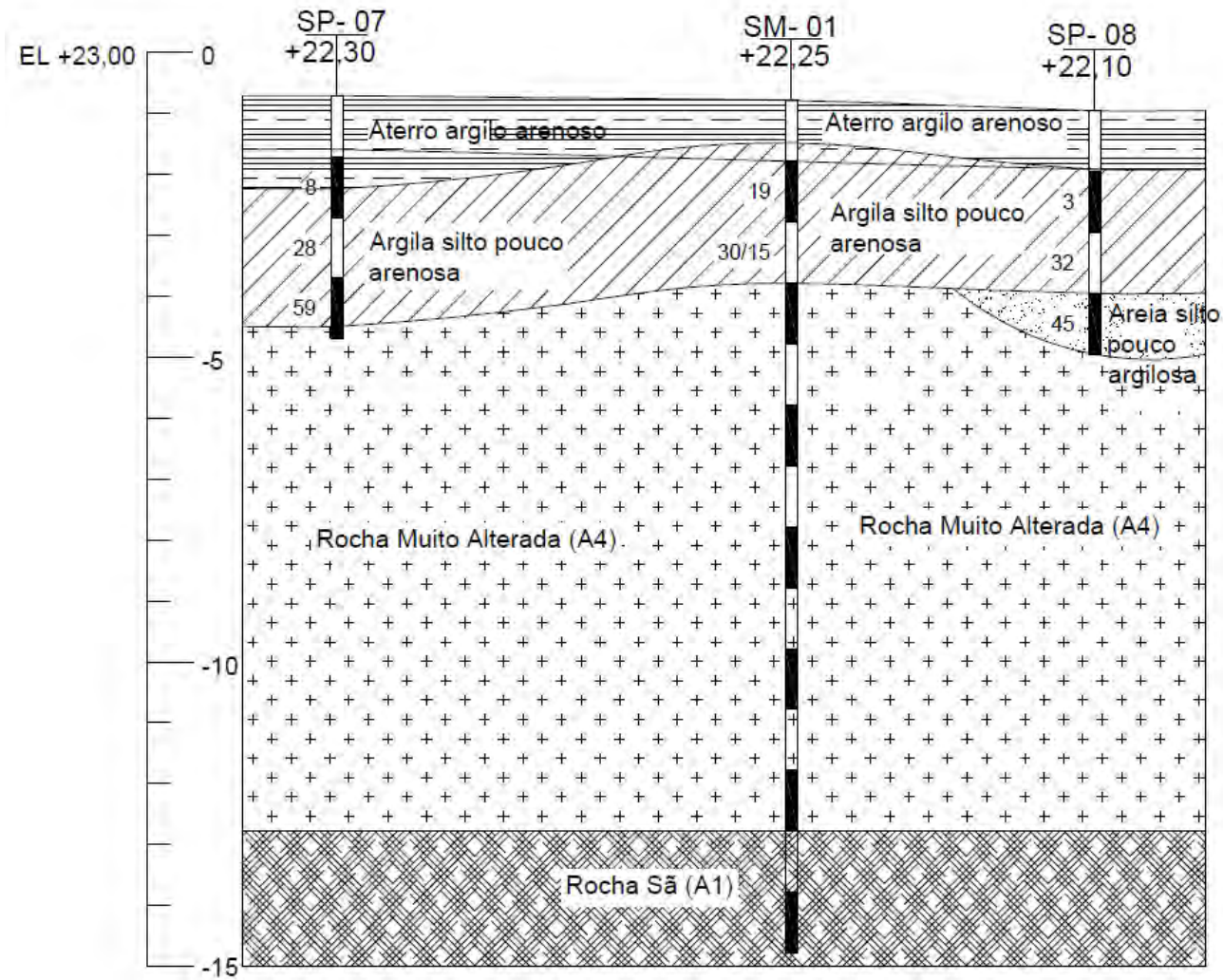


Figura 2.8 – Perfil geotécnico D – D'

Os perfis permitem um entendimento do subsolo ao longo do terreno, possibilitando avaliar a cota de assentamento das fundações, os possíveis comprimentos de estacas, a presença de lentes de materiais problemáticos, entre outros.

Para averiguar a consistência dos dados fornecidos pelas sondagens, TEIXEIRA (1993) sugere um procedimento capaz de identificar a qualidade das sondagens. O autor, em seu trabalho, apresenta correlações que são praticamente independentes do tipo de solo, ou seja, válidas para areias, argilas e siltes. Sendo N_1 , N_2 e N_3 , respectivamente, os números de golpes sequenciais para a cada intervalo de 15 cm de penetração no amostrador, tem-se:

$$N_1 = 0,22 N_t \quad (2.1)$$

$$N_2 = 0,33 N_t \quad (2.2)$$

$$N_3 = 0,45 N_t \quad (2.3)$$

Onde:

N_t é o número total de golpes do martelo para penetrar o amostrador nos 45 cm;

$$N_t = N_1 + N_2 + N_3.$$

As correlações sugeridas por TEIXEIRA (1993) podem ser utilizadas, de forma expedita, como controle de qualidade da execução das sondagens. Deve-se verificar se as relações (2.1) a (2.3) se aplicam.

As das sondagens executadas na primeira bateria apresentaram relações entre os números de golpes (N_1 , N_2 e N_3) com a quantidade total de golpes muito próximos aos sugeridos por TEIXEIRA (1993), sendo então consideradas de boa qualidade e utilizáveis. Para a segunda bateria de sondagens, foi utilizada a relação entre os somatórios entre os primeiros e os últimos 30 cm, vide que o boletim não apresentava os valores de cada trecho separadamente.

$$\frac{N_2 + N_3}{N_1 + N_2} \cong 1,42 \quad (2.4)$$

A avaliação mostrou valores próximos para as sondagens SM1 e SM2 e uma divergência nas sondagens SM3 e SM4. Como não foi possível cravar os últimos 30 cm do amostrador em sua totalidade, foi utilizado o artifício da extrapolação linear.

Com isso, foram obtidos números muito altos de golpes, podendo então, afetar o resultado, porém, como essas sondagens forneceram informações importantes do impenetrável, optou-se por não as desprezar.

2.3. Características estruturais e das fundações

Trata-se de uma edificação em concreto armado, no qual a superestrutura é composta por lajes, vigas e pilares. A resistência característica do concreto para os elementos estruturais é de 35 MPa e a relação água/cimento 0,55, conforme especificado no projeto estrutural. O projeto de fundações contemplou tanto fundações superficiais como profundas, parte em estacas do tipo raiz e parte em sapatas, conforme a planta de fundações apresentada na Figura 2.9. As setas azuis presente em alguns pilares são os pinos de recalques instalados para monitoramento, tópico que será abordado mais adiante. As lajes do piso térreo/G1 estão na cota de +23,00 metros, portanto, foi necessária uma pequena escavação e nivelamento do terreno.

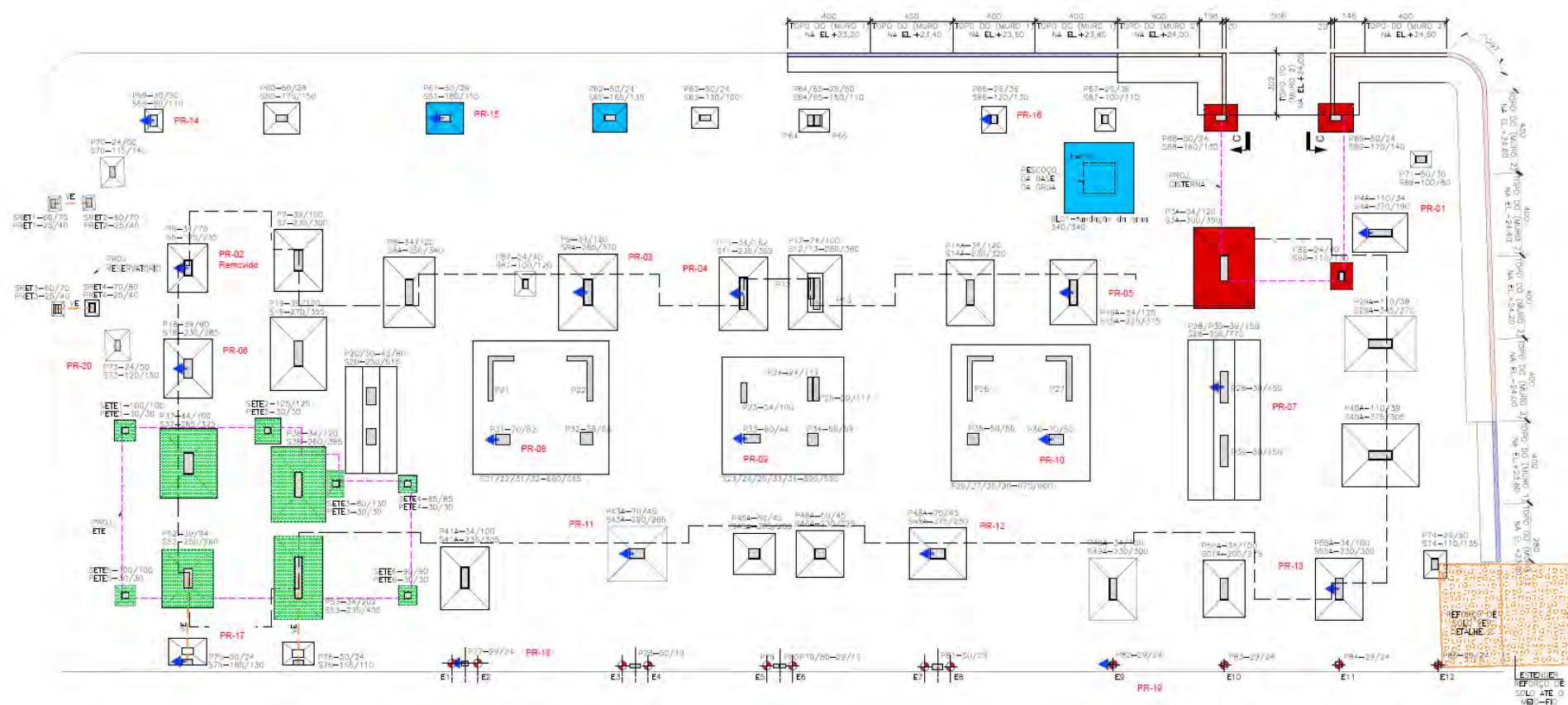


Figura 2.9 - Planta de Fundações.

As sapatas, no geral, apresentaram três profundidades de assentamento. As sapatas relacionadas à estação de tratamento de esgoto (verdes) apresentaram cota de assentamento igual a +17,50 m. Já as sapatas abaixo da cisterna (vermelhas) ficaram em torno da cota +18,40 m e as demais sapatas na cota de +18,90 m. Vale ressaltar que em virtude da variação do subsolo, existem pontos os quais as sondagens podem ter pouca representatividade, algumas sapatas podem ter sido assentadas em profundidades distintas dos valores gerais apresentados, isso porque neste tipo de perfil, de solo residual, ocorrem variações bruscas na estratigrafia, mesmo num trecho de pequena extensão em planta. O projeto de fundação contemplou sapatas isoladas, sapatas associadas e sapatas de divisa. As maiores sapatas estão localizadas na parte central e foram nomeadas de S21/22/31/32, S23/24/25/33/34 e S6/27/35/36, referenciando os pilares que a elas chegam. Na divisa com o vizinho, foi necessária a utilização de vigas de equilíbrio para contornar a excentricidade entre os centros geométricos dos pilares e as sapatas. Na Figura 2.10 é apresentado a seção típica das sapatas.

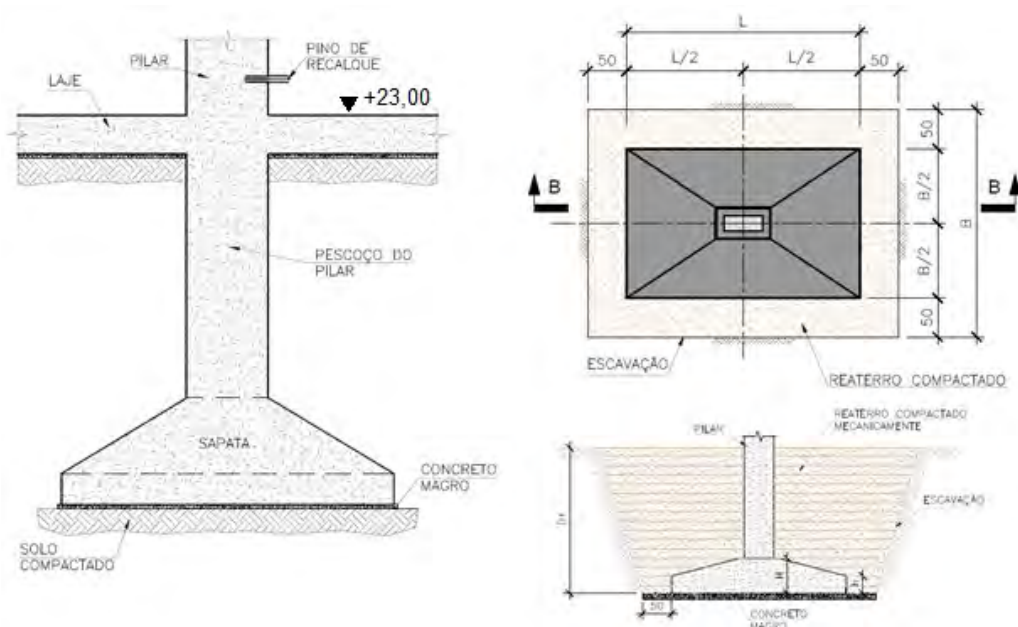


Figura 2.10 – Seção típica das sapatas (Sigma1 Consultoria & Projetos).

Foi utilizado um total de 12 estacas do tipo raiz de diâmetro 41 cm no trecho em solo e 30,5 cm no trecho em rocha. As estacas apresentaram profundidade que variaram de 8 a 10 metros e foram assegurados que os 2 metros finais fossem pinados em rocha, como pode ser visto no boletim de estaqueamento (Apêndice 5). A Figura 2.11 ilustra a seção típica da estaca tipo raiz projetada.

Segundo o trabalho de VENÂNCIO (2008), que trata da dosagem de argamassa para estaca raiz, foram realizados ensaios de laboratório para determinação do módulo de elasticidade estático em argamassa com mesma dosagem de estacas raiz realizadas em campo experimental. As médias dos valores

de módulo de elasticidade encontrados variaram de 1,3 a 2,2 GPa. VENÂNCIO (2008) concluiu que os valores obtidos pelas normas (NBR 6122 e NBR 6118) eram mais de 14 vezes superiores aos encontrados mediante os ensaios. Vale destacar que as normas citadas pela autora são destinadas ao concreto e que não se dispõe de uma normatização dedicada à argamassa. Dessa forma, foram realizadas tentativas com módulos de elasticidade propostos pela NBR 6118 (2014) e com valores propostos por VENÂNCIO (2008). Os resultados obtidos, com os módulos de elasticidade sugeridos pela autora, mostraram-se mais próximos da realidade.

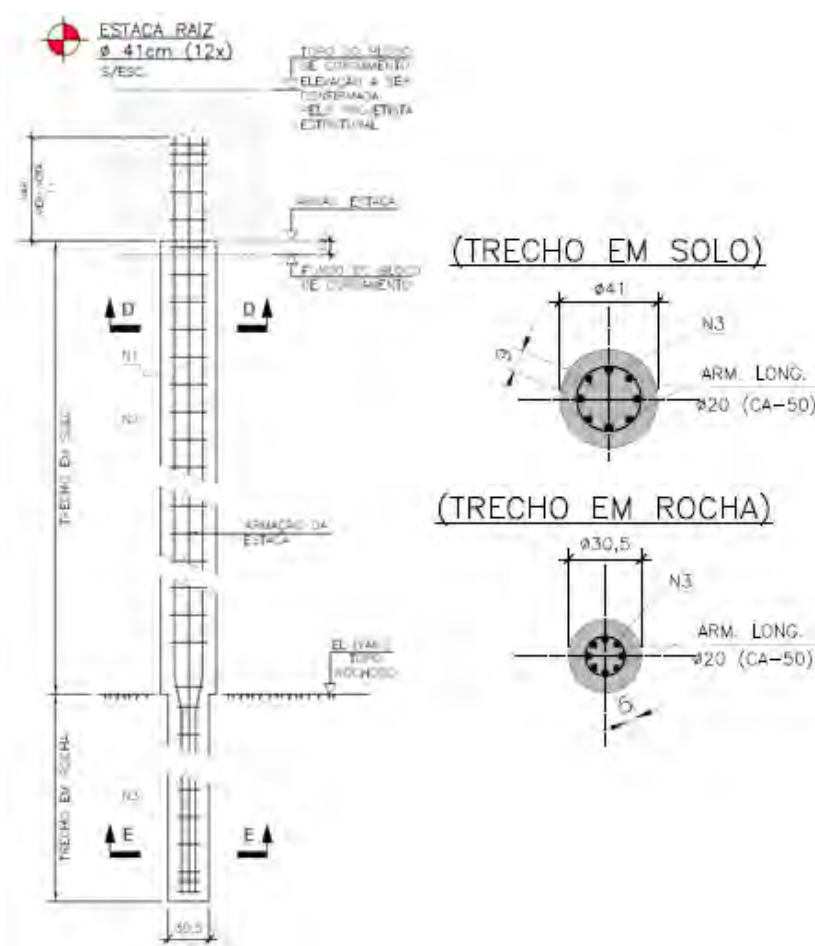


Figura 2.11 – Seção típica das estacas Raiz (Sigma1 Consultoria & Projetos).

2.4. Andamento da construção

A obra teve início no primeiro semestre de 2019, porém somente no dia 29 de agosto de 2019 foram iniciadas as medidas de recalques. Neste momento, já existiam trechos concretados, como térreo, piso G2 e parte do piso G3.

Foi instalado um conjunto de pinos nos pilares escolhidos estrategicamente no qual foram feitas leituras. De forma a acompanhar a progressão da obra, inicialmente foram executadas três leituras mensais, ocasião em que eram registradas as etapas construídas da edificação. A partir do mês de março de 2020, as medições diminuíram para duas leituras mensais, com exceção do mês de abril.

Em setembro de 2019, foi finalizada a estrutura dos primeiros pavimentos, ou seja, garagens e PUC. No período dos meses de outubro de 2019 a maio de 2020, foram executadas as estruturas dos pavimentos tipos, juntamente com parte da alvenaria (Figura 2.12). Entre os meses de junho e agosto de 2020, foi concluída toda a estrutura, contrapiso e alvenaria do restante do prédio.



Figura 2.12 – Execução da Edificação (Sigma1 Consultoria & Projetos).

2.5. Instrumentação - Monitoramento dos recalques

A instrumentação tem como objetivo monitorar os recalques ao longo do tempo, de forma a avaliar o desempenho da construção. Foram realizadas medições de acordo com o progresso da obra, como já foi abordado no tópico anterior. Os equipamentos utilizados foram estação total e pinos de leitura. Para garantir um referencial fixo, foi feito um Bench Mark ancorado a uma camada considerada imóvel.

O Bench Mark (BM) é uma referência de nível profunda, instalada à profundidade que, em hipótese alguma, apresente deslocamentos, ou seja, um referencial fixo. Sendo assim, a base do Bench Mark deve estar posicionada a uma profundidade no interior do maciço de elevada resistência ou em rocha, e longe de

influência de carregamentos externos. Para possibilitar o acompanhamento dos possíveis recalques durante a construção, foi instalado o BM – 01, Figura 2.13.

Os pinos de recalque são elementos utilizados para servir de referência para a medição dos recalques em estruturas, normalmente fabricados por material metálico e possuem 1" de diâmetro, contendo uma cabeça boleada na extremidade e cerca de 5 a 10 cm de comprimento, dependendo da aplicação. O sistema de pino de recalque é composto em fêmea e macho. A fêmea é fixada em furo previamente aberto na estrutura e o macho é conectado à fêmea através de rosca e serve de apoio para a mira topográfica. Quando não está sendo feita a medição, o macho é substituído por uma tampa de proteção, também rosqueada. Para a realização das leituras foi produzido um porta-mira a partir da tampa dos pinos. Esse porta-mira tem como função servir de apoio para a régua de leitura e manter a uniformidade das leituras durante o nivelamento. A seguir, a Figura 2.14 apresenta um exemplo do pino de recalque e do porta-mira utilizado.

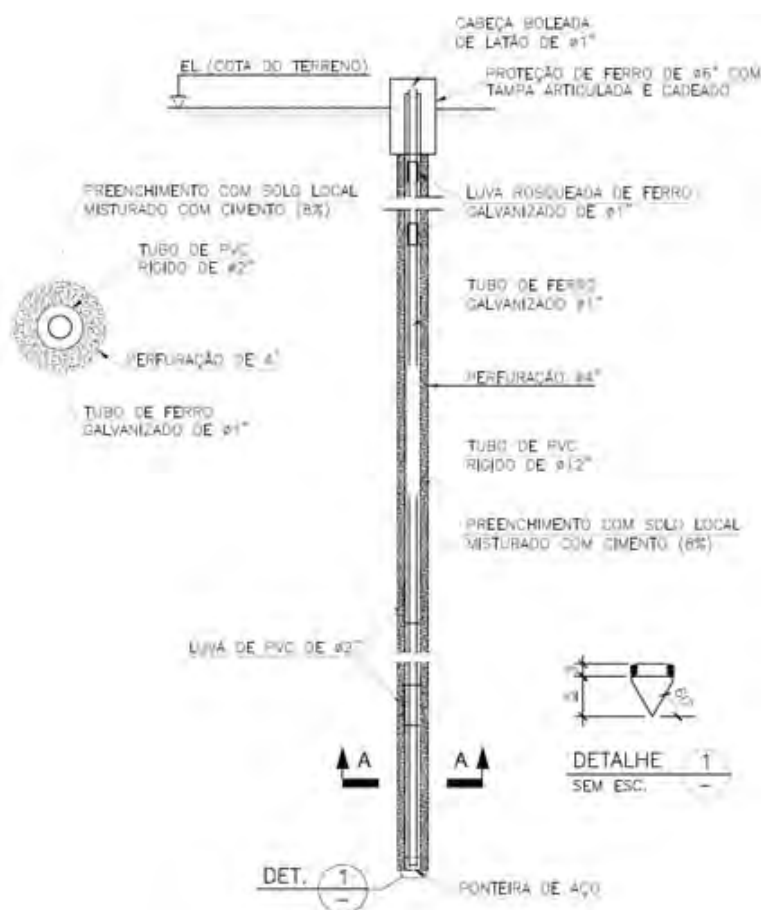


Figura 2.13 – Ancoragem do Bench Mark.



Figura 2.14 – Porta-mira e pino de recalque

Para a realização das medidas de recalques é necessário o nivelamento ótico de precisão com base numa referência de nível profunda (BM), efetuada em pontos fixos da estrutura na qual pretende-se medir os deslocamentos verticais. A Figura 2.15, obtida de RUSSO NETO (2005) ilustra, esquematicamente, o arranjo envolvido na prática das medições.

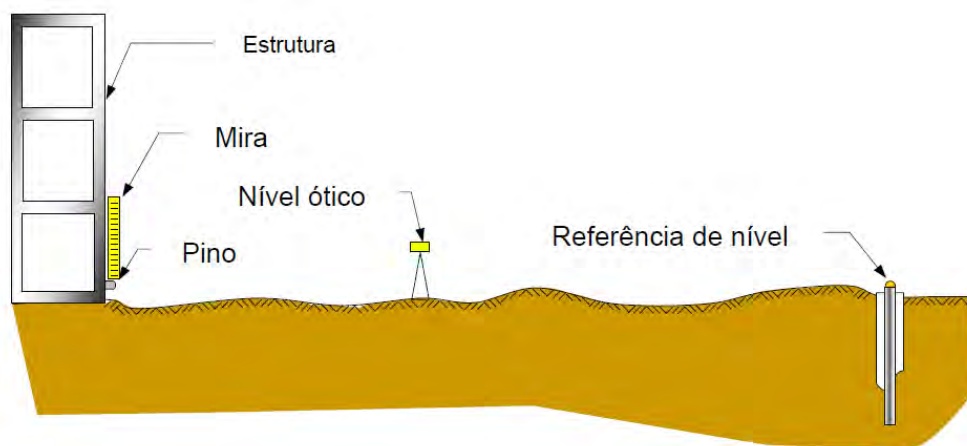


Figura 2.15 – Arranjo esquemático de medida de recalques com nivelamento ótico (adaptado de Russo Neto, 2005).

Os pilares escolhidos para as leituras e seus pinos correspondentes são apresentados na planta de fundações por meio de setas azuis (Figura 2.9) e referenciados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Relação dos pinos de recalque – pilares.

Pino	Pilar	Pino	Pilar
PR-01	P4A	PR-11	P43A
PR-02	P6	PR-12	P48A
PR-03	P9	PR-13	P55A
PR-04	P11	PR-14	P59
PR-05	P15A	PR-15	P61
PR-06	P18	PR-16	P66
PR-07	P28	PR-17	P75
PR-08	P31	PR-18	P77
PR-09	P33	PR-19	P82
PR-10	P36	PR-20	P73

No pino de recalque PR-02 (P06), só foi realizada a medição inicial. Posteriormente foi perdido o acesso e substituído pelo PR-20, instalado no pilar P73.

No pino PR-03 (P09), foi perdida a visada a partir do mês de março de 2020.

O PR-07 (P28) foi removido em novembro de 2019 e reinstalado no mês seguinte, tendo sido refeita a leitura referencial em 26/12/2019.

O pino de recalque PR-13 (P55A) foi danificado em março de 2020, deixando de ser utilizado nas medições seguintes.

No final da construção, agosto de 2020, foi perdido o acesso do PR-19 (P82).

Os maiores valores de recalque observados foram nos pinos PR08, PR09, PR10, PR11 e PR12, os quais atingiram respectivamente 15,70; 14,20; 16,60; 15.70 e 15,90 milímetros. Esses pinos foram instalados nos pilares das sapatas centrais, região onde são previstos os maiores carregamentos. Deve-se lembrar que essas medidas não contemplam o recalque total, já que os recalques não foram medidos desde o início da construção.

Durante o ano de 2019, foram feitas 12 leituras que continuaram durante o ano de 2020, totalizando 28 leituras, tendo sido encerrados os trabalhos de monitoramento em 31/08/2020, Tabela 2.2. Pelo fato de existir muitas leituras, o intervalo é relativamente curto, sendo pouco significativo o avanço da construção. Dessa forma, foram escolhidas onze datas com intervalos mais espaçados e que foram mais bem descritas no boletim de andamento da obra. Cada data foi representada como etapa construtiva no modelo numérico estrutural desenvolvido no software SAP2000, apresentado e discutido nos próximos capítulos.

Tabela 2.2 – Datas das realizações das leituras de recalque.

Datas das Leituras	
2019	2020
	09/01/2020
	24/01/2020
29/08/2019	31/01/2020
18/09/2019	06/02/2020
26/09/2019	28/02/2020
11/10/2019	06/03/2020
18/10/2019	19/03/2020
25/10/2019	27/04/2020
08/11/2019	11/05/2020
14/11/2019	29/05/2020
25/11/2019	16/06/2020
06/12/2019	30/06/2020
13/12/2019	14/07/2020
26/12/2019	30/07/2020
	17/08/2020
	31/08/2020

As primeiras medições de recalque (etapa inicial) ocorreram em 29/08/2019. Nessa data, já haviam sido construídas as fundações, as estruturas do térreo, a garagem 2 e o trecho A da garagem 3, conforme mostrado no desenho esquemático da Figura 2.16. Além disso, a armação da parede das cisternas (FCIS) e a armação do teto do G2 já estavam posicionadas. Foram iniciados os trabalhos de retirada de parte do escoramento do pavimento G1/térreo (cerca de 25%).

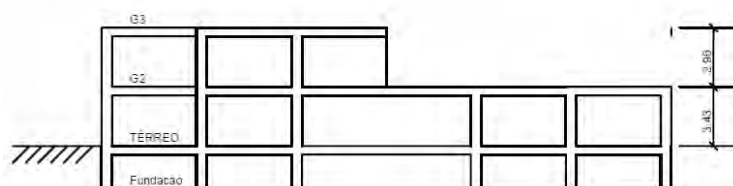


Figura 2.16 – Esquema da parte construída equivalente à Etapa inicial de leitura.

As medições correspondentes a essa primeira etapa foram realizadas em 26/09/2019, 29 dias após o início da instrumentação. Constavam as estruturas construídas até o trecho A do pavimento PUC (exceto a estrutura da piscina), Figura 2.17, assim como as armações dos pilares do 1º tipo e o trecho B do pavimento PUC que estava com armação das vigas e lajes posicionadas.

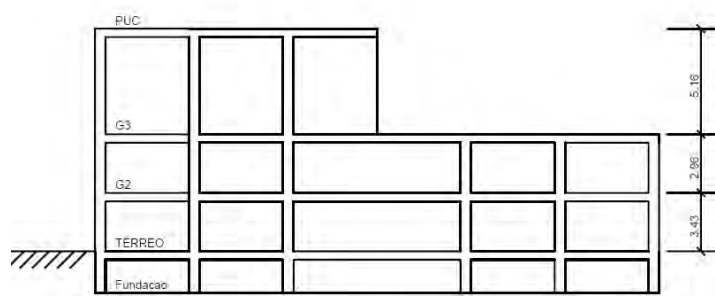


Figura 2.17 – Esquema mostrando a parte construtiva equivalente à 1ª Etapa

No dia 18/10/2019, foram realizadas as medidas consideradas como segunda etapa do modelo (Figura 2.18). Encontrava-se concretado o trecho A do 2º pavimento tipo, com armação dos pilares do 3º tipo já posicionada. O trecho B do 2º tipo apresentava as armações das vigas e lajes esperando a concretagem.

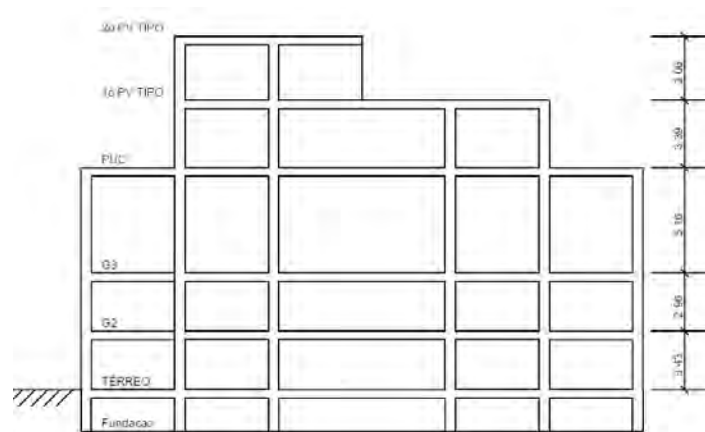


Figura 2.18 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 2ª Etapa.

A quarta medição ocorreu em 14/11/2019. Nesta data, correspondente à terceira etapa, a estrutura estava construída até o piso do quarto pavimento tipo e com a armação dos pilares para o quinto pavimento esperando concretagem. Todos os escoramentos referentes aos pavimentos G1, G2 e PUC já haviam sido retirados. A Figura 2.19 mostra o esquema referente a essa etapa construtiva.

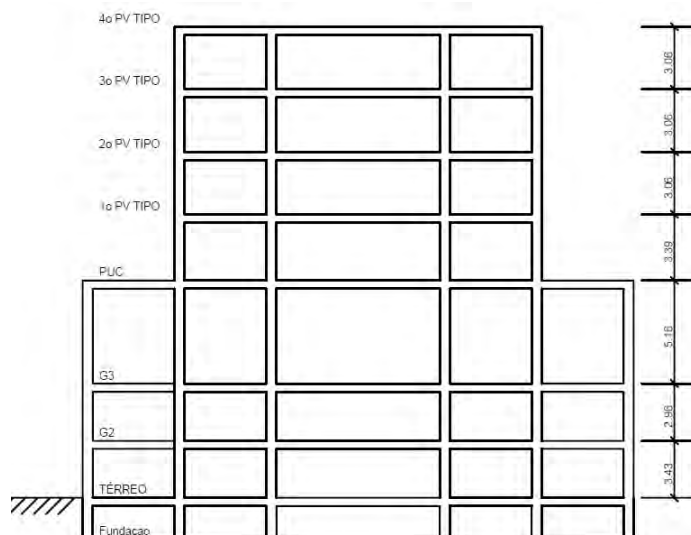


Figura 2.19 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 3ª Etapa.

Em 06/12/2019 foram feitas as medições da quarta etapa. A estrutura estava construída até o trecho A do 6º pavimento tipo enquanto o trecho B estava começando a ser concretado. Nessa fase, já havia sido iniciada a colocação das alvenarias no térreo, em torno de 10% e a execução da primeira fiada de tijolos (marcação) no 2º tipo (Figura 2.20). Todo escoramento foi retirado até o 2º pavimento tipo.

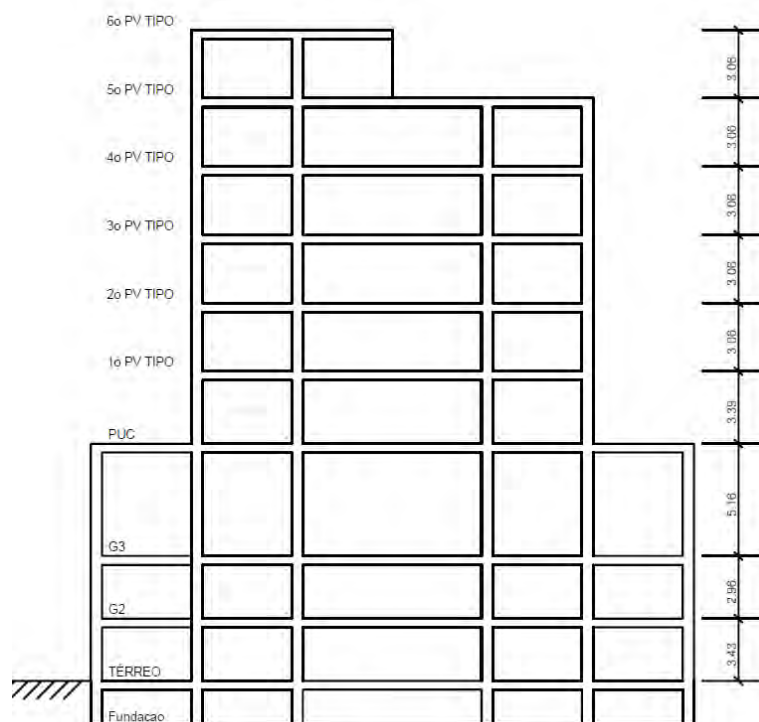


Figura 2.20 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 4ª Etapa.

Na data 26/12/2019, quinta etapa, já havia sido concluída a concretagem até o 8º pavimento tipo e as armações dos pilares para o 9º tipo estavam posicionadas (Figura 2.21). Os escoramentos até o 4º tipo já haviam sido retirados. As marcações das alvenarias do 1º e 2º pavimentos estavam concluídas.

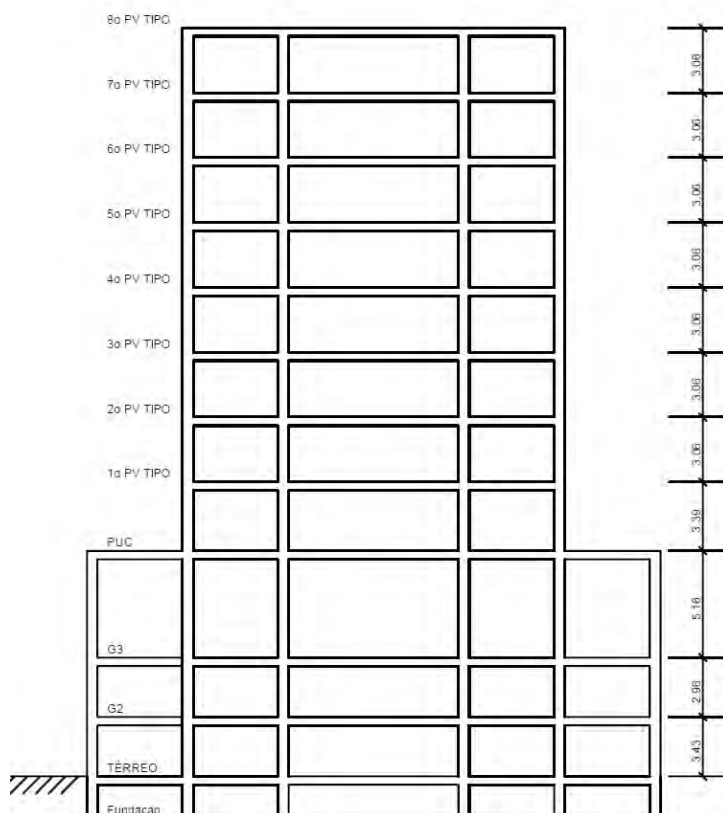


Figura 2.21 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 5ª Etapa.

Na sexta etapa, 31/01/2020, a estrutura até o 12º tipo, trecho A, já havia sido construída. A armação do trecho B já estava posicionada, aguardando concretagem. Nessa etapa, a alvenaria dos 3 primeiros pavimentos tipo estavam levantadas e todo escoramento até o 7º tipo já havia sido retirado (Figura 2.22).

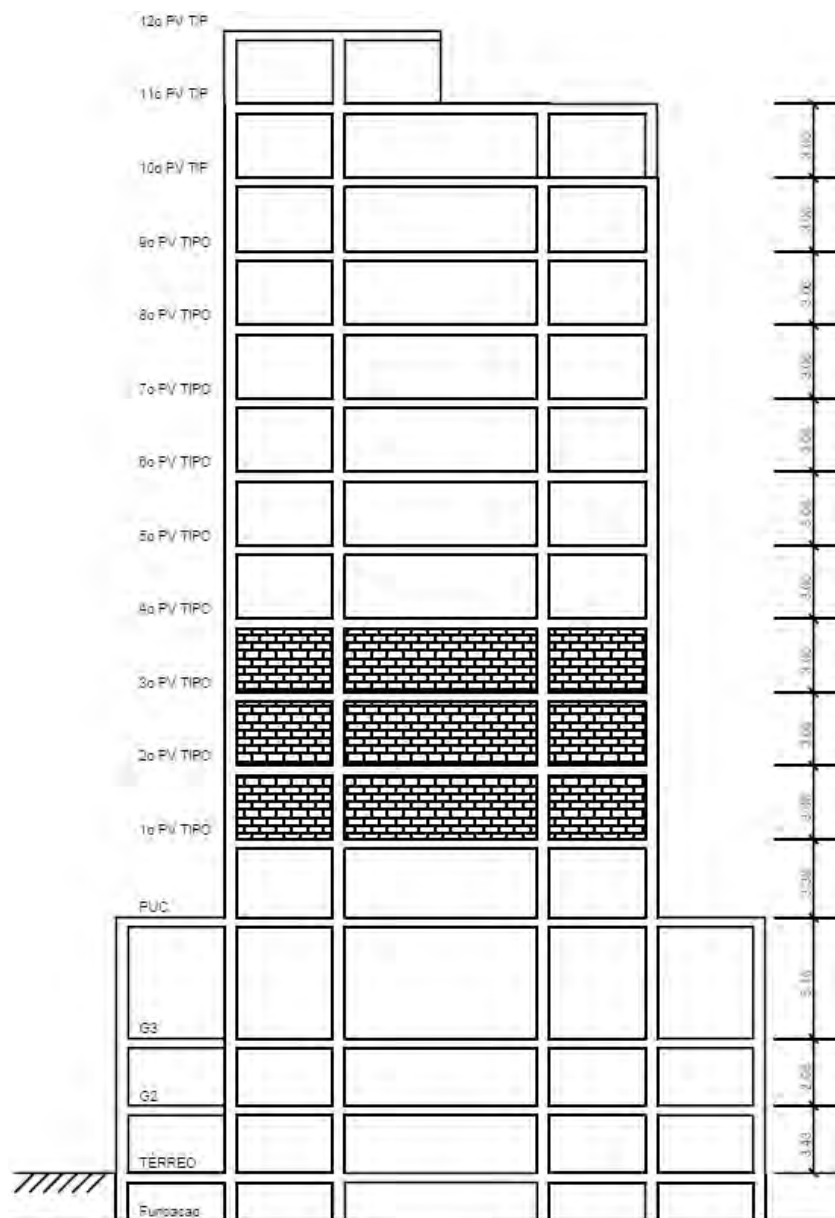


Figura 2.22 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 6ª Etapa.

A leitura correspondente a sétima etapa foi realizada em 28/02/2020. Nesse período, a estrutura avançou até o 14º pavimento tipo. Além disso, foram executadas a estrutura da piscina no pavimento PUC e a alvenaria elevada até o 5º tipo e iniciado o 6º pavimento tipo (cerca de 20%), Figura 2.23. Escoramentos removidos até o 9º tipo.

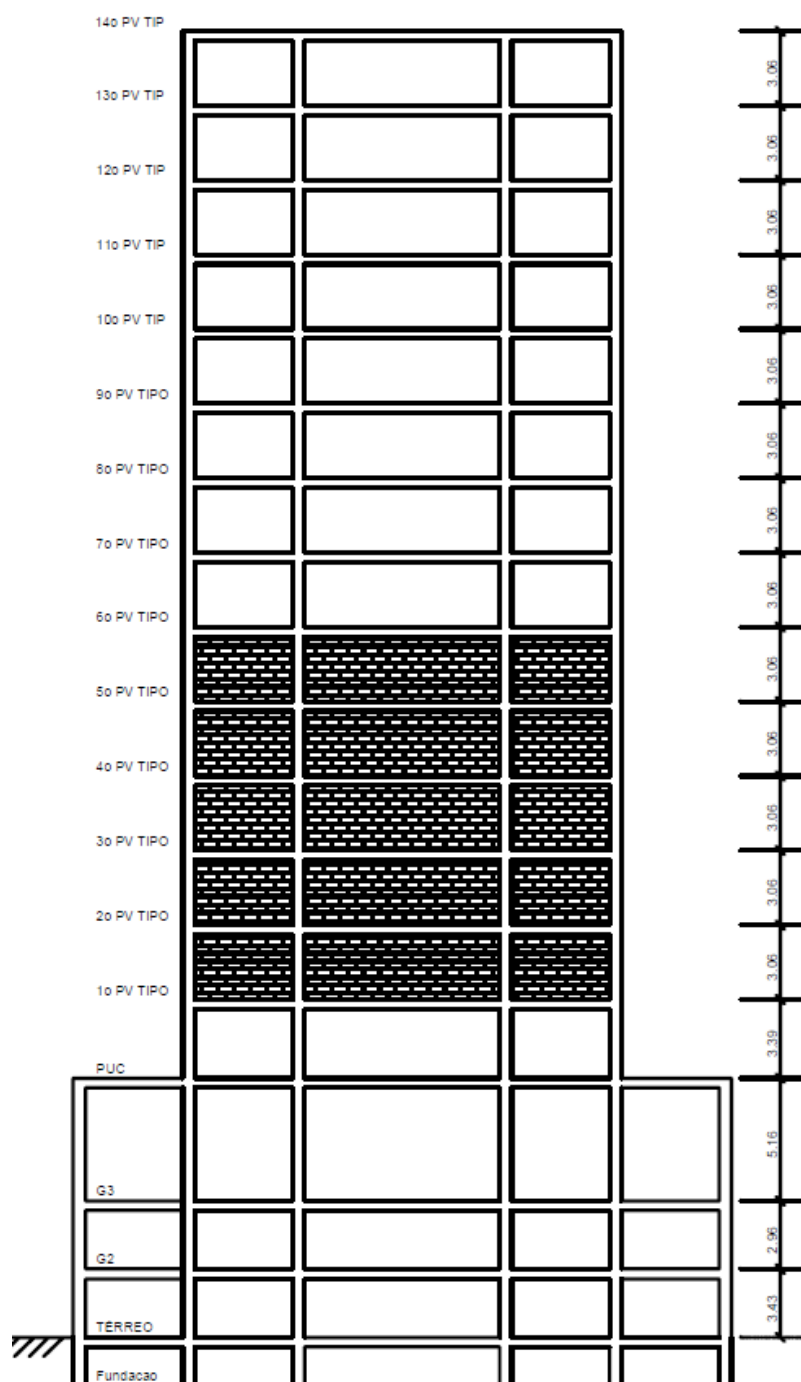


Figura 2.23 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 7ª Etapa

A oitava etapa ocorreu em 19/03/2020. Nessa data, a estrutura já tinha avançado até o último pavimento tipo, 16º. A alvenaria do 8º pavimento tipo já estava concluída, bem como 70% da alvenaria do 9º pavimento tipo. Já constavam executados os contrapisos do primeiro e segundo pavimentos tipo, além de iniciada sua execução no 3º tipo, Figura 2.24. Escoramentos retirados até 13º tipo.

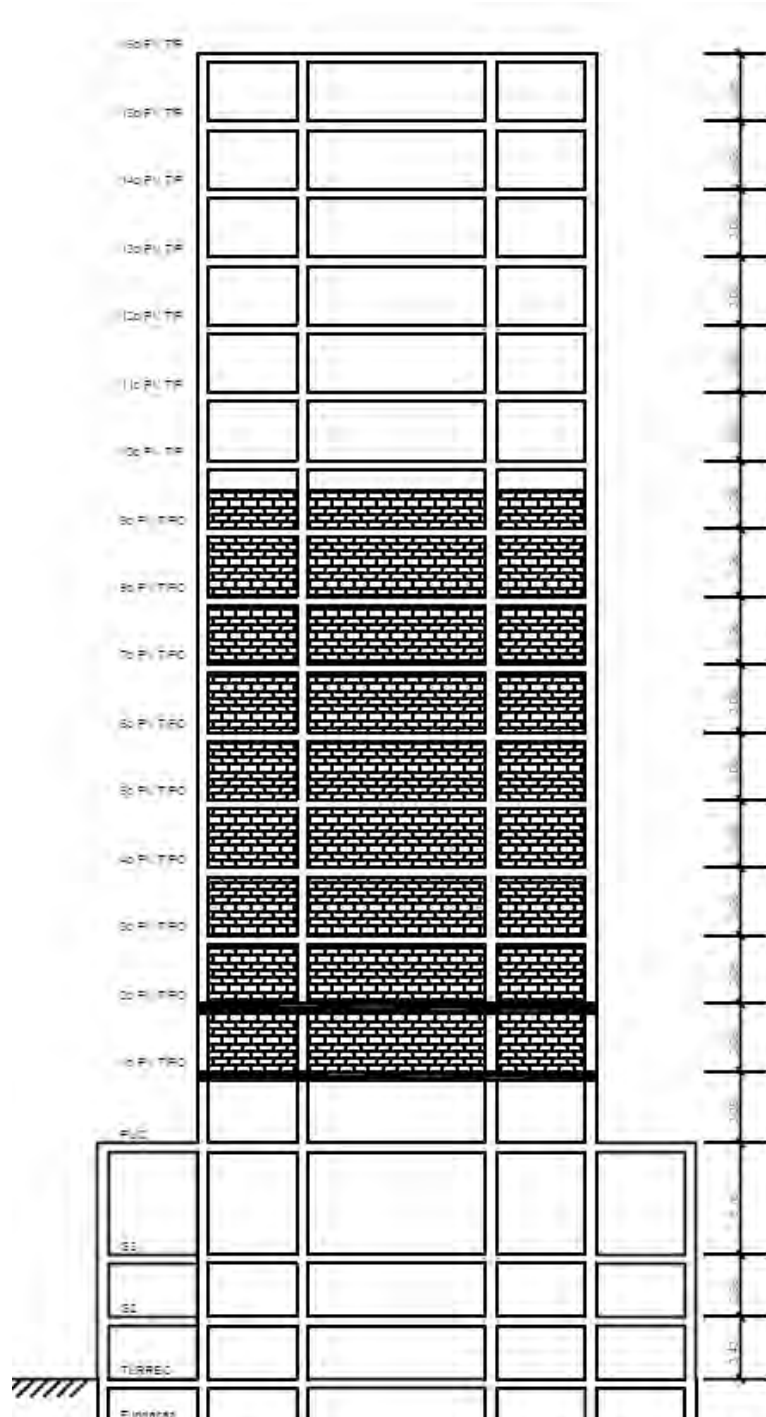


Figura 2.24 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 8ª Etapa.

Na nona etapa, 11/05/2020, a estrutura estava construída até o pavimento “telhado”, com alvenaria completa até o 10º andar e em torno de 70% da alvenaria do 11º andar. A execução do contrapiso avançou até o 4º pavimento tipo e os escoramentos já haviam sido retirados até 14º tipo. A Figura 2.25 representa o esquema nessa etapa.

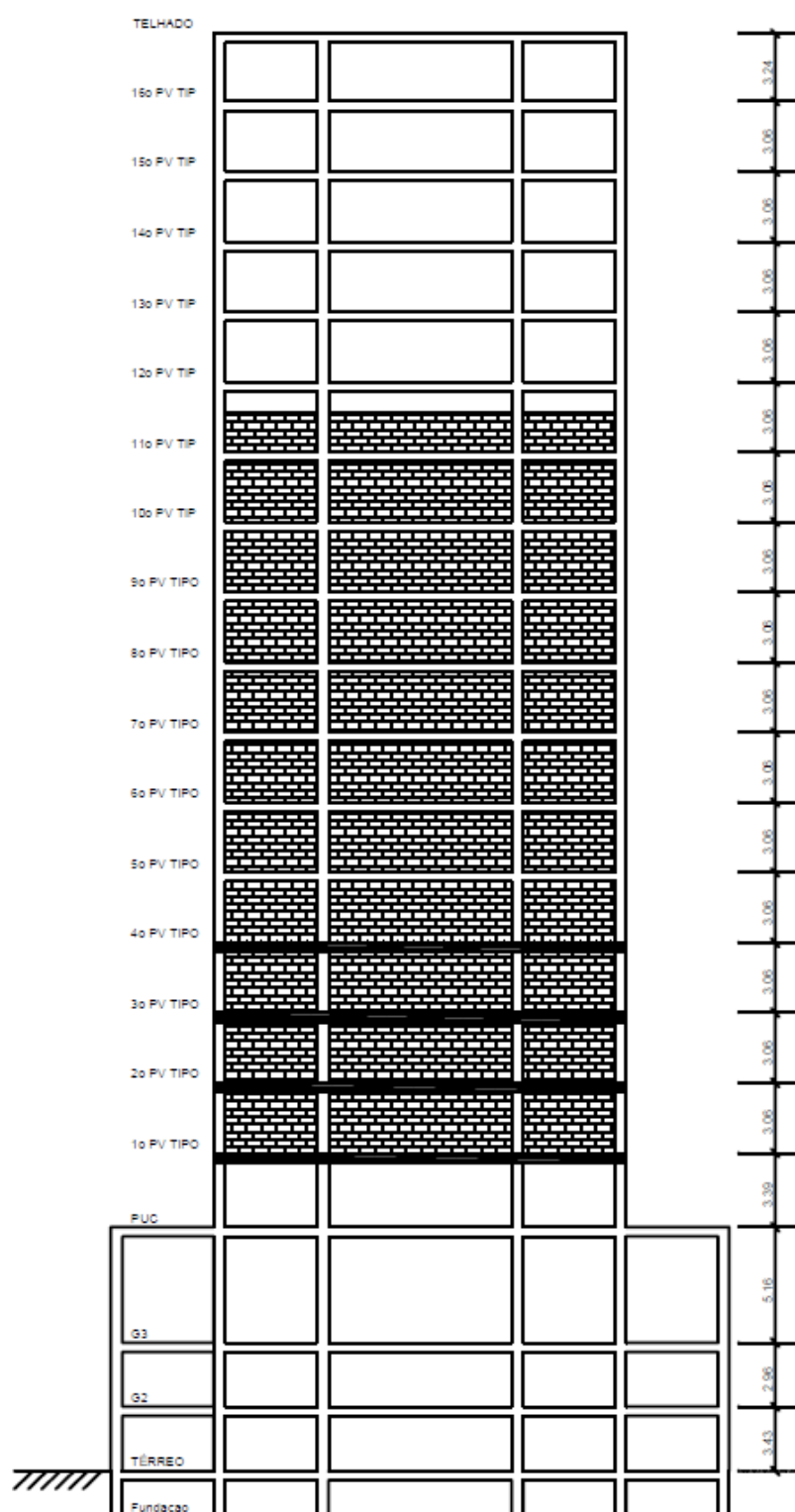


Figura 2.25 – Esquema mostrando a etapa construtiva equivalente à 9ª Etapa.

Por ocasião da décima etapa, com medição dos recalques em 30/06/2020, a estrutura estava completa. Foram construídas a caixa d'água, a casa de máquinas, as rampas entre os pavimentos de garagem, bem como o PUC. A alvenaria avançou até o 14º pavimento tipo e o contrapiso até o 9º pavimento tipo (Figura 2.26).

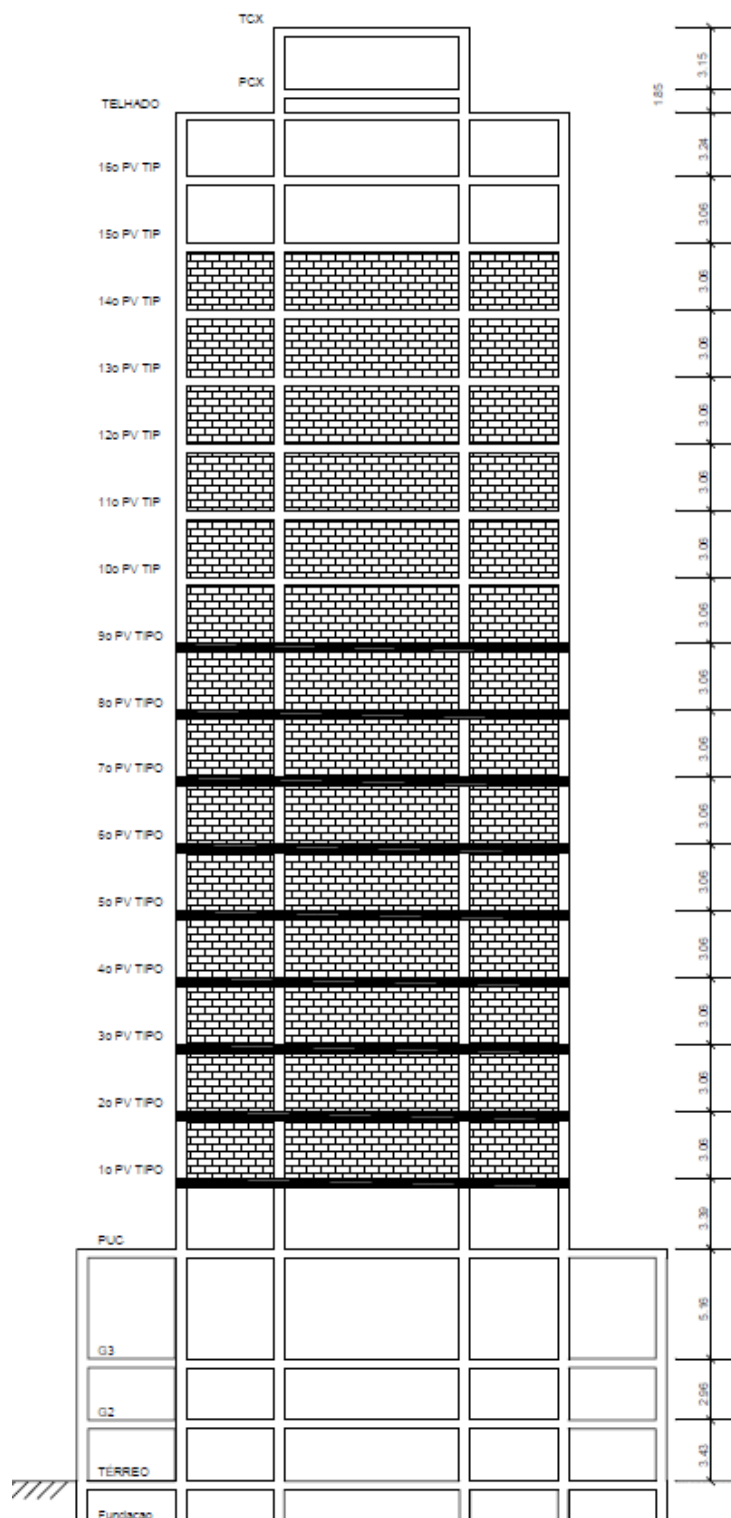


Figura 2.26 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 10ª Etapa.

A décima primeira, última etapa de leitura, ocorreu em 31/08/2020. Nesta data, a estrutura, a alvenaria e o contrapiso estavam prontos, com exceção do contrapiso do 10º andar. Não havia mais escoramentos. A Figura 2.27 mostra o esquema referente a última etapa construtiva.

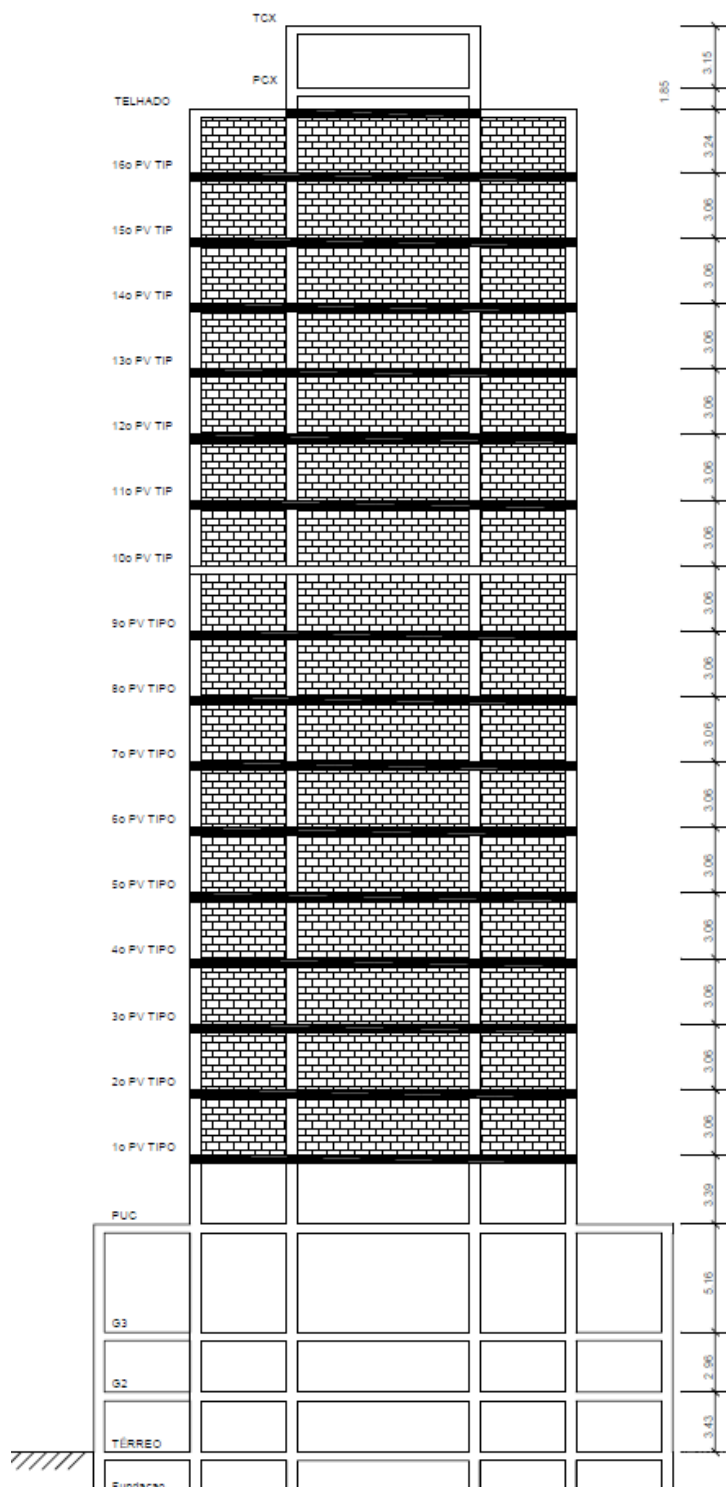


Figura 2.27 – Esquema mostrando a fase construtiva equivalente à 11ª Etapa.

É importante destacar que, devido ao emprego de elevadores de carga externos, utilizados para transporte, as lajes das extremidades L30 e L26(G2), L26 e L34(G3) e L31 e L40 (PUC) não foram construídas até esta fase e, portanto, não foram consideradas em nenhuma das etapas. A Tabela 2.3 apresenta um resumo com as datas em que foram efetuadas as medidas de recalque, bem como as etapas mencionadas acima.

Tabela 2.3 – Resumo das Etapas Construtivas

Etapa	Estagio da Obra			Data	Tempo (Dias)
	Estrutura	Alvenaria	Contra piso		
Início	G2 e Trecho A do G3 praticamente Concluídos	-	-	29/08/2019	0
1ª Leitura	Trecho B do Pav. G3, FCIS, Trecho A do PUC e Trecho do Térreo concretados	-	-	26/09/2019	28
2ª Leitura	Concluído até o 1º Pav. Tipo e Trecho A do 2º Pav. Tipo	-	-	18/10/2019	50
3ª Leitura	Concluído até o 3º e 4º Pavimento Tipo	-	-	14/11/2019	77
4ª Leitura	Concluído até o 5º Pavimento Tipo e trecho A do Tipo 6	10 % do Térreo	-	06/12/2019	99
5ª Leitura	Concluído até o 7º e 8º Pavimento Tipo	Marcação – Tipo 1 e Tipo 2	-	26/12/2019	119
6ª Leitura	Concluído até o 9º, 10º, 11º Pavimento Tipo e trecho A do 12º Tipo	Concluída até o 3º Pavimento Tipo e iniciando marcação do 7º Tipo	-	31/01/2020	155
7ª Leitura	Concluído até o 12º, 13º e 14º Pavimentos Tipo	Concluída até o 5º Pavimento Tipo e marcação finalizada do 7º, 8º e 9º Tipo	-	28/02/2020	183
8ª Leitura	15º e 16º Tipos Concluídos	Concluído até o 8º Tipo, 70% do 9º Tipo marcação executada no 10º e 11º Tipo.	1 e 2 Pavimento Tipo	19/03/2020	203
9ª Leitura	Concluído até o Pavimento Telhado	Concluído até o 10º andar, 70% do 11º e marcação concluída até o 13º Tipo	1, 2, 3 e 4 Pavimento Tipo	11/05/2020	256
10ª Leitura	Estrutura concluída	Concluída até o 14º Pav. Tipo	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 Pavimento Tipo	30/06/2020	306
11ª Leitura	Estrutura concluída	Alvenaria dos pavimentos Tipo concluídas.	Todos o Pavimentos Tipo (exceto o décimo)	31/08/2020	368

2.5.1. Resultado das medições de Recalque

A Tabela 2.4 mostra as leituras de recalques feitas pela instrumentação em cada etapa, em milímetros. Conforme mencionado, a primeira leitura foi realizada quando parte do edifício já estava construído. O térreo, os primeiros pavimentos de garagem e parte do PUC já estavam concretados, portanto, os valores apresentados na Tabela 2.4 não correspondem aos recalques totais, e, sim, à parcela de recalque ocorrida após a instalação dos pinos de recalque. Para contabilizar tal parcela de recalque, toma-se a etapa inicial como referencial e as demais etapas medidas são obtidas ao em função da diferença entre as leituras efetuadas na respectiva etapa e a leitura inicial. Cabe destacar que algumas leituras apresentaram valores duvidosos no qual serão discutidos e contornados no capítulo 5.

As Figura 2.28 a Figura 2.30 mostram as curvas de iso-recalques medidas, respectivamente, das etapas 4, 7 e 11. As dimensões apresentadas nos eixos das abscissas e das ordenadas representam o comprimento e a largura do terreno, em metros. Os valores de cada curva de iso-recalque são expressos em centímetros. Os maiores recalques ocorreram nos pilares assentes sobre sapatas, enquanto os menores ocorreram nos pilares sobre estacas, conforme esperado. A evolução das bacias de recalques apresenta uma tendência similar, sendo que os maiores recalques se concentram nas zonas centrais e reduzem conforme aproximam-se das periferias.

Tabela 2.4 - Recalques medidos ao longo do tempo (em milímetros).

Pilar	Inicial	1ª Etapa	2ª Etapa	3ª Etapa	4ª Etapa	5ª Etapa	6ª Etapa	7ª Etapa	8ª Etapa	9ª Etapa	10ª Etapa	11ª Etapa
PR-01 (P4A)	0	0.9	3.3	0.8	2.5	-0.4	4	7.3	6.6	9.2	7.3	5.5
PR-03 (P09)	0	2.5	4.8	6.3	6.2	8.2	8.4	11	7.8			
PR-04 (P11)	0	0.4	3.2	4.4	3.2	4.5	5.9	8.3	7.4	8.7	9.4	6.8
PR-05 (P15A)	0	-0.2	1.7	2.5	3.4	1.9	6.7	10.8		11	11	11
PR-06 (P18)	0	2.6	4.1	3	2.8	2.8	2.3	7.1	6.9	3.8	10.8	10.7
PR-07 (P28)	0	-1.1	1.3	3.5			6.4	10.5	10.3	10.4	12.9	10.2
PR-08 (P31)	0	0.7	4.8	5.5	2.8	4.4	6	11.1	11.7	11.1	15.5	13.8
PR-09 (P33)	0	-0.4	4.3	5	3.5	3.3	4.5	9.7	10.4	9.7	13.1	10.3
PR-10 (P36)	0	0.4	2.4	5.2	3.4	3.5	4.7	11	10.7	10.5	0	16.6
PR-11 (P43A)	0	-0.2	3.3	5.1	4.7	6.9	8.4	9.7	9.2	12.2	14.6	12.7
PR-12 (P48A)	0	0.3	3.7	4.4	2.6	2.5	4.5	10.3	10	9.6	11.3	15.9
PR-13 (P55A)	0	-0.1	2.1	3	5	1.3	5.6	5.3				
PR-14 (P59)	0	0.3	1.5	1.1	0.9	4.6	0.4	1.3	-1.2	0.6	3.9	1.4
PR-15 (P61)	0	1.7	1.9	2.2	2.6	2.5	3	4.8	1.3	3.3	2.7	0.1
PR-16 (P66)	0	-0.4	-0.1	0.9	0.8	-0.7	1.9	3.6	2.2	1.8	1.9	-0.2
PR-17 (P75)	0	-0.4	0.8	1.3	0.9	1.3	1.8	3.6	4.7	6.3	6.2	1.8
PR-18 (P77)	0	-0.7	1.4	2	1.3	1.5	2	2.5	2.8	3.9	3	-0.9
PR-19 (P82)	0	1.1	2.5	1.3	-0.5	-1.4	2	6.3	4	4.4	5.2	
PR-20 (P73)	0		1.6	6.6	0.4	0.9	2.2	3.1	1.7	3.4	4.6	3.3

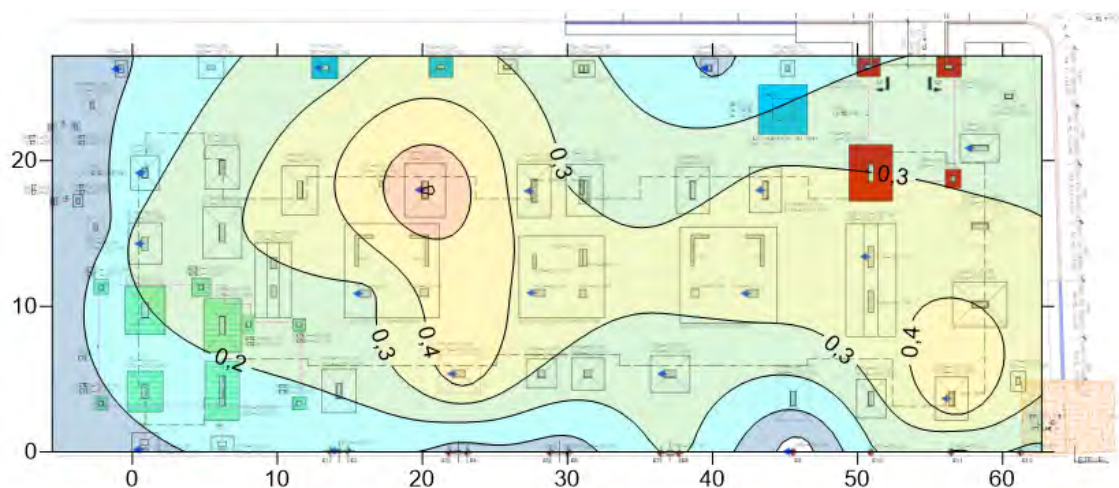


Figura 2.28 – Curvas iso-recalques, em centímetros, 4ª etapa, Instrumentados.

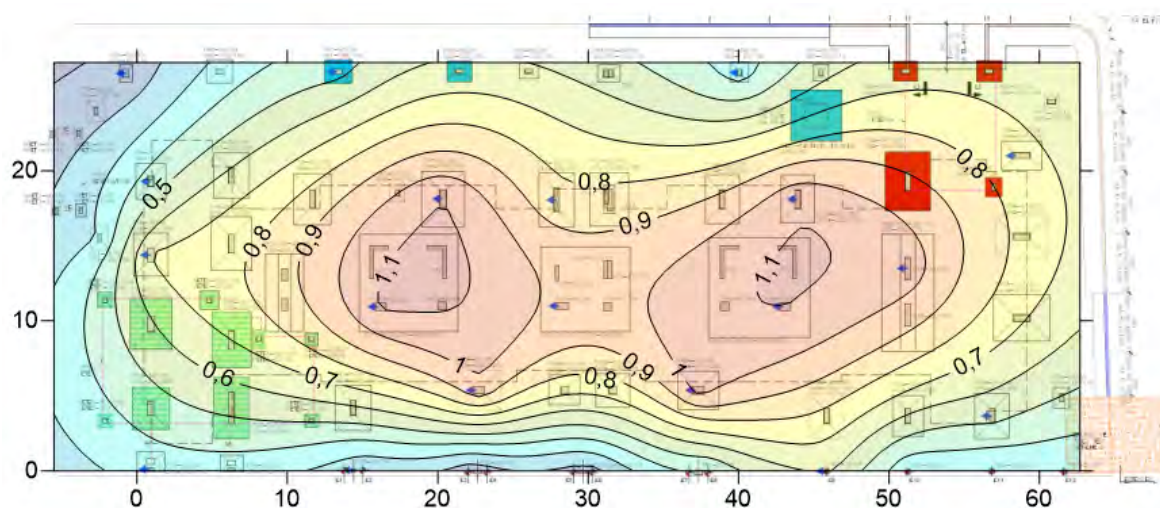


Figura 2.29 – Curvas iso-recalques, em centímetros, 7ª etapa, Instrumentados.

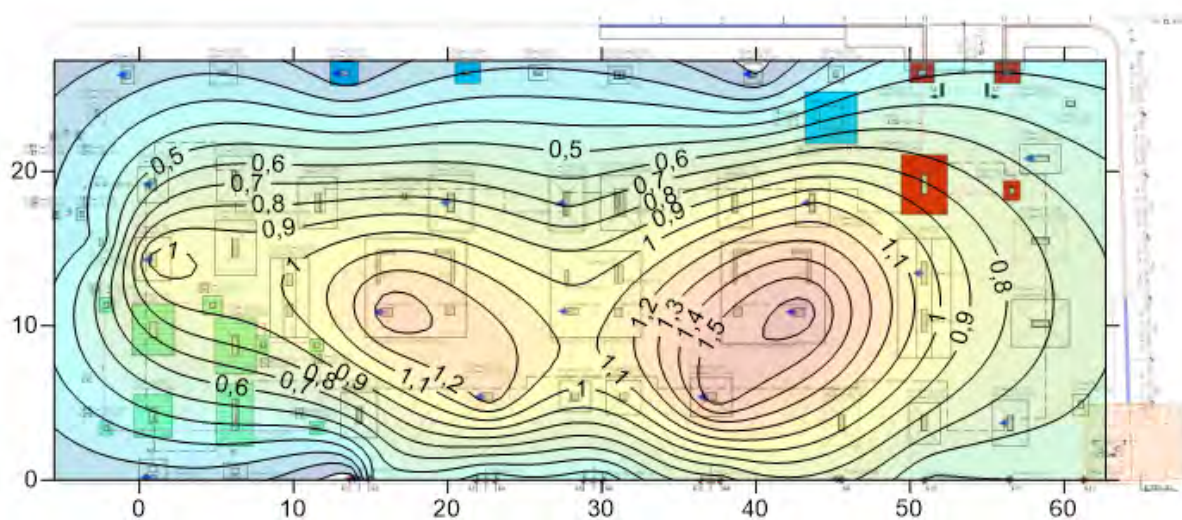


Figura 2.30 – Curvas iso-recalques, em centímetros, 11ª etapa, Instrumentados.

3. MODELOS ESTRUTURAIS E DO SOLO

3.1. Determinação dos parâmetros do solo

Para o cálculo dos recalques, utilizando o método AOKI E LOPES (1975), foi procedido um estudo inicial para estimar os parâmetros de compressibilidade do solo. O módulo de elasticidade do solo no modelo elástico linear é o parâmetro fundamental que deve ser introduzido como dado de entrada do programa, em conjunto com o coeficiente de Poisson, mostrado no item 1.5. Durante o estudo, foi possível notar uma grande sensibilidade dos valores médios estimados do módulo de elasticidade, em função do N_{SPT} e de sua variabilidade, com base nas diferentes correlações encontradas na bibliografia. Para a obtenção dos módulos de elasticidade, estudou-se três possibilidades e em toda foram levados em consideração o N_{spt} médio de cada camada. Como as camadas apresentavam espessuras pequenas, muitas vezes o próprio N_{spt} correspondia a média.

A primeira tentativa foi utilizar as correlações propostas por KULHAWY e MAYNE (1990). Para areias com finos (argilas ou siltes), os autores comentam a dificuldade de se obter boas correlações baseadas no N_{SPT} . No entanto, para avaliações preliminares, sugerem a correlação (3.1).

$$\frac{E}{p_a} = 5N_{60} \quad (3.1)$$

Onde:

p_a é a pressão atmosférica

N_{60} é o número de golpes do ensaio SPT corrigido para Energia relativa a 60%, onde $N_{60} = 1,37 N_{SPT}$

N_{SPT} é o número de golpe para cravar os últimos 30 cm do amostrador.

Em argilas, sugerem valores para o módulo não drenado de solos argilosos. O ensaio de pressiómetro (PMT) fornece a medida do módulo de elasticidade horizontal em solos, que, em argilas, pode-se assumir igualmente ao módulo de elasticidade em condições não drenadas, ou seja, $E_{PMT} = E_u$. Para uso prático, considera-se uma correlação entre E_{PMT} com o valor de N_{60} , Figura 3.1. Sendo assim, tem-se:

$$\frac{E_{PMT}}{p_a} = \frac{E_u}{p_a} = 19,3N_{60}^{0,63} \quad (3.2)$$

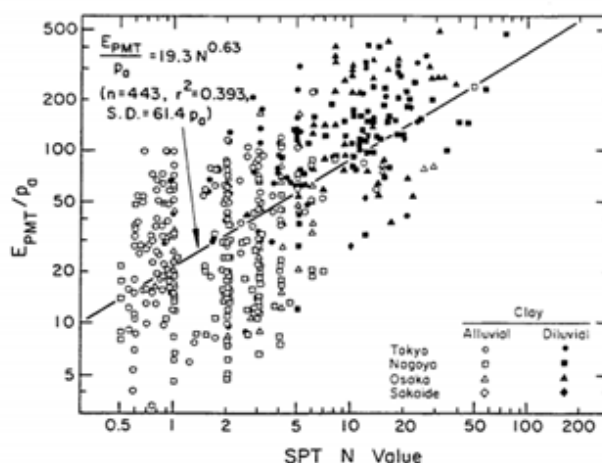


Figura 3.1 – EPMT de argilas em função do número de golpes do N_{60} , KULHAWY e MAYNE (1990).

Em uma segunda tentativa, foram utilizadas as correlações de TEIXEIRA & GODOY (1996), em que o módulo de elasticidade é dado pela expressão (3.3) com auxílio das Tabela 3.1 e Tabela 3.2.

$$E_s = \alpha \cdot K \cdot N_{SPT} \quad (3.3)$$

Onde:

K é coeficiente empírico dado na Tabela 3.1, em função do tipo de solo.

α é coeficiente empírico dado na Tabela 3.2.

Tabela 3.1 – Coeficiente K , TEIXEIRA & GODOY (1996).

Solo	K (MPa)
Areia com pedregulho	1,10
Areia	0,90
Areia Siltosa	0,70
Areia Argilosa	0,55
Silte Arenoso	0,45
Silte Arenoso	0,35
Argila Arenosa	0,30
Silte Argiloso	0,25
Argila Siltosa	0,20

Tabela 3.2 – Coeficiente α , TEIXEIRA & GODOY (1996).

Solo	α
Areia	3
Silte	5
Argila	7

Na terceira e última tentativa foram utilizados os valores sugeridos por BARATA (1984) e para Areias siltosa e Argila areno siltosa (Tabela 3.3) para correlacionar os valores do módulo de deformação, E_z , com a resistência de ponta do ensaio de cone, q_c , através da expressão:

$$E_z = a \cdot q_c \quad (3.4)$$

Onde

a é o coeficiente de Buisman

q_c é a resistência de ponta do ensaio de cone

Tabela 3.3 – Valores do Coeficiente de Buisman, BARATA (1984).

Tipo de solo	Coeficiente de Buisman (a)
Silte arenoso, Pouco argiloso (solo residual de gnaiss, ao natural) (Local - Refinaria Duque de Caxias, Caxias, RJ)	1,15
Areia siltosa (solo residual de gnaiss, ao natural) (Local - Refinaria Duque de Caxias, Caxias, RJ)	1,20
Siltes Argiloso (solo residual de gnaiss, ao natural) (Local - Refinaria Duque de Caxias, Caxias, RJ)	2,40
Argila pouco arenosa (solo residual de gnaiss, ao natural) (Local - Adrianópolis, Nova Iguaçu, RJ)	2,85
Silte pouco argiloso (aterro compactado) (Local - Refinaria Duque de Caxias, Caxias, RJ)	3,00
Solo Residual argiloso (aterro compactado) (Local - Refinaria Duque de Caxias, Caxias, RJ)	3,40
Argila pouco arenosa (solo residual de gnaiss, ao natural) (Local - Adrianópolis, Nova Iguaçu, RJ)	3,60
Solo Residual argiloso (aterro compactado) (Local - Refinaria Duque de Caxias, Caxias, RJ)	4,40
Argila areno - siltosa (aterro compactado) (Local - Adrianópolis, Nova Iguaçu, RJ)	5,20
Argila areno - siltosa (porosa) (solo residual de basalto, ao natural) (Local - Refinaria do Planalto, Campinas, SP)	5,20 a 9,20
Areias sedimentares	2,00

Na ausência do ensaio de cone, pode-se empregar a correlação entre os valores da resistência de ponta do cone e o número de golpes do SPT. DANZIGER (1982) propôs valores para K que são apresentados na Tabela 3.4.

$$q_c = K \cdot N_{SPT} \quad (3.5)$$

Tabela 3.4 – Valores de K para emprego na correlação entre o ensaio de cone e a sondagem a percussão, DANZIGER (1982).

Tipo de solo	Valores de K (MPa)
Areia	0,60
Areia siltosa, areia argilosa, areia silto-argilosa, areia argilo-siltosa	0,53
Silte, silte arenoso, argila arenosa	0,48
Silte areno-argiloso, silte argilo-arenoso, argila silto-arenosa, argila areno-siltosa	0,38
Silte argiloso	0,30
Argila, argila siltosa	0,25

A Tabela 3.5 mostra os valores calculados dos módulos de compressibilidade para cada profundidade da Sondagem SP01. As tabelas correspondentes às demais sondagens foram anexadas ao Apêndice 6. É importante ressaltar que os valores utilizados para cálculo foram destacados em negrito e os melhores resultados (mais próximos dos medidos) foram os obtidos por meio de BARATA (1984). Como toda a estimativa de parâmetros foi baseada em valores de N_{SPT} e os valores de recalque resultantes terem sido reduzidos (da ordem de milímetros), é esperada alguma diferença entre valores obtidos e os medidos pela instrumentação.

SANDRONI (1991), em seu trabalho para caracterização de solos residuais jovens (saprolíticos), reconhece que a rigidez do solo pode ser correlacionada “grosseiramente” com o N_{SPT} . O autor compilou resultados de provas de carga de solos residuais de gnaiss (a maioria do Brasil e uns poucos EUA), visando a obtenção dos módulos de elasticidades por meio de uma retroanálise. A nuvem de pontos, apresentada na Figura 3.2 sugere a seguinte expressão:

$$E = (0,4 \text{ a } 0,9) \times (N_{SPT})^{1,4} \quad (3.6)$$

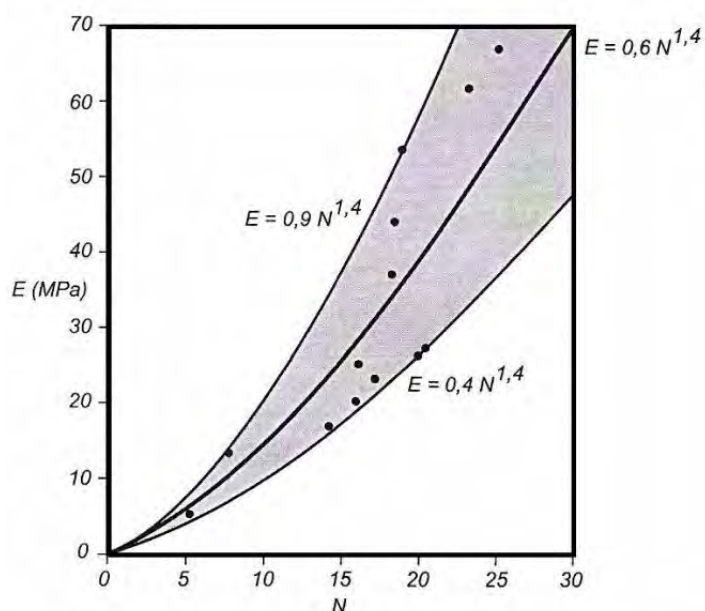


Figura 3.2 – Relação entre N e o Módulo de elasticidade de solos residuais (SANDRONI, 1991)

Os valores utilizados na terceira tentativa, ou seja, utilizando os valores propostos por BARATA (1984) assemelham-se aos valores propostos em SANDRONI (1991).

Tabela 3.5 – Tabela típica: Valores para Sondagem SP01.

SP01										
Prof.(m)	NSPT	Média NSPT	N ₆₀	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1984)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
				E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)
0	-	10	13,7	10,0	0,38	2,85	14,8	0,30	7,00	21,0
1	10									
2	16	19,5	26,7	15,3	0,38	2,85	28,9	0,30	7,00	40,9
3	23									
4	40	40,0	54,8	24,0	0,38	2,85	59,4	0,30	7,00	84,0

Aterro argilo arenoso
 Argila silto arenosa
 Areia siltosa

Como a maioria das sapatas foram assentes em profundidades próximas à fronteira com o impenetrável à percussão, para se obter melhores resultados tornou-se necessário caracterizar e discretizar bem esse trecho. Com o auxílio das sondagens rotativas (Apêndice 4), o trecho abaixo do “impenetrável” foi dividido em 4 subcamadas: solo residual jovem, rocha extremamente alterada, rocha muito alterada e rocha sã. Com o intuito de se obter os módulos de elasticidade dessas camadas, foi realizada uma retroanálise a partir das sapatas S15, S43A e S55A. A escolha destas sapatas se deu pelo fato de cada uma delas ter sido assente em diferentes horizontes dos enumerados acima, tendo sido possível isolar, para cada uma delas, cada trecho rochoso do perfil e a obtenção aproximada do seu módulo.

Foram escolhidos valores iniciais de módulo de elasticidade e calculados os recalques mediante o programa Aoki-Lopes. Com o resultado calculado, procedeu-se a uma comparação com o valor medido, obtendo-se uma relação entre o valor estimado e o valor medido pela instrumentação, até se encontrar o módulo de elasticidade calibrado para cada uma das subcamadas. Esse processo foi realizado, de forma iterativa, até a concordância dos valores estimados e os medidos. A seguir se indica a relação para obtenção do módulo de elasticidade calibrado.

$$E_{\text{estimado}} \cdot \rho_{\text{calculado}} = E_{\text{calibrado}} \cdot \rho_{\text{medido}} \quad (3.7)$$

$$E_{\text{calibrado}} = \frac{E_{\text{estimado}} \cdot \rho_{\text{calculado}}}{\rho_{\text{medido}}} \quad (3.8)$$

Inicialmente, foi obtido o módulo de elasticidade do trecho de rocha muito alterada, por meio da sapata S15, cujas sondagens mais próximas são as designadas por SP03 e SM3. Como nessa região a sondagem rotativa indicou apenas trecho de rocha muito alterada seguida de rocha sã, tornou-se possível a obtenção do módulo de forma simples. Em seguida, analisou-se a sapata S55A, que está sobre o trecho de solo residual jovem, sobrejacente à rocha muito alterada e à rocha sã. Como o módulo de elasticidade da rocha muito alterada já tinha sido obtido na análise da sapata S15, o módulo desconhecido, na análise da sapata S55A, é relativo ao solo residual jovem. Realizando o mesmo processo de calibração dos módulos, obteve-se o módulo de elasticidade do trecho de solo residual jovem. Por fim, por meio da sapata S43A, que, segundo a sondagem rotativa, está sobre as camadas de solo residual jovem, rocha muito alterada, rocha extremamente alterada e rocha sã, calibrou-se o módulo de elasticidade do trecho de rocha extremamente alterada. No Apêndice 7 são apresentados os cálculos realizados na retroanálise. Os módulos de elasticidade calibrados por meio da retroanálise são apresentados abaixo:

$$E_{\text{Solo residual jovem}} \cong 59 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{Rocha extremamente alterada}} \cong 90 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{Rocha muito alterada}} = 120 \text{ MPa}$$

Notou-se uma relação aproximada e simples entre módulos de elasticidade médios do solo da região acima do trecho impenetrável, e, portanto, obtido de correlações com o N_{SPT} , e os módulos de elasticidades calibrados no trecho logo abaixo do impenetrável à percussão. Abaixo são apresentadas as relações:

$$E_{Solo \text{ residual jovem}} \cong 2 E_{Solo, SPT} \quad (3.9)$$

$$E_{Rocha \text{ extremamente alterada}} \cong 3 E_{Solo, SPT} \quad (3.10)$$

$$E_{Rocha \text{ muito alterada}} \cong 4 E_{Solo, SPT} \quad (3.11)$$

Para caracterizar a rocha sã, procurou-se verificar o valor do módulo acima do qual não há praticamente variação no recalque estimado das sapatas. Verificou-se que valores acima de 500 MPa não apresentaram mudança significativa nos recalques calculados. A Tabela 3.6 resume os parâmetros de módulo de elasticidade médio do trecho em solo e rocha.

Tabela 3.6 – Parâmetros de compressibilidade médios empregados.

Solo	Nspt	N60	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1984)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
			E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)
Argila	23	32	17,1	0,38	2,85	25,2	0,30	7,00	48,8
Areia	47	65	32,5	0,53	1,20	30,1	0,70	3,00	99,5
Solo residual jovem	-	-	64,9	-	-	59,0	-	-	199,0
Rocha extrem. alterada			97,4			90,4			298,5
Rocha muito alterada			129,8			120,5			398,0
Rocha Sã			500,0			500,0			500,0

Como na divisa com o vizinho foram utilizadas fundações profundas, se faz necessária a previsão do diagrama de transferência de carga para a estimativa do recalque. Para tal, o autor precisa estimar a tensão cisalhante mobilizada na interface solo – estaca. Como o atrito lateral é mobilizado para pequenos deslocamentos, os valores das tensões cisalhantes mobilizadas foram considerados como equivalentes aos valores de atrito unitário na ruptura, até a profundidade necessária para igualar o esforço atuante. Apenas o esforço atuante no topo que exceder o atrito lateral disponível é transferido à ponta da estaca. Vários métodos podem ser utilizados para o cálculo da capacidade de carga de estacas e, portanto, do atrito lateral unitário na ruptura. No Brasil, três métodos são muito utilizados: AOKI-VELLOSO (1975), DÉCOURT-QUARESMA (1978) e VELLOSO (1981).

O método utilizado nesse estudo foi o proposto por AOKI-VELLOSO (1975). As fundações profundas são localizadas próximas às sondagens SP02 e SP05, logo, somente estas foram consideradas representativas para o cálculo referente ao atrito lateral que é apresentado no Apêndice 8. Todas as estacas tiveram seu carregamento menor ou igual ao atrito lateral disponível. Dessa forma, a carga transferida à ponta das estacas foi considerada nula.

VESIC (1977) propõe que os valores de recalque estimados no topo da estaca, w_o , é a soma de três parcelas de recalque: encurtamento elástico da estaca, recalque do solo devido a carga de ponta e recalque do solo devido às cargas de atrito lateral transmitidas ao longo do fuste. A expressão (3.12) resume a proposta.

$$w_o = w_s + w_{pp} + w_{ps} \quad (3.12)$$

Onde:

w_s é referente a deformação axial do fuste;

w_{pp} é o recalque na ponta devido à carga transmitida pela ponta;

w_{ps} é o recalque na ponta devido à carga transmitida ao longo do fuste;

As parcelas w_{pp} e w_{ps} são calculadas no programa Aoki-Lopes e devem ser somadas a parcela de deformação axial do fuste, calculada pela seguinte expressão:

$$w_s = \int_0^z \frac{Q(z) \cdot dz}{A \cdot E_p} \quad (3.13)$$

Como ilustração dos cálculos realizados para todos os pilares com fundação profunda, um exemplo é ilustrado no Apêndice 9. Importante observar que, ao considerar todos os carregamentos simultâneos nas fundações, a influência do grupo é contemplada nos pontos em estudo.

3.2. Metodologia de análise e premissas

Com o auxílio das plantas de forma do edifício, foi elaborado um modelo numérico estrutural tridimensional, utilizando o Método dos Elementos Finitos (MEF), por meio do *software* SAP 2000. A maioria das vigas e os pilares foram representados como elementos de barra, porém, em casos específicos, como as vigas da piscina, reservatórios de água, estação de tratamento de esgoto e pilares dos elevadores

foram utilizados elementos de casca. Por fim, as lajes foram modeladas como elementos de casca. O modelo da estrutura completa é ilustrado na Figura 3.3.

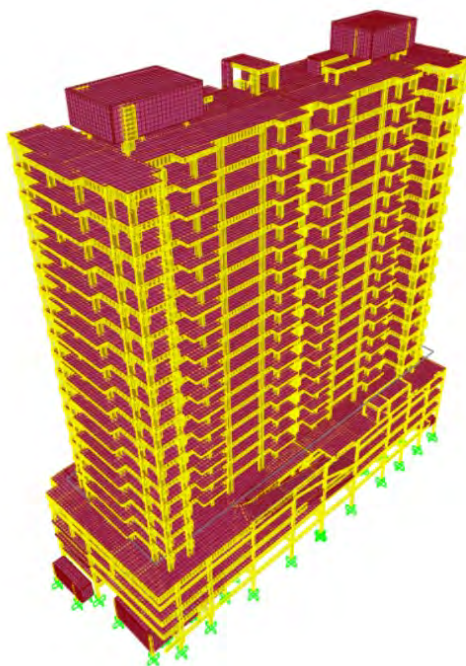


Figura 3.3 – Modelo numérico da edificação em estudo.

As lajes, as vigas e os pilares foram reproduzidos no modelo considerando todas as particularidades (dimensões, localização e variação da inércia) fornecidas pelas plantas estruturais da edificação, conforme Apêndice 1. Como dados de entrada do material concreto (*input*), foi utilizada uma resistência característica (f_{ck}) de 35 MPa e um peso específico de 25 kN/m³, conforme adotados no projeto estrutural.

Nem sempre as vigas encontravam-se ligadas, exatamente, ao centro geométrico dos pilares (ligação com excentricidade). Nesses casos, foram criadas vigas fictícias (V.F) com módulo de elasticidade muito elevado e peso específico nulo (Figura 3.4). Dessa forma, as cargas são transmitidas diretamente para o pilar, respeitando a geometria do projeto. A Figura 3.4 mostra a utilização da viga fictícia (V.F) para ligar a Viga (por exemplo: V57a) ao pilar, contornando a excentricidade da ligação. Em linhas azuis são representados o pilar e a viga. As linhas vermelhas são os elementos de casca que representam a laje.

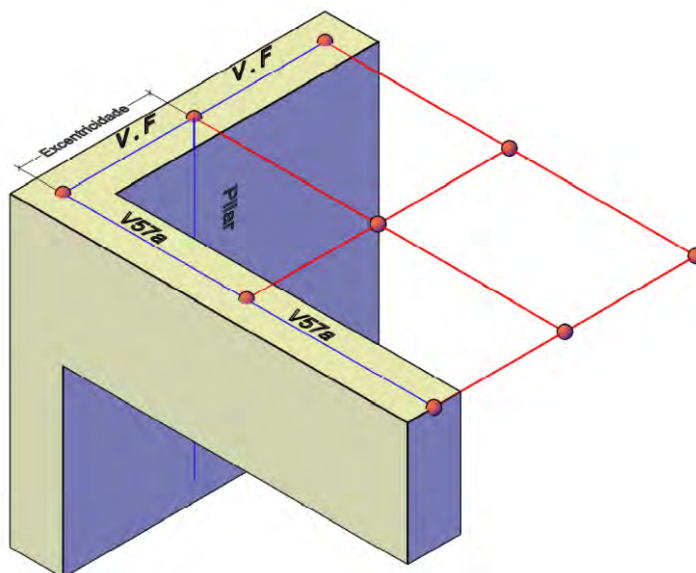


Figura 3.4 – Isométrico da ligação excêntrica Viga-Pilar usando o artifício da viga fictícia.

O carregamento devido ao peso próprio da estrutura é calculado automaticamente pelo programa a partir das dimensões e pesos específicos fornecidos para cada elemento criado. As sobrecargas adotadas nas lajes foram as mesmas fornecidas pelo projetista, que constam tabeladas na planta de Formas (vide Apêndice 1). As alvenarias não foram modeladas fisicamente, optou-se por inseri-las somente como carregamento. Como no *software* SAP 2000 não é possível impor cargas lineares uniformemente distribuídas sobre as lajes (elementos de casca, representados na Figura 3.5 com linhas vermelhas), com o auxílio da planta de arquitetura, foram criados elementos de barra, extremamente flexíveis e com peso próprio nulo, para delinear a alvenaria. Sobre esses elementos de barra foram introduzidos carregamentos uniformes que representassem o peso próprio particular de cada alvenaria (Figura 3.5).

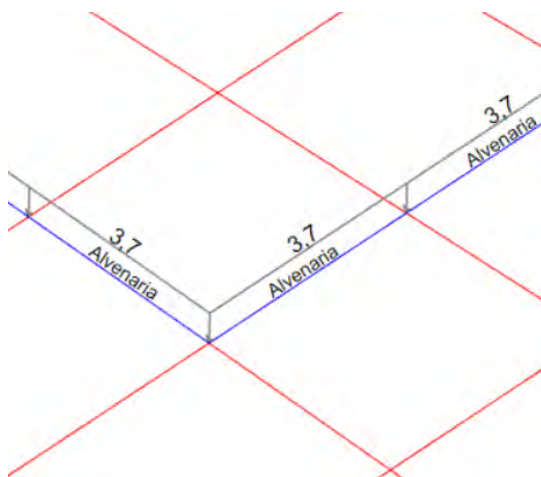


Figura 3.5 – Isométrico da viga extremamente flexível - Carregamento da Alvenaria.

A Tabela 3.7 apresenta os valores das cargas por metro quadrado de parede. Alvenaria: $q_{alvenaria} = (h_{pé\ direito} - h_{viga}) \times (\text{carga } m^2 \text{ obtida na Tabela 3.7})$

Tabela 3.7 – Cargas de alvenaria.

Alvenarias (carga por m² de parede) kN/m²	
Bloco de concreto 14 cm + 2 cm revestimento	1,80
Bloco de concreto 14 cm + 4 cm revestimento	2,10
Bloco de concreto 14 cm cheio	3,20
Bloco de concreto 19 cm + 2 cm revestimento	1,90
Bloco de concreto 19 cm + 4 cm revestimento	2,30
Bloco de concreto 9 cm + 2 cm revestimento	0,15
Bloco de concreto 9 cm + 4 cm revestimento	1,85
Bloco cerâmico 14 cm + 2 cm revestimento	1,45
Bloco cerâmico 14 cm + 4 cm revestimento	1,85
Bloco cerâmico 19 cm + 2 cm revestimento	1,75
Bloco cerâmico 19 cm + 4 cm revestimento	2,15
Bloco cerâmico 09 cm + 2 cm revestimento	1,20
Bloco cerâmico 09 cm + 4 cm revestimento	1,60

Inicialmente, o modelo numérico tridimensional da estrutura finalizada da edificação foi considerado sobre apoios rígidos (indeslocáveis) e, nesse modelo, foram analisadas as cargas das alvenarias, as cargas permanentes e as cargas acidentais utilizadas no projeto. Sendo assim, foram comparadas as cargas nos pilares obtidas com este modelo numérico com as cargas do projeto original e com as do consultor estrutural. As cargas estão apresentadas na Tabela 3.8 e na Figura 3.6 está representado o modelo numérico tridimensional da edificação, considerando os apoios rígidos.

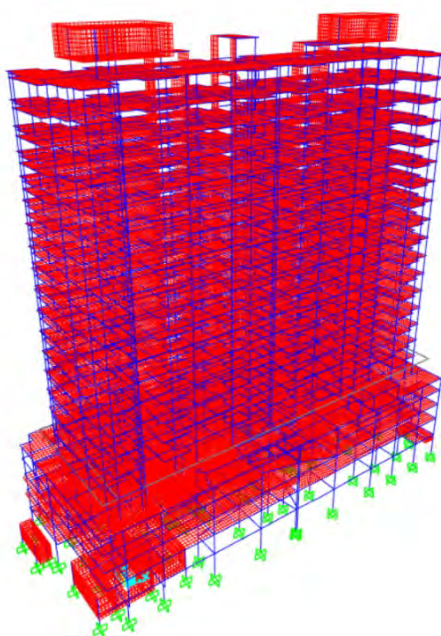


Figura 3.6 – Estrutura sobre apoios rígidos.

Tabela 3.8 – Quadro comparativo de cargas nos pilares.

Pilar	Cargas nos pilares (kN)				Razão	
	Numérico (NUM)	Consultor	Projetista	Consul/Proj	NUM/Consul.	NUM/Proj.
P3A	6940	7850	7860	1.00	0.88	0.88
P4A	3800	3390	3510	0.97	1.12	1.08
P6	3733	3990	3810	1.05	0.94	0.98
P7	6096	7200	6780	1.06	0.85	0.90
P8A	6295	6560	6670	0.98	0.96	0.94
P9A	6898	8990	8390	1.07	0.77	0.82
P11	5871	7340	7360	1.00	0.80	0.80
P12/13	2231	2890	2840	1.02	0.77	0.79
P14A	4708	6680	5820	1.15	1.15	0.70
P15A	5110	5250	5570	0.94	0.94	0.97
P18	4597	4780	5050	0.95	0.95	0.96
P19	6709	7550	7380	1.02	1.02	0.89
P20/30	4779	4700	4350	1.08	1.02	1.10
	4931	6630	6130	1.08	0.74	0.80
P21/22/31/32	8451	6780	8320	0.81	1.25	1.02
	8958	6200	7240	0.86	1.44	1.24
	5604	7720	6850	1.13	0.73	0.82
	5314	7720	7070	1.09	0.69	0.75
P23/24/25/33/34	4179	4340	4290	1.01	0.96	0.97
	3543	2770	3270	0.85	1.28	1.08
	3583	3210	3510	0.91	1.12	1.02
	3892	6660	6250	1.07	0.58	0.62
	4331	6550	5990	1.09	0.66	0.72
P26/27/35/36	8205	6980	7930	0.88	1.18	1.03
	8352	7350	8180	0.90	1.14	1.02
	4964	6750	6500	1.04	0.74	0.76
	5707	8830	8060	1.10	0.65	0.71
P28/39	8231	10370	9100	1.14	0.79	0.90
	8019	11620	10170	1.14	0.69	0.79
P29A	5832	6290	6530	0.96	0.93	0.89
P37	4937	5290	7090	0.75	0.93	0.70
P38	5914	7170	7240	0.99	0.82	0.82
P40A	6396	7560	7470	1.01	0.85	0.86
P41A	4665	5060	5350	0.95	0.92	0.87
P43A	5550	6130	6260	0.98	0.91	0.89
P45A	3332	3120	3160	0.99	1.07	1.05
P46A	3724	3790	4030	0.94	0.98	0.92
P48A	5344	5720	5900	0.97	0.93	0.91
P49A	4510	4930	4510	1.09	0.91	1.00
P51A	4955	5230	4630	1.13	0.95	1.07
P52	5488	4360	5280	0.83	1.26	1.04
P53	7610	6580	7640	0.86	1.16	1.00
P55A	5178	5050	4750	1.06	1.03	1.09

P59	723	450	580	0.78	1.61	1.25
P60	1771	1770	1950	0.91	1.00	0.91
P61	1863	1850	1930	0.96	1.01	0.97
P62	1570	1520	1650	0.92	1.03	0.95
P63	1076	850	1010	0.84	1.27	1.07
P64/65	553	490	550	0.89	1.13	1.01
	661	530	670	0.79	1.25	0.99
P66	961	940	1170	0.80	1.02	0.82
P67	720	520	690	0.75	1.38	1.04
P68	1702	1020	1300	0.78	1.67	1.31
P69	1189	830	1390	0.60	1.43	0.86
P70	981	1120	1190	0.94	0.88	0.82
P71	485	230	370	0.62	2.11	1.31
P73	1411	1000	1260	0.79	1.41	1.12
P74	1672	870	1060	0.82	1.92	1.58
P75	1943	1450	1750	0.83	1.34	1.11
P76	1773	1420	1570	0.90	1.25	1.13
P77 - E1	936	660	890	0.74	1.42	1.05
P77 - E2						
P78 - E3	1012	670	1160	0.58	1.51	0.87
P78 - E4						
P79/P80 - E5	724	230	820	0.28	3.15	0.88
P79/P80 - E6						
P81 - E7	1178	660	1210	0.55	1.79	0.97
P81 - E8						
P82 - E9	747	470	800	0.59	1.59	0.93
P83 - E10	577	340	490	0.69	1.70	1.18
P84 - E11	669	430	610	0.70	1.56	1.10
P85 - E12	626	280	480	0.58	2.23	1.30
P86	815	120	640	0.19	6.79	1.27
P87	1035	790	780	1.01	1.31	1.33
PETE1	1430	340	530	0.64	4.21	2.70
PETE2	2196	750	1120	0.67	2.93	1.96
PETE3	1199	360	580	0.62	3.33	2.07
PETE4	675	180	400	0.45	3.75	1.69
PETE5	1236	320	490	0.65	3.86	2.52
PETE6	707	250	460	0.54	2.83	1.54
PRET1	143	70	150	0.47	2.05	0.96
PRET2	143	70	130	0.54	2.04	1.10
PRET3	262	360	580	0.62	0.73	0.45
PRET4	261	180	400	0.45	1.45	0.65
Total	275090	288320	296900	0.97	0.95	0.93

Observou-se poucas diferenças entre as cargas totais (apresentadas na última linha da Tabela 3.8) de projeto, as do consultor e as do modelo numérico. O somatório das cargas obtidas no modelo construído no SAP2000 totalizou 275090 kN, que corresponde a 95% do total da carga obtida pelo consultor e 93% do total obtido pelo projetista. Porém, em alguns pilares, os valores destoaram significativamente, possivelmente, por conta de algumas simplificações adotadas no projeto e/ou no

modelo. Tal discrepância ficou evidente na região da Estação de Tratamento do Esgoto (ETE) e no reservatório, onde as cargas dos pilares obtidas pelo modelo apresentaram uma grande diferença em relação às do projetista e consultor. Cabe ressaltar que as cargas entre o consultor e o projetista também ficaram discrepantes, nesses trechos. Uma das possíveis explicações deve-se, possivelmente, a grande discretização e fidedignidade do modelo, levando em conta os vários detalhes da região que talvez o projetista não tenha considerado. Além disso, a utilização de elementos de casca para representar todas as vigas da ETE contribuiu para uma elevada rigidez, que por consequência concentrou carga nessa região. Também existe a hipótese de que parte dos carregamentos nas lajes da ETE tenham sido transferidos diretamente para o solo superficial, por serem uma estrutura enterrada. De qualquer modo, essa estrutura é praticamente independente da estrutura principal, diminuindo sua relevância no estudo do conjunto.

Posteriormente, foram criados os demais modelos baseados no modelo inicial, visando representar as fases construtivas. Cada fase construtiva foi concebida para descrever a construção equivalente a cada leitura realizada (vide Tabela 2.3). Sendo assim, é possível fazer uma comparação entre os recalques, estimados por meio das cargas obtidas dos diferentes modelos, com os recalques medidos, fornecidos pela instrumentação. As etapas já descritas anteriormente, no item 2.5, são representadas, em modelo, pelas Figura 3.7 à Figura 3.12.

Para os dados de entrada de material utilizados pelo *software*, foi adotado o mesmo módulo de elasticidade do concreto em todos os modelos com base no f_{ck} admitido no projeto, com valor médio de 35 MPa. Segundo a NBR 6118 (2014), item 8.2.8, pode-se estimar a valor do módulo de elasticidade usando-se a expressão:

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{1/2} \quad (3.14)$$

Foram adotados módulo de elasticidade secante (E_{cs}), portanto:

$$E_{cs} = \alpha_i E_{ci} \quad (3.15)$$

Onde;

$$\alpha_i = 0,8875$$

$$E_{cs} = 29402 \text{ MPa}$$

Cabe ressaltar que o f_{ck} é um parâmetro que não caracteriza o comportamento reológico do concreto. Concretos com mesmos valores de f_{ck} podem apresentar módulos de elasticidades distintos. Além disso, o módulo de elasticidade do concreto sofre variações após a fissuração, não sendo um valor fixo. Portanto, somente para a

modelagem foi adotado valores estimados pela expressão da norma. Para o material concreto, foi adotado comportamento elástico, não considerando assim, os efeitos de retração e fluência.

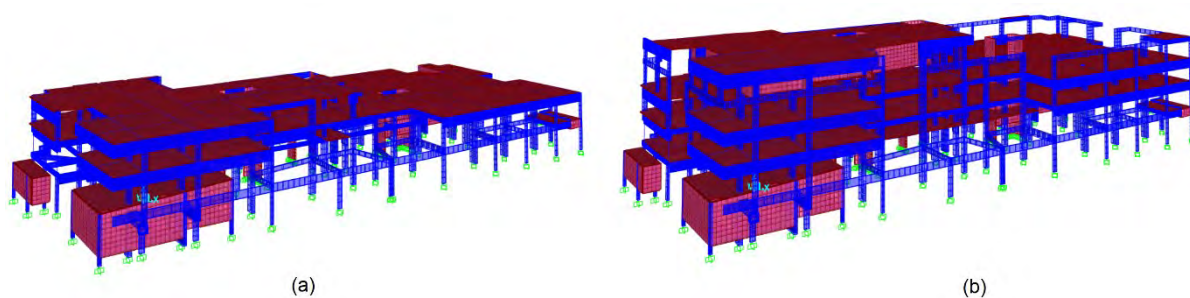


Figura 3.7 – Modelos numéricos (a) etapa inicial; (b) 1ª etapa.

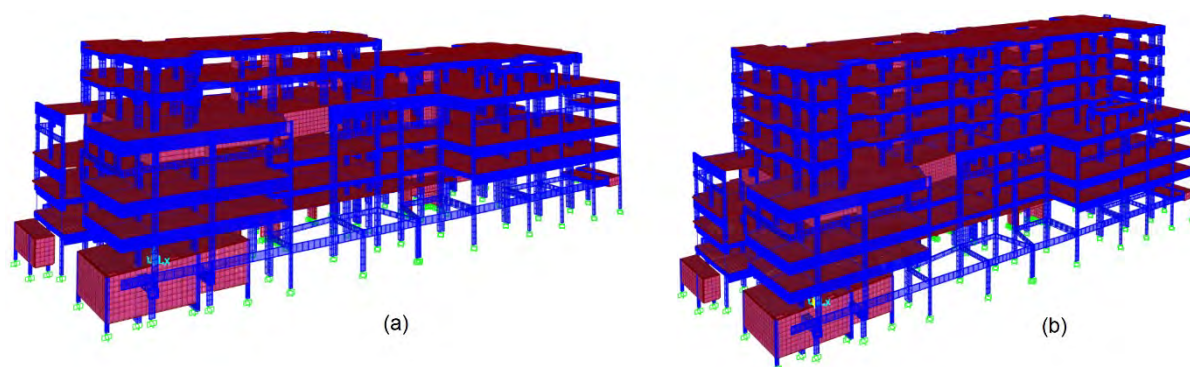


Figura 3.8 – Modelos numéricos (a) 2ª etapa; (b) 3ª etapa

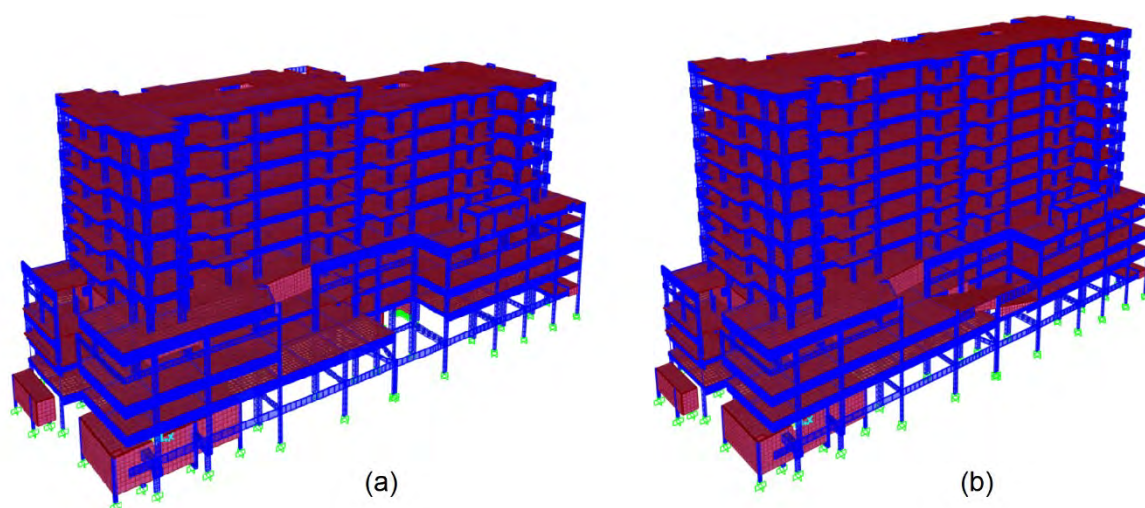


Figura 3.9 – Modelos numéricos (a) 4ª etapa; (b) 5ª etapa.

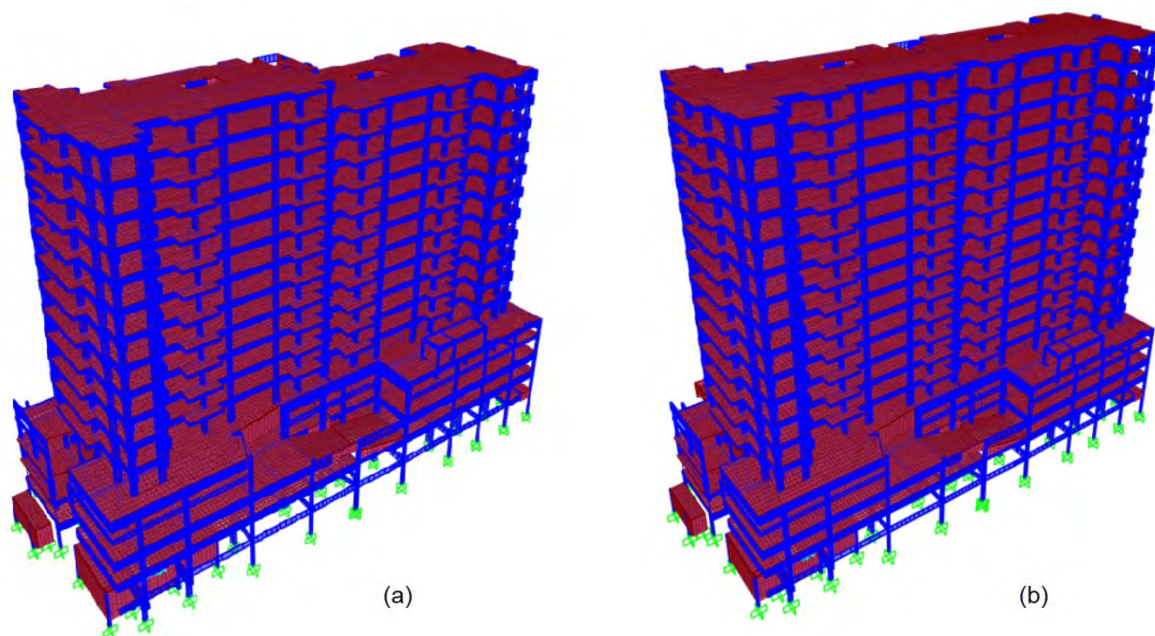


Figura 3.10 – Modelos numéricos (a) 6ª etapa; (b) 7ª etapa.

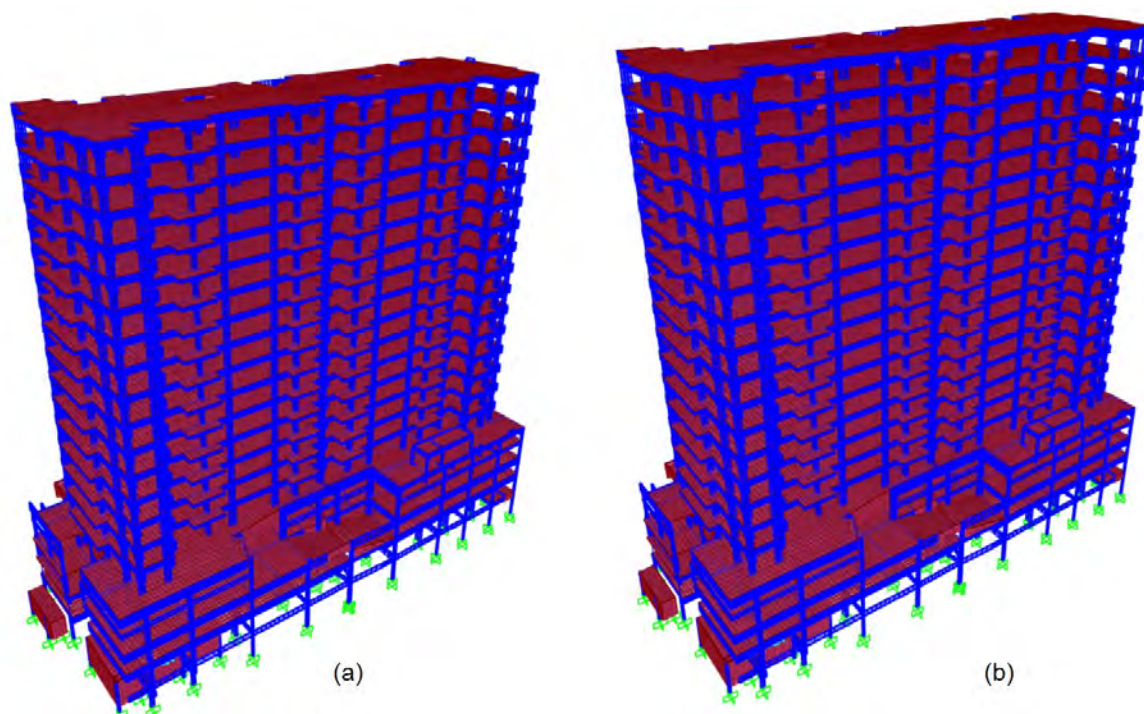


Figura 3.11 – Modelos numéricos (a) 8ª etapa; (b) 9ª etapa.

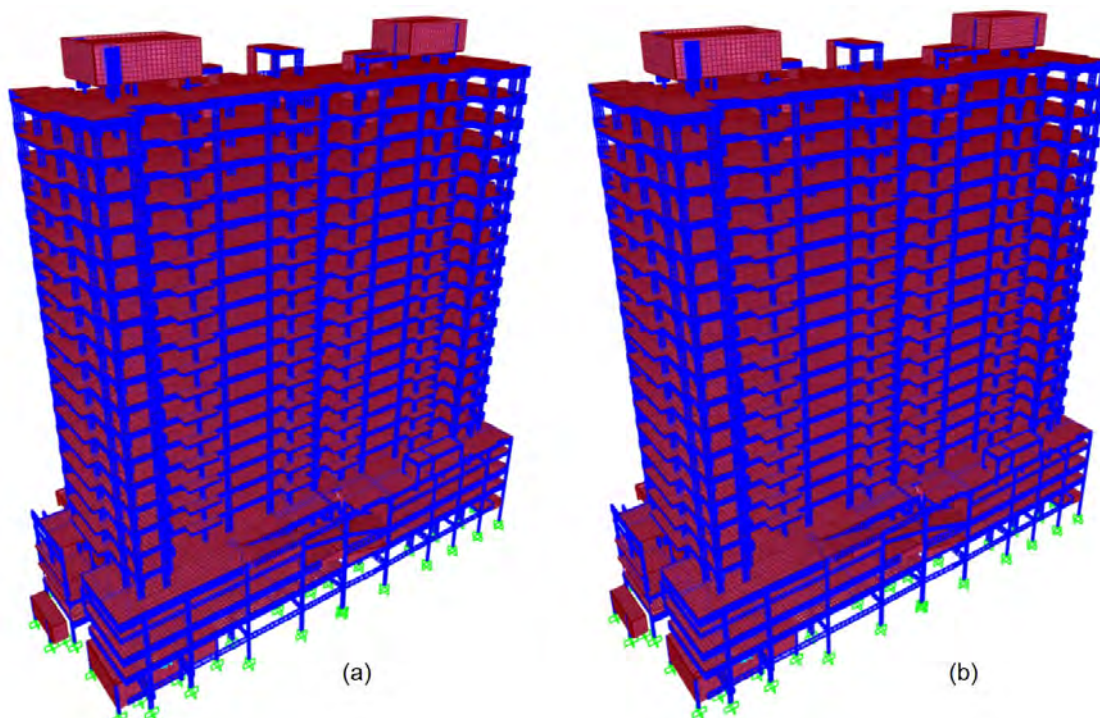


Figura 3.12 – Modelos numéricos (a) 10ª etapa; (b) 11ª etapa.

A partir das cargas da fundação, obtidas na análise do modelo sobre apoios indeslocáveis, foram calculados os recalques referentes a cada etapa construtiva descrita, utilizando o método AOKI LOPES (1975), descrito no item 2.5.

Para representar o modelo do maciço, parte-se da hipótese que o solo abaixo das fundações tem compressibilidade rápida e comportamento drenado, sendo proposto o uso de molas. Sabe-se que, para solos permeáveis, desde que o fator de segurança à ruptura (capacidade de carga) seja elevado, o comportamento elástico tem representado de forma satisfatória o comportamento carga versus recalque. Os valores dos coeficientes de rigidez das molas representativas do modelo foram estimados a partir dos recalques e cargas previstos em cada etapa construtiva, de forma a reproduzirem a compressibilidade do solo. O coeficiente de rigidez, K , é definido como a relação entre a carga atuante e deslocamento, em kN/m , ou seja, a razão entre a carga obtida na sapata e o respectivo recalque. Adotou-se para a estimativa do coeficiente de rigidez a metodologia CHAMECKI (1956) com a mesma adaptação de AOKI E CINTRA (2004), que consiste em uma solução iterativa, conforme apresentado no fluxograma da Figura 3.13.

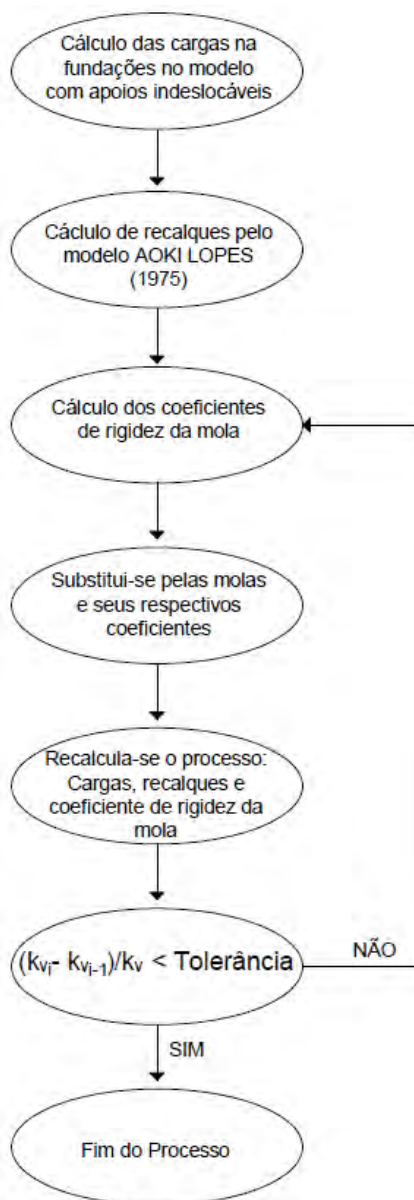


Figura 3.13 – Fluxograma da metodologia utilizada.

Foram estimados os coeficientes de rigidez das molas em todas as etapas e com várias iterações até a convergência. Inicialmente, foram obtidas as cargas dos pilares/fundações em cada etapa, considerando os apoios indeslocáveis. Com tais cargas, foram calculados os recalques correspondentes pelo programa Aoki-Lopes e posteriormente os coeficientes de rigidez das molas. De posse das constantes elásticas de cada mola, foram substituídos os apoios fixos no modelo numérico por molas e suas respectivas rigidezes. Dessa forma, repete-se o processo (obter cargas, calcular recalques e coeficientes de rigidez) até que a tolerância seja atingida. Observou-se que os valores convergiram na 4ª iteração, considerando uma tolerância de 5% para valores de constante de rigidez da mola. Da Tabela 3.9 à Tabela 3.13 são apresentados os valores de carga, recalque e coeficiente de rigidez para os pontos em estudo em cada passo do processo iterativo para as etapas 4, 7 e 11. As tabelas completas estão disponíveis no Apêndice 10.

Tabela 3.9 – Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) das Etapas 4, 7 e 11 (apoio rígido).

Fundação	Etapa 4			Etapa 7			Etapa 11		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)
S3A	2062	3.30	6.25	3553	5.79	6.14	5188	8.53	6.08
S4A	1016	4.39	2.31	1912	8.07	2.37	2828	11.82	2.39
S6	1111	3.27	3.40	1864	5.46	3.41	2656	7.81	3.40
S7	1742	4.04	4.31	3056	7.06	4.33	4432	10.34	4.29
S8A	1789	4.45	4.02	3060	7.74	3.95	4459	11.46	3.89
S9A	2056	4.53	4.54	3609	8.13	4.44	5124	11.88	4.31
S11	1621	3.96	4.09	2951	7.47	3.95	4260	11.01	3.87
S12/13	1659	3.87	4.29	3238	7.54	4.30	4818	11.27	4.27
S14A	1524	4.86	3.14	2555	8.63	2.96	3623	12.66	2.86
S15A	1513	4.95	3.05	2631	8.96	2.94	3866	13.42	2.88
S18	1117	3.39	3.30	2092	5.88	3.56	3198	8.75	3.65
S19	1607	4.22	3.81	3001	7.51	4.00	4659	11.44	4.07
S20/30	2152	6.39	3.37	4055	11.53	3.52	6684	18.35	3.64
S21/22/31/32	6201	6.48	9.57	12499	12.67	9.87	20400	20.39	10.01
S23/24/25/33/34	4523	3.99	11.33	9564	8.26	11.58	14886	12.83	11.60
S26/27/35/36	5467	3.39	16.11	12137	7.28	16.67	19888	11.76	16.91
S28/39	3632	3.29	11.04	7674	6.79	11.31	12314	10.77	11.44
S29A	1437	3.06	4.69	2905	6.07	4.79	4377	9.12	4.80
S37	1309	4.56	2.87	2310	7.65	3.02	3533	11.44	3.09
S38	1662	5.67	2.93	2477	8.80	2.81	3598	12.96	2.78
S40A	1534	2.62	5.85	3150	5.34	5.90	4807	8.15	5.89
S41A	1323	3.03	4.36	2180	5.08	4.29	3310	7.74	4.28
S43A	1466	5.32	2.76	2663	9.83	2.71	4154	15.39	2.70
S45A	808	5.03	1.61	1556	9.88	1.57	2480	15.60	1.59
S46A	847	4.79	1.77	1806	9.91	1.82	2822	15.48	1.82
S48A	1501	5.62	2.67	2702	10.49	2.58	4031	15.90	2.54
S49A	1391	3.45	4.03	2329	6.00	3.88	3376	8.86	3.81
S51A	1187	3.48	3.41	2336	6.84	3.41	3690	10.76	3.43
S52	1554	4.97	3.13	2314	7.45	3.11	3300	10.65	3.10
S53	2197	5.70	3.86	3209	8.52	3.76	4617	12.35	3.74
S55A	1194	3.00	3.98	2435	6.08	4.01	3813	9.48	4.02
S59	236	1.90	1.24	298	2.57	1.16	328	3.03	1.08
S60	444	1.99	2.23	764	3.40	2.25	925	4.31	2.14

S61	547	2.16	2.53	822	3.34	2.46	925	3.96	2.34
S62	460	2.10	2.19	751	3.49	2.15	807	3.96	2.04
S63	280	1.34	2.08	550	2.53	2.18	605	2.97	2.04
S64/65	487	1.77	2.76	571	2.31	2.48	655	2.82	2.33
S66	513	1.89	2.72	580	2.32	2.50	587	2.58	2.27
S67	351	1.71	2.06	415	2.19	1.90	431	2.50	1.72
S68	788	3.57	2.21	954	4.46	2.14	1072	5.16	2.08
S69	695	2.60	2.68	700	2.84	2.46	643	2.89	2.23
S70	464	2.61	1.78	632	3.64	1.73	764	4.53	1.69
S71	190	1.85	1.02	255	2.63	0.97	279	3.12	0.89
S73	339	2.33	1.45	455	3.47	1.31	549	4.66	1.18
S74	503	3.09	1.63	863	5.46	1.58	1162	7.57	1.54
S75	563	4.08	1.38	909	6.40	1.42	1316	9.22	1.43
S76	509	4.62	1.10	826	7.32	1.13	1201	10.63	1.13
P77 - E1	117	1.04	2.26	197	2.07	1.92	264	3.16	1.68
P77 - E2	117	1.02	0.00	197	2.05	0.00	264	3.13	0.00
P78 -E3	79	0.65	2.42	173	1.74	1.99	268	3.11	1.72
P78 -E4	79	0.65	0.00	173	1.74	0.00	268	3.11	0.00
P79/P80 - E5	44	0.60	0.72	126	1.70	0.74	199	2.95	0.68
P79/P80 -E6	44	0.61	0.72	126	1.71	0.74	199	2.96	0.67
P81 - E7	185	1.73	2.15	297	3.44	1.73	371	4.90	1.52
P81 - E8	185	1.73	0.00	297	3.42	0.00	371	4.88	0.00
P82 - E9	321	3.08	1.04	459	5.36	0.86	496	6.18	0.80
P83 - E10	220	1.95	1.13	332	3.61	0.92	355	4.22	0.84
P84 - E11	244	2.29	1.06	377	4.41	0.85	420	5.42	0.77
P85 - E12	223	1.91	1.17	352	3.74	0.94	421	4.99	0.84
S86	366	3.16	1.16	439	4.69	0.94	520	6.31	0.82
S87	390	4.21	0.93	518	6.70	0.77	609	9.22	0.66
SETE1	510	5.10	1.00	524	6.20	0.85	540	7.51	0.72
SETE2	709	4.53	1.57	861	6.64	1.30	1067	9.34	1.14
SETE3	358	6.15	0.58	506	9.54	0.53	710	14.06	0.51
SETE4	245	4.87	0.50	289	7.41	0.39	349	10.73	0.33
SETE5	436	4.25	1.02	489	5.28	0.93	562	6.60	0.85
SETE6	259	3.81	0.68	303	5.31	0.57	366	7.31	0.50
SRET1	76	1.38	0.55	76	1.68	0.45	76	1.97	0.38
SRET2	75	1.73	0.44	75	2.20	0.34	75	2.67	0.28
SRET3	134	1.62	0.83	134	2.04	0.66	134	2.50	0.54
SRET4	134	1.90	0.70	134	2.57	0.52	134	3.29	0.41

Tabela 3.10 – Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) das Etapas 4,7 e 11 (1ª iteração).

Fundação	Etapa 4			Etapa 7			Etapa 11		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)
S3A	2174	3.42	6.37	3618	5.81	6.23	5296	8.60	6.16
S4A	889	3.96	2.24	1571	6.90	2.28	2344	10.22	2.29
S6	1159	3.36	3.45	1892	5.46	3.47	2756	7.97	3.46
S7	1776	4.10	4.34	3032	6.95	4.36	4457	10.32	4.32
S8A	1913	4.61	4.15	3248	7.88	4.12	4857	11.88	4.09
S9A	2098	4.55	4.61	3655	7.99	4.57	5404	12.02	4.50
S11	1643	4.02	4.09	2944	7.39	3.98	4438	11.30	3.93
S12/13	1695	3.94	4.30	3249	7.49	4.34	4997	11.56	4.32
S14A	1420	4.62	3.07	2397	8.18	2.93	3504	12.32	2.85
S15A	1350	4.59	2.94	2324	8.18	2.84	3468	12.46	2.78
S18	1105	3.37	3.28	1991	5.66	3.52	3121	8.59	3.63
S19	1565	4.15	3.77	2833	7.14	3.97	4478	11.01	4.07
S20/30	1856	5.86	3.16	3351	10.15	3.30	5505	16.13	3.41
S21/22/31/32	5724	6.11	9.38	10754	11.21	9.59	17506	18.04	9.70
S23/24/25/33/34	4662	4.08	11.44	9357	8.04	11.63	15006	12.84	11.69
S26/27/35/36	5665	3.48	16.29	11955	7.14	16.75	19787	11.66	16.97
S28/39	3533	3.23	10.93	7301	6.51	11.22	11812	10.41	11.35
S29A	1436	3.05	4.71	2800	5.86	4.78	4292	8.97	4.78
S37	1188	4.31	2.75	2007	6.97	2.88	3120	10.58	2.95
S38	1611	5.51	2.92	2349	8.34	2.82	3413	12.35	2.76
S40A	1562	2.66	5.86	3126	5.27	5.94	4868	8.20	5.94
S41A	1527	3.41	4.47	2634	5.79	4.55	4199	9.11	4.61
S43A	1425	5.25	2.71	2539	9.47	2.68	4015	15.02	2.67
S45A	797	5.03	1.59	1480	9.51	1.56	2395	15.28	1.57
S46A	818	4.75	1.72	1653	9.36	1.77	2618	14.85	1.76
S48A	1323	5.28	2.51	2321	9.54	2.43	3507	14.63	2.40
S49A	1406	3.62	3.88	2391	6.26	3.82	3577	9.44	3.79
S51A	1139	3.51	3.24	2196	6.66	3.30	3496	10.51	3.33
S52	1564	5.00	3.13	2223	7.20	3.09	3216	10.47	3.07
S53	2057	5.46	3.77	3030	8.14	3.72	4484	12.10	3.71
S55A	1176	3.10	3.79	2274	5.89	3.86	3611	9.26	3.90
S59	263	2.07	1.27	333	2.75	1.21	396	3.44	1.15
S60	470	2.09	2.25	746	3.33	2.24	967	4.47	2.16

S61	565	2.23	2.53	825	3.34	2.47	1021	4.28	2.38
S62	436	2.02	2.15	681	3.23	2.11	803	3.98	2.02
S63	313	1.45	2.15	562	2.55	2.21	668	3.20	2.09
S64/65	503	1.82	2.77	592	2.36	2.51	713	3.01	2.37
S66	531	1.94	2.74	572	2.28	2.51	621	2.69	2.31
S67	410	1.91	2.15	469	2.36	1.99	533	2.86	1.86
S68	725	3.34	2.17	910	4.29	2.12	1122	5.38	2.08
S69	782	2.87	2.73	795	3.12	2.55	808	3.40	2.37
S70	468	2.65	1.77	613	3.57	1.72	780	4.64	1.68
S71	246	2.24	1.10	317	3.02	1.05	392	3.86	1.02
S73	381	2.45	1.56	500	3.54	1.41	654	4.94	1.32
S74	483	3.07	1.57	778	5.09	1.53	1118	7.43	1.50
S75	616	4.33	1.42	912	6.37	1.43	1384	9.55	1.45
S76	503	4.60	1.09	773	7.00	1.11	1188	10.62	1.12
P77 - E1	163	1.48	2.22	243	2.60	1.88	371	4.68	1.59
P77 - E2	163	1.46	0.00	243	2.58	0.00	371	4.66	0.00
P78 -E3	83	0.69	2.42	168	1.67	2.01	295	3.46	1.71
P78 -E4	83	0.68	0.00	168	1.67	0.00	295	3.46	0.00
P79/P80 - E5	50	0.64	0.78	133	1.73	0.77	237	3.34	0.71
P79/P80 -E6	50	0.64	0.78	133	1.73	0.77	237	3.35	0.71
P81 - E7	244	2.38	2.05	364	4.35	1.68	499	7.05	1.42
P81 - E8	244	2.38	0.00	364	4.34	0.00	499	7.03	0.00
P82 - E9	318	3.04	1.05	401	4.41	0.91	518	6.59	0.79
P83 - E10	269	2.52	1.07	340	3.70	0.92	428	5.34	0.80
P84 - E11	256	2.43	1.05	326	3.63	0.90	417	5.34	0.78
P85 - E12	262	2.36	1.11	351	3.71	0.95	463	5.69	0.81
S86	356	3.08	1.16	533	5.00	1.07	732	7.18	1.02
S87	426	4.37	0.98	600	6.94	0.87	778	9.90	0.79
SETE1	510	5.08	1.00	587	6.52	0.90	683	8.38	0.82
SETE2	845	4.84	1.75	1044	6.92	1.51	1333	9.78	1.36
SETE3	324	5.80	0.56	456	8.82	0.52	644	13.08	0.49
SETE4	281	5.07	0.55	347	7.53	0.46	437	10.94	0.40
SETE5	491	4.65	1.06	605	6.01	1.01	780	8.08	0.97
SETE6	362	4.75	0.76	480	6.91	0.69	645	9.94	0.65
SRET1	78	1.42	0.55	79	1.70	0.46	79	2.04	0.39
SRET2	73	1.73	0.42	74	2.17	0.34	74	2.70	0.27
SRET3	135	1.65	0.82	137	2.05	0.67	139	2.56	0.54
SRET4	132	1.93	0.69	130	2.54	0.51	128	3.32	0.38

Tabela 3.11 – Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) das Etapas 4,7 e 11 (2ª iteração).

Fundação	Etapa 4			Etapa 7			Etapa 11		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)
S3A	2191	3.43	6.38	3649	5.84	6.24	5334	8.65	6.17
S4A	876	3.92	2.24	1542	6.80	2.27	2296	10.06	2.28
S6	1165	3.37	3.45	1904	5.48	3.48	2771	8.00	3.46
S7	1778	4.10	4.33	3036	6.96	4.36	4457	10.33	4.31
S8A	1943	4.66	4.17	3320	7.99	4.16	4986	12.08	4.13
S9A	2108	4.56	4.62	3692	8.05	4.59	5482	12.14	4.52
S11	1635	4.01	4.08	2943	7.39	3.98	4441	11.31	3.93
S12/13	1697	3.94	4.31	3257	7.50	4.34	5008	11.58	4.32
S14A	1410	4.60	3.06	2390	8.16	2.93	3501	12.31	2.84
S15A	1330	4.54	2.93	2290	8.11	2.82	3412	12.34	2.77
S18	1102	3.37	3.27	1982	5.65	3.51	3104	8.58	3.62
S19	1559	4.14	3.76	2818	7.12	3.96	4461	10.98	4.06
S20/30	1806	5.78	3.12	3246	9.98	3.25	5311	15.81	3.36
S21/22/31/32	5689	6.08	9.36	10626	11.12	9.56	17245	17.85	9.66
S23/24/25/33/34	4678	4.09	11.45	9375	8.05	11.64	15041	12.86	11.70
S26/27/35/36	5697	3.49	16.33	11998	7.15	16.77	19852	11.69	16.99
S28/39	3535	3.24	10.92	7305	6.51	11.22	11815	10.42	11.34
S29A	1441	3.06	4.71	2806	5.87	4.78	4302	8.98	4.79
S37	1166	4.27	2.73	1960	6.88	2.85	3038	10.42	2.91
S38	1580	5.45	2.90	2281	8.21	2.78	3286	12.09	2.72
S40A	1568	2.67	5.87	3144	5.29	5.94	4896	8.23	5.95
S41A	1546	3.44	4.49	2693	5.88	4.58	4318	9.30	4.64
S43A	1422	5.24	2.71	2534	9.45	2.68	4002	14.98	2.67
S45A	795	5.02	1.58	1475	9.49	1.55	2383	15.23	1.56
S46A	819	4.75	1.72	1648	9.34	1.76	2606	14.80	1.76
S48A	1302	5.22	2.49	2279	9.42	2.42	3444	14.46	2.38
S49A	1404	3.62	3.88	2394	6.27	3.82	3605	9.50	3.80
S51A	1130	3.49	3.24	2179	6.62	3.29	3472	10.46	3.32
S52	1565	5.00	3.13	2198	7.14	3.08	3150	10.32	3.05
S53	2001	5.36	3.74	2951	7.99	3.69	4361	11.85	3.68
S55A	1170	3.09	3.79	2256	5.85	3.86	3591	9.22	3.90
S59	265	2.08	1.28	337	2.77	1.22	403	3.48	1.16
S60	470	2.09	2.25	741	3.32	2.23	961	4.45	2.16

S61	564	2.23	2.53	824	3.34	2.46	1018	4.28	2.38
S62	432	2.01	2.15	674	3.20	2.11	789	3.93	2.01
S63	317	1.47	2.16	561	2.55	2.20	667	3.19	2.09
S64/65	502	1.82	2.76	594	2.36	2.51	714	3.01	2.37
S66	529	1.93	2.74	571	2.28	2.51	618	2.68	2.31
S67	415	1.93	2.16	475	2.37	2.00	542	2.89	1.87
S68	714	3.29	2.17	895	4.23	2.12	1104	5.32	2.08
S69	789	2.89	2.73	809	3.16	2.56	827	3.46	2.39
S70	465	2.63	1.76	607	3.55	1.71	770	4.60	1.67
S71	253	2.29	1.11	329	3.10	1.06	414	4.01	1.03
S73	389	2.47	1.57	514	3.58	1.43	683	5.03	1.36
S74	482	3.06	1.57	771	5.06	1.53	1117	7.42	1.50
S75	627	4.38	1.43	915	6.38	1.44	1389	9.55	1.45
S76	501	4.57	1.10	758	6.88	1.10	1167	10.47	1.11
P77 - E1	162	1.48	2.22	241	2.58	1.88	362	4.56	1.59
P77 - E2	162	1.46	0.00	241	2.56	0.00	362	4.53	0.00
P78 -E3	83	0.69	2.42	168	1.68	2.01	295	3.46	1.71
P78 -E4	83	0.68	0.00	168	1.67	0.00	295	3.46	0.00
P79/P80 - E5	50	0.64	0.79	135	1.74	0.77	238	3.36	0.71
P79/P80 -E6	50	0.65	0.78	135	1.75	0.77	238	3.36	0.71
P81 - E7	247	2.41	2.05	367	4.39	1.67	501	7.07	1.42
P81 - E8	247	2.41	0.00	367	4.38	0.00	501	7.05	0.00
P82 - E9	325	3.14	1.04	418	4.68	0.89	524	6.70	0.78
P83 - E10	266	2.49	1.07	337	3.66	0.92	423	5.26	0.80
P84 - E11	260	2.49	1.05	336	3.77	0.89	427	5.51	0.77
P85 - E12	262	2.36	1.11	355	3.76	0.94	462	5.67	0.81
S86	351	3.05	1.15	521	4.94	1.06	721	7.12	1.01
S87	437	4.43	0.99	637	7.14	0.89	858	10.33	0.83
SETE1	503	5.03	1.00	603	6.62	0.91	733	8.71	0.84
SETE2	912	5.01	1.82	1158	7.20	1.61	1503	10.20	1.47
SETE3	305	5.65	0.54	429	8.57	0.50	605	12.69	0.48
SETE4	300	5.20	0.58	387	7.82	0.49	505	11.43	0.44
SETE5	510	4.77	1.07	653	6.33	1.03	871	8.69	1.00
SETE6	394	5.00	0.79	558	7.52	0.74	793	11.10	0.71
SRET1	79	1.42	0.56	79	1.70	0.46	79	2.04	0.39
SRET2	73	1.72	0.42	73	2.17	0.34	74	2.70	0.27
SRET3	135	1.65	0.82	138	2.06	0.67	140	2.58	0.54
SRET4	133	1.93	0.69	129	2.55	0.51	126	3.33	0.38

Tabela 3.12 – Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) das Etapas 4,7 e 11 (3ª iteração).

Fundação	Etapa 4			Etapa 7			Etapa 11		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)
S3A	2193	3.44	6.38	3654	5.85	6.25	5342	8.66	6.17
S4A	874	3.91	2.24	1539	6.79	2.27	2291	10.04	2.28
S6	1166	3.38	3.45	1907	5.48	3.48	2775	8.01	3.46
S7	1777	4.10	4.33	3036	6.96	4.36	4455	10.33	4.31
S8A	1949	4.67	4.17	3335	8.01	4.16	5012	12.13	4.13
S9A	2110	4.57	4.62	3697	8.06	4.59	5489	12.15	4.52
S11	1633	4.01	4.07	2944	7.40	3.98	4443	11.32	3.93
S12/13	1698	3.94	4.31	3259	7.50	4.34	5010	11.59	4.32
S14A	1409	4.60	3.06	2390	8.16	2.93	3502	12.31	2.84
S15A	1327	4.54	2.93	2285	8.10	2.82	3403	12.32	2.76
S18	1101	3.37	3.27	1979	5.65	3.50	3099	8.58	3.61
S19	1558	4.14	3.76	2813	7.12	3.95	4456	10.98	4.06
S20/30	1795	5.76	3.11	3221	9.94	3.24	5265	15.73	3.35
S21/22/31/32	5686	6.08	9.36	10609	11.11	9.55	17206	17.82	9.65
S23/24/25/33/34	4680	4.09	11.45	9373	8.05	11.64	15036	12.85	11.70
S26/27/35/36	5701	3.49	16.33	12004	7.16	16.77	19862	11.69	16.99
S28/39	3535	3.24	10.92	7306	6.51	11.22	11816	10.42	11.34
S29A	1441	3.06	4.71	2808	5.87	4.78	4305	8.99	4.79
S37	1162	4.27	2.72	1949	6.86	2.84	3019	10.39	2.91
S38	1562	5.41	2.89	2236	8.12	2.75	3199	11.93	2.68
S40A	1568	2.67	5.87	3145	5.29	5.95	4898	8.24	5.95
S41A	1548	3.45	4.49	2699	5.90	4.58	4327	9.33	4.64
S43A	1421	5.24	2.71	2532	9.44	2.68	3998	14.97	2.67
S45A	794	5.02	1.58	1473	9.48	1.55	2379	15.21	1.56
S46A	820	4.75	1.73	1648	9.34	1.77	2606	14.80	1.76
S48A	1300	5.22	2.49	2273	9.41	2.42	3433	14.43	2.38
S49A	1405	3.62	3.88	2396	6.27	3.82	3609	9.50	3.80
S51A	1130	3.49	3.23	2177	6.62	3.29	3468	10.45	3.32
S52	1566	5.00	3.13	2192	7.12	3.08	3127	10.27	3.05
S53	1984	5.32	3.73	2920	7.92	3.69	4306	11.73	3.67
S55A	1170	3.09	3.79	2255	5.85	3.86	3589	9.21	3.90
S59	265	2.08	1.28	338	2.78	1.22	405	3.48	1.16
S60	469	2.09	2.25	741	3.32	2.23	960	4.45	2.16

S61	564	2.23	2.53	824	3.34	2.46	1017	4.28	2.38
S62	431	2.01	2.15	673	3.20	2.10	787	3.92	2.00
S63	318	1.47	2.17	561	2.55	2.20	667	3.19	2.09
S64/65	501	1.81	2.76	594	2.37	2.51	714	3.01	2.37
S66	529	1.93	2.74	571	2.28	2.51	618	2.68	2.31
S67	416	1.93	2.16	475	2.38	2.00	543	2.89	1.88
S68	712	3.29	2.17	892	4.22	2.11	1100	5.30	2.08
S69	790	2.89	2.73	812	3.17	2.56	833	3.48	2.39
S70	464	2.63	1.76	606	3.54	1.71	768	4.59	1.67
S71	253	2.29	1.11	331	3.11	1.06	418	4.04	1.04
S73	391	2.48	1.58	517	3.59	1.44	690	5.05	1.37
S74	482	3.06	1.57	771	5.06	1.53	1117	7.42	1.50
S75	629	4.39	1.43	917	6.38	1.44	1390	9.55	1.46
S76	501	4.57	1.10	754	6.86	1.10	1161	10.42	1.11
P77 - E1	162	1.48	2.22	241	2.58	1.88	362	4.56	1.59
P77 - E2	162	1.46	0.00	241	2.55	0.00	362	4.53	0.00
P78 -E3	83	0.69	2.42	168	1.68	2.01	295	3.46	1.71
P78 -E4	83	0.68	0.00	168	1.67	0.00	295	3.45	0.00
P79/P80 - E5	50	0.64	0.79	135	1.74	0.77	241	3.40	0.71
P79/P80 -E6	50	0.65	0.78	135	1.75	0.77	241	3.40	0.71
P81 - E7	247	2.42	2.05	368	4.40	1.67	501	7.08	1.42
P81 - E8	247	2.41	0.00	368	4.39	0.00	501	7.06	0.00
P82 - E9	324	3.12	1.04	415	4.62	0.90	522	6.67	0.78
P83 - E10	267	2.50	1.07	339	3.68	0.92	425	5.28	0.80
P84 - E11	260	2.48	1.05	335	3.76	0.89	425	5.48	0.78
P85 - E12	262	2.36	1.11	355	3.76	0.94	462	5.68	0.81
S86	350	3.05	1.15	519	4.93	1.05	720	7.11	1.01
S87	439	4.44	0.99	647	7.19	0.90	886	10.48	0.85
SETE1	500	5.01	1.00	605	6.63	0.91	747	8.81	0.85
SETE2	941	5.09	1.85	1213	7.34	1.65	1594	10.42	1.53
SETE3	294	5.56	0.53	411	8.43	0.49	578	12.46	0.46
SETE4	308	5.26	0.59	408	7.98	0.51	546	11.73	0.47
SETE5	515	4.81	1.07	670	6.45	1.04	906	8.92	1.02
SETE6	405	5.08	0.80	586	7.73	0.76	853	11.56	0.74
SRET1	79	1.43	0.56	79	1.70	0.46	79	2.03	0.39
SRET2	73	1.72	0.42	74	2.17	0.34	75	2.71	0.28
SRET3	135	1.65	0.82	138	2.06	0.67	141	2.59	0.55
SRET4	133	1.93	0.69	129	2.55	0.51	125	3.33	0.37

Tabela 3.13 – Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) das Etapas 4, 7 e 11 (4ª iteração).

Fundação	Etapa 4			Etapa 7			Etapa 11		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵) (kN/m)
S3A	2193	3.44	6.38	3655	5.85	6.25	5344	8.66	6.17
S4A	874	3.91	2.24	1539	6.79	2.27	2290	10.04	2.28
S6	1167	3.38	3.46	1908	5.49	3.48	2776	8.01	3.46
S7	1777	4.10	4.33	3036	6.97	4.36	4455	10.33	4.31
S8A	1950	4.67	4.18	3338	8.02	4.16	5019	12.14	4.14
S9A	2110	4.57	4.62	3697	8.06	4.59	5489	12.16	4.52
S11	1632	4.01	4.07	2947	7.40	3.98	4447	11.32	3.93
S12/13	1699	3.94	4.31	3260	7.50	4.34	5012	11.59	4.32
S14A	1408	4.60	3.06	2390	8.16	2.93	3504	12.31	2.85
S15A	1327	4.54	2.93	2285	8.10	2.82	3402	12.31	2.76
S18	1101	3.37	3.27	1979	5.65	3.50	3097	8.58	3.61
S19	1557	4.14	3.76	2812	7.12	3.95	4455	10.98	4.06
S20/30	1792	5.76	3.11	3216	9.93	3.24	5255	15.71	3.34
S21/22/31/32	5686	6.08	9.36	10605	11.11	9.55	17198	17.82	9.65
S23/24/25/33/34	4679	4.09	11.45	9369	8.05	11.64	15028	12.85	11.70
S26/27/35/36	5702	3.49	16.33	12004	7.16	16.77	19863	11.69	16.99
S28/39	3535	3.24	10.92	7306	6.51	11.22	11816	10.42	11.34
S29A	1441	3.06	4.71	2808	5.87	4.78	4306	8.99	4.79
S37	1161	4.26	2.72	1947	6.86	2.84	3015	10.38	2.90
S38	1553	5.40	2.88	2210	8.08	2.74	3148	11.84	2.66
S40A	1568	2.67	5.87	3145	5.29	5.95	4898	8.24	5.95
S41A	1548	3.45	4.49	2698	5.90	4.58	4325	9.33	4.64
S43A	1421	5.24	2.71	2531	9.44	2.68	3996	14.96	2.67
S45A	794	5.02	1.58	1472	9.48	1.55	2378	15.21	1.56
S46A	821	4.75	1.73	1649	9.34	1.77	2606	14.79	1.76
S48A	1300	5.22	2.49	2272	9.40	2.42	3430	14.42	2.38
S49A	1405	3.62	3.88	2396	6.27	3.82	3610	9.51	3.80
S51A	1129	3.49	3.23	2177	6.62	3.29	3467	10.45	3.32
S52	1567	5.00	3.13	2190	7.12	3.08	3122	10.26	3.04
S53	1979	5.31	3.73	2911	7.90	3.68	4287	11.69	3.67
S55A	1170	3.09	3.79	2255	5.85	3.86	3589	9.21	3.90
S59	265	2.08	1.28	338	2.78	1.22	405	3.49	1.16
S60	469	2.09	2.25	741	3.32	2.23	960	4.45	2.16

S61	564	2.23	2.53	824	3.34	2.46	1017	4.28	2.38
S62	431	2.01	2.15	673	3.20	2.10	787	3.92	2.00
S63	318	1.47	2.17	561	2.55	2.20	667	3.19	2.09
S64/65	501	1.81	2.76	594	2.37	2.51	714	3.01	2.37
S66	529	1.93	2.74	571	2.28	2.51	618	2.68	2.31
S67	416	1.93	2.16	475	2.38	2.00	543	2.89	1.88
S68	712	3.29	2.17	892	4.22	2.11	1099	5.30	2.08
S69	791	2.89	2.73	813	3.18	2.56	835	3.49	2.39
S70	464	2.63	1.76	606	3.54	1.71	768	4.59	1.67
S71	253	2.29	1.11	331	3.11	1.06	419	4.04	1.04
S73	391	2.48	1.58	518	3.59	1.44	692	5.05	1.37
S74	482	3.06	1.57	771	5.06	1.53	1117	7.42	1.50
S75	629	4.39	1.43	918	6.38	1.44	1390	9.55	1.46
S76	501	4.57	1.10	754	6.85	1.10	1160	10.41	1.12
P77 - E1	162	1.48	2.22	240	2.58	1.88	362	4.56	1.59
P77 - E2	162	1.46	0.00	240	2.55	0.00	362	4.53	0.00
P78 -E3	83	0.69	2.42	168	1.68	2.01	295	3.45	1.71
P78 -E4	83	0.68	0.00	168	1.67	0.00	295	3.45	0.00
P79/P80 - E5	50	0.64	0.79	135	1.74	0.77	242	3.40	0.71
P79/P80 -E6	50	0.65	0.78	135	1.75	0.77	242	3.40	0.71
P81 - E7	247	2.42	2.05	368	4.40	1.67	501	7.08	1.42
P81 - E8	247	2.41	0.00	368	4.39	0.00	501	7.06	0.00
P82 - E9	324	3.12	1.04	416	4.63	0.90	522	6.68	0.78
P83 - E10	267	2.50	1.07	338	3.67	0.92	424	5.28	0.80
P84 - E11	260	2.48	1.05	335	3.76	0.89	426	5.49	0.78
P85 - E12	262	2.36	1.11	355	3.76	0.94	462	5.67	0.81
S86	351	3.05	1.15	519	4.93	1.05	720	7.11	1.01
S87	439	4.44	0.99	651	7.21	0.90	896	10.54	0.85
SETE1	498	4.99	1.00	604	6.62	0.91	750	8.83	0.85
SETE2	954	5.12	1.86	1240	7.41	1.67	1640	10.54	1.56
SETE3	287	5.52	0.52	400	8.34	0.48	560	12.31	0.46
SETE4	312	5.29	0.59	419	8.07	0.52	569	11.91	0.48
SETE5	517	4.82	1.07	676	6.49	1.04	919	9.00	1.02
SETE6	408	5.11	0.80	596	7.80	0.76	874	11.71	0.75
SRET1	79	1.43	0.56	79	1.70	0.46	78	2.03	0.39
SRET2	72	1.72	0.42	74	2.17	0.34	75	2.71	0.28
SRET3	135	1.65	0.82	138	2.06	0.67	142	2.59	0.55
SRET4	133	1.93	0.69	129	2.55	0.51	124	3.33	0.37

A Figura 3.14 mostra que os valores de recalque médio estimados acompanham a curva de evolução do carregamento médio do prédio. Na última etapa, o modelo numérico contemplou cerca de 70% do carregamento total de projeto (Peso Próprio + carga permanente + carga accidental), uma vez que o prédio estava com a estrutura e alvenarias prontas, faltando apenas o revestimento e acabamentos. Após 200 dias, nota-se uma redução significativa da velocidade com que os recalques (médios, máximo e mínimos) ocorrem, período coincidente com a finalização da estrutura de todos os pavimentos tipos.

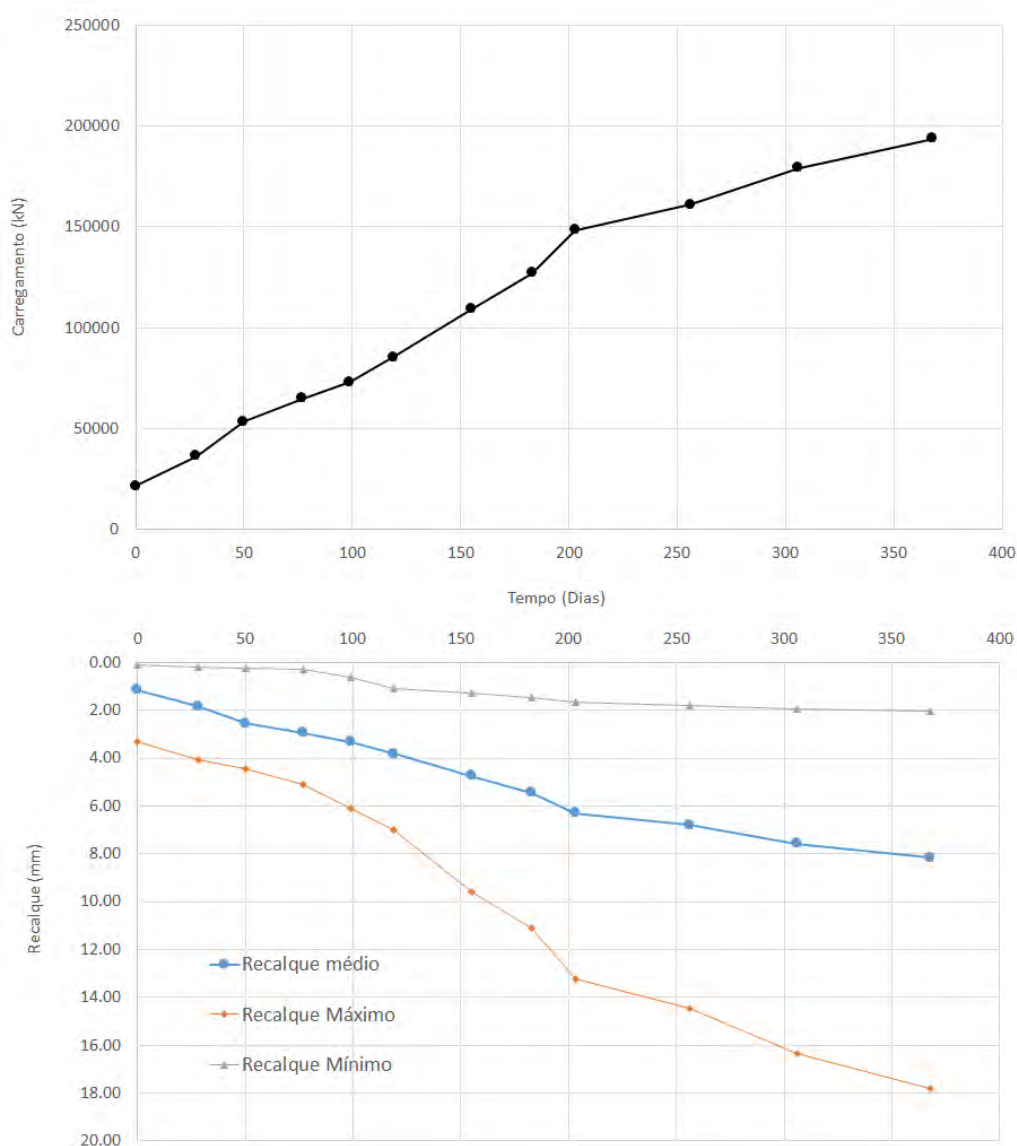


Figura 3.14 – Recalque médio x Carregamento x tempo.

4. COMPORTAMENTO ESTIMADO DAS FUNDAÇÕES

Neste capítulo serão apresentados todos os resultados obtidos através das análises realizadas nos modelos estruturais, discutidos no capítulo 3.1, tanto para o modelo sem contemplar a interação solo x estrutura, como para o modelo em que se considera a interação.

4.1. Apoios Indeslocáveis

Inicialmente, foram estimadas as cargas nos pilares para a condição de apoio indeslocável para diferentes etapas. A seguir, foram estimados os recalques para estas cargas, apresentados nas Figura 4.1 à Figura 4.3. Nessa análise, a interação solo – estrutura (ISE) não foi contemplada. As curvas de iso-recalque são uma forma bastante interessante de se visualizar os resultados dos recalques estimados.

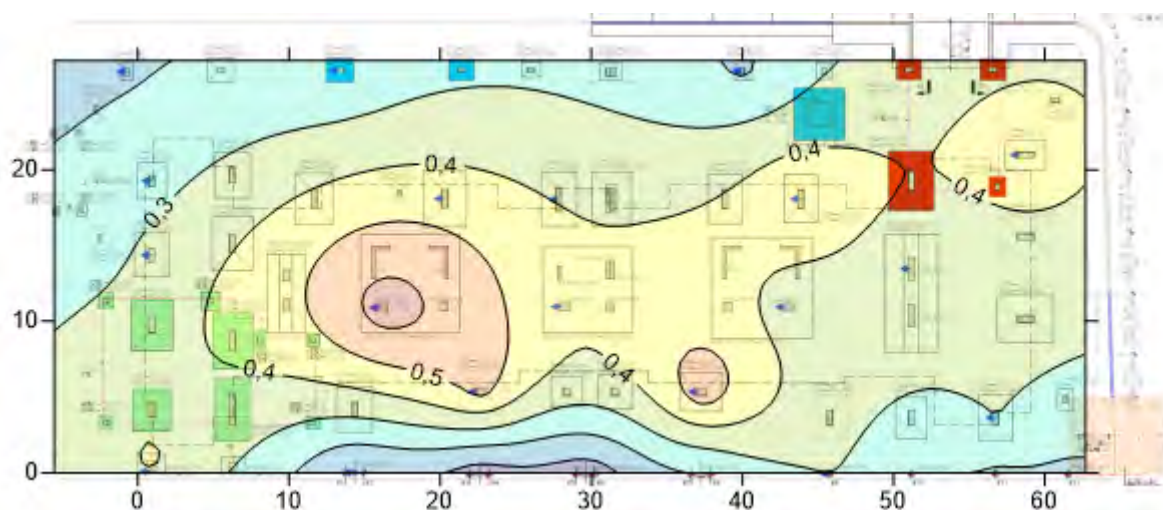


Figura 4.1 – Curvas iso-recalques para a 4ª etapa, Sem ISE.

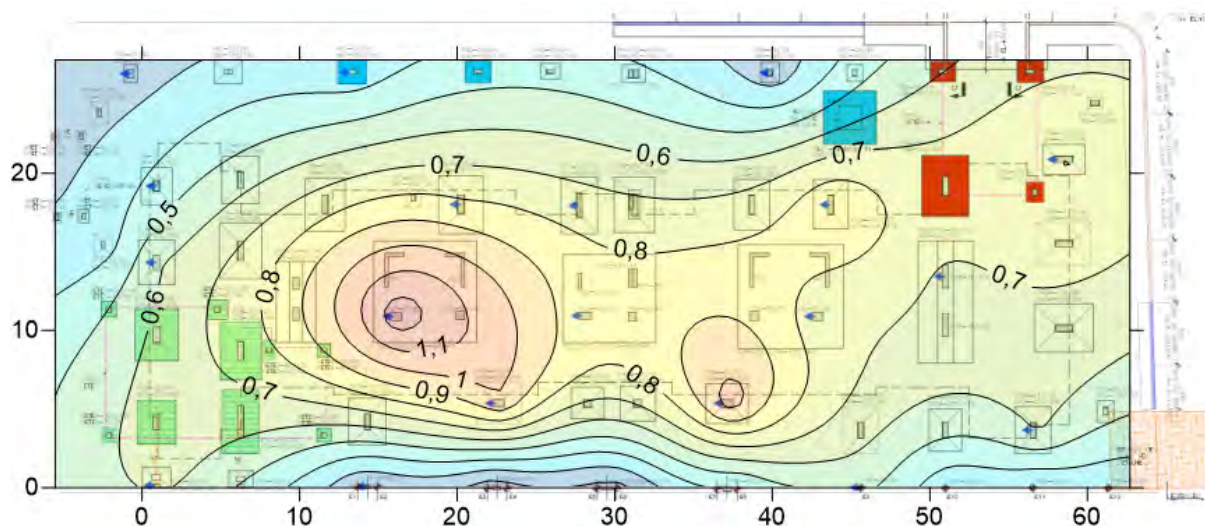


Figura 4.2 – Curvas iso-recalques para a 7ª etapa, Sem ISE.

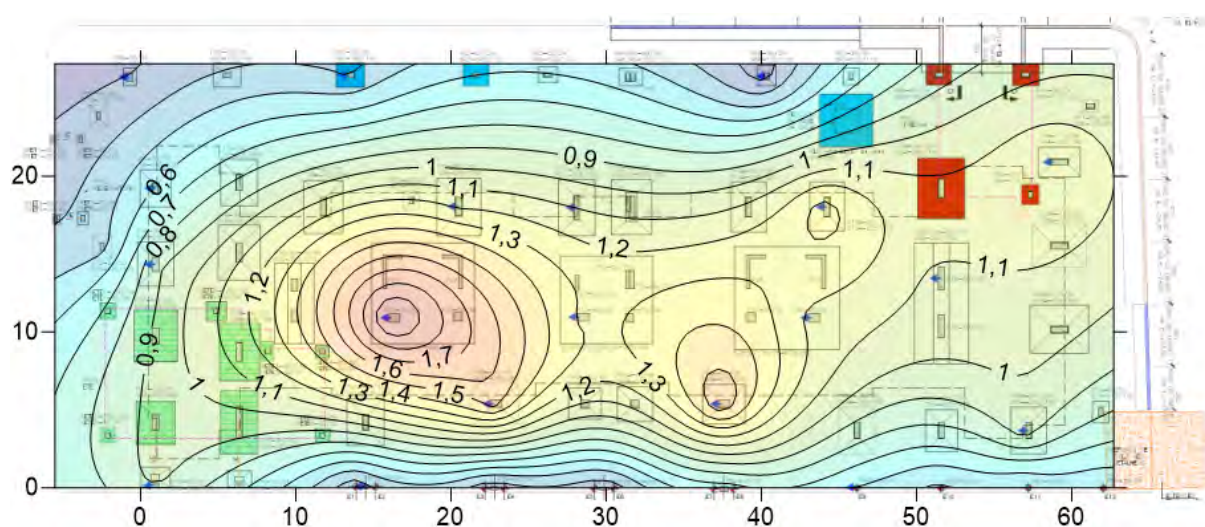


Figura 4.3 – Curvas iso-recalques para a 11ª etapa, Sem ISE.

Cabe destacar que os recalques estimados obtidos não devem ser comparados diretamente aos recalques medidos, apresentados no item 2.5.1. É notável que a tendência das curvas em todas as etapas é similar, variando apenas a intensidade.

Dentre todas as sapatas, elegeu-se a sapata associada dos pilares P21/22/31/32 para analisar o efeito de grupo, em virtude de ter desenvolvido o maior recalque. Primeiramente, foram realizadas as estimativas utilizando o programa Aoki Lopes, considerando o efeito de todas as fundações sobre a sapata estudada, resultando em um recalque de aproximadamente 2,0 cm (Figura 4.3). Tratando a sapata de forma isolada, o recalque estimado diminui para 1,7 cm, confirmando a presença do efeito de grupo, mesmo que reduzido. Além disso, foi avaliada a influência somente das fundações imediatamente vizinhas, ou seja, S8, S87, S9A,

S41A, S43A, S20/30, e o recalque estimado foi o mesmo encontrado ao considerar todas as fundações.

Para fins comparativos, foi utilizado também o conhecido método de Barata, tanto para o cálculo da sapata isolada como para o grupo. BARATA (1986) destaca que quando sapatas estão próximas o suficiente, de forma a terem seus bulbos de tensões sobrepostos, assemelham-se a um radier. O autor ressalta a possibilidade de substituir as sapatas por um radier idealizado com pressão média correspondente para, assim, realizar o cálculo dos recalques.

Inicialmente, o radier fictício idealizado equivalente conteve, praticamente, todas as projeções das sapatas em planta. Numa segunda análise, o radier foi restrito somente às sapatas vizinhas. Para a sapata isolada, o recalque estimado foi de 2,1 cm. Ao considerar o grupo, tanto por uma abordagem ampla quanto para a mais restrita, os resultados se mostraram muito próximos, em torno de 2,3 cm. Os cálculos e discussões estão disponíveis no Apêndice 11.

Mediante conceito de Fator de recalque (AR), proposto por GUSMÃO (1990), é possível ter uma ideia de quais pilares deverão sofrer uma maior redistribuição de cargas (e variação de recalque), antes mesmo de realizar a interação solo – estrutura. GUSMÃO (1990) definiu o conceito de Fator de recalque (AR) como a relação entre o recalque absoluto de um pilar qualquer e o recalque total médio de todos os pilares (4.1), considerando o modelo de apoios rígidos (sem ISE), ou seja, a normalização dos recalques pela média do conjunto.

$$AR = \frac{\rho_i}{\bar{\rho}} \quad (4.1)$$

Onde,

ρ_i é o recalque do pilar i, que está sendo analisado;

$\bar{\rho}$ é o recalque médio dos pilares.

Tal conceito, de forma muito simples, tem por objetivo transmitir a ideia se o objeto em estudo, no caso o recalque previsto do pilar, tem seu valor acima ou abaixo da média. Caso $AR < 1$, significa que o recalque é menor que a média e, com a interação solo – estrutura, a tendência é aumentar a carga no pilar. Em contrapartida, para $AR > 1$, o recalque é maior que a média, tendendo a diminuir a carga com a interação. Para uma estrutura totalmente rígida, $AR = 1$.

Para identificar um possível comportamento de uniformização dos recalques/redistribuição de cargas, primeiramente, foi escolhida a última etapa da construção (Etapa 11) com o modelo de apoios rígidos. Nesta etapa, os recalques estimados para todos os pilares estão apresentados na Tabela 4.1. Chegou-se ao valor de um recalque médio de 8,3 mm e valores de Fator de recalque AR, indicados na última coluna da mesma tabela. Os Pilares destacados em tons de cinza são os instrumentados.

Tabela 4.1 – Fator de recalque para cada pilar.

Pilares	Recalque	Fator AR	Pilares	Recalque	Fator AR
S3A	8.5	1.0	S64/65	2.8	0.3
S4A	11.8	1.4	S66	2.6	0.3
S6	7.8	0.9	S67	2.5	0.3
S7	10.3	1.2	S68	5.2	0.6
S8A	11.5	1.4	S69	2.9	0.3
S9A	11.9	1.4	S70	4.5	0.5
S11	11.0	1.3	S71	3.1	0.4
S12/13	11.3	1.4	S73	4.7	0.6
S14A	12.7	1.5	S74	7.6	0.9
S15A	13.4	1.6	S75	9.2	1.1
S18	8.8	1.1	S76	10.6	1.3
S19	11.4	1.4	P77 - E1	3.2	0.4
S20/30	18.3	2.2	P77 - E2	3.1	0.4
S21/22/31/32	20.4	2.5	P78 - E3	3.1	0.4
S23/24/25/33/34	12.8	1.5	P78 - E4	3.1	0.4
S26/27/35/36	11.8	1.4	P79/P80 - E5	3.0	0.4
S28/39	10.8	1.3	P79/P80 - E6	3.0	0.4
S29A	9.1	1.1	P81 - E7	4.9	0.6
S37	11.4	1.4	P81 - E8	4.9	0.6
S38	13.0	1.6	P82 - E9	6.2	0.7
S40A	8.2	1.0	P83 - E10	4.2	0.5
S41A	7.7	0.9	P84 - E11	5.4	0.7
S43A	15.4	1.9	P85 - E12	5.0	0.6
S45A	15.6	1.9	S86	6.3	0.8
S46A	15.5	1.9	S87	9.2	1.1
S48A	15.9	1.9	SETE1	7.5	0.9
S49A	8.9	1.1	SETE2	9.3	1.1
S51A	10.8	1.3	SETE3	14.1	1.7
S52	10.6	1.3	SETE4	10.7	1.3
S53	12.4	1.5	SETE5	6.6	0.8
S55A	9.5	1.1	SETE6	7.3	0.9
S59	3.0	0.4	SRET1	2.0	0.2
S60	4.3	0.5	SRET2	2.7	0.3
S61	4.0	0.5	SRET3	2.5	0.3
S62	4.0	0.5	SRET4	3.3	0.4
S63	3.0	0.4			

Com base nas informações fornecidas pela Tabela 4.1, foram traçadas curvas de iso – AR (Figura 4.4) de forma a evidenciar as zonas que estarão mais sujeitas a interação solo – estrutura. Quanto mais distante os valores de Fator de recalque (AR) estão da unidade, maiores serão as influências do processo de interação. Portanto, de acordo com a Figura 4.4, as regiões avermelhadas ($AR > 1$) e arroxeadas ($AR < 1$) evidenciam as regiões onde devem ocorrer os maiores efeitos decorrentes da ISE, ou seja, espera-se que, na região central, os recalques diminuam, enquanto, na região periférica, os recalques aumentem.

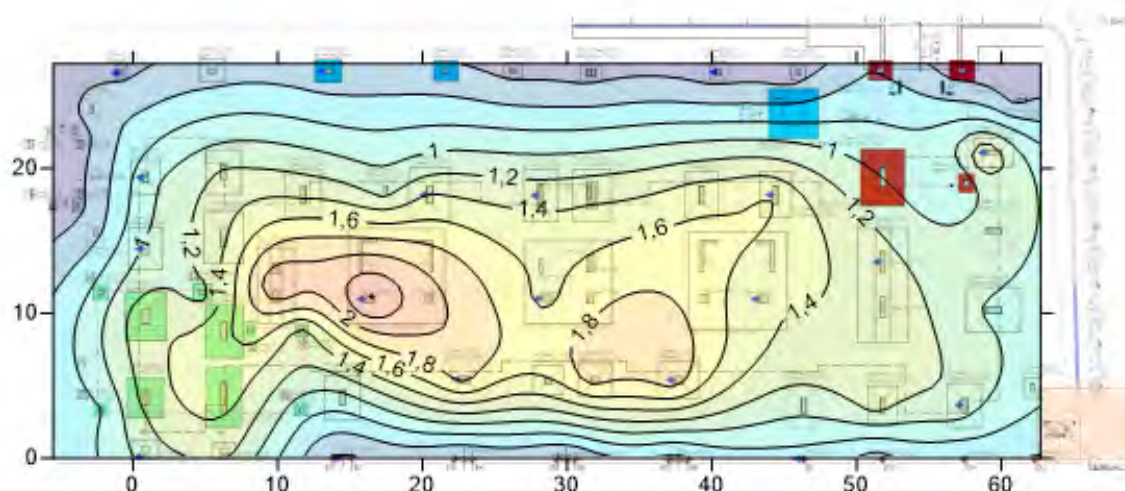


Figura 4.4 – Curva de Iso – AR correspondente a Etapa 11.

4.2. Apoios Móveis

Para considerar a interação solo – estrutura, os apoios indeslocáveis foram substituídos por molas, cuja rigidez foi determinada e atualizada pelo procedimento iterativo descrito no capítulo 3. Os resultados quantitativos dos valores de recalque, das cargas dos pilares e do coeficiente de rigidez de mola foram informados na Tabela 3.10 à Tabela 3.13 do capítulo 3. Neste capítulo, os recalques estimados para as etapas 4, 7 e 11 serão representados em forma de curvas de iso-recalque nas Figura 4.5, Figura 4.6 e Figura 4.7, respectivamente, e indicam o resultado da última iteração, após a convergência.

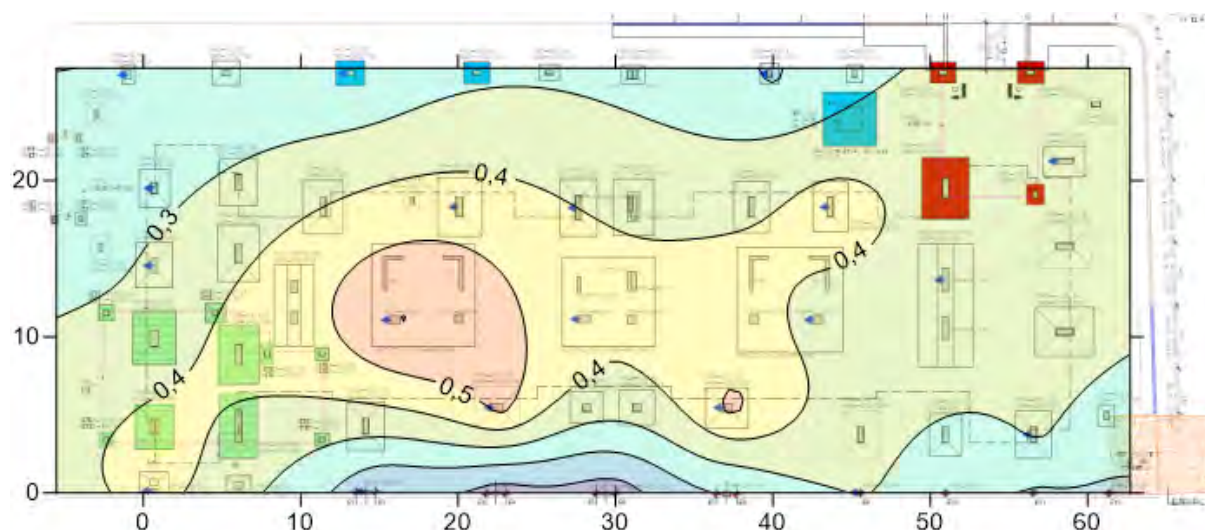


Figura 4.5 – Curvas iso-recalques para a 4ª etapa, considerando a 4ª iteração.

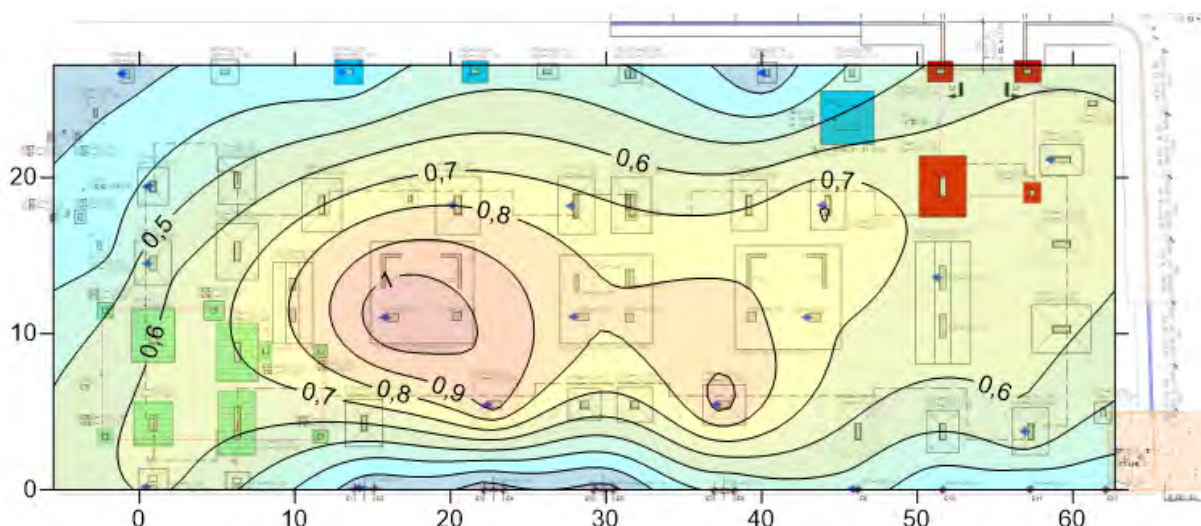


Figura 4.6 – Curvas iso-recalques para a 7ª etapa, considerando a 4ª iteração.

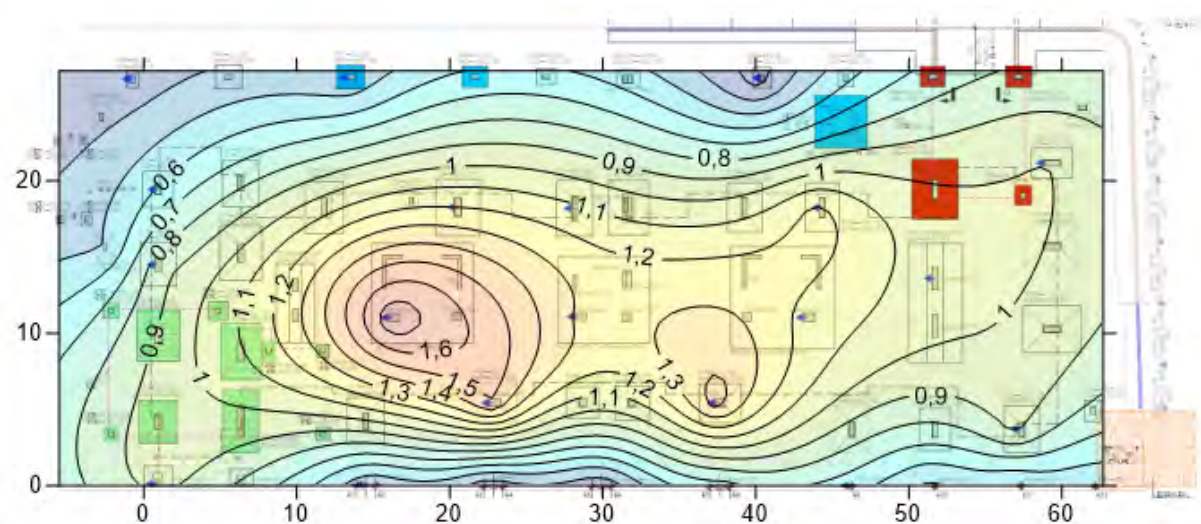


Figura 4.7 – Curvas iso-recalques para a 11ª etapa, considerando a 4ª iteração.

Ao comparar as curvas de iso-recalque de cada etapa, desde a consideração dos apoios rígidos até a última iteração, é possível observar a tendência de uniformização dos recalques, ou seja, redução do recalque máximo e aumento do recalque mínimo. Conforme esperado, a região onde foram utilizadas fundações rasas (sapatas) apresentou recalques maiores, quando comparadas à região periférica, divisa do terreno, onde foram adotadas fundações profundas (estaca Raiz).

Outra forma de observar a uniformização dos recalques é por meio da visualização de perfis de distribuição de recalque ao longo da planta da edificação. Para isso, foram definidas áreas na direção longitudinal (A) e transversal (B) da edificação, como mostrado na Figura 4.8, de modo a separar os pilares utilizados em cada direção. Os perfis do modelo sem ISE puderam ser comparados com os perfis com ISE (calculados com 4 iterações), Figura 4.9 e Figura 4.10. Nota-se que os pilares

com $AR > 1$, geralmente centrais, sofrem uma redução nos recalques, enquanto os pilares periféricos, em geral $AR < 1$, sofrem um aumento dos recalques. Foram criadas curvas de tendências polinomiais com os pontos, e verificou-se o processo de uniformização dos recalques, uma das evidências do processo de interação solo – estrutura. A análise dos recalques previstos também indica que, neste caso de obra que contempla a previsão de pequenos recalques, os efeitos da ISE foram muito pouco evidenciados.

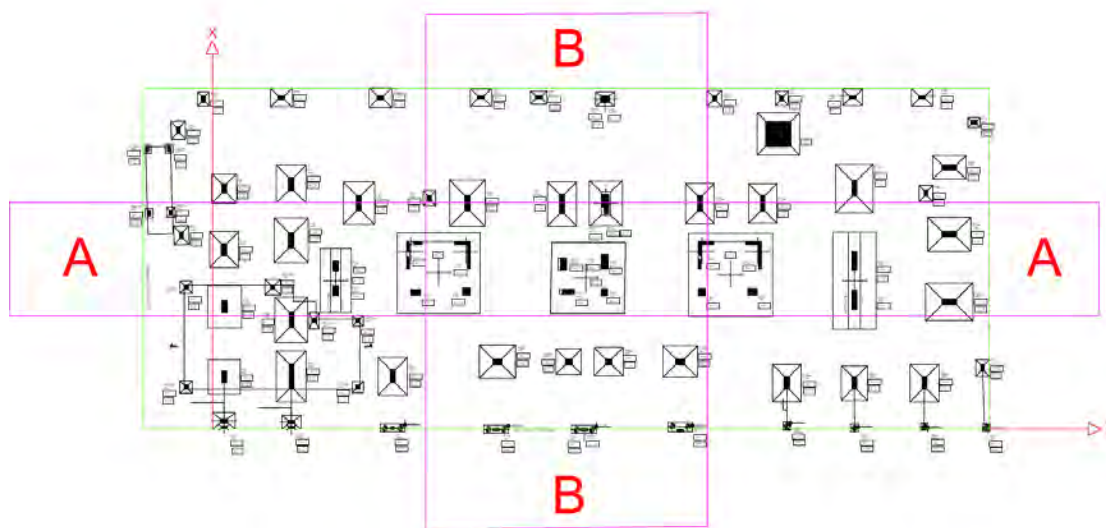


Figura 4.8 – Planta esquemática das fundações pertencentes a cada área.

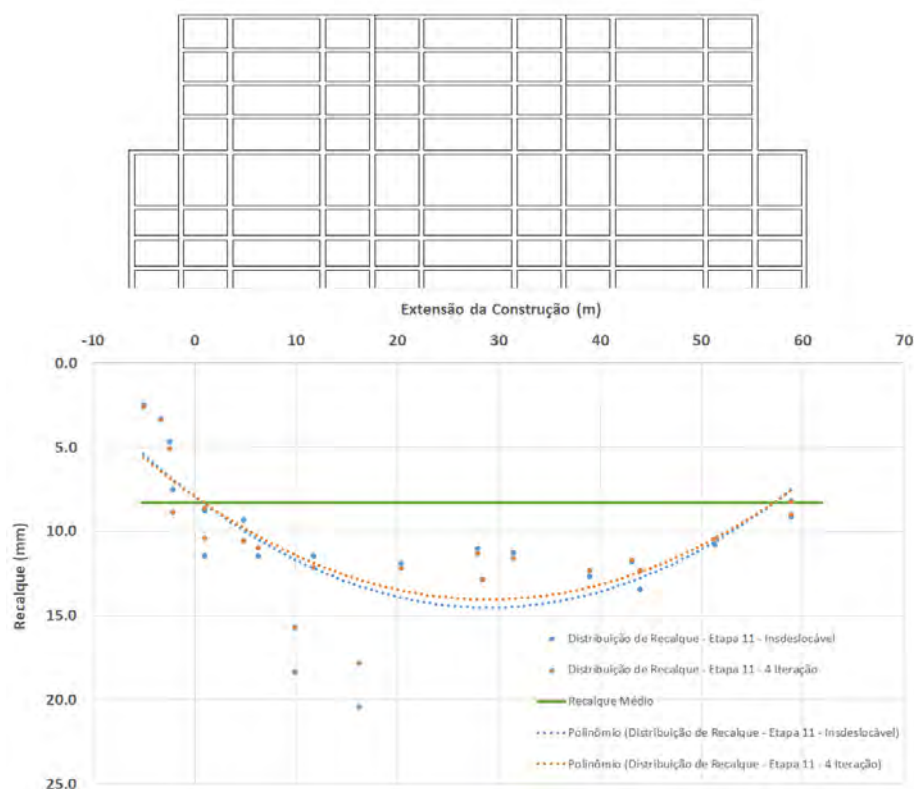


Figura 4.9 - Distribuição de recalque (Etapa 11) – Área A – Longitudinal.

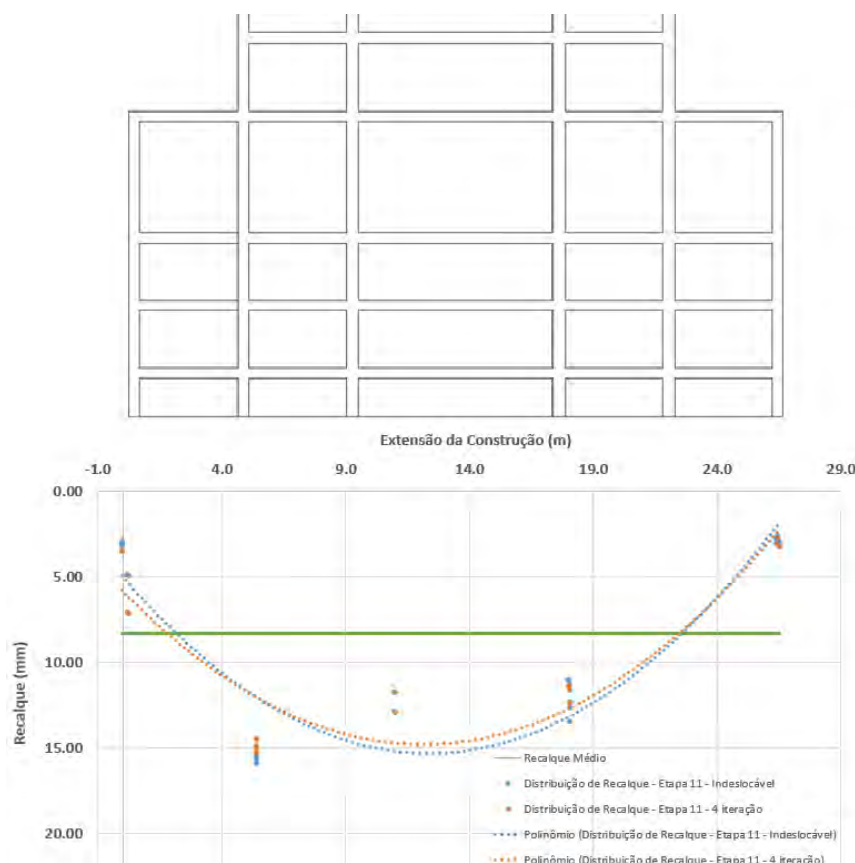


Figura 4.10 - Distribuição de recalque (Etapa 11) – Área B – Transversal.

A ocorrência de redistribuição das cargas nos pilares/fundações é observada na Tabela 4.2, onde os valores de carga expostos na terceira e na quarta coluna correspondem ao antes e ao depois da consideração da ISE, respectivamente. A tabela também apresenta os valores de Fator de recalque (AR) para todos os pilares, sendo possível, em muitos momentos, verificar o bom funcionamento do parâmetro. É notório que, em alguns casos, ocorrem divergências, o que é aceitável, já que a estrutura trabalha de forma única, com regiões mais ou menos rígidas. Os pilares correspondentes às estruturas da estação de tratamento de esgoto (SETE1 a SETE6) e ao reservatório (SRET1 a SRETE4) não participaram da média para cálculo de AR, pois foram consideradas estruturas à parte da estrutura principal.

Com base na última etapa (Etapa11), de fato, o recalque máximo estimado reduziu de 2,04 cm (ver Tabela 3.9), na sapata correspondente aos pilares P21, P22, P31 e P32, para 1,78 cm (ver Tabela 3.13). Nesta sapata, ocorreu uma redução significativa da carga, de 20400 kN para 17198 kN, cerca de 16%. No trecho onde se observou os menores recalques estimados, houve acréscimo de carga quando se considerou a interação. O Pilar P67, onde a carga com o modelo de apoio rígido era de 431 kN, passou a 543 kN, conseqüentemente aumentando o recalque de 0,25 cm para 0,29 cm.

Tabela 4.2 – Redistribuição de cargas, após estudo da ISE.

Pilares	AR	Carga (kN) Sem ISE	Carga (kN) Com ISE	Pilares	AR	Carga (kN) Sem ISE	Carga (kN) Com ISE
S3A	1.0	5188	5344	S59	0.4	328	405
S4A	1.4	2828	2290	S60	0.5	925	960
S6	0.9	2656	2776	S61	0.5	925	1017
S7	1.2	4432	4455	S62	0.5	807	787
S8A	1.4	4459	5019	S63	0.4	605	667
S9A	1.4	5124	5489	S64/65	0.3	655	714
S11	1.3	4260	4447	S66	0.3	587	618
S12/13	1.4	4818	5012	S67	0.3	431	543
S14A	1.5	3623	3504	S68	0.6	1072	1099
S15A	1.6	3866	3402	S69	0.3	643	835
S18	1.1	3198	3097	S70	0.5	764	768
S19	1.4	4659	4455	S71	0.4	279	419
S20/30	2.2	6684	5255	S73	0.6	549	692
S21/22/31/32	2.5	20400	17198	S74	0.9	1162	1117
S23/24/25/33/34	1.5	14886	15028	S75	1.1	1316	1390
S26/27/35/36	1.4	19888	19863	S76	1.3	1201	1160
S28/39	1.3	12314	11816	P77 - E1	0.4	264	362
S29A	1.1	4377	4306	P77 - E2	0.4	264	362
S37	1.4	3533	3015	P78 - E3	0.4	268	295
S38	1.6	3598	3148	P78 - E4	0.4	268	295
S40A	1.0	4807	4898	P79/P80 - E5	0.4	199	242
S41A	0.9	3310	4325	P79/P80 - E6	0.4	199	242
S43A	1.9	4154	3996	P81 - E7	0.6	371	501
S45A	1.9	2480	2378	P81 - E8	0.6	371	501
S46A	1.9	2822	2606	P82 - E9	0.7	496	522
S48A	1.9	4031	3430	P83 - E10	0.5	355	424
S49A	1.1	3376	3610	P84 - E11	0.7	420	426
S51A	1.3	3690	3467	P85 - E12	0.6	421	462
S52	1.3	3300	3122	S86	0.8	520	720
S53	1.5	4617	4287	S87	1.1	609	896
S55A	1.1	3813	3589				

As cargas previstas pelo modelo numérico com apoios deslocáveis foram normalizadas em relação às cargas previstas com o modelo de apoio rígidos (indeslocável), para a última etapa e o resultado em planta está apresentado na Figura 4.11. Os maiores recalques ocorrem na região, em planta, onde estão localizados os pilares P31 e P48. Nessa mesma região, a relação entre as cargas do modelo com e sem interação é menor (abaixo de 1,0) enquanto os menores recalques ocorrem nas regiões periféricas, onde a relação entre as cargas do modelo com interação e sem interação é maior (acima de 1,0). Esse comportamento é coerente, pois aponta uma diminuição das cargas nos pilares centrais e consequente redução dos recalques, enquanto nos pilares periféricos ocorreram aumento das cargas e dos recalques.

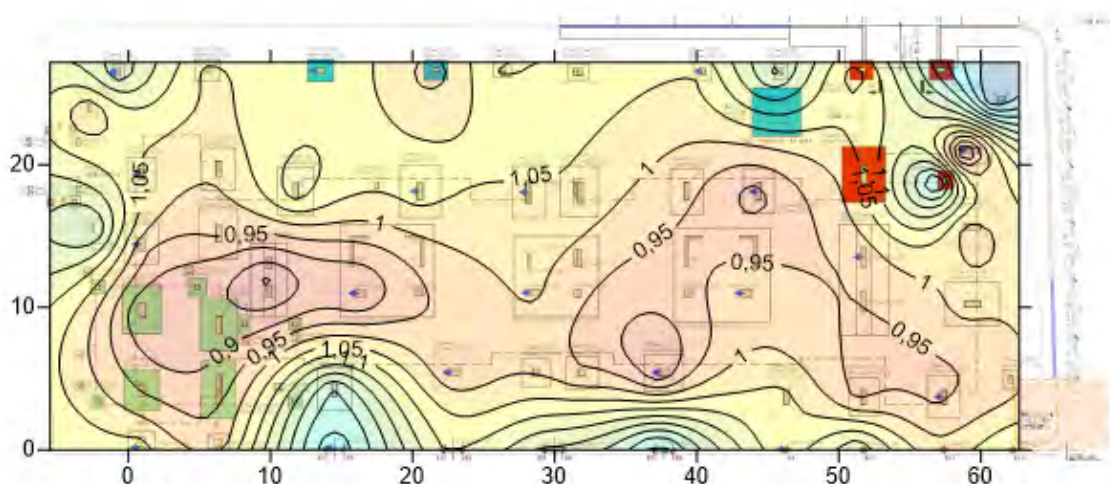


Figura 4.11 – Relação entre cargas dos modelos de apoios rígidos (sem ISE) e modelo com apoio de molas (com ISE), para 4ª iteração da etapa 11 (última).

Com relação a velocidade de convergência das iterações em todas as etapas, da situação de apoios rígidos para apoios deslocáveis, na 1ª iteração, observou-se que grande parte dos pilares apresentaram diferença de coeficientes de mola inferior a 5%. Entre a 1ª iteração e a 2ª iteração, praticamente todos os apoios apresentaram diferença inferior a 5% para os coeficientes de mola. As demais iterações (3ª e 4ª iterações) foram feitas buscando uma convergência com diferença ainda menor (entorno de 2%).

A respeito das cargas referentes à última etapa, dos 71 apoios, 42 apresentaram diferença de carga superior a 5% entre a análise de apoios rígidos e 1ª iteração. Da 1ª iteração para a 2ª iteração somente 8 apoios apresentaram diferença superior a 5%. Na iteração seguinte, 4 apoios ainda apresentavam cargas com diferença maior que 5%. Na 4ª e última iteração, todos os pilares apresentaram diferenças inferiores a 5% em relação às cargas estimadas na 3ª iteração.

O autor da presente pesquisa conclui que, para o caso estudado, as análises de iterações múltiplas despendem muito tempo, trabalho e não resultam em significativas mudanças no padrão de comportamento além da segunda iteração. Não se observou diferença sensível no padrão de distribuição de recalques em planta e também na redistribuição de cargas na fundação. Tendo em vista que a fundação é a última etapa a ser projetada e a primeira etapa a ser construída, o autor considera que, para projetos correntes com características similares ao apresentado neste trabalho, que necessitam da análise de interação solo – estrutura, a primeira iteração já apresenta um resultado bastante apreciável e, quando seguido de uma segunda iteração os resultados, praticamente, convergem para todos os pilares.

5. ANÁLISE COMPARATIVA – ESTIMADOS X MEDIDO

Este capítulo é dedicado às análises comparativas entre os resultados obtidos pela instrumentação e os previstos, de forma a avaliar os parâmetros de compressibilidade estimados para o maciço de solo e a capacidade de previsão de comportamento.

Cabe destacar as dificuldades na interpretação dos dados fornecidos pela instrumentação. As curvas recalque x tempo de alguns pilares apresentaram muito ruído, ou seja, variações bruscas de leituras de recalque em pequenos intervalos. Dessa forma, algumas leituras foram consideradas duvidosas, avaliadas e, quando verificada alguma inconsistência, desconsideradas nas análises. Procurou-se atentar aos seguintes critérios: variação abrupta com relação aos valores imediatamente anteriores e posteriores, bem como valores negativos de recalque. Essas leituras errôneas podem ter sido causadas por erro humano, por choque acidental no pino de recalque, por movimentação de cargas, por trepidação durante a medição, entre outras ocorrências.

Uma vez que foram realizadas muitas leituras em etapas mais numerosas do que a quantidade de etapas analisadas nesta dissertação, procurou-se verificar as leituras realizadas nos dias anteriores e posteriores à leitura duvidosa e, por meio de média, o autor procurou fazer pequenos ajustes, mas com todo o cuidado para não comprometer os valores medidos. A Tabela 5.1 é uma atualização da Tabela 2.4 após os ajustes mencionados, sendo destacados em cinza, os valores que sofreram ajustes.

Para comparar os valores de recalque medidos com os estimados, a etapa inicial do modelo tridimensional numérico desenvolvido foi considerada como a etapa “zero” e tomada como referência. Os demais resultados estimados das etapas construtivas seguintes foram retirados em função da diferença em relação a etapa referência. Dessa forma, todos os recalques estimados e apresentados, a partir desse momento, são os ocorridos após a etapa inicial, ou seja, recalques contabilizados do depois da construção dos três primeiros pavimentos.

Tabela 5.1 – Valores medidos em centímetros pós ajuste.

Pilares	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6	Etapa 7	Etapa 8	Etapa 9	Etapa 10	Etapa 11
PR-01 (P4A)	0.09	0.17	0.08	0.25	0.36	0.40	0.60	0.66	0.92	0.73	0.94
PR-03 (P09)	0.25	0.48	0.63	0.62	0.82	0.84	0.84	0.78			
PR-04 (P11)	0.04	0.32	0.44	0.32	0.45	0.59	0.83	0.74	0.87	0.94	1.00
PR-05 (P15A)	0.06	0.17	0.25	0.34	0.50	0.67	0.76	0.94	1.10	1.10	1.24
PR-06 (P18)	0.26	0.41	0.30	0.28	0.28	0.37	0.45	0.55	0.38	0.68	0.75
PR-07A (P28)	0.05	0.13	0.35			0.64	1.05	1.03	1.04	1.29	1.02
PR-08 (P31)	0.07	0.48	0.55	0.51	0.44	0.60	1.11	1.17	1.35	1.55	1.38
PR-09 (P33)	0.10	0.43	0.50	0.35	0.33	0.45	0.97	1.04	0.97	1.11	1.21
PR-10 (P36)	0.04	0.24	0.31	0.34	0.35	0.47	0.63	1.07	1.05		1.12
PR-11 (P43A)	-0.02	0.33	0.51	0.47	0.69	0.84	0.97	0.92	1.22	1.46	1.50
PR-12 (P48A)	0.03	0.37	0.44	0.26	0.25	0.73	0.86	1.00	0.96	1.13	1.59
PR-13 (P55A)	-0.01	0.21	0.30	0.29	0.36	0.56	0.53				
PR-14 (P59)	0.03	0.05	0.11	0.09	0.12	0.13	0.13	0.15	0.06	0.18	0.21
PR-15 (P61)	0.17	0.19	0.22	0.26	0.25	0.30	0.48	0.13	0.33	0.27	0.31
PR-16 (P66)	-0.04	-0.01	0.09	0.08	-0.07	0.19	0.15	0.22	0.18	0.19	0.20
PR-17 (P75)	-0.04	0.08	0.13	0.09	0.13	0.18	0.36	0.47	0.63	0.62	0.80
PR-18 (P77)	-0.07	0.14	0.20	0.13	0.15	0.20	0.25	0.28	0.39	0.30	0.45
PR-19 (P82)	0.11	0.25	0.13	0.27	0.30	0.20	0.41	0.40	0.44	0.52	0.55
PR-20 (P73)		0.16	0.11	0.14	0.09	0.22	0.31	0.17	0.34	0.46	0.33

A proximidade nos valores de recalque e a similaridade no padrão da curva indicam a adequação do modelo de compressibilidade do solo, juntamente com o modelo numérico. Diferente dos capítulos anteriores onde foi mostrado curvas de iso-recalque da última etapa, optou-se por apresentar as curvas referentes à etapa 10, devido à quantidade de leituras suspeitas na última etapa. Para as etapas 4, 7 e 10, os recalques medidos são ilustrados nas Figura 5.1a, Figura 5.2a, Figura 5.3a e, os estimados, nas Figura 5.1b, Figura 5.2b e Figura 5.3b. Para se realizar uma comparação consistente, as curvas de iso-recalque estimados foram geradas, utilizando somente os valores de recalque referentes aos pilares instrumentados.

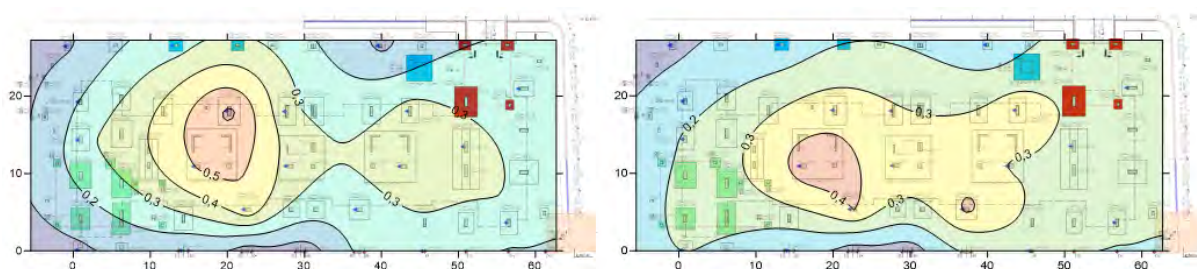


Figura 5.1 – Curvas iso-recalques da 4ª etapa: (a) medidos e (b) calculados, com 4 interações.

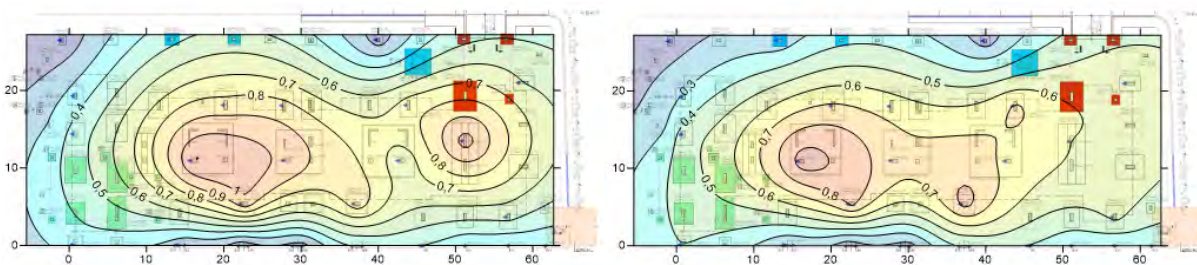


Figura 5.2 – Curvas iso-recalques da 7ª etapa: (a) medidos e (b) calculados, com 4 interações.

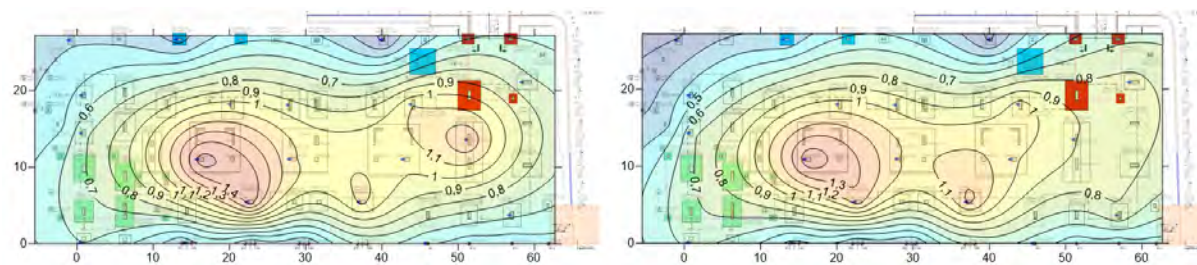


Figura 5.3 – Curvas iso-recalques da 10ª etapa: (a) medidos e (b) calculados, com 4 interações.

Nota-se que os recalques medidos estão ligeiramente superiores aos estimados, um indicativo de que os parâmetros de compressibilidade do solo utilizados necessitam de um fator corretivo inferior, mas muito próximo de 1. Tal fato leva a crer que o modelo de comportamento do solo foi bastante consistente.

GUSMÃO (1990) observa que a interação solo – estrutura influencia a forma da deformada de recalques, entretanto não interfere no recalque absoluto médio, sendo esta função apenas do carregamento e das propriedades do terreno. O autor afirma que a diferença entre os valores médios medidos e estimados podem ser associados à validade do modelo tensão-deformação adotado e que, quanto maior a proximidade desses valores, mais representativo será o modelo.

Com relação ao recalque distorcional entre a sapata de maior recalque (S21/22/31/32) e a região em fundação profunda (menor recalque), este apresentou valores da ordem de 1/1000, muito inferior aos limites admissíveis recomendados por Bjerrum (1963) e Vargas e Silva (1973), estando seguro quanto a danos estruturais. No caso de fundações mistas e, principalmente, com uma torre de elevada altura, este é um aspecto essencial.

Na Figura 5.4 são apresentadas curvas das médias dos recalques em cada uma das 11 etapas que constituíram o processo construtivo considerado. Como tentativa de comparação, foram representadas curvas para 6 situações, sendo elas: Recalques médios calculados com e sem ISE, Recalques medidos com e sem o ajuste mencionado anteriormente. Além disso, como a quantidade de pontos amostral interfere na média, foram analisadas curvas considerando todos os pilares e somente os pilares instrumentados.

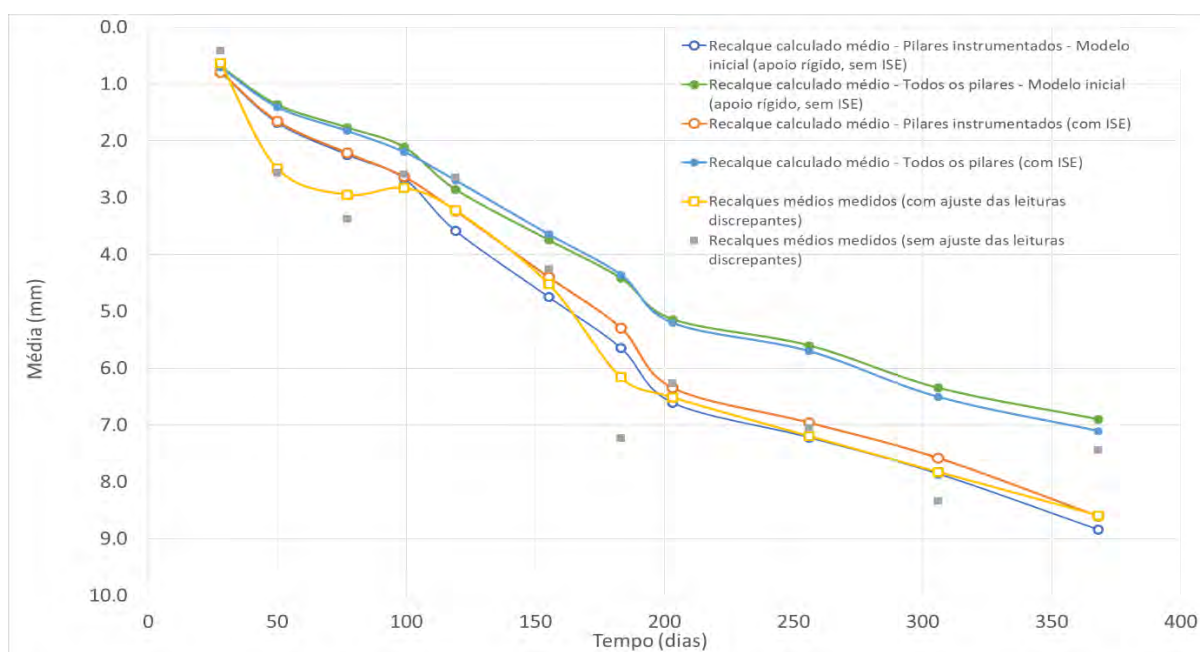


Figura 5.4 – Média dos recalques medidos e estimados, a partir do início da instrumentação.

Observa-se na Figura 5.4 que os pilares monitorados tiveram um recalque previsto (curvas laranja e azul com ponto vazado), em média, superior a todos os pilares em conjunto (curvas verde e azul com ponto preenchido). Essa observação já

seria esperada, uma vez que a seleção, para o monitoramento, procurou privilegiar os pilares de maior carga. Os valores médios calculados, com ISE, aproximam-se dos valores médios medidos, quando se considera, de fato, apenas os pilares que efetivamente foram monitorados. Ao comparar as curvas dos recalques médios calculados sem ISE e com ISE, seja para todos ou somente os pilares instrumentados, os valores são praticamente os mesmos. Isso reforça que a interação solo-estrutura não altera os recalques médios e que o modelo utilizado é representativo.

Assim como ocorreu com os recalques médios, na Figura 5.5 foi verificado que os valores de desvio padrão calculados também são próximos dos valores medidos, exceto para a última etapa sem ajuste, justamente a etapa em que, supostamente, ocorreu maior número de leituras duvidosas. É possível observar que as curvas apresentam um padrão semelhante, sendo praticamente paralelas, com um maior desvio observado nas curvas de valores medidos.

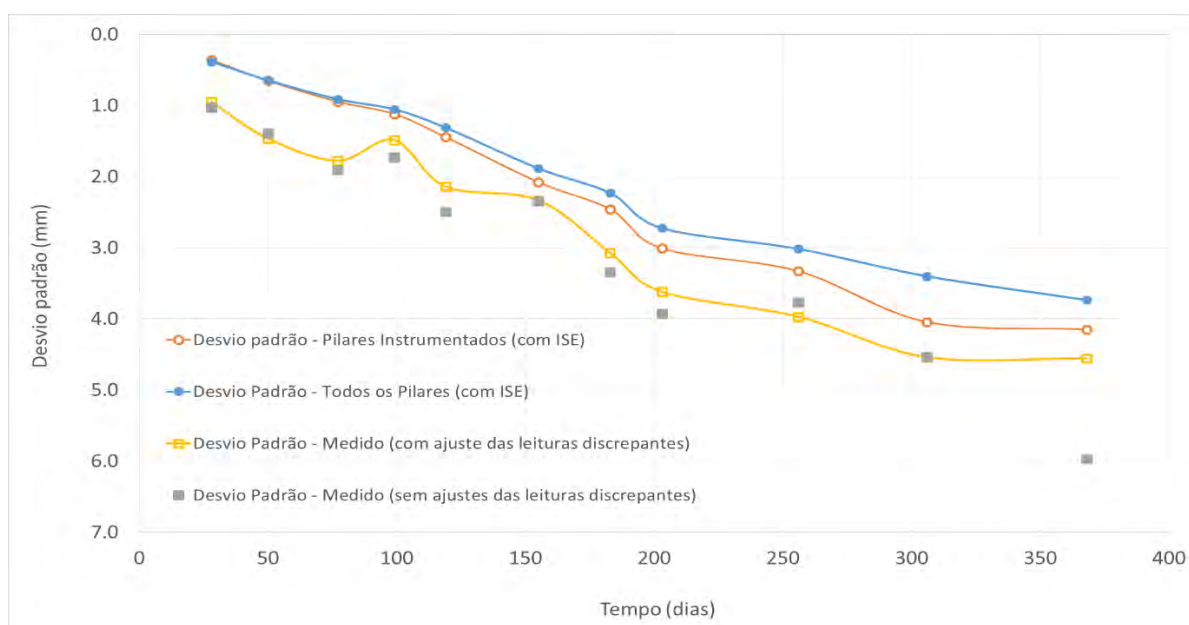


Figura 5.5 – Desvio padrão dos recalques medidos e estimados, a partir do início da instrumentação.

É válido destacar que a distância entre as curvas, tanto para média quanto para desvio padrão, é em torno de 1 mm. Trata-se de uma margem muito pequena, principalmente quando se considera que os recalques foram previstos com base em módulos estimados. Essa proximidade indica também a consistência do método de integração de Aoki-Lopes, baseado nas equações de Mindlin, que é capaz de reproduzir, de forma fidedigna, a distribuição dos acréscimos de tensões das fundações da estrutura para o maciço de solo.

GUSMÃO (1990) ressalta que a simples comparação das curvas de desvio padrão dos recalques medidos e estimados pode levar a erros de interpretação, caso os recalques absolutos médios não tenham a mesma ordem de grandeza. Em virtude

disso, o coeficiente de variação (Cv), que é a relação entre o desvio padrão e a média dos recalques, torna-se um parâmetro comparativo mais interessante. A Figura 5.6 apresenta os valores dos coeficientes de variação estimados, como também os medidos ao longo do período construtivo.

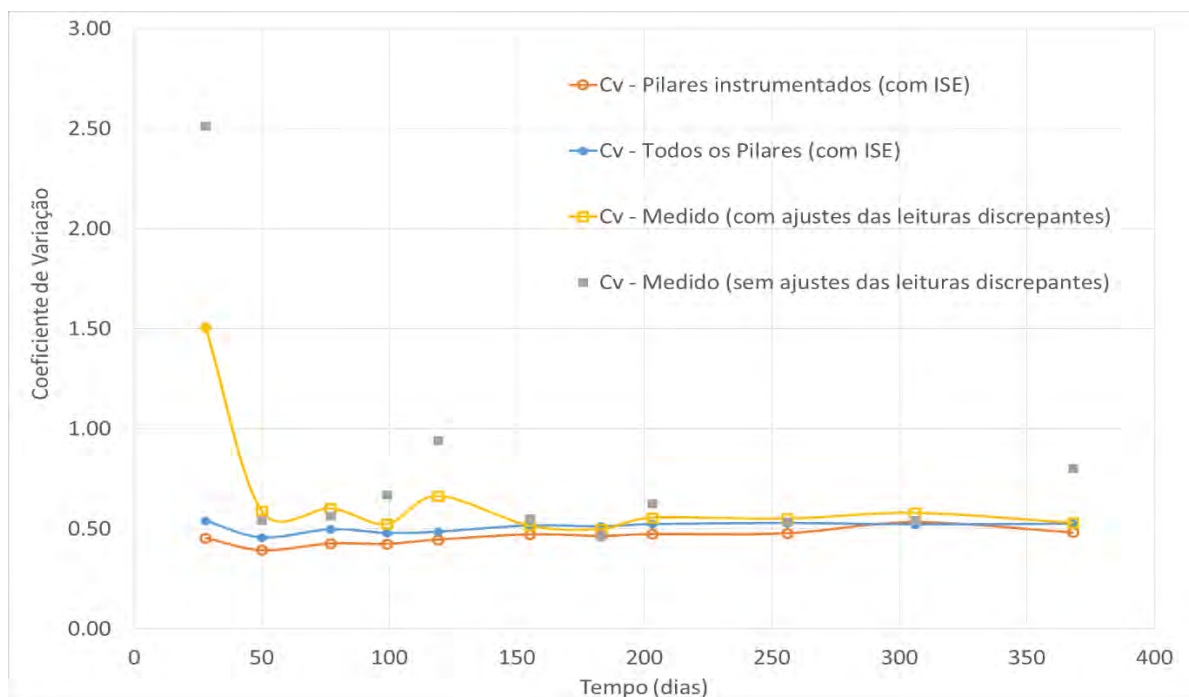


Figura 5.6 – Coeficiente de variação dos recalques medidos e estimados, a partir do início da instrumentação.

A Figura 5.6 aponta uma queda brusca da primeira para a segunda etapa seguida de uma tendência de estabilização ao longo do processo construtivo, entre 45% a 55% para a situação dos dados instrumentados, assim como o coeficiente de variação do recalque medido ajustado. Como observado por GUSMÃO FILHO (1995), à medida que a construção avança (acréscimo de carregamento), ocorre um aumento do recalque, porém a variabilidade do recalque diminui. As curvas de coeficiente de variação referentes aos valores estimados tiveram um comportamento inicial distinto, no qual não foi possível perceber uma queda brusca, no entanto, a tendência de estabilização foram as mesmas. Isso tem sido também observado nos outros casos analisados nesta linha de pesquisa. Porém, neste caso específico, a variação do coeficiente de variação dos recalques estimados, com ISE, foi ainda mais tênue do que nos demais casos de obra. Os valores foram próximos aos obtidos por ROSA (2015), num caso de obra semelhante, que chegou a valores de coeficiente de variação de 60%, tanto para os recalques estimados como os medidos, para a última etapa da medição. Como os recalques medidos, tanto pelo autor como por ROSA (2015) foram muito pequenos, poucas variações na acurácia das leituras levam a elevada incerteza, resultando em aumento do coeficiente de variação.

Destaca-se também que os maiores efeitos advindos da interação solo – estrutura acontecem no início da construção, quando a rigidez da estrutura é relativamente baixa. Justamente no período inicial quando ainda não havia instrumentação é, segundo a literatura, o momento que ocorrem as maiores quedas do coeficiente de variação. Se as leituras tivessem sido iniciadas antes, a queda seria ainda mais expressiva. O fato de a simulação apresentar uma queda mais tênue é uma observação que tem sido registrada e que merece ser avaliada em conjunto com as demais obras monitoradas anteriormente.

As primeiras leituras foram realizadas quando a construção já se encontrava no terceiro pavimento, prejudicando o melhor acompanhamento do comportamento do coeficiente de variação neste período. Um ponto relevante para comentar é o fato de a pesquisa ter sido realizada totalmente independente do andamento da construção. A oportunidade de estudar o tema surgiu em um momento em que a obra já havia sido iniciada, não tendo tido, o autor, qualquer ingerência quanto à definição do início, periodicidade das leituras ou possibilidade de interferência nos serviços.

Outro ponto interessante, mencionado por GUSMÃO (1990), é a associação das deformadas de recalques com as curvas de frequência, conforme pode ser observado na Figura 5.7.

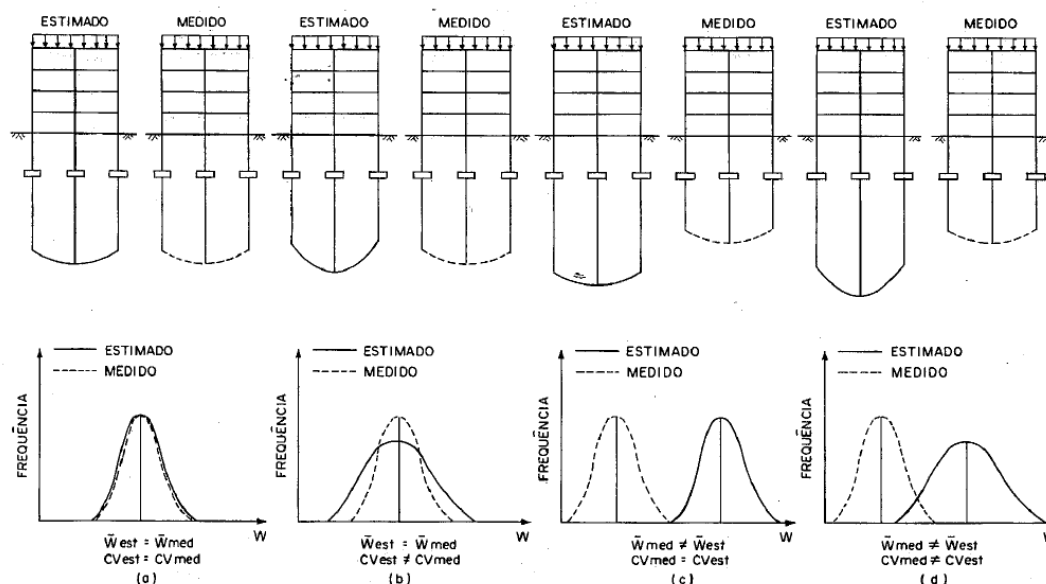


Figura 5.7 – Exemplos de deformadas correspondentes aos recalques estimados e medidos e suas respectivas curvas de frequência. GUSMÃO (1990)

No caso (a), há uma igualdade tanto no valor médio quanto nas distribuições dos recalques estimados com os medidos. Em (b), as médias de recalques coincidem, embora as distribuições dos recalques sejam diferentes. Em (c), por sua vez, as distribuições são semelhantes, mas as médias são distintas. Já em (d), houve deficiência, tanto na previsão de recalques, como em suas distribuições.

Ao associar os recalques a uma distribuição estatística, pode-se imaginar que, no modelo de apoios rígidos (sem ISE), as variações entre os extremos sejam maiores, ou seja, menores valores de recalque mínimo e maiores valores de recalque máximo. Por outro lado, com a interação solo – estrutura, a distância entre os extremos tende a reduzir, uniformizando-se a distribuição dos recalques em planta. Esse processo pode ser observado na curva de frequência por meio da sua forma. Em outras palavras, para um mesmo recalque médio (mesma etapa construtiva), deve-se esperar uma distribuição gaussiana mais achatada no caso de apoios rígidos (sem ISE), e uma mais esbelta ao se considerar a ISE. Na Figura 5.8 as curvas de distribuição gaussiana, correspondentes à etapa 10 do modelo sem ISE até a convergência na 4ª iteração (modelo com ISE), mostram exatamente esse comportamento:

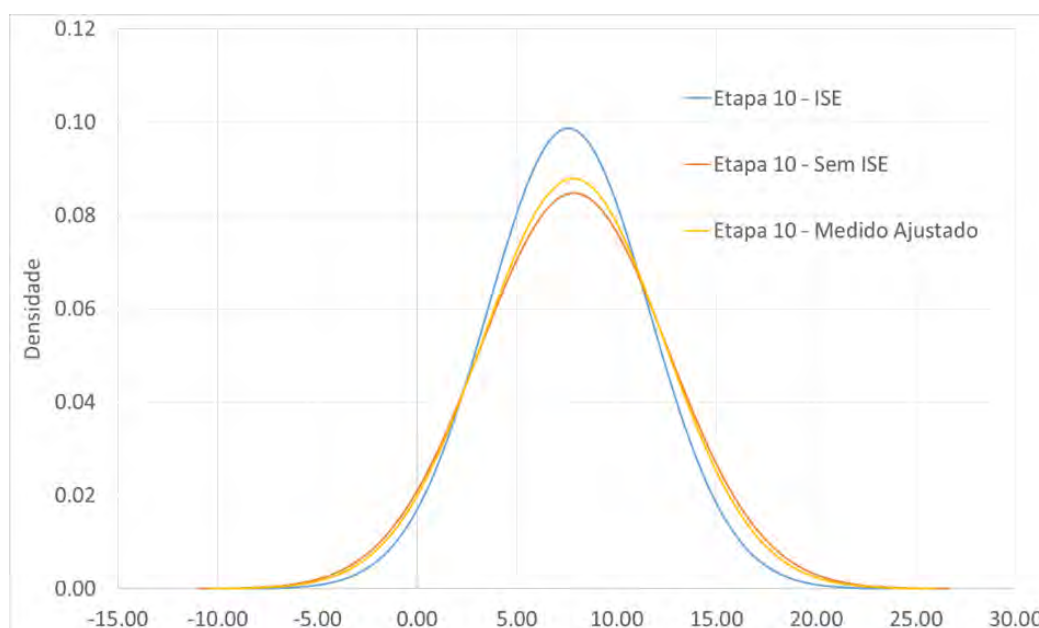


Figura 5.8 – Curvas Gaussiana do modelo sem ISE, com ISE e Medida relativos à Etapa 10.

Embora no caso em apreço o efeito da interação não tenha sido significativo, uma vez que os valores reduzidos de recalque apresentam uma situação real bastante próxima de uma situação de apoios rígidos, a curva que representa a instrumentação encontra-se entre aquelas que representam o modelo sem ISE e o modelo com ISE. As médias de recalques foram bem próximas, no entanto a real distribuição dos recalques mostrou-se divergente, caracterizando uma situação intermediária. Cabe destacar que, para este caso de obra, por apresentar recalques muito reduzidos, os resultados são muito sensíveis a variações de parâmetros geotécnicos e a possíveis simplificações no modelo estrutural.

O modelo estrutural gerado para cada uma das etapas mostra-se adequado à análise da ISE. Ao mesmo tempo, o método AOKI LOPES (1975) é capaz de reproduzir o efeito de todo o conjunto das fundações no recalque estimado. O

projetista necessita estimar com cuidado os parâmetros do solo e, principalmente, a estratigrafia do perfil geotécnico, de forma a reproduzir a variabilidade do modelo de compressibilidade do solo na área da fundação. No caso da obra em estudo, com o impenetrável à percussão muito próximo à base das sapatas, o efeito de grupo, no cálculo de recalques, e o efeito da ISE foram pouco evidenciados.

O desenvolvimento de modelos estruturais mais próximos da realidade, alinhados com ajustes dos parâmetros do solo, sejam eles por correlações ou por retroanálises, são essenciais para obtenção de bons resultados no estudo da ISE. Os recalques calculados pelo programa AOKI e LOPES (1975) acompanharam a evolução do carregamento no tempo, correspondente a cada etapa construtiva, e apresentaram um comportamento similar aos valores medidos para cada um dos pilares, como mostrados nos gráficos incluídos no

Apêndice 12.

A ISE pode ser aferida pelas seguintes representações: i) curvas de iso-recalques (Figura 5.1 a Figura 5.3); ii) Distribuição dos recalques ao longo da extensão da construção (Figura 4.9 e Figura 4.10); iii) Coeficiente de variação (Figura 5.6); e iv) Curvas de distribuição estatística dos recalques (Figura 5.8). Apesar do menor efeito da ISE no caso em estudo, as quatro formas de representação revelaram a existência de uma tendência de uniformização dos recalques e, conseqüentemente, de redistribuição dos esforços.

Este é um caso de obra que, por ter uma altura de 64 metros do Térreo até a laje de cobertura, o projeto de fundação deve contemplar a análise da ISE. O item 5.5 da NBR 6122 (2019) preconiza que “Em estruturas nas quais a deformabilidade das fundações pode influenciar na distribuição dos esforços, deve-se estudar a interação solo-estrutura ou fundação-estrutura, sendo obrigatório esse estudo nos seguintes casos:

- a) Estruturas nas quais a carga variável é significativa em relação à carga total, tais como silos e reservatórios;
- b) Estruturas com mais de 55,0 m de altura, medida do térreo até a laje de cobertura do último pavimento habitável;
- c) Relação altura/largura (menor dimensão) superior a quatro;
- d) Fundações ou estruturas não convencionais.

Dentre os casos que compõe a norma, a edificação enquadra-se no caso (b), sendo obrigatório o estudo para efeito de projeto. A norma também preconiza, nestes mesmos casos, que seja procedido o monitoramento dos recalques.

Apesar da exigência por norma, os estudos realizados na dissertação apontam que a ISE, embora presente, não se mostrou muito significativa neste caso de obra. Isso se deve à elevada rigidez do maciço de solo onde repousam as fundações e à estratégia do projetista em aprofundar a cota de assentamento.

É importante ressaltar, que por se tratar de um edifício alto, a análise de equilíbrio também deve incorporar a deformada da estrutura. Criado por FRANCO E VASCONCELOS (1991), o coeficiente γ_z foi proposto com o objetivo de estabelecer a

mobilidade da estrutura de forma simples e como um coeficiente majorador dos esforços de primeira ordem, para obtenção dos esforços finais (esforços de 1ª + 2ª ordem). GUSMÃO ET AL. (2020) destacam que o parâmetro γ_z está associado aos efeitos de segunda ordem que pode aumentar, de forma exponencial, com o aumento da não verticalidade da edificação.

Segundo Franco e Vasconcelos, segundo relata GUSMÃO ET AL. (2020), este parâmetro é obtido a partir de uma análise linear da estrutura carregada, considerando a não linearidade física pela redução da rigidez dos elementos estruturais. O parâmetro γ_z é calculado através da expressão:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{1,tomb}}{M_{1,tomb}}} \quad (5.1)$$

Onde

$M_{1,tomb}$ é o momento de tombamento calculado como a soma de todos os momentos produzidos pelas forças horizontais em relação à base da estrutura.

$\Delta M_{1,tomb}$ é a soma dos momentos produzidos pelas cargas verticais atuantes na estrutura relativas aos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de primeira ordem, na combinação de carregamento considerada.

O parâmetro γ_z é assim obtido por meio de sucessivas análises lineares da estrutura carregada. Ele representa, de forma aproximada, os efeitos da não-linearidade geométrica. Quando o parâmetro é inferior a 1,1, conforme a NBR 6118 (2014), a estrutura é considerada com os nós fixos e os efeitos de segunda ordem não necessitam ser considerados. Caso $1,1 < \gamma_z < 1,3$, a estrutura é considerada com os nós móveis e o item 15.7.1 da NBR 6118 (2014) permite a determinação dos esforços globais finais a partir da majoração dos esforços horizontais da combinação de carregamento por $0,95\gamma_z$. Por fim, quando γ_z é superior a 1,3 deve-se realizar cálculos mais refinados.

Ressalta-se que as análises para avaliação dos efeitos de segunda ordem levam em consideração que os apoios são perfeitamente fixos. Contudo, as fundações sofrem recalques devido às deformações do maciço e, por conseguinte, estes recalques afetam na verticalidade final da superestrutura.

Segundo destacam GUSMÃO ET AL (2020), o efeito da interação solo x estrutura no valor de γ_z foi avaliado por BORGES (2009) e SILVA (2018). BORGES (2009) verificou que ao considerar o efeito da interação solo x estrutura e possíveis rotações das fundações resultou num aumento do valor de γ_z de até 37%. SILVA (2018) analisou dois edifícios altos com sete alternativas diferentes de fundações e verificou um acréscimo no valor de γ_z quando incorporou na análise a deslocabilidade das fundações.

Com base nestes resultados, GUSMÃO ET AL. (2020) definiu o parâmetro β como um fator de amplificação do parâmetro γ_z devido à interação entre as fundações e a superestrutura da edificação:

$$\beta = \frac{\gamma_z^{SSI}}{\gamma_z^{FN}} \quad (5.2)$$

Onde

γ_z^{SSI} é o coeficiente γ_z calculado com o efeito da interação solo x estrutura.

γ_z^{FN} é o coeficiente γ_z calculado sem interação e usando apoios fixos.

No caso em estudo, as análises realizadas pela empresa consultora, segundo Sigma1 Consultoria & Projetos (2021), mostraram que os valores de γ_z variaram de 1,14 (ângulos de ação do vento de 90° e 270°) a 1,18 (ângulos de ação do vento de 0° e 180°), considerando todas as direções principais de carregamentos simples de vento. Assim, a estrutura pode ser considerada como nós móveis e os esforços nos elementos calculados pela majoração dos esforços horizontais, pelo fator 0,95 γ_z . Contudo, as fundações sofrem recalques devido às deformações do maciço e, por conseguinte, afetam na verticalidade final da superestrutura.

Como o efeito da interação solo x estrutura, no caso de obra estudado, foi de pequena magnitude, e como estudos mais extensos fogem do escopo da presente dissertação, estudos complementares são sugeridos como temas para pesquisa futura.

6. CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE FUTUROS ESTUDOS

Quanto à caracterização do subsolo:

A adequada caracterização do solo é essencial para representar o comportamento do maciço de fundação. O número de sondagens, a qualidade do ensaio e a profundidade do ensaio devem ser capazes de caracterizar o subsolo até a fronteira mais rígida. O estudo de casos de obra tem permitido aferir as correlações disponíveis na literatura.

Cabe destacar que as correlações de Barata (1984) foram desenvolvidas com base em banco de dados de solos residuais, o mesmo tipo de solo do maciço sob as fundações do caso em estudo, consequentemente, foram os que mais se adequaram. Os resultados obtidos se mostraram bastante sensíveis à escolha de parâmetros, cabendo ao autor a realização de ajustes finos.

Quanto à sensibilidade dos resultados das leituras:

Algumas dificuldades na interpretação das leituras de recalque ocorreram. Em algumas situações, os valores coletados se mostraram inconsistentes. Os pequenos valores de recalque e o fato de as medições terem sido feitas durante as etapas de construção, com a obra em desenvolvimento, devem ter colaborado para a falta da acurácia de algumas medidas pontuais.

Quanto às cargas estimadas do modelo:

As cargas obtidas pelo calculista e pelo consultor do projeto não divergiram muito do modelo numérico, na maior parte da extensão da planta de fundação. Apenas na região da estação de tratamento do esgoto (terceiro quadrante da planta) e no reservatório (primeiro quadrante) houve uma maior concentração de cargas no modelo em estudo. O autor lamenta não terem sido realizadas as medidas de deformações nos pilares, pois seria uma ferramenta adicional de comparação/validação entre cargas oriundas do modelo numérico desenvolvido e a instrumentação.

Quanto ao efeito de grupo:

Com relação ao efeito de grupo, tanto o método Aoki Lopes quanto o método de Barata o evidenciaram, mesmo que reduzido. Foi possível também avaliar a influência das fundações sobre a sapata estudada, concluindo que somente as

fundações imediatamente vizinhas, de fato, tiveram efeito significativo neste caso de obra.

Quanto à interpretação do fator de recalque (AR):

O fator de recalque, com toda a simplicidade, mostrou-se muito relevante na previsão da redistribuição das cargas. A aplicação do fator de recalque aos valores estimados indicou que a maioria dos pilares centrais tendem a reduzir suas cargas, enquanto os pilares periféricos tendem a sofrer aumento, sendo confirmada essa tendência, posteriormente, com as cargas extraídas das análises do modelo considerando a interação solo – estrutura.

Quanto à comparação entre os recalques medidos e calculados:

Inicialmente, observou-se a tendência de uniformização dos recalques, seja pelas curvas de iso-recalque ou pelas curvas recalque x tempo de cada pilar. Ficou notório que, na primeira iteração, ocorre a maior parte dos efeitos da interação solo – estrutura, sendo seguidas das demais até a convergência dos resultados.

Uma vez que as fundações representam, em geral, a última etapa do projeto e a primeira a ser executada, o prazo para a elaboração do projeto costuma ser reduzido. Como essas análises de iterações múltiplas são muito trabalhosas, com muito tempo despendido, os resultados, a partir da segunda iteração, mostrou-se pouco significativo. O autor da presente pesquisa acredita que, para projetos convencionais, a análise solo – estrutura recomendada pela norma NBR 6122 (2019), duas iterações são suficientes para representar tal comportamento. Ressalta-se que tais conclusões foram embasadas e referem-se à obra em estudo nesta pesquisa, embora outros trabalhos apontem para resultados similares.

Quanto ao efeito da sequência executiva da construção na interação solo x estrutura

Destacam-se as proximidades dos valores médios medidos com os valores médios calculados dos recalques em todas as etapas construtivas quando são somente selecionados os pilares instrumentados. Sabe-se que a maior redistribuição de cargas e recalques acontece no início da construção, quando a estrutura apresenta menor rigidez. Este aspecto também foi observado por meio das leituras. Inicialmente, uma queda acentuada do coeficiente de variação dos recalques, seguidas de uma estabilização. Os modelos desenvolvidos tiveram um comportamento inicial distinto, no qual não foi possível perceber uma queda brusca, no entanto, a tendência de estabilização do coeficiente de variação foram as mesmas, em torno de 45 a 55%. Esses resultados assemelham-se a de alguns outros autores dessa mesma linha de pesquisa, como BRAUNE ET AL. (2008), ARAUJO (2010) e ROSA (2015), que obtiveram valores de coeficiente de variação, tanto medido como calculado, compreendidos entre 40% a 60%.

Todavia, COSTA (2003), GONÇALVES (2004), DANZIGER ET AL (2005) e MOTTA (2009) reportam valores medidos entre 10% a 20% e calculados 20% a 30% para outras obras instrumentadas desde o início da construção. Esses resultados podem estar relacionados ao tipo de fundação, à natureza do maciço, à profundidade da camada resistente (fronteira rígida), ao tipo de estrutura e devem ser estudados em maior profundidade no futuro.

Quanto à capacidade de reproduzir, por meio das ferramentas disponíveis, o comportamento da estrutura e do maciço de solo quando submetido à análise de ISE:

As ferramentas utilizadas mostraram-se capazes de reproduzir o comportamento da ISE, sendo possível, sob o ponto de vista prático em obras correntes, atender às recomendações da versão mais recente da NBR 6122 (2019), em seu item 5.5. O autor gostaria de ressaltar a importância deste tema e da formação do banco dados, que já contempla vários casos documentados que agregam informações de grande interesse prático e acadêmico.

Sugestões para pesquisas futuras:

1. Avaliar, para esta mesma obra, a possibilidade de diferentes tratamentos dos dados experimentais, objetivando retirar leituras duvidosas de forma automatizada, por exemplo, pela filtragem destes dados, de forma a obter uma maior acurácia na interpretação.
2. Associar o emprego de programas de modelagem estrutural (por exemplo: SAP 2000, TQS) a programas de cálculo tensões x deformações mais refinados do solo por elementos finitos (por exemplo: PLAXIS 2D ou 3D), para comparação com os resultados do programa Aoki-Lopes. O método Aoki-Lopes tem a vantagem de ser simples, reproduzir a situação real de transferência de carga ao maciço e apresentar resultados comparáveis aos medidos.
3. Considerar o efeito da alvenaria como elemento de casca no modelo, ao invés de considerá-lo apenas como carga, a fim de observar sua influência na rigidez do conjunto.
4. Avaliar os efeitos de segunda ordem juntamente com a consideração da iteração solo estrutura.
5. Em obras futuras, considerar a possibilidade de instrumentação das regiões mais rígidas como: Estação de Tratamento de Esgoto, reservatórios, a fim de entender o comportamento dessas regiões em relação à obra.

6. Utilizar Softwares mais recentes, com módulos de interação solo – estrutura, por exemplo, TQS – SIses, para comparação às análises que têm sido procedidas nesta linha de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANTONIAZZI, J.P. Interação Solo – Estrutura de Edifícios com Fundações Superficiais. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2011

AOKI, N. Prediction of the Behavior of Vertical Driven Pile under Static and Dynamic Conditions. Twelfth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Drivability of Piles, Vol 2, Rio de Janeiro, 55-61, 1989.

AOKI, N. Aspectos geotécnicos da interação estrutura-macizo de solos, XXVIII Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, vol.1, São Carlos, pp. VII – XX, 1997.

AOKI, N; CINTRA, J. C. A. Notas de aula disciplina SGS-404 Fundações, EEESC – Departamento de Geotecnia, EEESC, US, São Carlos, 2004.

AOKI, N.; LOPES, F. R. Estimating stresses and settlements due to deep foundations by the Theory of Elasticity, Proceedings, 5th Pan American CSMFE, Buenos Aires, v. 1, pp. 377-386, 1975.

AOKI, N.; VELLOSO, D. A. An approximate method to estimate the bearing capacity of piles, Proceedings, 5th Pan American CSMFE, Buenos Aires, v. 1, pp. 367-376, 1975.

ARAÚJO, C. R. S. Estudo de Caso de Obra Considerando a Interação Solo-Estrutura, Dissertação de M.Sc., Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 85 p, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações, Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto, Rio de Janeiro, 2014.

BARATA, F. E. Propriedades mecânicas do solo: uma introdução ao projeto de fundações, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 152 p, 1984.

BARATA, F. E. Recalques de edifícios sobre fundações diretas em terrenos de compressibilidade rápida e com a consideração da rigidez da estrutura. Tese de concurso para Professor Titular do Departamento de Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1986.

BERARDI, R.; LANCELLOTTA, R. Stiffness of granular soils from field performance. *Géotechnique*, Vol. 41 Issue 1, Março, pp.149–157, 1991.

BJERRUM, L. Interaction between structure and soil. In: *European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Wiesbaden. *Proceedings...* Wiesbaden, v. 2, p. 135-137, 1963.

BORGES, A. C. L. Metodologia para avaliação do comportamento estrutural de edifícios altos em concreto armado com consideração da interação solo-estrutura. Recife, 2009 205p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

BRAUNE, G. A.; DANZIGER, F. A. B.; DANZIGER, B. R.; CRISPEL, F. A. Comparison between measured and predicted settlements on a building with deep foundations, *XI Congresso Nacional de Geotecnia*, Vol IV, Coimbra, Portugal, pp. 11-18, 2008.

BROWN, P. T.; YU, S. K. R. Load Sequence and Structure- Foundation Interaction, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, v.112, nº 3, pp. 481-488, 1986.

BURLAND, J. B.; BURBIDGE, M. C. Settlements of foundation on sand and gravel. In: *Institution of Civil Engineers*, 1985, London. *Proceedings...* London: Institution of Civil Engineers, 1985.

CHAMECKI, S. Consideração da Rigidez da Estrutura no Cálculo dos Recalques da Fundação, *Anais do I Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos – v.1*, Porto Alegre, RS, pp. 35-80, 1954.

CHAMECKI, S. Calcul des tassements progressifs des foundations em tenant compte de l'interaction des structures et du sol. In: *Annales de l'ITBTP*, nº 261, 1969.

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.

COSTA, R. V. Interação Solo-Estrutura – Estudo de Casos de Obra Envolvendo o Monitoramento dos Recalques desde o Início da Construção, Dissertação de M.Sc., Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2003.

COSTA NUNES, A. J. Curso de Mecânica dos Solos e Fundações. Editora Globo, 1956.

DANZIGER, B. R. Estudo de correlações entre ensaios de penetração estática e dinâmica e suas aplicações ao projeto de fundações profundas. Tese de M. Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1982.

DANZIGER, B. R.; DANZIGER, F. A. e CRISPEL, F. A. A Medida dos Recalques desde o início da Construção como um Controle de Qualidade das Fundações, In: *Simpósio de Interação Estrutura -Solo*, 2000, São Carlos. Cd do Simpósio de Interação Estrutura-Solo, 2000.

DANZIGER, B. R.; CARVALHO, E. M. L.; DANZIGER, F. A. B. Estudo de caso de obra com Análise da interação solo estrutura”, Portugal, número 23, p. 43-54, 2005.

DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT, Anais, VI CBMSEF, Rio de Janeiro, vol. 1, PP. 45-53, 1978.

DIAS, C. R. R. Recalques de fundações em Estacas. Tese de M. Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1977.

DORSCHIEDT, E. Análise comparativa de modelagens da interação solo-estrutura. Dissertação de M.Sc., Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2018.

FONTE, A. O. C.; PONTES FILHO, I.; JUCA, J. F. T. Interação Solo-Estrutura em Edifícios Altos, Anais do X COBRAMSEG, v. 1, pp. 239-246, 1994.

FRANCO, M. & VASCONCELOS, A.C. Practical assessment of second order effects in tall buildings. Proc. Colloquium on the CEB-FIP MC90, Rio de Janeiro, pp. 307-323, 1991.

GONÇALVES, J. C. Avaliação da Influência dos Recalques das Fundações na Variação de Cargas dos Pilares de um Edifício, Tese de M.Sc., Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

GOSHY, B. Soil-foundation-structure interaction, Journal of the Structural Division, ASCE, vol. 104, nº ST5, pp. 749-761, 1978.

GUSMÃO, A. D. Avaliação do Desempenho de uma Fundação com Base nas Propriedades de um Perfil do Subsolo do Recife, Relatório de iniciação científica, CNPQ, Recife, 1987.

GUSMÃO, A. D. Estudo da Interação Solo-Estrutura e sua Influência em Recalques de Edificações, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1990.

GUSMÃO, A. D.; GUSMÃO FILHO, J. A. Avaliação da influência da interação solo-estrutura em edificações. In: X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, v. 2, pp. 447-454, Salvador, Bahia, Brasil, 1994.

GUSMAO A. D.; SILVA, A. C.; MARTINES, M., 2020, Foundation-structure interaction on high-rise buildings, Soil and Rocks, Vol 43,nº 3, pp. 441-459, 2020.

GUSMÃO FILHO, J.A. Contribuição à prática de fundações: a experiência de Recife. Tese (Professor Titular) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1995.

HOLLANDA JÚNIOR, O. G. Influência de Recalques em Edifícios de Alvenaria Estrutural, Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, 2002.

IWAMOTO, R. K. Alguns Aspectos dos Efeitos da Interação Solo-estrutura em Edifícios de Múltiplos Andares com Fundação Profunda, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, 2000.

KULHAWY, F. H.; MAYNE, P. W. Manual on Estimating Soil Properties for Foundation”, CORNELL UNIVERSITY, Geotechnical Engineering Group, Ithaca, New York, 1990.

LEE, I.K., HARRISON, H.B. Structure and Foundation Interaction Theory. Journal of the Structural Division, ASCE, vol.96, n. ST2, pp. 177 – 197, 1970.

LOPES e GUSMÃO. On the influence of soil-structure interaction in the distribution of foundation loads and settlements. In: EUROPEAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 10, Firenze, 1991. Proceedings. Rotterdam, A. A. Balkema, v. 2, p. 509-9, 1991.

MENDONÇA, J.C. Um Modelo Computacional de Análise da Interação Estrutura-Macço de Solos em Edifícios. Dissertação de M.Sc., São Carlos/USP, São Paulo, SP, Brasil, 2000.

MENDONÇA, F.R.S. Avaliação do efeito da interação solo – estrutura sobre o comportamento estrutural de edificações em aço e mistas (aço-concreto) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2012.

MAUGERI M.; CASTELLI F.; MASSIMINO, M. R.; VERONA G. Observed and Computed Settlements of Two Shallow Foundations on Sand”, J. Geotech. Geoenviron. Eng., ASCE, N.Y., v. 124, pp. 595-605, 1998.

MEYERHOF, G. G. Some Recent Foundation Research and its Application to Design, Structural Engineering, v. 31, pp. 151-167, Londres, 1953.

MINDLIN, R. D. Force at a Point in the Interior of a Semi-Infinite Solid”, Physics 7 : 5, 195 p, 1936.

MOTA, M. M. C. Interação Solo-Estrutura em Edifícios com Fundação Profunda: Método Numérico e Resultados Observados no Campo”, Tese de Doutorado em Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 222 p, 2009.

MOURA, A. R. L. U. Interação solo – estrutura em edifícios. Dissertação de M.Sc., Recife/UFPE, Recife, PE, Brasil, 1995.

POULOS, H.G. Settlement Analysis of Structural Foundation Systems. Proc. of IV South-East Asian Conference on Soil Engineering, vol.4, Kuala Lumpur, pp. 52-52, 1975.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundação direta. In: Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, 25, Porto Alegre, Anais, v.2, pp.433-444,1991.

REIS, J. H. C. Interação Solo-Estrutura de Grupo de Edifícios com Fundações Superficiais em Argila Mole, Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 148p, 2000.

RIBEIRO, D.B. Análise da interação solo – estrutura via acoplamento MEC-MEF. Dissertação de M.Sc. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

RITTER, M. G.; MENEGOTTO, M. L.; COSTELLA, M. F.; PAVAN, R. C.; PILZ, S. E. Análises de interação solo-estrutura em edifícios com fundação profunda, Revista Ibracon de estrutura e materiais, Vol. 13, nº 2, pp. 248-273, 2020.

ROSA, L.M.P. Interação Solo-Estrutura – Análise de um Caso de Obra Envolvendo Danos Estruturais, Dissertação de M.Sc., Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2005.

ROSA, L.M.P. Interação Solo-Estrutura: Análise Contemplando a Consideração da Fluência do Concreto. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2015.

RUSSO NETO, L. Interpretação de Deformação e Recalque na Fase de Montagem de Estrutura de Concreto com Fundações em Estaca Cravada”, Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 279 p, 2005.

SANDRONI, S. S. “Young Metamorphic Residual Soils”. Proc. IX Panamerican Conf. on S. M. F. E. , Viña del Mar, V.4 pp. 1771-1778, 1991

SANTA MARIA, P. E. L.; SANTA MARIA, F. C. M. e SANTOS, A. B., 1999, “Análise de Vigas Contínuas com Apoios Viscoelásticos e sua Aplicação a Problemas de Interação Solo-Estrutura”, Revista Solos e Rochas, Vol. 22, nº 3, 1999.

SANTOS, M. G. C. Análise estrutural dos efeitos dos deslocamentos dos apoios de edifícios de paredes de concreto moldadas no local, Dissertação de M.Sc., Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2016.

SAVARIS, G. Monitoração de Recalques de um Edifício e Avaliação da Interação Solo-Estrutura”. Dissertação de M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 177 p, 2008.

SCHMERTMANN, J. H. Static cone to compute settlement over sand, JSMD, ASCE, v.96, nº SM3, pp. 1011-1043, 1970.

SCHMERTMANN, J. H., HARTMAN, J. P., BROWN, P. R. Improved strain influence factor diagrams, JGED, ASCE, v. 104, nº GT8, pp. 1131-1135, 1978.

SHULTZE, E. E SHERIF, G. Prediction of Settlements from Evaluated Settlement Observation for Sand. Proceeding of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol 1.3, pp 225-230, 1973.

SIGMA1 Consultoria e projetos (2021). Comunicação Pessoal.

SILVA, M. K. Interação Solo-Estrutura – Uma Contribuição à Interpretação dos Registros Experimentais, Dissertação de M.Sc., Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2005.

SILVA, A. C. Interação solo-estrutura no projeto de edifícios altos, Dissertação de M.Sc., Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2018.

STEINBRENNER, W. Tafeln sur Setzungberechnung, Die Strasse, v. 1, 121p, 1934.

TEIXEIRA, A. H. Um aperfeiçoamento das sondagens de simples reconhecimento à percussão”. In: ABMS, EESC/USP, Solos do interior de São Paulo, Capítulo 4, São Carlos, SP, Brasil, 1993, p.75 – 93, 1993.

TEIXEIRA, A. H., GODOY, N. S. Análise, projeto e execução de fundações rasas, In: HACHICH et al. (eds.), Fundações: teoria e prática, São Paulo: PINI, cap. 7, p. 227-264, 1996.

VARGAS, M.; SILVA, F.R. O problema das fundações de edifícios altos: experiência em São Paulo e Santos. In: Conferência Sul-Americana sobre Edifícios Altos, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ASCE/IABSE, 1973.

VELLOSO, P. P. C. Estacas escavadas. Aspectos Geotécnicos de projeto. Anais do Ciclo de Palestras sobre Estacas Escavadas. Clube de Engenharia, 1981.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R., Fundações. São Paulo: Editora Oficina de Texto, 2010.

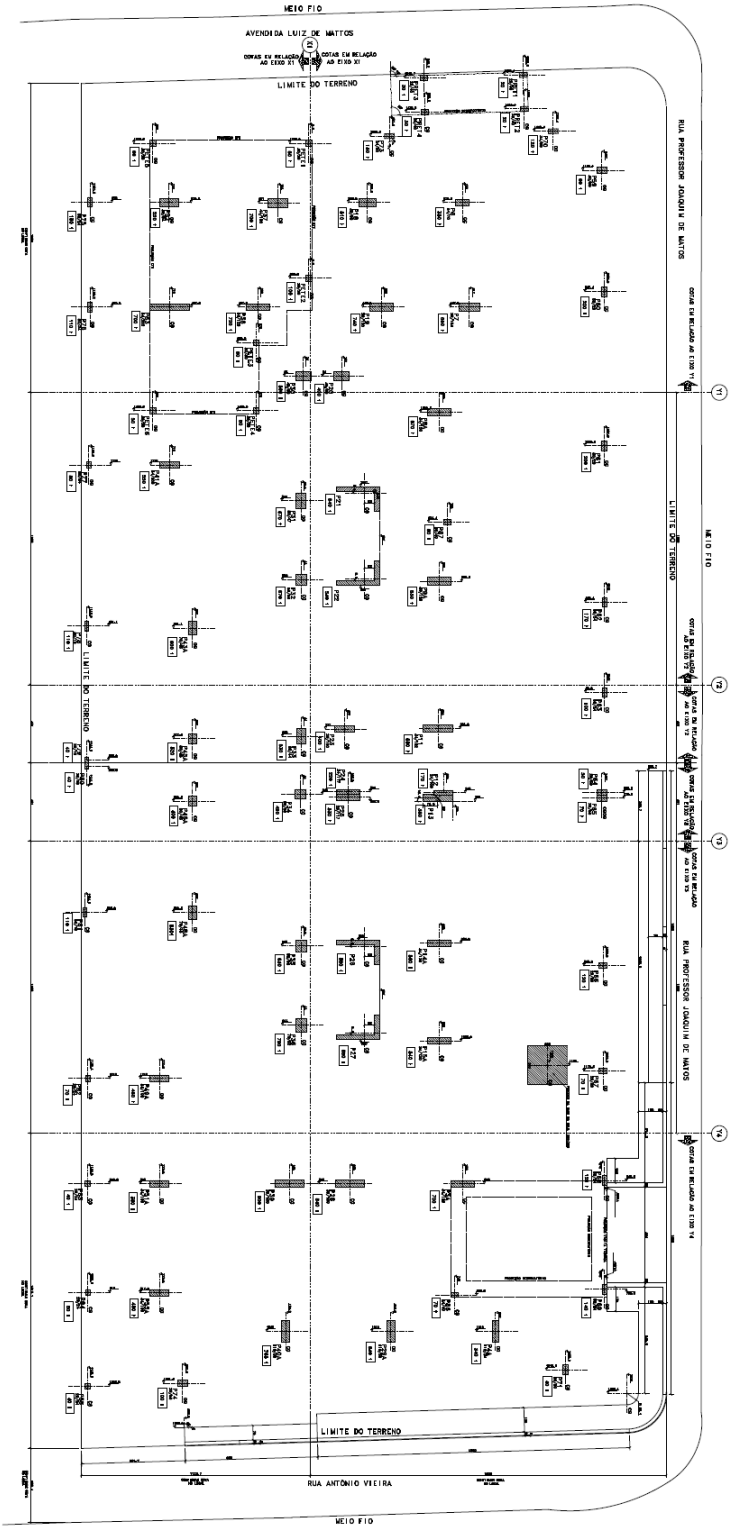
VENÂNCIO, P. B. F. (2008). Dosagem de argamassa para estaca raiz. Dissertação de M.Sc, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

VESIC, A.S. Design of Pile Foundations, National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Practice Noº 42, Transportation Research Board, Washington, DC, 1977.

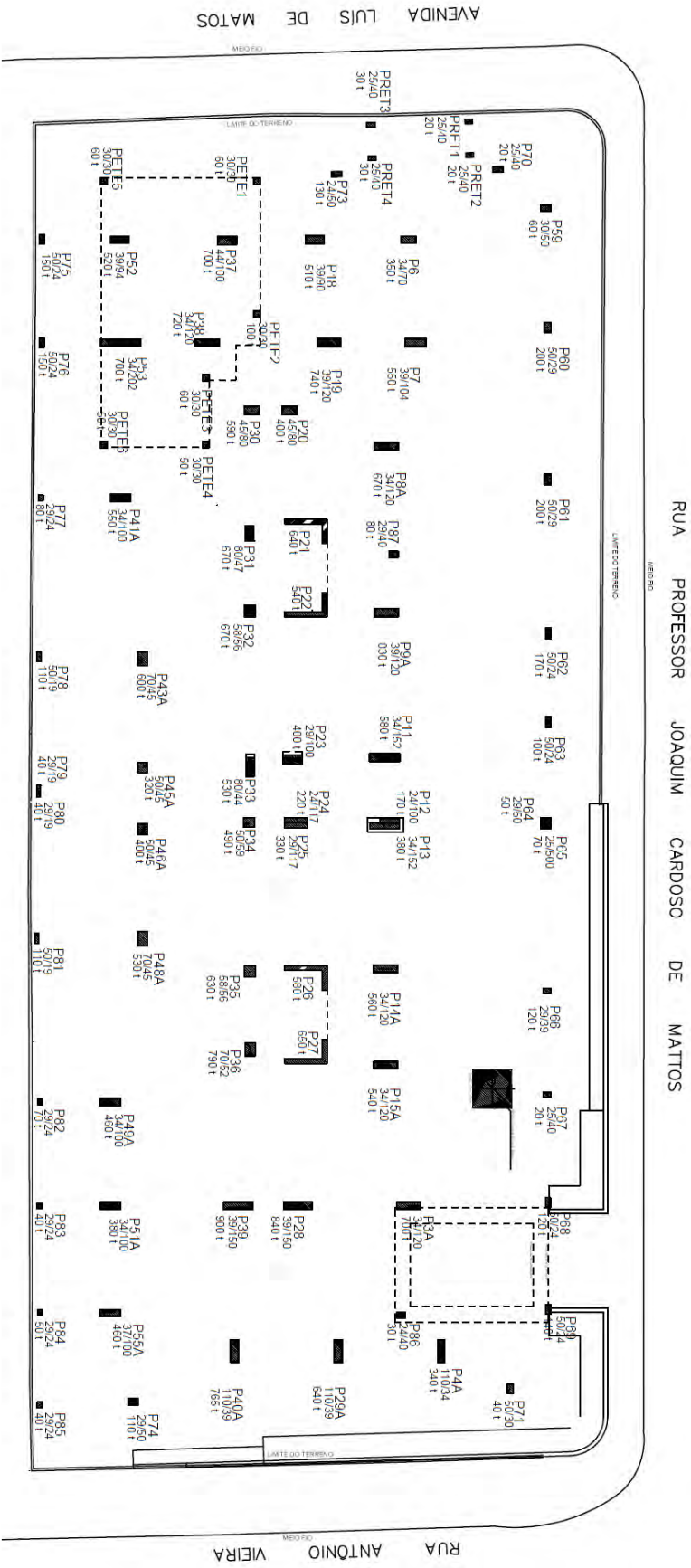
WINKLER, E. Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit. Prague: Dominicus, 1867.

Apêndices

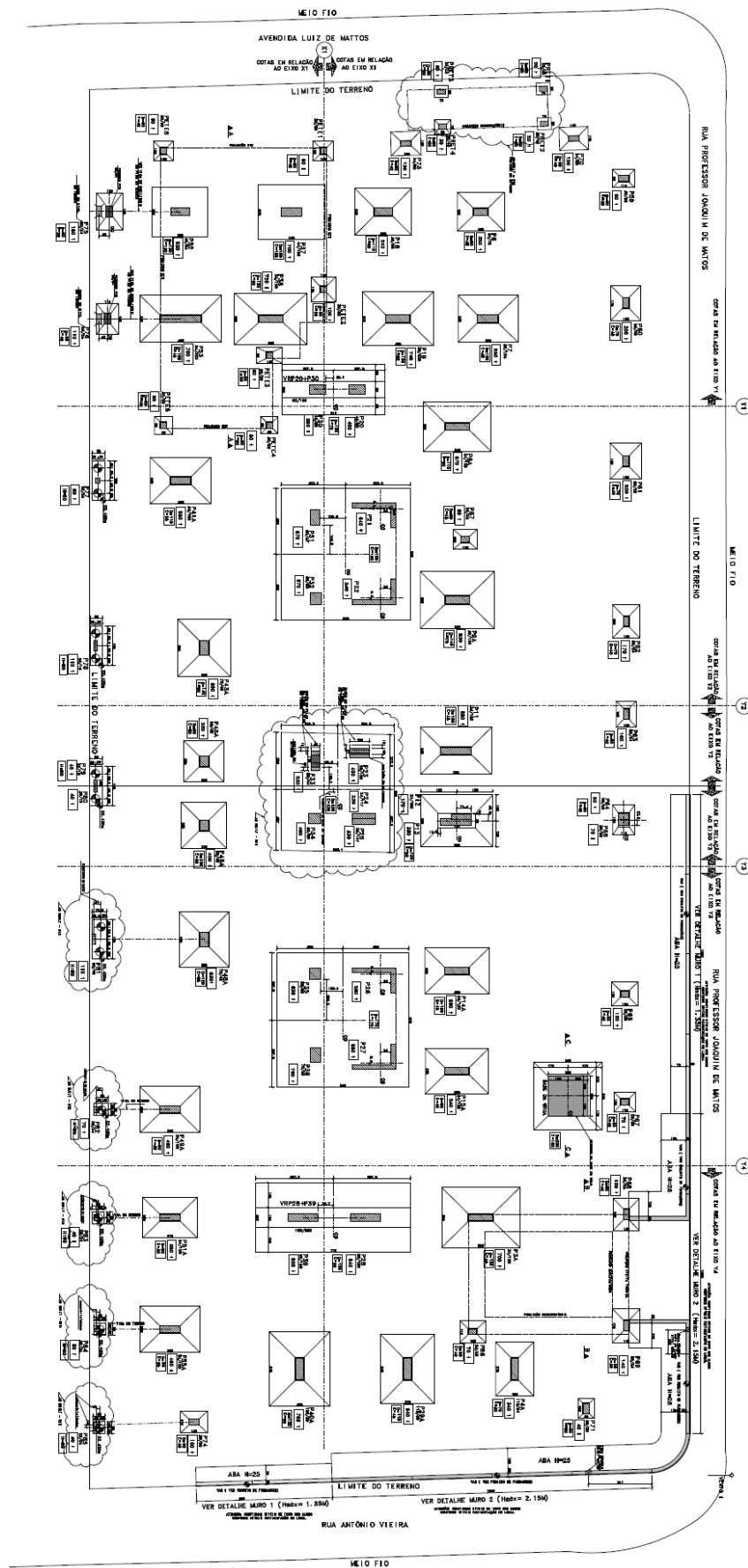
Apêndice 1: Plantas



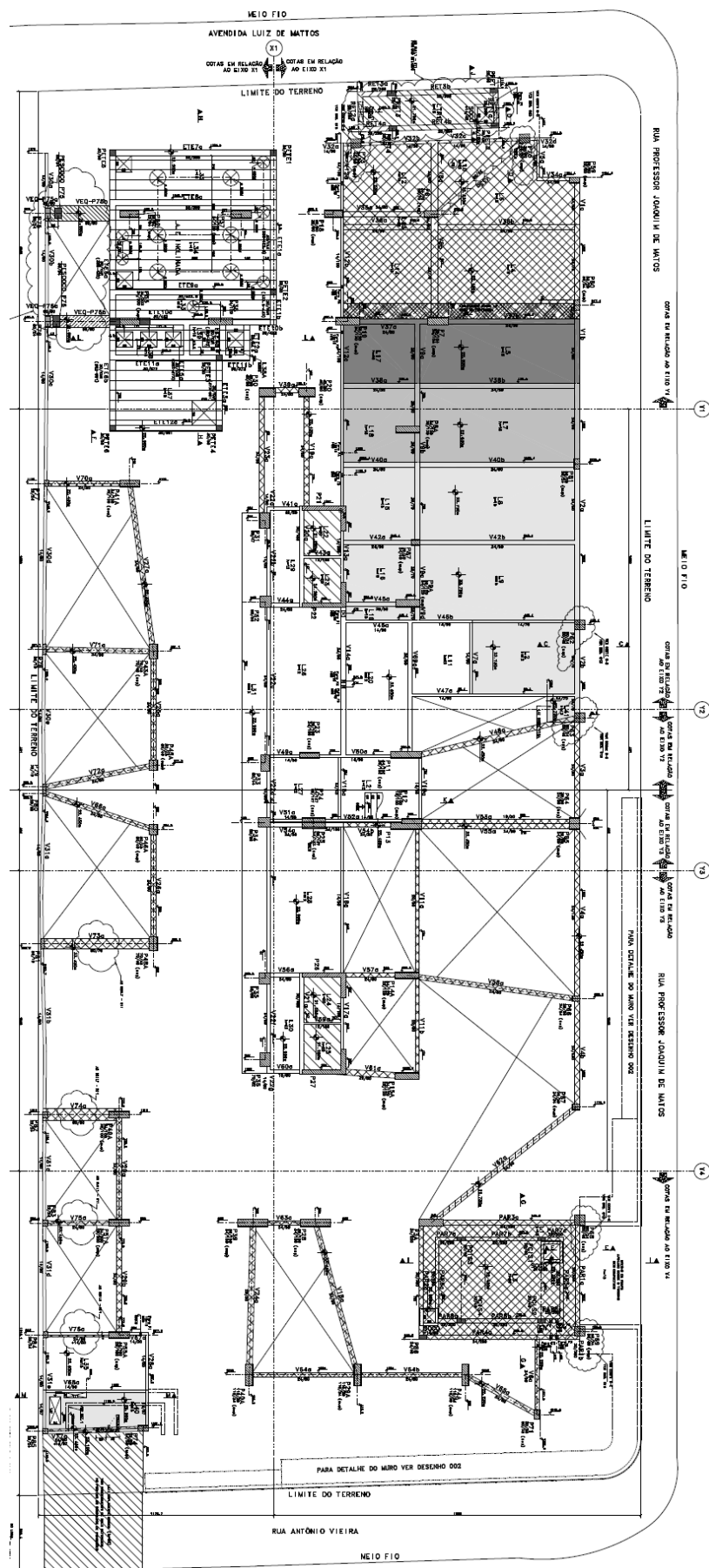
Locação e Cargas nos Pilares



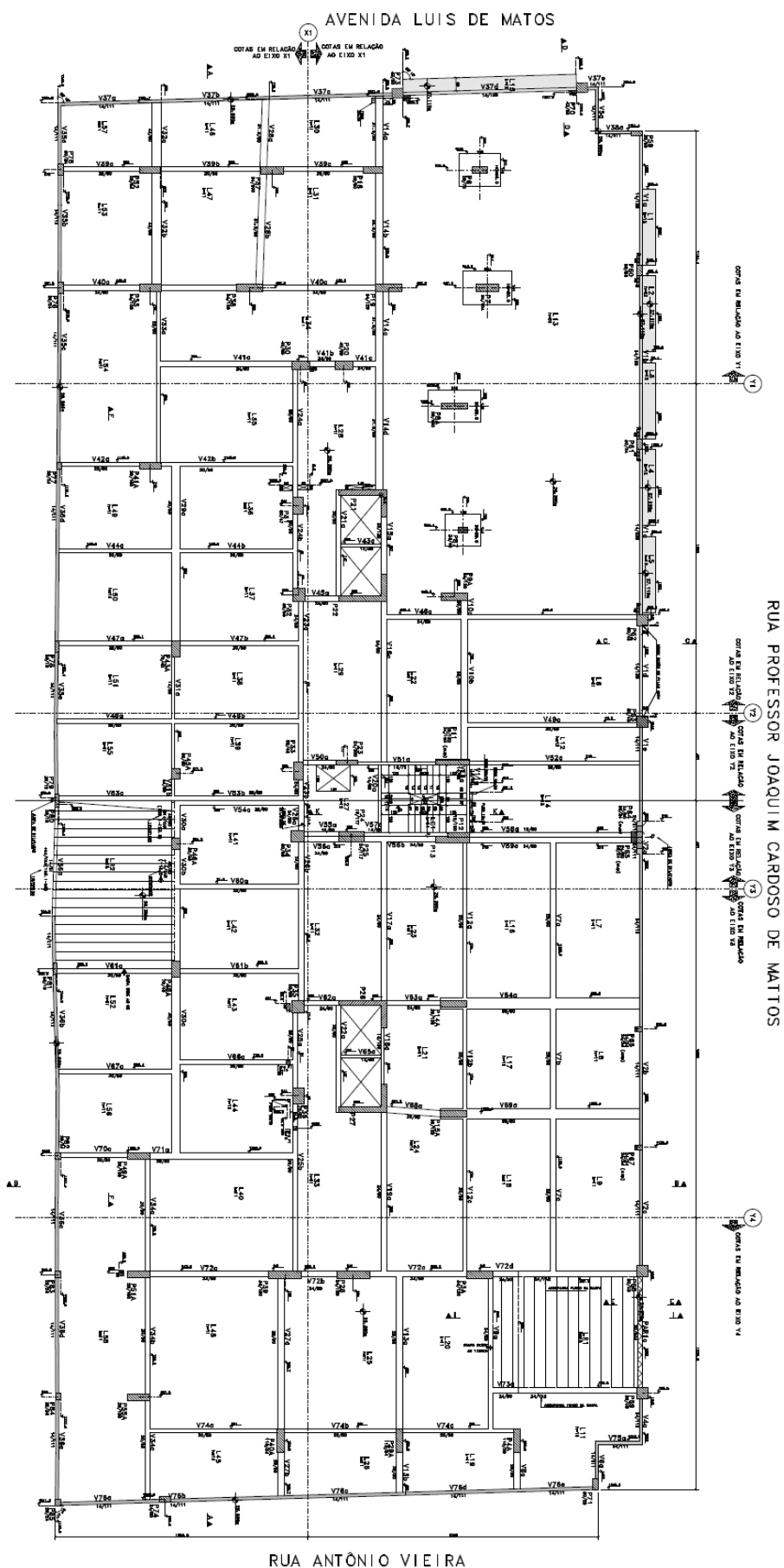
Cargas e dimensões dos Pilares

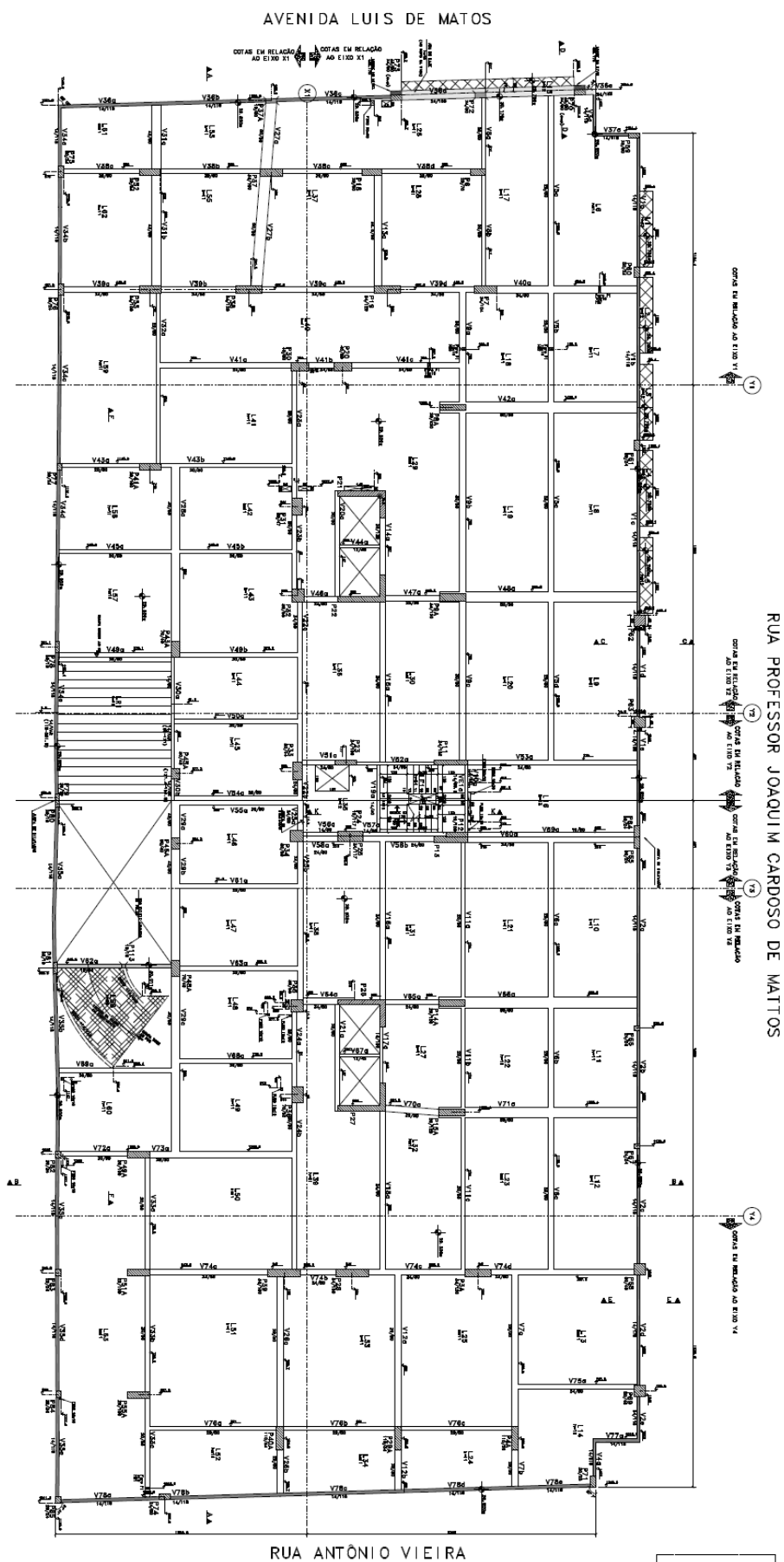


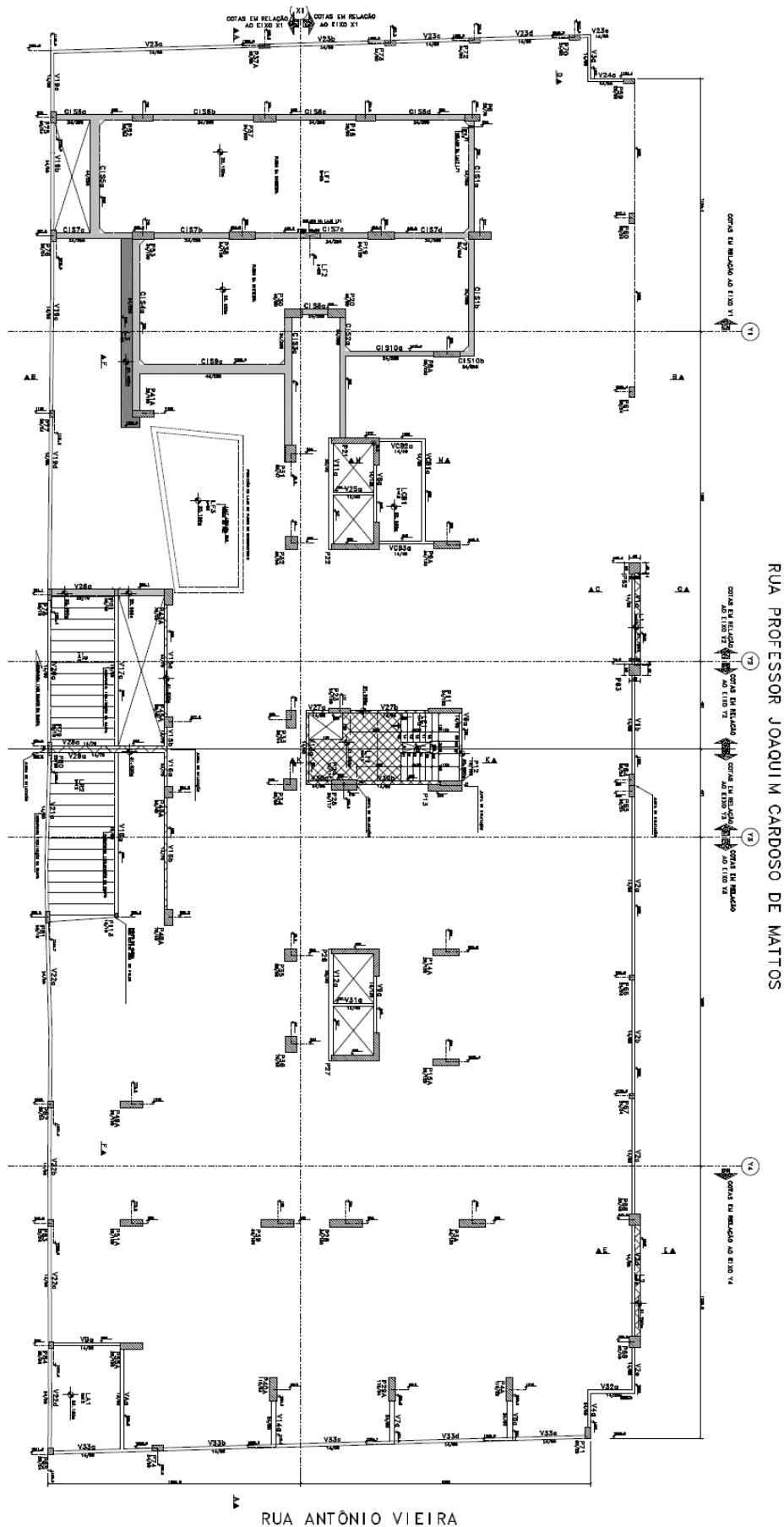
Formas da Fundação



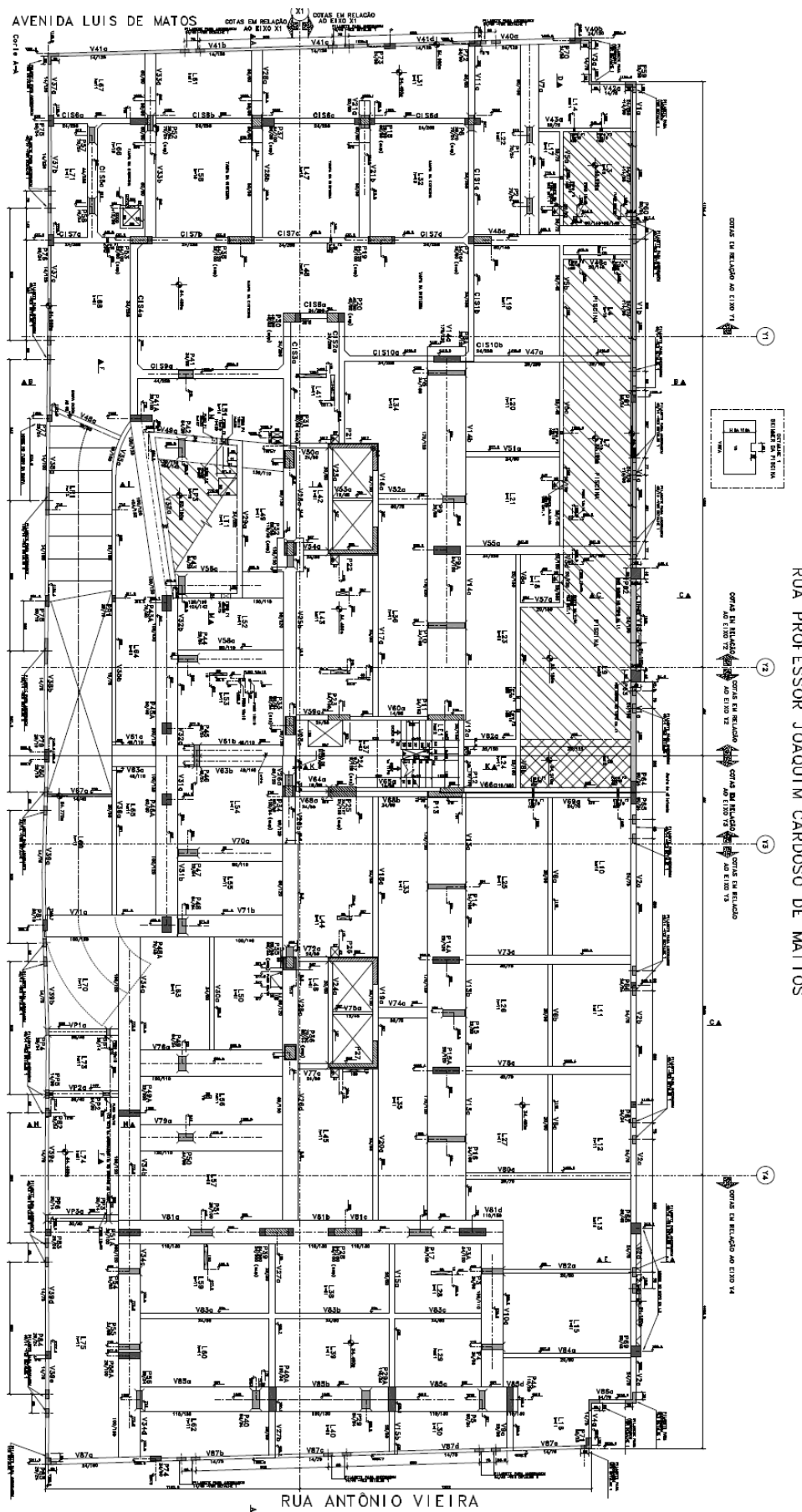
Formas Piso do Térreo



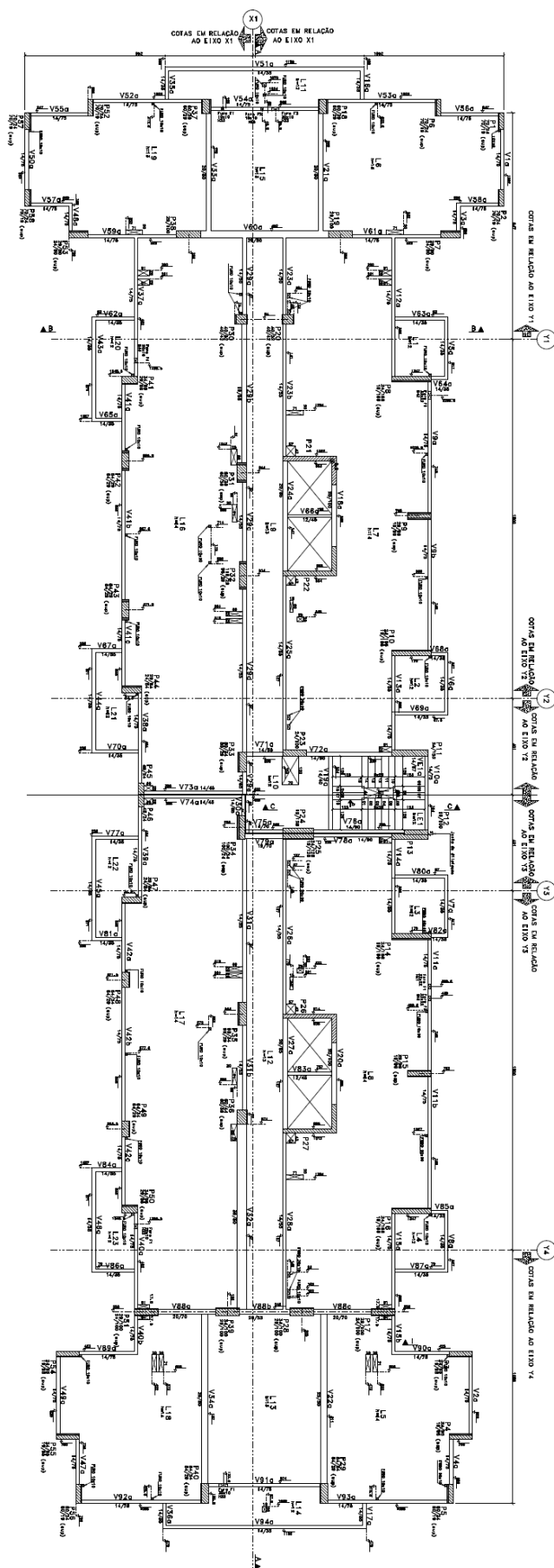


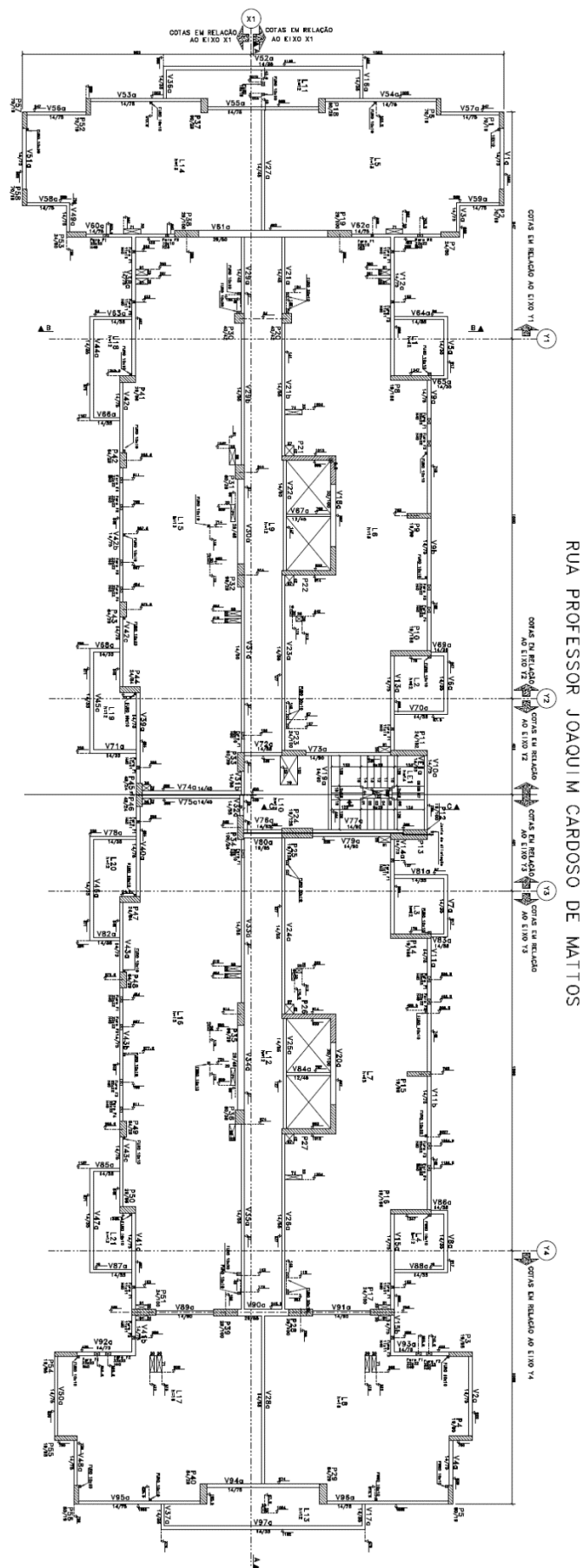


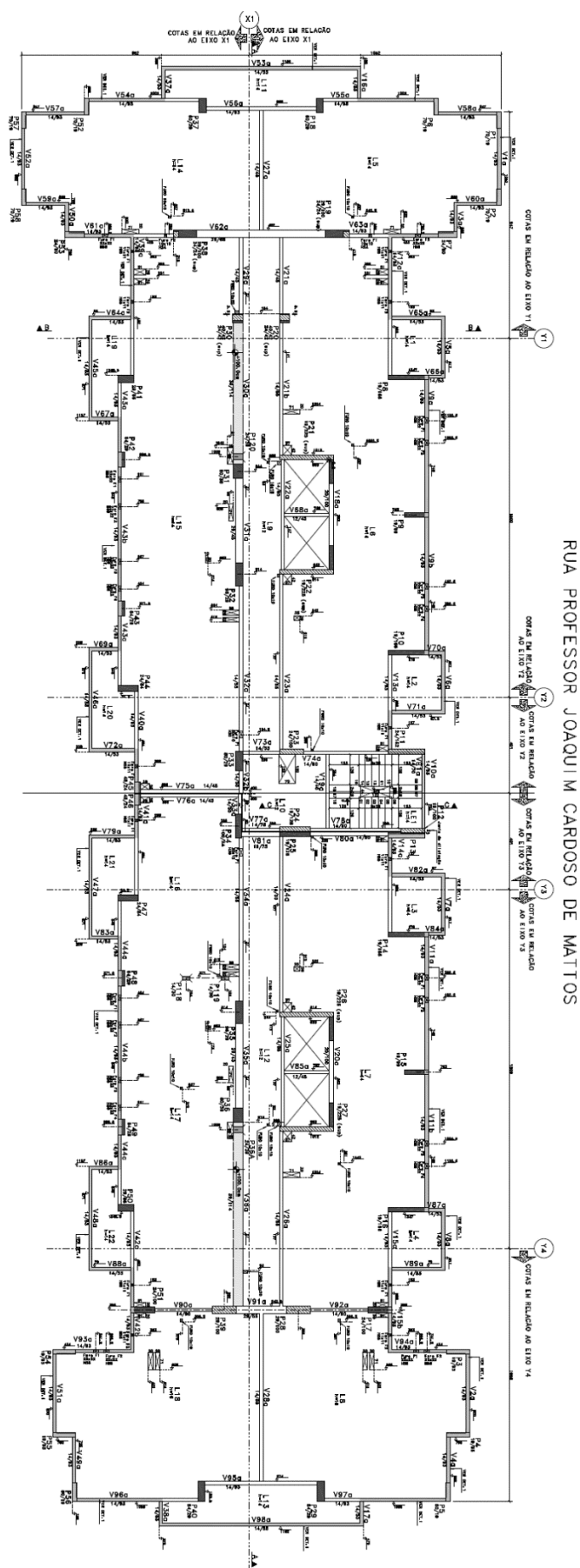
Formas do fundo da caixa d'água (PUC)

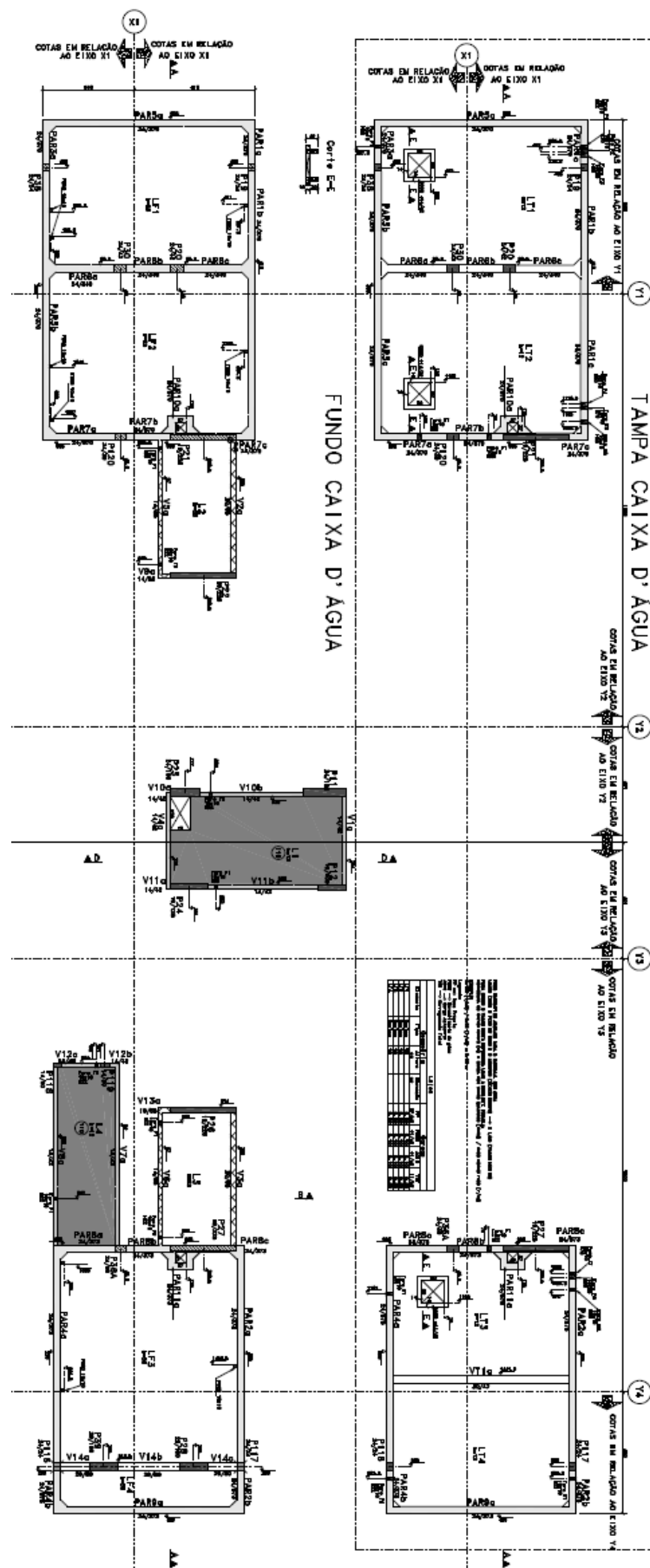


Formas do Piso do PUC



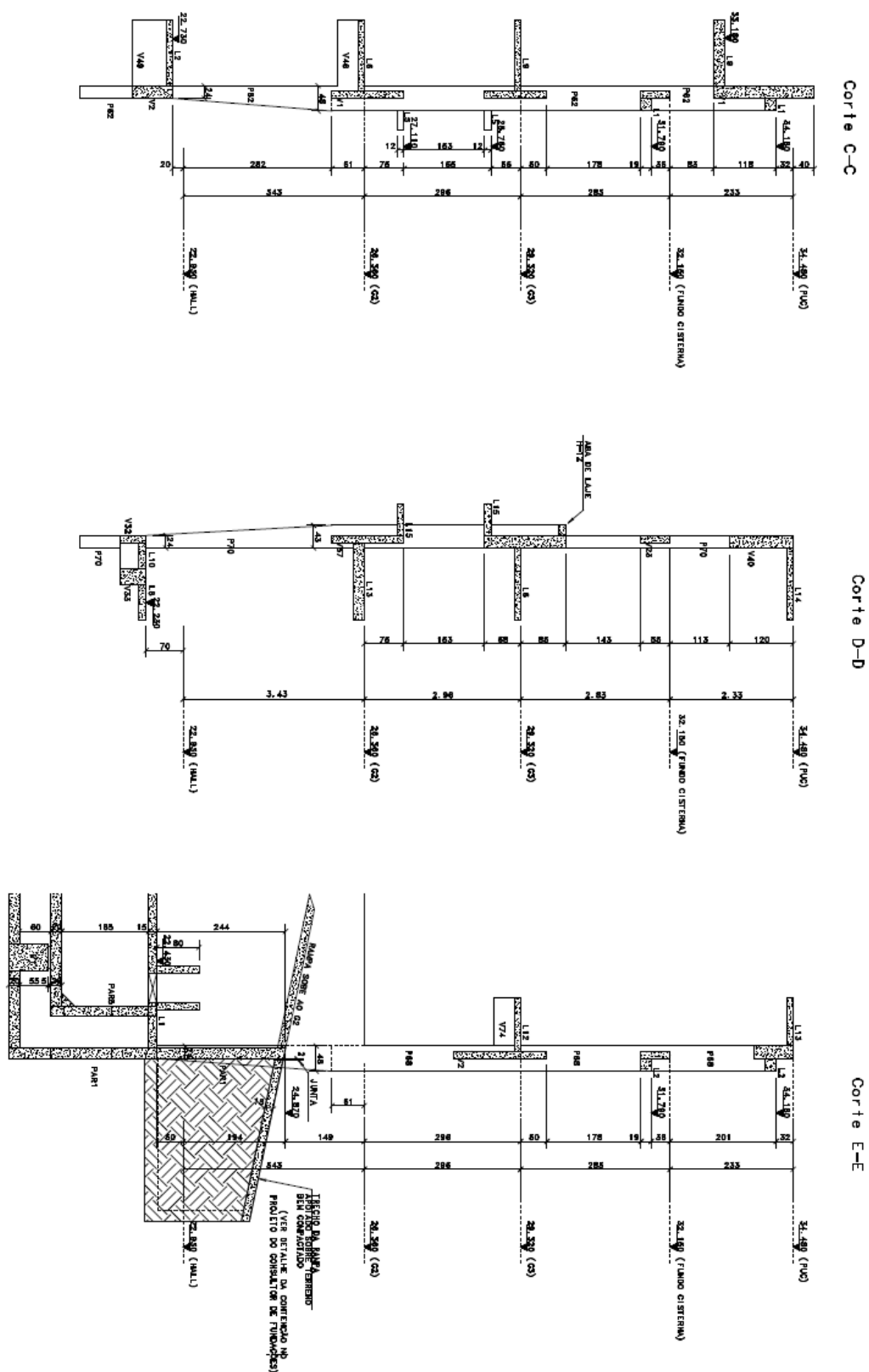






Formas da Caixa d'água

Apêndice 2: Cortes

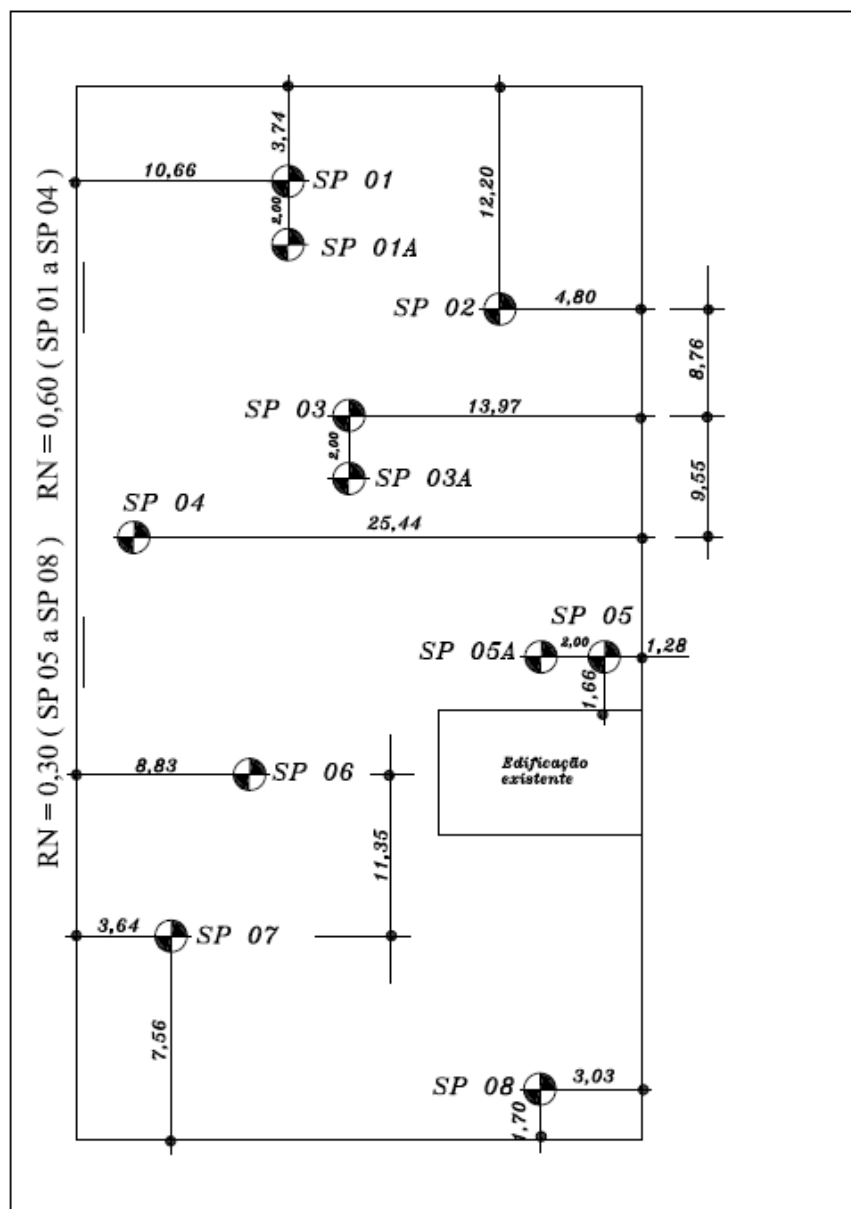


Corte C-C, D-D e E-E (Térreo ao PUC)

Apêndice 3: Primeira campanha de Sondagens

Rua Antonio Vieira – Bairro da Luz – Nova Iguaçu – RJ.

*Rua Professor Joaquim Cardoso de Matos – Bairro da Luz –
Nova Iguaçu – RJ.*



Rua Luiz de Mattos – Bairro da Luz – Nova Iguaçu – RJ.

Localização das Sondagens



MITAF

AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA - ME

Rua Freijs: nº 216 - Aeli - Jacarepaguá / Rio de Janeiro / CEP: 22753-902

Tel. 3852 5903 / 39672 7514 / 99927 6438

OBRA: VISIONE 11 INCORPORAÇÃO E CONSTRUÇÃO LTDA

LOCAL: RUA PROF. JOAQUIM CARDOSO DE MATOS, S/Nº - BARRO DA LUZ - N. IGUAÇU

IDENTIFICAÇÃO:

FOLHA: 01

SP01

DATA INÍCIO: 02/04/2018

DATA TÉRMINO: 02/04/2018

AMOSTRADOR PADRÃO

Ø INTERNO = 1 1/2"

Ø EXTERNO = 2"

PESO BATENTE = 65 kg

ALTURA DE QUEDA = 75 cm

COORDENADAS UTM:

E: N:

RN: DO PORTÃO

COTA: 0,60

NA INICIAL: 1,55

NA FINAL: NFO

TH - TRADO HELICOIDAL:

CA - CIRCULAÇÃO DE ÁGUA:

TRADO CAVADEIRA: 0,00 a 1,00

COTA

REVESTIMENTO

MA

AVANÇO

TC 1,00

3 5 5 8 10

4 7 9 11 16

8 10 13 18 23

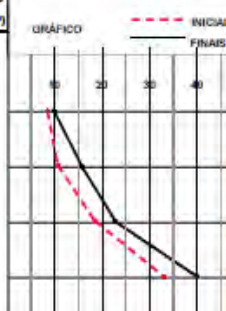
14 19 21 33 40

Nº DE GOLPES

1º	2º	3º	INICIAIS	FINAIS
16	16	16	(1º e 2º)	(2º e 3º)
-	-	-	-	-
3	5	5	8	10
4	7	9	11	16
8	10	13	18	23
14	19	21	33	40

GRÁFICO

INICIAIS FINAIS



AMOSTRA

0

1 1,76m

2

3 3,80m

4 4,90m

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL

Aterro argilo arenoso com pedregulhos cinza. MEDIO A RIJO.

Argila silto arenosa cor variegada. DE RUJA A DURA.

Argila arenosa cor variegada. DURA.

Impenetrável ao trépano. Rocha ou matacão.

OBIS: SONDAGEM ARQUIVADA: 01-2502018

RESPONSÁVEL:

ESC. VERT: 1/100

DATA: 03/04/2018

TÉCNICO: Thilam

AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA-ME. CAU/RJ 26639-6

 AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA - ME (Rua Fredj, nº 216 - And - Jacarepaguá / Rio de Janeiro / CEP: 22753-802 Tel: 3852 5903 / 99872 7514 / 99927 6436)										
OBRA: VISIONE 11 INCORPORAÇÃO E CONSTRUÇÃO LTDA LOCAL: RUA PROF. JOAQUIM CARDOSO DE MATOS, 84º - BAIRRO DA LUZ - N. IGUAÇU		IDENTIFICAÇÃO: FOLHA: 01		SP01A						
DATA INÍCIO: 02/04/2018 DATA TÉRMINO: 02/04/2018		AMOSTRADOR PADRÃO Ø INTERNO = 1 1/2" Ø EXTERNO = 2" PESO BATENTE = 65 kg ALTURA DE QUEDA = 75 cm						COORDENADAS UTM: E: N: RN: DO PORTÃO COTA: 0,30		NA INICIAL: 1,59 NA FINAL: NFO TH - TRADO HELICOIDAL: CA - CIRCULAÇÃO DE ÁGUA: TRADO CAVADEIRA: 0,00 a 1,00
COTA	REVESTIMENTO	NA	AVANÇO	Nº DE GOLPES				GRÁFICO	AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL
				1º	2º	3º	INICIAIS			
				16	16	16	(1º e 2º)	(2º e 3º)		
			TC 1,00	-	-	-	-	-		
				3	4	4	7	8		0
				3	3	7	6	10		1
				4	3	5	7	8		2
				4	6	8	10	14		3
				6	9	11	15	20		4
				14	19	23	33	42		5
										6
										7
										8
										9
										10
										11
										12
										13
										14
										15
										16
										17
										18
										19
										20
										21
										22
										23
										24
										25
										26
										27
										28
										29
										30
										31
										32
										33
										34
										35
										36
										37
										38
										39
										40
										41
										42
										43
										44
										45
										46
										47
										48
										49
										50
										51
										52
										53
										54
										55
										56
										57
										58
										59
										60
										61
										62
										63
										64
										65
										66
										67
										68
										69
										70
										71
										72
										73
										74
										75
										76
										77
										78
										79
										80
										81
										82
										83
										84
										85
										86
										87
										88
										89
										90
										91
										92
										93
										94
										95
										96
										97
										98
										99
										100
OBS: SONDAGEM ARQUIVADA: 01-250/2018										RESPONSÁVEL:
ESC. VERT.: 1/100										DATA: 03/04/2018
TECNICO: THIAGO										AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA-ME, CAU/RJ 26639-6



MITAF

AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA - ME

Rua Fradeto, nº 216 - Jd. Jacarandá / Rio de Janeiro / CEP: 22755-802

Tel. 3652 5903 / 39672 7514 / 99927 5436

OBRA: VISIONE11 INCORPORAÇÃO E CONSTRUÇÃO LTDA

LOCAL: RUA PROF. JOAQUIM CARDOSO DE MATOS, S/Nº - BARRO DA LUZ - N. IGUAÇU

IDENTIFICAÇÃO:

FOLHA: 01

SP02

DATA INÍCIO: 02/04/2018

DATA TÉRMINO: 02/04/2018

AMOSTRADOR PADRÃO

Ø INTERNO = 1 7/8"

Ø EXTERNO = 2"

PESO BATENTE = 65 kg

ALTURA DE QUEDA = 75 cm

COORDENADAS UTM:

E: N:

RN: DO PORTÃO

COTA: 0,40

NA INICIAL: 1,50

NA FINAL: NFO

TH - TRADO HELICOIDAL:

CA - CIRCULAÇÃO DE ÁGUA:

TRADO CAVADEIRA: 0,00 a 1,00

COTA

INVESTIMENTO

MA

AVANÇO

Nº DE GOLPES

Nº DE GOLPES			INICIAIS (1ª e 2ª)	FINAIS (2ª e 3ª)
1º	2º	3º		
16	16	16		
4	3	5	7	8
3	6	8	9	14
9	9	14	18	23
18	24	31	42	55

GRÁFICO



AMOSTRA

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19

IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL

Aleto arenoso com pedregulhos
cinza
DE POUCO COMPACTO A MEDIANAMENTE
COMPACTO.

1,93m

Argila arenosa
cor variegada.
RUJA.

2,59m

Areia silteosa pouco argilosa micacea
cor variegada.
MUITO COMPACTA.

4,61m

Impenetrável ao trépano.
Rocha ou matacão

OBIS: SONDAGEM ARQUIVADA: 01-2502018

RESPONSÁVEL:

ESC. VERT: 1/100

DATA: 03/04/2018

TÉCNICO: Thilzoo

AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA-ME, CAU/RJ 26639-6

AMITAF

amitafarquit@ymail.com.br
amitafeneng@ymail.com

DATA INÍCIO:
29/03/2018
DATA TÉRMINO:
29/03/2018

OBS: SONDAGEM ARQUIVADA: 01-2502018

ESC. VERT.: 1/100 DATA: 03/04/2018 TÉCNICO: Thiago

AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA - ME

Rua Fredô, nº 218 - Anil - Jacarepaguá / Rio de Janeiro / CEP: 22753-802
Tel. 3852 5903 / 99872 7514 / 99927 6438

OBRA:	VISIONE 11 INCORPORAÇÃO E CONSTRUÇÃO LTDA
LOCAL:	RUA PROF. JOAQUIM CARDOSO DE MATOS, SNº - BAIRRO DA LUZ - N. IGAUÇÓ

IDENTIFICAÇÃO:	FOLHA: 01
-----------------------	-----------

SP03

AMOSTRADOR PADRÃO
Ø INTERNO = 1 7/8"
Ø EXTERNO = 2"
PESO BATENTE = 65 kg
ALTURA DE QUEDA = 75 cm

COORDENADAS UTM:
E: N:
RN: DO PORTÃO
COTA: 0,50

NA INICIAL: 1,28
NA FINAL: NFO
TH - TRADO HELICOIDAL:
CA - CIRCULAÇÃO DE ÁGUA:
TRADO CAVADEIRA: 0,00 a 1,00

AVANÇO	Nº DE GOLPES			INICIAIS (1ª x 2ª)	FINAIS (2ª x 3ª)
	1º	2º	3º		
TC 1,00	16	16	16	-	-
2	4	4		6	8
4	6	8		10	14
7	9	10		16	19
15	19	26		34	45

IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL	
Alamo argilo arenoso com pedregulhos cor variegada. MÉDIA.	1,84m
Argila silto arenosa cor variegada. DE RUJA A DURA.	3,55m
Arela siltosa pouco argilosa micacea cor variegada. MUITO COMPACTA.	4,95m
Impenetrável ao trépano. Rocha ou matacão	

RESPONSÁVEL:

AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA-ME, CAU/RJ 26639-5



MITAF

AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA - ME

Rua Freijó, nº 216 - Anil - Jacarepaguá / Rio de Janeiro / CEP: 22755-902

Tel: 3852 5903 / 99872 7514 / 99927 6438

OBRA: VISIONE 11 INCORPORAÇÃO E CONSTRUÇÃO LTDA

LOCAL: RUA PROF. JOAQUIM CARDOSO DE MATOS, S/Nº - BARRO DA LUZ - N. IGUAÇU

IDENTIFICAÇÃO:

FOLHA: 01

SP03A

DATA INÍCIO: 29/03/2018

DATA TÉRMINO: 29/03/2018

AMOSTRADOR PADRÃO

Ø INTERNO = 1 7/8"

Ø EXTERNO = 2"

PESO BATENTE = 65 kg

ALTURA DE QUEDA = 75 cm

COORDENADAS UTM:

E: N:

RN: XXXXXXX

COTA: XXXX

NA INICIAL: 1,20

NA FINAL: NFO

TH - TRADO HELICOIDAL:

CA - CIRCULAÇÃO DE ÁGUA:

TRADO CAVADEIRA: 0,00 a 1,00

COTA

REVESTIMENTO

MA

AVANÇO

TC 1,00

-5,000

-10,000

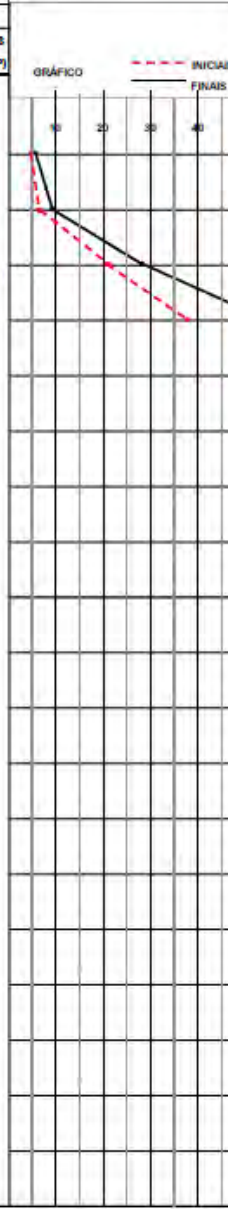
-15,000

Nº DE GOLPES			INICIAIS (1º e 2º)	FINAIS (2º e 3º)
1º	2º	3º		
16	16	16		
2	2	3	5	6
3	4	5	7	9
8	13	15	21	28
16	22	32	38	54

GRÁFICO

--- INICIAIS

— FINAIS



AMOSTRA



IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL

0,31m

Aterro argilo arenoso cinza.

3,94m

Aterro argila siltosa arenoso marrom. DE MOLE A DURA.

4,60m

Areia siltosa pouco argilosa micácea cor variegada. MUITO COMPACTA.

Impenetrável ao trépano.

OB: SONDAGEM ARQUIVADA: 01-2902018

RESPONSÁVEL:

ESC. VERT: 1/100

DATA: 03/04/2018

TÉCNICO: Thilao

AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA-ME, CAL/RJ 26639-6

 AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA - ME Rua Fração, nº 218 - Atil - Jacarepaguá / Rio de Janeiro / CEP: 22753-802 Tel: 3852 5903 / 99872 7514 / 99927 6438									
OBRA: VISIONE 11 INCORPORAÇÃO E CONSTRUÇÃO LTDA LOCAL: RUA PROF. JOAQUIM CARDOSO DE MATOS, S/Nº - BARRIO DA LUZ - N. IGUAÇU		IDENTIFICAÇÃO: FOLHA: 01		SP04					
DATA INÍCIO: 29/03/2018 DATA TÉRMINO: 29/03/2018		AMOSTRADOR PADRÃO Ø INTERNO = 1 3/4" Ø EXTERNO = 2" PESO BATENTE = 65 kg ALTURA DE QUEDA = 75 cm				COORDENADAS UTM: E: N: RN: DO PORTÃO COTA: 1,00		NA INICIAL: 1,00 NA FINAL: NFO TH - TRADO HELICOIDAL: CA - CIRCULAÇÃO DE ÁGUA: TRADO CAVADEIRA: 0,00 a 1,00	
COTA 	REVESTIMENTO 	NA TC 1,00	AVANÇO 1 2 3 15 16 17	Nº DE GOLPES INICIAIS (1ª e 2ª) FINAIS (2ª e 3ª)		GRÁFICO 	AMOSTRA 	IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL	
				1 2 3 15 16 17				0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19	
								0,54m	Alamo argilo arenoso cinza.
								3,68m	Argila silto arenoso marrom. DE MOLE A DURA.
								4,48m	Areia silteosa pouco argilosa micácea cor variegada. MUITO COMPACTA.
									Impenetrável ao trépano. Rocha ou matacão
OBS: SONDADEM ARQUIVADA: 01-2502018								RESPONSÁVEL:	
ESC. VERT.: 1/100		DATA: 03/04/2018		TÉCNICO: TNA200		AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA-ME, CAL/RJ 26639-8			

[illegible]



AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA - ME

Rua Fradys, nº 215 - Ateli - Jacarepaguá / Rio de Janeiro / CEP: 22753-802

Tel: 3852 5903 / 99872 7514 / 99927 6438

OBRA: VISIONE 11 INCORPORAÇÃO E CONSTRUÇÃO LTDA

LOCAL: RUA PROF. JOAQUIM CARDOSO DE MATOS, S/Nº - BAIRRO DA LUZ - N. IGUAÇU

IDENTIFICAÇÃO:

FOLHA: 01

SP06

DATA INÍCIO: 02/04/2018

DATA TÉRMINO: 02/04/2018

AMOSTRADOR PADRÃO

Ø INTERNO = 1 7/8"

Ø EXTERNO = 2"

PESO BATENTE = 65 kg

ALTURA DE QUEDA = 75 cm

COORDENADAS UTM:

E: N:

RN: DO PORTÃO

COTA: 0,50

NA INICIAL: 0,90

NA FINAL: NFO

TH - TRADO HELICOIDAL:

CA - CIRCULAÇÃO DE ÁGUA:

TRADO CAVACEIRA: 0,00 a 1,00

IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL

Argila arenosa cor variegada.

DE POUCO COMPACTA A MEDIANAMENTE COMPACTA.

1,90m

Argila silteosa pouco arenosa micacea cor variegada.

DE MEDIANAMENTE COMPACTA A MUITO COMPACTA.

4,16m

Impenetrável ao trépano.

Rocha ou matacão

COTA

REVESTIMENTO

MA

AVANÇO

1º 2º 3º

16 16 16

INICIAIS

FINAIS

(1º e 2º)

(2º e 3º)

GRÁFICO

INICIAIS

FINAIS

AMOSTRA

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

TC

1,00

3

5

5

8

10

13

17

21

30

38

16

23

28

39

51

-5,000

-10,000

-15,000

OBIS: SONDAGEM ARQUIVADA: 01-259/2018

RESPONSÁVEL:

ESC. VERT: 1/100

DATA: 05/04/2018

TÉCNICO: Thiago

AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA-ME, CAU/RJ 26639-6



AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA - ME
Rua Freijó, nº 216 - Anil - Jacarepaguá / Rio de Janeiro / CEP: 22755-902
Tel: 3852 5903 / 99872 7514 / 99927 6438

SP07

OBRA: VISIONE 11 INCORPORAÇÃO E CONSTRUÇÃO LTDA

LOCAL: RUA PROF. JOAQUIM CARDOSO DE MATOS, S/Nº - BARRO DA LUZ - N. IGUAÇU

IDENTIFICAÇÃO:

FOLHA: 01

DATA INÍCIO: 03/04/2018

DATA TÉRMINO: 03/04/2018

AMOSTRADOR PADRÃO

Ø INTERNO = 1 7/8"

Ø EXTERNO = 2"

PESO BATENTE = 65 kg

ALTURA DE QUEDA = 75 cm

COORDENADAS UTM:

E: N:

RN: DO PORTÃO

COTA: 0,30

NA INICIAL: 0,88

NA FINAL: NFO

TH - TRADO HELICOIDAL:

CA - CIRCULAÇÃO DE ÁGUA:

TRADO CAVADEIRA: 0,00 a 1,00

COTA

REVESTIMENTO

MA

AVANÇO

TC

1º

2º

3º

INICIAIS

FINAIS

16

16

16

(1º e 2º)

(2º e 3º)

GRÁFICO

--- INICIAIS

— FINAIS

10 20 30 40

AMOSTRA

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL

Aterro argilo arenoso marrom. MÉDIO.

1,53m

Argila siltosa pouco arenosa cor variegada DURA.

3,79m

Impenetrável ao trépano. Rocha ou matacão

DBS: SONDAGEM ARQUIVADA: 01-2502018

RESPONSÁVEL:

ESC. VERT: 1/100

DATA: 05/04/2018

TÉCNICO: Thilson

AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA-ME, CAL/RJ 26639-6



AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA - ME

Rua Freijó, nº 216 - Anil - Jacarepaguá / Rio de Janeiro / CEP: 22753-002

Tel: 3852 5903 / 99872 7514 / 99927 6436

OBRA:

VISIONE 11 INCORPORAÇÃO E CONSTRUÇÃO LTDA

IDENTIFICAÇÃO:

FOLHA: 01

LOCAL:

RUA PROF. JOAQUIM CARDOSO DE MATOS, S/Nº - BAIRRO DA LUZ - N. IQUAÇU

SP08

DATA INÍCIO:

03/04/2018

DATA TÉRMINO:

03/04/2018

AMOSTRADOR PADRÃO

Ø INTERNO = 1 1/2"

Ø EXTERNO = 2"

PESO BATENTE = 65 kg

ALTURA DE QUEDA = 75 cm

COORDENADAS UTM:

E: N:

RN: DO PORTÃO

COTA: 1,20

NA INICIAL: 0,95

NA FINAL: NFO

TH - TRADO HELICOIDAL:

CA - CIRCULAÇÃO DE ÁGUA:

TRADO CAVADEIRA: 0,00 a 1,00

IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL

COTA

REVESTIMENTO

MA

AVANÇO

1º

2º

3º

INICIAIS

FINAIS

16

16

16

(1º e 2º)

(2º e 3º)

1

2

3

8

14

18

22

32

11

15

26

30

45

GRÁFICO

INICIAIS

FINAIS

18

20

30

40

AMOSTRA

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

0,96m

3,00m

4,00m

Aterro argilo arenoso marrom.

Argila pouco arenoso cinza DE MOLE A DURA.

Areia silteosa pouco argilosa micacea cinza. MUITO COMPACTA.

Impenetrável ao trépano. Rocha ou malacão.

TC

1,00

-5,000

-10,000

-15,000

OBS: SONDAGEM ARQUIVADA: 01-2502018

RESPONSÁVEL:

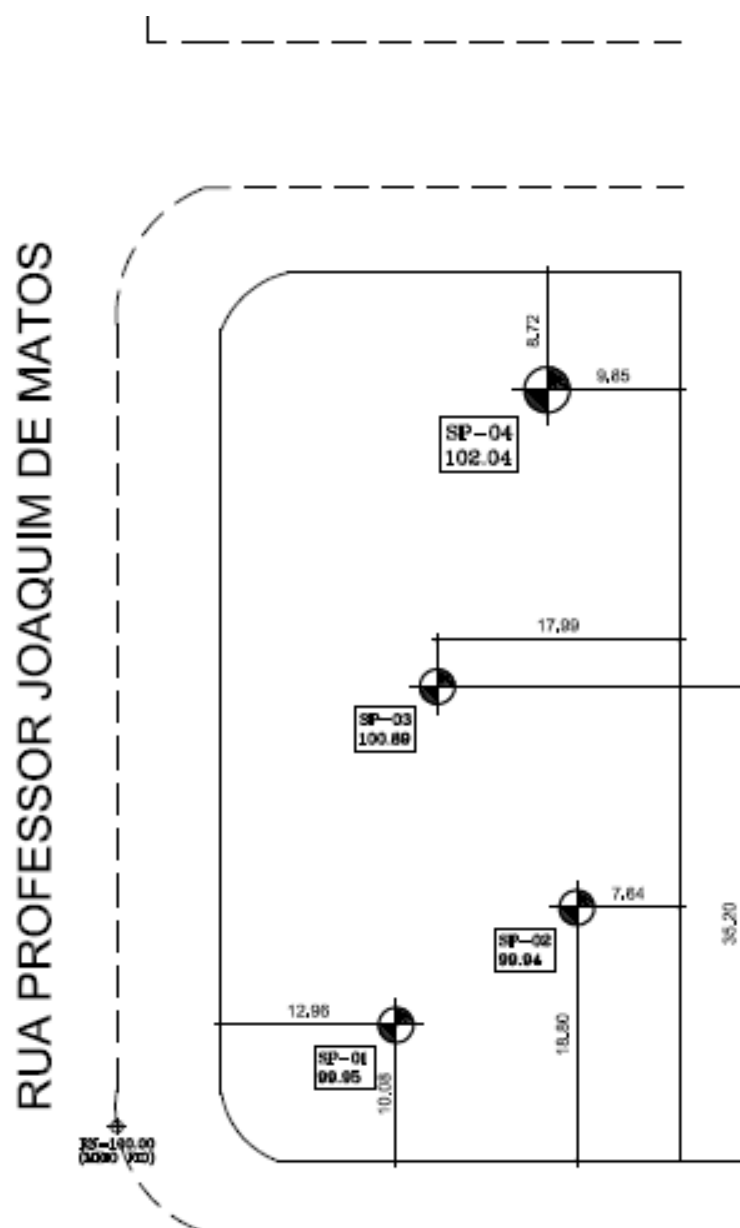
ESC. VERT.: 1/100

DATA: 03/04/2018

TÉCNICO: Thilago

AMITAF ARQUITETURA E ENGENHARIA LTDA-ME. CAU/RJ 26639-6

Apêndice 4: Segunda campanha de Sondagens



[illegible]



GEOLOGUS

2018
No. 10[illegible]

GEOLOGUS

2018
 40th Anniversary[illegible]

[illegible]

GEOLOGUS

2018
50th Anniversary[illegible]

GEOLOGUS

2018

No. of cases

[illegible]



GEOLOGUS

2018
40 años[illegible]

Apêndice 5: Dados das Estacas
Controle de Cravação de estacas – Execução

CLIENTE: N. Z. OLIVEIRA

REL. Nº:

OBRA: MONITORAMENTO E GUARDA

OPERADOR: PAULO ROBERTO

EQUIPAMENTO: MOTO BOMBA

BOMBA:

PRESSÃO NA INJEÇÃO (Kg/cm²)

ESTACA / TIRANTE

Nº

Ø (mm)

DE

ATE

MATERIAL PERFORADO

DESCRIÇÃO

FERRAMENTA

DE CORTE

DATA

HORA

INÍCIO

HORA

FINAL

DATA

HORA

INÍCIO

HORA

FINAL

SACOS

CONCRETO

ACRESCIDA

E 1

410

500

550

800

9000

ALTERAÇÃO DE ROCHA

ALTA

16/04

16:30

15:30

17/04

15:30

17:30

16

E 2

410

550

800

1000

SOLO

ALTERAÇÃO DE ROCHA

ROCHA SAM

16/04

16:30

15:30

17/04

15:30

17:30

16

PARA OBSERVAÇÕES, VIDE VERSO



GEOLOGUS

BOLETIM DE CAMPO - ESTACA / TIRANTE

CLIENTE: VISIONE

REL.N°

OBRA: NOVA GUARU

OPERADOR: CHALO KOBREKTO

EQUIPAMENTO: 2010

BOMBA:

PRESSÃO NA INJEÇÃO

 (kg/cm^3) [illegible]

*PARA OBSERVAÇÕES, VIDE VERSÃO

[illegible]

[illegible]

[illegible]



GEOLOGUS

BOLETIM DE CAMPO - ESTACA / TIRANTE

CLIENTE:	VIZIOMSE	REL. Nº
OBRA:	NOVA IGUAÇU	
OPERADOR:	PAULO ROBERTO	
EQUIPAMENTO:	2010	
BOMBA:		
PRESSÃO NA INJEÇÃO		(kg/cm²)

[illegible]

*PARA OBSERVAÇÕES, VIDE VERSÃO

[illegible]

Apêndice 6: Valores do Módulo de Elasticidade baseados no N_{SPT}

	Aterro Argilo Arenoso
	Argila silto Arenosa
	Areia siltosa

Valores para Sondagem SP01.

SP01										
Prof.(m)	N _{SPT}	Média N _{SPT}	N ₆₀	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1984)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
				E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)
0	-	10	13,7	10,0	0,38	2,85	14,8	0,30	7,00	21,0
1	10									
2	16	19,5	26,7	15,2	0,38	2,85	28,9	0,30	7,00	40,9
3	23									
4	40	40,0	54,8	24,0	0,38	2,85	59,4	0,30	7,00	84,0

Valores para Sondagem SP01A.

SP01A										
Prof.(m)	N _{SPT}	Média N _{SPT}	N ₆₀	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1984)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
				E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)
0	-	8	11	8,7	0,38	2,85	11,9	0,30	7,00	16,8
1	8									
2	10	9,0	12,3	9,4	0,38	2,85	13,3	0,30	7,00	18,9
3	8									
4	14	17,0	23,3	14,0	0,38	2,85	25,2	0,30	7,00	35,7
5	20									
6	42	42	57,5	24,8	0,38	2,85	62,3	0,30	7,00	88,2

Valores para Sondagem SP02.

SP02										
Prof.(m)	N _{SPT}	Média N _{SPT}	N ₆₀	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1984)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
				E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)
0	-	8	10,9	8,7	0,38	2,85	11,8	0,30	7,00	16,8
1	8									
2	14	14	19,2	12,4	0,38	2,85	20,7	0,30	7,00	29,4
3	23	39	53,4	26,7	0,53	1,20	33,9	0,70	3,00	81,9
4	55									

Valores para Sondagem SP03.

SP03										
Prof.(m)	N _{SPT}	Média N _{SPT}	N ₆₀	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1984)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
				E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)
0	-	8	1,0	8,7	0,38	2,85	11,8	0,30	7,00	16,8
1	8									
2	14	16,5	22,6	13,7	0,38	2,85	24,4	0,30	7,00	34,6
3	19									
4	45	45	61,7	30,8	0,53	1,20	39,2	0,70	3,00	94,5

Valores para Sondagem SP03A.

SP03A										
Prof.(m)	N _{SPT}	Média N _{SPT}	N ₆₀	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1984)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
				E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)
0	-	7,5	10,3	8,4	0,38	2,85	11,1	0,30	7,00	15,7
1	6									
2	9									
3	28	28,0	38,3	19,2	0,38	2,85	41,5	0,30	7,00	58,8
4	50	50	68,5	34,2	0,53	1,20	43,5	0,70	3,00	105,0

Valores para Sondagem SP04.

SP04										
Prof.(m)	N _{SPT}	Média N _{SPT}	N ₆₀	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1962)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
				E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)
0	-	9	12,3	9,3	0,38	2,85	13,3	0,30	7,0	18,9
1	9									
2	32	34,5	47,3	21,9	0,38	2,85	37,3	0,30	7,0	72,4
3	37									
4	62	62	84,94	42,4	0,53	1,20	39,4	0,70	3,0	130,2

Valores para Sondagem SP05.

SP05										
Prof.(m)	N _{SPT}	Média N _{SPT}	N ₆₀	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1984)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
				E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)
0	-	-	-	8,0	0,38	2,85	10,4	0,30	7,0	14,7
1	7	7	9,59							
2	50	50	68,5	34,2	0,53	1,20	43,5	0,70	3,0	105,0

Valores para Sondagem SP06.Valores para Sondagem SP07.

SP07										
Prof.(m)	N _{SPT}	Média N _{SPT}	N ₆₀	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1984)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
				E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)
0	-	-	-	8,7	0,38	2,85	11,8	0,30	7,00	16,8
1	8	8	10,9							
2	28	43.5	59,6	25,3	0,38	2,85	64,5	0,30	7,00	91,3
3	59									

Valores para Sondagem SM-01.Valores para Sondagem SM-02.

SM2										
Prof.(m)	N _{SPT}	Média N _{SPT}	N ₆₀	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1984)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
				E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)
0	-	-	-	24,0	0,38	2,85	59,3	0,30	7,00	84,0
1	30	40	54,8							
2	50									

Valores para Sondagem SM-03.

SM3										
Prof.(m)	N _{SPT}	Média N _{SPT}	N ₆₀	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1984)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
				E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)
0	-	-	-	22,5	0,38	2,85	53,4	0,30	7,00	75,6
1	19	36	49,3							
2	53									

Valores para Sondagem SM-04.

SM4										
Prof.(m)	N _{SPT}	Média N _{SPT}	N ₆₀	KULHAWY e MAYNE (1990)	BARATA (1984)			TEXEIRA & GODOY (1996)		
				E (MPa)	K (MPa)	a	E (MPa)	K (Mpa)	a	E (MPa)
0	-	-	-	23,0	0,38	2,85	55,6	0,30	7,00	78,7
1	25	37,5	51.5							
2	50									

Apêndice 7: Retroanálise para obtenção do módulo de elasticidade do “impenetrável”.

Utilizaremos a relação apresentada no capítulo 3.

$$E_{calibrado} = \frac{E_{estimado} \cdot \rho_{calculado}}{\rho_{medido}}$$

1. Estimar módulo de elasticidade rocha muito alterado (A4):

Foi utilizada a sapata S15, por apresentar o trecho de rocha muito alterado isolado. Foi Iniciado o processo iterativo com o módulo de elasticidade de 120,5 MPa e através do programa Aoki Lopes foi calculado o recalque de 1,34 cm.

$$E_{calibrado1} = \frac{120,5 \times 1,34}{1,34} = 120 \text{ MPa}$$

Como o recalque medido também foi de 1,34 cm, o processo iterativo se encerra e o valor do Módulo de elasticidade para a rocha muito alterada é de 120 MPa.

2. Estimar módulo de elasticidade solo residual:

Foi utilizada a sapata S55A, por apresentar um trecho de rocha muito alterado e um trecho de solo residual. Como no item 1 já foi possível obter o módulo de elasticidade da rocha muito alterada, basta realizar o mesmo procedimento para o solo residual. Foi Iniciado, assim, o processo iterativo com o módulo de elasticidade de 60,3 MPa e através do programa Aoki Lopes foi calculado o recalque de 0,61 cm.

$$E_{calibrado1} = \frac{60,3 \times 0,61}{0,62} = 59,3 \text{ MPa}$$

O recalque medido foi de 0,62 cm, o processo iterativo continua até que os recalques estimados e calculados sejam o mesmo.

$$E_{calibrado2} = \frac{59,3 \times 0,613}{0,62} = 58,7 \text{ MPa}$$

$$E_{calibrado3} = \frac{58,7 \times 0,62}{0,62} = 58,7 \text{ MPa}$$

Por fim, o valor do Módulo de elasticidade para solo residual é de 58,7 MPa.

3. Estimar módulo de elasticidade rocha extremamente alterada (A5):

Foi utilizada a sapata S43A, por apresentar camadas de solo residual jovem, rocha muito alterada, rocha extremamente alterada. Como nos itens 1 e 2 foram obtidos os valores de módulo de elasticidade das demais camadas, basta realizar o mesmo procedimento para o trecho de camada de rocha extremamente alterada. Foi Iniciado o processo iterativo com o módulo de elasticidade de 90,5 MPa e através do programa Aoki Lopes foi calculado o recalque de 1,57 cm.

$$E_{calibrado1} = \frac{90,5 \times 1,57}{1,58} = 89,9 \text{ MPa}$$

O recalque medido foi de 1,58 cm, o processo iterativo continua até que os recalques estimados e calculados sejam os mesmos.

$$E_{calibrado2} = \frac{89,9 \times 1,58}{1,58} = 89,9 \text{ MPa}$$

Por fim, o valor do Módulo de elasticidade para a rocha extremamente alterada é de 89,9 MPa.

Apêndice 8: Método AOKI-VELLOSO (1975) para situação estudada

Segundo esse método, o atrito lateral unitário pode ser calculado como:

$$\tau_{l,rup} = \frac{f_s}{F_2} \quad (1)$$

Onde:

f_s é o atrito lateral unitário na luva do cone;

F_2 é o fator de correção que leva em conta o efeito de escala, face à diferença nas dimensões da estaca e do cone, além do efeito de execução de cada tipo de estaca.

Como o CPT não é realizado na maior parte das obras de fundações, os valores de f_s podem ser substituídos por expressões que correlacionam os resultados do ensaio de cone com o SPT, como indicado pelas equações (2) e (3).

$$q_c = K \cdot N_{SPT} \quad (2)$$

$$f_s = \alpha \cdot q_c = \alpha \cdot K \cdot N_{SPT} \quad (3)$$

Substituindo a equação (3) em (1) temos:

$$\tau_{l,rup} = \frac{\alpha \cdot K \cdot N_{SPT}}{F_2} \quad (4)$$

Multiplicando o $\tau_{l,rup}$ pelo perímetro da estaca, obtém-se o atrito lateral por metro de comprimento de estaca, R_l .

O valor de K depende do tipo de solo e o valor de α é mais comumente conhecido como razão de atrito, relação entre o atrito unitário e a resistência de ponta do cone, indicados na Tabela 1. CINTRA E AOKI (2010) lembram que os valores foram propostos por AOKI-VELLOSO (1975), com base em sua experiência e em valores da literatura.

Tabela 1 – Valores de K e α a serem empregados no método de AOKI-VELLOSO (1975).

Tipo de solo	k (MPa)	α
Areia	1,00	0,014
Areia siltosa	0,80	0,020
Areia silto-argilosa	0,70	0,024
Areia argilosa	0,60	0,030
Areia argilo-siltosa	0,50	0,028
Silte	0,40	0,030
Silte arenoso	0,55	0,022
Silte areno-argiloso	0,45	0,028
Silte argiloso	0,23	0,034
Silte argilo-arenoso	0,25	0,030
Argila	0,20	0,060
Argila arenosa	0,35	0,024
Argila areno-siltosa	0,30	0,028
Argila siltosa	0,22	0,040
Argila silto-arenosa	0,33	0,030

Tabela 2 – Valores de F_1 e F_2 .

Tipo de estaca	Valores de	
	F_1	F_2
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada	$1 + D/0,80$	$2 F_1$
Tipo Franki	2,50	5,0
Escavada	3,0	6,0
Raiz, Hélice contínua e Ômega	2,0	4,0

As Tabela 3 e Tabela 4 mostram os valores de f_s , $\tau_{l, rup}$ e R_l para cada trecho de cada sondagem.

Tabela 3 – Valores para a sondagem SP02.

SP02								
Prof.	Solo	Nspt	K(MPa)	α	qc	fs	$\tau_{l, rup}$	R_l (kN)
0	Argila arenosa							
1		8	0,35	0.024	2800	67.2	16,8	21.6
2		14	0,35	0.024	4900	117	29,4	59,5*
3	Areia Argilosa	23	0,60	0.03	13800	414	103,5	192,8*
4		55	0,60	0.03	33000	990	247,5	511,6
5	Solo Residual	Impenetrável a sondagem						
6								
7	Rocha muito alterada							
8								
9	Rocha sã							
10								

* Valores negritados utilizados no procedimento exemplificado abaixo

Tabela 4 – Valores para a sondagem SP05.

SP05								
Prof.	Solo	Nspt	K(MPa)	α	qc	fs	$\tau_{l, rup}$	R_l (kN)
0	Argila arenosa	-	-	-	-	-	-	-
1		7	0,35	0,024	2450	58,8	14,7	18,9*
2	Areia argilosa	50	0,60	0,03	30000	900	225,0	308,7*
3								
4	Solo Residual Jovem	Impenetrável a sondagem						
5								
6								
7								
8	Rocha extremamente alterada							
9								
10								

* Valores negritados utilizados no procedimento exemplificado abaixo

Para as estacas próximas à Sondagem SP02, foram adotados valores médios de atrito lateral em cada camada. Por exemplo:

$$\text{Camada de Argila} \rightarrow R_l = \frac{\text{Carga de atrito lateral}}{\text{espessura da camada}} = \frac{59,5 \text{ kN}}{2 \text{ metros}} = 29,8 \text{ kN/m}$$

$$\text{Camada de Areia} \rightarrow R_l = \frac{\text{Carga de atrito lateral}}{\text{espessura da camada}} = \frac{(192,8 - 59,5) \text{ kN}}{1 \text{ metros}} = 133,3 \text{ kN/m}$$

Já para as estacas próximas à sondagem SP05:

$$\text{Camada de Argila} \rightarrow R_l = \frac{\text{Carga de atrito lateral}}{\text{espessura da camada}} = \frac{18,9 \text{ kN}}{1 \text{ metros}} = 18,9 \text{ kN/m}$$

$$\text{Camada de Areia} \rightarrow R_l = \frac{\text{Carga de atrito lateral}}{\text{espessura da camada}} = \frac{(308,7 - 18,9) \text{ kN}}{1 \text{ metros}} = 290 \text{ kN/m}$$

Apêndice 9: Exemplo de cálculo do recalque de um pilar com fundação profunda

Carga na estaca no trecho em solo: 522 kN

Dados da estaca raiz: Área = 1320.25 cm²

Perímetro = 128.8 cm

Sondagem mais próxima: SP-02

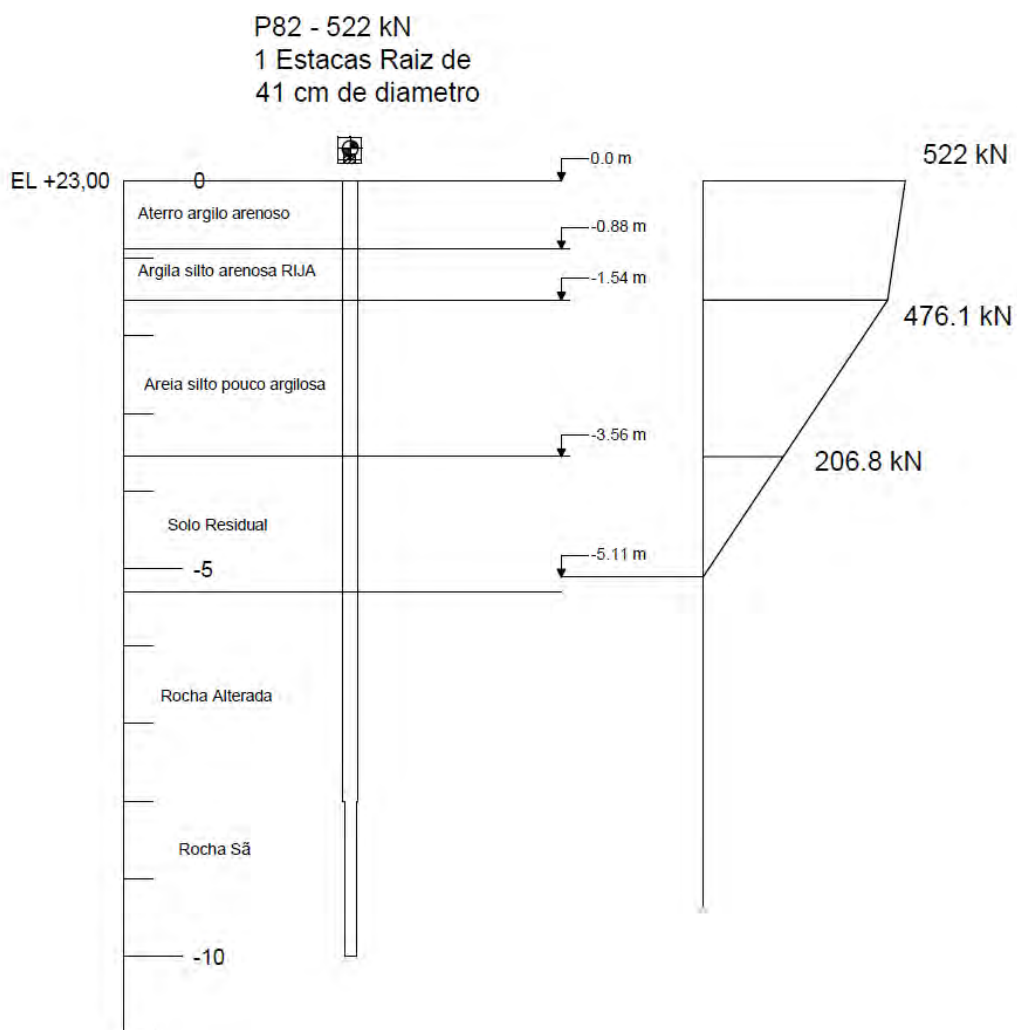


Diagrama de carga e atrito lateral:

$$R_l = \tau_{l, rup} \cdot U$$

- Trecho de argila entre os níveis 0,0 m e – 1,54 m

$$R_{l,argila} = 29,8 \text{ kN/m}$$

$$Pl_1 = R_{l1} \times l_1$$

$$Pl_1 = 29,8 \times 1,54$$

$$Pl_1 = 45,89 \text{ kN}$$

$$N_{ponto\ 1} = 522 - 45,89 = 476,1 \text{ kN}$$

- Trecho de areia entre os níveis – 1,54 m e – 3,56 m

$$R_{l,areia} = 133,3 \text{ kN/m}$$

$$Pl_2 = R_{l2} \times l_2$$

$$Pl_2 = 133,3 \times 2,02$$

$$Pl_2 = 269,3 \text{ kN}$$

$$N_{ponto\ 2} = 476,1 - 269,3 = 206,8 \text{ kN}$$

- Trecho de Solo residual entre os níveis – 3,56 m e – 5,11 m

$$R_{l,Solo\ residual} = 133,3 \text{ kN/m}$$

$$Pl_3 = R_{l3} \times l_3$$

$$Pl_3 = 133,3 \times 1,55$$

$$Pl_3 = 206,6 \text{ kN}$$

$$N_{ponto\ 3} = 206,8 - 206,8 = 0 \text{ kN}$$

Parcela devida ao deslocamento elástico do fuste:

$$\Delta l_i = \frac{N_{\text{médio no trecho } i} \cdot l_i}{E_{\text{aço}} A_{\text{aço}}}$$

$$\Delta l_i = \frac{N_{\text{médio no trecho 1}} \cdot l_1}{E_{\text{estaca}} A_{\text{estaca}}} + \frac{N_{\text{médio no trecho 2}} \cdot l_2}{E_{\text{estaca}} A_{\text{estaca}}} + \frac{N_{\text{médio no trecho 3}} \cdot l_3}{E_{\text{estaca}} A_{\text{estaca}}}$$

$$\Delta l_i = \frac{1}{2,2 \times 10^6 \times 1320 \times 10^{-4}} \left[\left(\frac{522 + 476,1}{2} \right) \times 1,54 + \left(\frac{476,1 + 206,8}{2} \right) \times 2,02 + \left(\frac{206,8}{2} \right) \times 1,55 \right]$$

$$\Delta l_i = 0,0058 \text{ m} = 5,8 \text{ mm}$$

Apêndice 10: Tabelas com as Cargas, Recalques e Coeficientes de Rigidezes de todas as etapas e iterações.

Tabela - Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) de todas as etapas (apoio rígido).

Fundação	Início - Zero - Referencia			Etapa 1			Etapa 2			Etapa 3			Etapa 4			Etapa 5		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)
S3A	663	1.00	6.60	872	1.36	6.42	1555	2.45	6.35	1935	3.08	6.27	2062	3.30	6.25	2480	4.01	6.19
S4A	197	1.02	1.93	396	1.83	2.17	753	3.29	2.29	950	4.11	2.31	1016	4.39	2.31	1294	5.54	2.34
S6	397	1.22	3.26	729	2.15	3.38	859	2.53	3.39	982	2.89	3.40	1111	3.27	3.40	1295	3.80	3.41
S7	557	1.31	4.24	1095	2.52	4.35	1315	3.04	4.33	1520	3.52	4.32	1742	4.04	4.31	2025	4.72	4.29
S8A	504	1.26	4.00	1073	2.61	4.11	1328	3.27	4.06	1530	3.80	4.03	1789	4.45	4.02	2097	5.23	4.01
S9A	338	0.86	3.92	1028	2.26	4.56	1413	3.12	4.53	1661	3.70	4.49	2056	4.53	4.54	2395	5.35	4.47
S11	386	0.90	4.28	748	1.73	4.32	1071	2.62	4.08	1297	3.26	3.98	1621	3.96	4.09	1975	4.91	4.02
S12/13	353	0.84	4.23	586	1.47	3.99	1116	2.59	4.32	1456	3.34	4.35	1659	3.87	4.29	2101	4.89	4.29
S14A	312	0.97	3.21	549	1.72	3.20	1162	3.57	3.25	1434	4.52	3.17	1524	4.86	3.14	1826	5.96	3.06
S15A	276	0.93	2.96	498	1.64	3.03	1132	3.61	3.14	1418	4.61	3.07	1513	4.95	3.05	1831	6.10	3.00
S18	260	1.14	2.29	583	2.04	2.85	768	2.51	3.06	940	2.94	3.20	1117	3.39	3.30	1356	4.00	3.39
S19	372	1.27	2.93	865	2.46	3.51	1116	3.06	3.64	1356	3.63	3.74	1607	4.22	3.81	1949	5.00	3.90
S20/30	460	1.81	2.55	1069	3.52	3.04	1439	4.50	3.20	1793	5.43	3.30	2152	6.39	3.37	2556	7.52	3.40
S21/22/31/32	1491	1.64	9.06	3035	3.29	9.21	4086	4.37	9.36	5120	5.39	9.50	6201	6.48	9.57	7691	7.95	9.68
S23/24/25/33/34	962	0.85	11.33	1803	1.62	11.10	2856	2.56	11.17	3863	3.40	11.36	4523	3.99	11.33	5958	5.20	11.45
S26/27/35/36	881	0.57	15.46	1597	1.02	15.64	3377	2.16	15.65	4929	3.07	16.04	5467	3.39	16.11	7412	4.53	16.37
S28/39	505	0.53	9.47	842	0.86	9.76	2163	2.04	10.60	3266	2.98	10.97	3632	3.29	11.04	4754	4.27	11.13
S29A	233	0.58	4.00	423	0.98	4.32	922	2.02	4.57	1309	2.80	4.67	1437	3.06	4.69	1888	3.98	4.74
S37	374	1.68	2.23	743	2.84	2.61	942	3.44	2.74	1127	4.00	2.82	1309	4.56	2.87	1534	5.27	2.91
S38	870	2.73	3.19	1197	3.94	3.04	1357	4.53	3.00	1510	5.10	2.96	1662	5.67	2.93	1827	6.35	2.88
S40A	218	0.41	5.31	406	0.74	5.49	952	1.66	5.74	1389	2.38	5.83	1534	2.62	5.85	2020	3.44	5.87
S41A	370	1.00	3.71	820	1.92	4.26	983	2.26	4.36	1136	2.62	4.34	1323	3.03	4.36	1527	3.52	4.34
S43A	312	1.19	2.63	750	2.71	2.77	973	3.54	2.75	1182	4.33	2.73	1466	5.32	2.76	1782	6.51	2.74
S45A	159	1.01	1.58	396	2.28	1.73	522	3.27	1.59	643	4.14	1.55	808	5.03	1.61	1023	6.46	1.58
S46A	120	0.82	1.46	221	1.58	1.40	568	3.19	1.78	777	4.27	1.82	847	4.79	1.77	1205	6.54	1.84
S48A	268	1.04	2.57	509	1.96	2.60	1124	4.08	2.75	1406	5.21	2.70	1501	5.62	2.67	1886	7.15	2.64
S49A	258	0.68	3.78	446	1.18	3.77	1081	2.61	4.15	1313	3.24	4.06	1391	3.45	4.03	1676	4.21	3.98
S51A	187	0.61	3.07	315	1.04	3.04	810	2.37	3.42	1093	3.20	3.41	1187	3.48	3.41	1498	4.40	3.40
S52	824	2.61	3.16	1173	3.72	3.15	1304	4.15	3.14	1429	4.56	3.13	1554	4.97	3.13	1743	5.59	3.12
S53	1205	2.98	4.04	1665	4.23	3.94	1845	4.72	3.91	2022	5.21	3.88	2197	5.70	3.86	2416	6.34	3.81
S55A	215	0.60	3.60	383	1.05	3.64	823	2.06	3.99	1096	2.76	3.98	1194	3.00	3.98	1569	3.93	3.99
S59	170	1.24	1.37	230	1.73	1.32	231	1.79	1.29	234	1.85	1.27	236	1.90	1.24	262	2.13	1.23

S60	352	1.34	2.63	435	1.76	2.47	434	1.83	2.37	435	1.89	2.30	444	1.99	2.23	483	2.21	2.19
S61	235	0.88	2.66	343	1.34	2.56	441	1.72	2.56	442	1.76	2.51	547	2.16	2.53	596	2.39	2.50
S62	55	0.30	1.85	139	0.70	1.98	301	1.40	2.16	302	1.44	2.10	460	2.10	2.19	502	2.33	2.16
S63	50	0.26	1.93	60	0.39	1.56	175	0.87	2.00	175	0.92	1.91	280	1.34	2.08	309	1.51	2.04
S64/65	171	0.58	2.97	274	0.94	2.93	424	1.47	2.88	425	1.53	2.78	487	1.77	2.76	533	1.98	2.70
S66	232	0.79	2.95	381	1.29	2.95	511	1.80	2.84	513	1.86	2.76	513	1.89	2.72	575	2.14	2.68
S67	138	0.65	2.12	245	1.11	2.20	345	1.61	2.15	349	1.68	2.08	351	1.71	2.06	404	1.98	2.04
S68	433	1.90	2.28	593	2.60	2.28	751	3.35	2.24	779	3.52	2.21	788	3.57	2.21	877	4.00	2.19
S69	518	1.79	2.90	646	2.26	2.85	714	2.59	2.76	700	2.59	2.70	695	2.60	2.68	737	2.81	2.62
S70	239	1.36	1.75	403	2.20	1.83	424	2.34	1.81	443	2.47	1.79	464	2.61	1.78	540	3.01	1.79
S71	78	0.75	1.05	144	1.30	1.11	185	1.72	1.07	188	1.82	1.03	190	1.85	1.02	239	2.31	1.03
S73	182	1.14	1.59	299	1.79	1.67	312	1.97	1.58	325	2.15	1.51	339	2.33	1.45	401	2.70	1.48
S74	143	0.85	1.68	257	1.52	1.69	413	2.46	1.68	477	2.91	1.64	503	3.09	1.63	667	4.09	1.63
S75	259	1.98	1.31	432	3.11	1.39	475	3.43	1.39	518	3.75	1.38	563	4.08	1.38	694	4.87	1.42
S76	218	2.12	1.02	385	3.47	1.11	425	3.84	1.11	465	4.22	1.10	509	4.62	1.10	630	5.53	1.14
P77 - E1	53	0.32	3.45	85	0.65	2.68	88	0.72	2.50	91	0.78	2.37	117	1.04	2.26	181	1.71	2.13
P77 - E2	53	0.30	0.00	85	0.63	0.00	88	0.70	0.00	91	0.76	0.00	117	1.02	0.00	181	1.69	0.00
P78 -E3	20	0.10	3.98	20	0.18	2.32	21	0.23	1.80	21	0.27	1.51	79	0.65	2.42	167	1.49	2.23
P78 -E4	20	0.10	0.00	20	0.17	0.00	21	0.23	0.00	21	0.27	0.00	79	0.65	0.00	167	1.49	0.00
P79/P80 - E5	20	0.13	1.57	21	0.23	0.90	21	0.35	0.60	21	0.43	0.49	44	0.60	0.72	123	1.38	0.89
P79/P80 -E6	20	0.13	1.58	21	0.23	0.91	21	0.36	0.58	21	0.44	0.47	44	0.61	0.72	123	1.38	0.89
P81 - E7	53	0.25	4.19	92	0.61	3.02	174	1.49	2.33	180	1.63	2.22	185	1.73	2.15	276	2.91	1.90
P81 - E8	53	0.25	0.00	92	0.61	0.00	174	1.49	0.00	157	1.41	0.00	185	1.73	0.00	276	2.91	0.00
P82 - E9	113	0.65	1.74	202	1.51	1.33	306	2.84	1.08	314	2.97	1.06	321	3.08	1.04	437	4.89	0.89
P83 - E10	73	0.36	2.02	143	0.98	1.46	210	1.76	1.19	215	1.87	1.15	220	1.95	1.13	317	3.23	0.98
P84 - E11	103	0.61	1.68	176	1.33	1.32	229	2.02	1.13	236	2.17	1.09	244	2.29	1.06	350	3.80	0.92
P85 - E12	87	0.46	1.89	147	1.01	1.46	206	1.66	1.24	216	1.81	1.19	223	1.91	1.17	310	3.04	1.02
S86	304	1.83	1.66	312	2.06	1.51	341	2.65	1.29	360	3.03	1.19	366	3.16	1.16	387	3.62	1.07
S87	94	0.99	0.95	219	2.26	0.97	351	3.34	1.05	365	3.70	0.99	390	4.21	0.93	450	4.95	0.91
SETE1	497	4.07	1.22	501	4.50	1.11	505	4.71	1.07	507	4.90	1.03	510	5.10	1.00	513	5.37	0.96
SETE2	560	2.56	2.19	620	3.36	1.85	651	3.76	1.73	680	4.14	1.64	709	4.53	1.57	740	5.00	1.48
SETE3	214	2.99	0.71	273	4.27	0.64	303	4.91	0.62	330	5.53	0.60	358	6.15	0.58	388	6.88	0.56
SETE4	202	2.60	0.78	219	3.48	0.63	228	3.95	0.58	237	4.40	0.54	245	4.87	0.50	254	5.44	0.47
SETE5	384	3.29	1.17	410	3.75	1.09	419	3.92	1.07	427	4.09	1.05	436	4.25	1.02	449	4.52	0.99
SETE6	216	2.38	0.91	238	3.06	0.78	245	3.27	0.75	252	3.53	0.71	259	3.81	0.68	269	4.16	0.65
SRET1	76	1.08	0.70	76	1.24	0.61	76	1.29	0.59	76	1.33	0.57	76	1.38	0.55	76	1.47	0.51
SRET2	75	1.23	0.61	75	1.51	0.50	75	1.59	0.48	75	1.65	0.46	75	1.73	0.44	75	1.87	0.40
SRET3	134	1.22	1.10	134	1.41	0.95	134	1.49	0.90	134	1.55	0.86	134	1.62	0.83	134	1.74	0.77
SRET4	134	1.26	1.06	134	1.57	0.85	134	1.68	0.80	134	1.79	0.75	134	1.90	0.70	134	2.09	0.64

Fundação	Etapa 6			Etapa 7			Etapa 8			Etapa 9			Etapa 10			Etapa 11		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)
S3A	3048	4.95	6.16	3553	5.79	6.14	4050	6.62	6.12	4371	7.15	6.11	4810	7.89	6.09	5188	8.53	6.08
S4A	1617	6.86	2.36	1912	8.07	2.37	2200	9.25	2.38	2385	10.00	2.39	2609	10.92	2.39	2828	11.82	2.39
S6	1647	4.82	3.42	1864	5.46	3.41	2107	6.18	3.41	2263	6.64	3.41	2469	7.26	3.40	2656	7.81	3.40
S7	2630	6.10	4.31	3056	7.06	4.33	3478	8.06	4.32	3740	8.68	4.31	4117	9.59	4.29	4432	10.34	4.29
S8A	2672	6.74	3.96	3060	7.74	3.95	3498	8.89	3.94	3759	9.58	3.92	4145	10.63	3.90	4459	11.46	3.89
S9A	3044	6.91	4.41	3609	8.13	4.44	4152	9.39	4.42	4438	10.11	4.39	4800	11.07	4.34	5124	11.88	4.31
S11	2576	6.43	4.01	2951	7.47	3.95	3430	8.70	3.94	3687	9.41	3.92	3984	10.24	3.89	4260	11.01	3.87
S12/13	2726	6.39	4.27	3238	7.54	4.30	3790	8.81	4.30	4118	9.57	4.30	4460	10.43	4.28	4818	11.27	4.27
S14A	2215	7.39	3.00	2555	8.63	2.96	2894	9.88	2.93	3112	10.69	2.91	3379	11.74	2.88	3623	12.66	2.86
S15A	2256	7.62	2.96	2631	8.96	2.94	3006	10.31	2.92	3249	11.18	2.91	3582	12.40	2.89	3866	13.42	2.88
S18	1827	5.19	3.52	2092	5.88	3.56	2431	6.75	3.60	2650	7.31	3.63	2935	8.08	3.63	3198	8.75	3.65
S19	2609	6.56	3.97	3001	7.51	4.00	3486	8.66	4.03	3799	9.40	4.04	4285	10.55	4.06	4659	11.44	4.07
S20/30	3533	10.10	3.50	4055	11.53	3.52	4783	13.46	3.55	5270	14.73	3.58	6101	16.83	3.63	6684	18.35	3.64
S21/22/31/32	10751	10.94	9.83	12499	12.67	9.87	14820	14.94	9.92	16323	16.40	9.95	18641	18.67	9.98	20400	20.39	10.01
S23/24/25/33/34	8115	7.03	11.55	9564	8.26	11.58	11285	9.72	11.60	12368	10.64	11.62	13677	11.80	11.59	14886	12.83	11.60
S26/27/35/36	9919	5.99	16.55	12137	7.28	16.67	14390	8.59	16.75	15871	9.45	16.79	18134	10.75	16.87	19888	11.76	16.91
S28/39	6304	5.61	11.24	7674	6.79	11.31	9039	7.96	11.35	9931	8.73	11.37	11260	9.86	11.42	12314	10.77	11.44
S29A	2428	5.09	4.77	2905	6.07	4.79	3373	7.03	4.80	3670	7.65	4.80	4028	8.40	4.79	4377	9.12	4.80
S37	2038	6.81	2.99	2310	7.65	3.02	2679	8.78	3.05	2921	9.52	3.07	3240	10.54	3.07	3533	11.44	3.09
S38	2248	7.93	2.83	2477	8.80	2.81	2793	9.98	2.80	3003	10.77	2.79	3343	12.01	2.78	3598	12.96	2.78
S40A	2621	4.45	5.89	3150	5.34	5.90	3673	6.22	5.91	4006	6.78	5.91	4415	7.49	5.89	4807	8.15	5.89
S41A	1954	4.53	4.31	2180	5.08	4.29	2495	5.83	4.28	2706	6.33	4.27	3056	7.14	4.28	3310	7.74	4.28
S43A	2353	8.64	2.72	2663	9.83	2.71	3086	11.43	2.70	3364	12.47	2.70	3831	14.18	2.70	4154	15.39	2.70
S45A	1367	8.58	1.59	1556	9.88	1.57	1812	11.52	1.57	1979	12.59	1.57	2282	14.36	1.59	2480	15.60	1.59
S46A	1522	8.41	1.81	1806	9.91	1.82	2091	11.52	1.81	2278	12.57	1.81	2599	14.25	1.82	2822	15.48	1.82
S48A	2321	8.95	2.59	2702	10.49	2.58	3088	12.07	2.56	3342	13.10	2.55	3727	14.67	2.54	4031	15.90	2.54
S49A	2023	5.16	3.92	2329	6.00	3.88	2636	6.84	3.86	2839	7.39	3.84	3127	8.19	3.82	3376	8.86	3.81
S51A	1939	5.69	3.41	2336	6.84	3.41	2732	7.99	3.42	2992	8.75	3.42	3375	9.85	3.43	3690	10.76	3.43
S52	2117	6.81	3.11	2314	7.45	3.11	2598	8.37	3.10	2790	8.99	3.10	3061	9.88	3.10	3300	10.65	3.10
S53	2935	7.77	3.78	3209	8.52	3.76	3601	9.60	3.75	3866	10.32	3.75	4289	11.46	3.74	4617	12.35	3.74
S55A	2020	5.05	4.00	2435	6.08	4.01	2848	7.10	4.01	3118	7.77	4.01	3487	8.68	4.02	3813	9.48	4.02
S59	270	2.30	1.18	298	2.57	1.16	308	2.71	1.14	314	2.80	1.12	321	2.92	1.10	328	3.03	1.08
S60	487	2.38	2.04	764	3.40	2.25	819	3.70	2.21	849	3.87	2.19	888	4.10	2.16	925	4.31	2.14
S61	598	2.50	2.39	822	3.34	2.46	865	3.57	2.42	882	3.68	2.40	904	3.83	2.36	925	3.96	2.34

S62	503	2.43	2.07	751	3.49	2.15	787	3.72	2.12	794	3.79	2.09	800	3.88	2.06	807	3.96	2.04
S63	311	1.62	1.92	550	2.53	2.18	593	2.76	2.14	599	2.84	2.11	602	2.90	2.07	605	2.97	2.04
S64/65	537	2.09	2.57	571	2.31	2.48	641	2.60	2.46	649	2.68	2.42	652	2.75	2.37	655	2.82	2.33
S66	578	2.24	2.58	580	2.32	2.50	583	2.41	2.42	584	2.46	2.38	586	2.52	2.32	587	2.58	2.27
S67	409	2.09	1.96	415	2.19	1.90	420	2.28	1.84	423	2.35	1.80	427	2.43	1.76	431	2.50	1.72
S68	918	4.24	2.16	954	4.46	2.14	990	4.67	2.12	1014	4.81	2.11	1044	5.00	2.09	1072	5.16	2.08
S69	717	2.83	2.54	700	2.84	2.46	683	2.86	2.39	672	2.87	2.34	656	2.88	2.28	643	2.89	2.23
S70	598	3.39	1.76	632	3.64	1.73	673	3.91	1.72	699	4.09	1.71	732	4.32	1.70	764	4.53	1.69
S71	247	2.48	1.00	255	2.63	0.97	262	2.79	0.94	267	2.89	0.93	273	3.00	0.91	279	3.12	0.89
S73	436	3.19	1.37	455	3.47	1.31	484	3.83	1.26	502	4.06	1.24	526	4.38	1.20	549	4.66	1.18
S74	769	4.81	1.60	863	5.46	1.58	955	6.11	1.56	1015	6.53	1.55	1090	7.06	1.54	1162	7.57	1.54
S75	837	5.88	1.42	909	6.40	1.42	1022	7.19	1.42	1101	7.73	1.42	1216	8.53	1.42	1316	9.22	1.43
S76	760	6.71	1.13	826	7.32	1.13	928	8.23	1.13	998	8.85	1.13	1111	9.84	1.13	1201	10.63	1.13
P77 - E1	192	1.94	1.98	197	2.07	1.92	206	2.25	1.84	212	2.37	1.79	254	2.96	1.72	264	3.16	1.68
P77 - E2	192	1.92	0.00	197	2.05	0.00	206	2.23	0.00	212	2.35	0.00	254	2.94	0.00	264	3.13	0.00
P78 -E3	171	1.65	2.07	173	1.74	1.99	176	1.86	1.90	178	1.93	1.84	262	2.97	1.76	268	3.11	1.72
P78 -E4	171	1.65	0.00	173	1.74	0.00	176	1.86	0.00	178	1.94	0.00	262	2.98	0.00	268	3.11	0.00
P79/P80 - E5	125	1.57	0.79	126	1.70	0.74	128	1.86	0.69	129	1.96	0.65	197	2.82	0.70	199	2.95	0.68
P79/P80 -E6	125	1.58	0.79	126	1.71	0.74	128	1.87	0.68	129	1.97	0.65	197	2.83	0.70	199	2.96	0.67
P81 - E7	287	3.19	1.80	297	3.44	1.73	307	3.69	1.67	314	3.86	1.63	362	4.68	1.55	371	4.90	1.52
P81 - E8	287	3.18	0.00	297	3.42	0.00	307	3.68	0.00	314	3.84	0.00	362	4.65	0.00	371	4.88	0.00
P82 - E9	449	5.14	0.87	459	5.36	0.86	469	5.59	0.84	476	5.74	0.83	487	5.99	0.81	496	6.18	0.80
P83 - E10	325	3.43	0.95	332	3.61	0.92	339	3.79	0.89	344	3.91	0.88	349	4.07	0.86	355	4.22	0.84
P84 - E11	364	4.12	0.88	377	4.41	0.85	390	4.71	0.83	398	4.90	0.81	410	5.18	0.79	420	5.42	0.77
P85 - E12	331	3.40	0.98	352	3.74	0.94	373	4.10	0.91	386	4.35	0.89	404	4.68	0.86	421	4.99	0.84
S86	414	4.18	0.99	439	4.69	0.94	464	5.19	0.89	480	5.51	0.87	502	5.93	0.85	520	6.31	0.82
S87	487	5.96	0.82	518	6.70	0.77	549	7.51	0.73	566	7.99	0.71	589	8.67	0.68	609	9.22	0.66
SETE1	520	5.90	0.88	524	6.20	0.85	529	6.59	0.80	532	6.84	0.78	537	7.20	0.75	540	7.51	0.72
SETE2	818	6.05	1.35	861	6.64	1.30	919	7.42	1.24	958	7.93	1.21	1020	8.72	1.17	1067	9.34	1.14
SETE3	465	8.60	0.54	506	9.54	0.53	564	10.82	0.52	602	11.67	0.52	664	13.04	0.51	710	14.06	0.51
SETE4	276	6.70	0.41	289	7.41	0.39	306	8.36	0.37	317	8.98	0.35	335	9.98	0.34	349	10.73	0.33
SETE5	476	5.02	0.95	489	5.28	0.93	510	5.65	0.90	524	5.91	0.89	544	6.28	0.87	562	6.60	0.85
SETE6	292	4.91	0.59	303	5.31	0.57	321	5.87	0.55	333	6.25	0.53	351	6.85	0.51	366	7.31	0.50
SRET1	76	1.59	0.47	76	1.68	0.45	76	1.77	0.43	76	1.83	0.41	76	1.90	0.40	76	1.97	0.38
SRET2	75	2.07	0.36	75	2.20	0.34	75	2.34	0.32	75	2.44	0.31	75	2.56	0.29	75	2.67	0.28
SRET3	134	1.93	0.70	134	2.04	0.66	134	2.18	0.62	134	2.27	0.59	134	2.39	0.56	134	2.50	0.54
SRET4	134	2.39	0.56	134	2.57	0.52	134	2.79	0.48	134	2.93	0.46	134	3.12	0.43	134	3.29	0.41

Tabela - Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) de todas as etapas (1ª iteração).

Fundação	Início - Zero - Referencia			Etapa 1			Etapa 2			Etapa 3			Etapa 4			Etapa 5		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)
S3A	788	1.14	6.88	995	1.50	6.65	1665	2.57	6.48	2048	3.20	6.39	2174	3.42	6.37	2546	4.04	6.31
S4A	190	0.97	1.97	369	1.71	2.16	664	2.98	2.23	833	3.72	2.24	889	3.96	2.24	1062	4.71	2.25
S6	398	1.23	3.25	749	2.19	3.41	891	2.60	3.43	1021	2.97	3.44	1159	3.36	3.45	1283	3.72	3.45
S7	551	1.31	4.20	1089	2.51	4.34	1327	3.06	4.33	1541	3.55	4.34	1776	4.10	4.34	1984	4.58	4.33
S8A	512	1.28	4.01	1101	2.65	4.16	1391	3.35	4.15	1628	3.93	4.14	1913	4.61	4.15	2149	5.19	4.14
S9A	371	0.91	4.09	1038	2.26	4.59	1434	3.13	4.59	1707	3.74	4.57	2098	4.55	4.61	2350	5.14	4.57
S11	379	0.89	4.24	742	1.73	4.28	1083	2.66	4.08	1329	3.33	4.00	1643	4.02	4.09	1879	4.68	4.01
S12/13	352	0.83	4.23	603	1.50	4.03	1130	2.62	4.32	1479	3.39	4.36	1695	3.94	4.30	2052	4.73	4.34
S14A	298	0.95	3.16	521	1.66	3.14	1063	3.35	3.17	1325	4.27	3.10	1420	4.62	3.07	1669	5.52	3.02
S15A	271	0.93	2.92	477	1.60	2.97	1005	3.32	3.02	1263	4.26	2.96	1350	4.59	2.94	1600	5.51	2.91
S18	275	1.16	2.37	598	2.07	2.89	772	2.52	3.07	935	2.94	3.19	1105	3.37	3.28	1266	3.78	3.34
S19	399	1.32	3.03	859	2.46	3.49	1097	3.04	3.61	1324	3.57	3.71	1565	4.15	3.77	1803	4.69	3.84
S20/30	482	1.85	2.61	986	3.38	2.92	1283	4.23	3.03	1564	5.02	3.11	1856	5.86	3.16	2132	6.66	3.20
S21/22/31/32	1442	1.61	8.96	2900	3.19	9.10	3859	4.19	9.21	4766	5.11	9.32	5724	6.11	9.38	6663	7.07	9.43
S23/24/25/33/34	970	0.85	11.37	1845	1.65	11.20	2960	2.62	11.28	3970	3.47	11.46	4662	4.08	11.44	5706	4.97	11.49
S26/27/35/36	904	0.58	15.55	1653	1.05	15.80	3556	2.24	15.89	5113	3.15	16.24	5665	3.48	16.29	7255	4.41	16.46
S28/39	510	0.54	9.36	851	0.88	9.68	2163	2.05	10.53	3191	2.94	10.86	3533	3.23	10.93	4533	4.10	11.06
S29A	237	0.57	4.18	435	0.98	4.43	939	2.03	4.62	1313	2.80	4.69	1436	3.05	4.71	1803	3.81	4.74
S37	398	1.72	2.31	721	2.80	2.57	882	3.32	2.65	1035	3.81	2.71	1188	4.31	2.75	1339	4.80	2.79
S38	874	2.73	3.21	1189	3.90	3.05	1332	4.45	3.00	1470	4.97	2.96	1611	5.51	2.92	1747	6.04	2.89
S40A	225	0.42	5.39	419	0.75	5.55	982	1.71	5.75	1417	2.42	5.85	1562	2.66	5.86	1982	3.36	5.90
S41A	373	1.00	3.73	871	2.01	4.33	1088	2.47	4.40	1290	2.91	4.44	1527	3.41	4.47	1764	3.92	4.50
S43A	310	1.18	2.63	732	2.65	2.76	954	3.51	2.72	1163	4.29	2.71	1425	5.25	2.71	1693	6.26	2.70
S45A	157	1.00	1.57	390	2.26	1.72	514	3.28	1.57	637	4.14	1.54	797	5.03	1.59	964	6.17	1.56
S46A	120	0.82	1.47	223	1.58	1.41	556	3.20	1.74	752	4.22	1.78	818	4.75	1.72	1093	6.13	1.78
S48A	257	1.01	2.53	480	1.89	2.55	994	3.86	2.58	1236	4.86	2.54	1323	5.28	2.51	1618	6.50	2.49
S49A	256	0.68	3.77	450	1.19	3.79	1071	2.73	3.93	1320	3.39	3.90	1406	3.62	3.88	1679	4.35	3.86
S51A	185	0.61	3.05	315	1.04	3.03	782	2.44	3.20	1048	3.24	3.24	1139	3.51	3.24	1414	4.33	3.26
S52	894	2.77	3.23	1211	3.81	3.18	1329	4.21	3.16	1447	4.60	3.14	1564	5.00	3.13	1686	5.41	3.12
S53	1077	2.77	3.89	1519	3.97	3.83	1698	4.47	3.80	1876	4.96	3.79	2057	5.46	3.77	2236	5.96	3.75
S55A	215	0.60	3.61	388	1.06	3.66	819	2.18	3.76	1082	2.86	3.78	1176	3.10	3.79	1458	3.82	3.82
S59	176	1.27	1.39	246	1.82	1.35	251	1.90	1.32	258	1.99	1.30	263	2.07	1.27	270	2.15	1.26
S60	340	1.30	2.62	435	1.77	2.46	445	1.88	2.37	450	1.95	2.31	470	2.09	2.25	475	2.16	2.20

S61	241	0.90	2.67	353	1.37	2.57	454	1.77	2.57	459	1.82	2.52	565	2.23	2.53	569	2.28	2.49
S62	56	0.30	1.84	139	0.70	1.97	290	1.36	2.13	292	1.41	2.07	436	2.02	2.15	438	2.07	2.11
S63	51	0.26	1.94	66	0.41	1.63	194	0.94	2.07	196	0.99	1.98	313	1.45	2.15	319	1.52	2.10
S64/65	174	0.58	2.98	279	0.95	2.93	432	1.50	2.88	441	1.58	2.79	503	1.82	2.77	513	1.90	2.70
S66	225	0.77	2.94	371	1.27	2.93	513	1.81	2.84	524	1.89	2.77	531	1.94	2.74	540	2.02	2.67
S67	159	0.72	2.21	274	1.21	2.27	391	1.76	2.22	406	1.87	2.17	410	1.91	2.15	427	2.03	2.10
S68	354	1.59	2.22	498	2.24	2.23	661	3.01	2.20	710	3.26	2.18	725	3.34	2.17	774	3.59	2.16
S69	547	1.87	2.92	676	2.35	2.88	777	2.78	2.80	782	2.85	2.75	782	2.87	2.73	781	2.92	2.68
S70	235	1.35	1.74	392	2.17	1.81	418	2.33	1.79	442	2.48	1.78	468	2.65	1.77	492	2.80	1.76
S71	96	0.87	1.11	165	1.44	1.15	225	2.00	1.13	241	2.18	1.10	246	2.24	1.10	265	2.45	1.08
S73	186	1.15	1.62	317	1.84	1.72	338	2.05	1.65	358	2.24	1.60	381	2.45	1.56	406	2.66	1.53
S74	132	0.79	1.66	236	1.42	1.66	385	2.39	1.61	455	2.88	1.58	483	3.07	1.57	564	3.61	1.56
S75	313	2.24	1.39	473	3.31	1.43	519	3.64	1.43	568	3.98	1.42	616	4.33	1.42	678	4.75	1.43
S76	227	2.15	1.05	369	3.36	1.10	413	3.76	1.10	457	4.17	1.10	503	4.60	1.09	566	5.12	1.10
P77 - E1	66	0.41	3.33	111	0.86	2.62	121	1.00	2.46	132	1.13	2.35	163	1.48	2.22	193	1.84	2.11
P77 - E2	66	0.39	0.00	111	0.84	0.00	121	0.98	0.00	132	1.11	0.00	163	1.46	0.00	193	1.82	0.00
P78 -E3	21	0.11	4.01	22	0.19	2.44	23	0.24	1.93	24	0.29	1.67	83	0.69	2.42	141	1.23	2.28
P78 -E4	21	0.10	0.00	22	0.18	0.00	23	0.24	0.00	24	0.28	0.00	83	0.68	0.00	141	1.23	0.00
P79/P80 - E5	21	0.13	1.56	22	0.23	0.95	24	0.36	0.68	26	0.45	0.58	50	0.64	0.78	113	1.25	0.90
P79/P80 -E6	22	0.13	1.65	22	0.23	0.97	24	0.37	0.66	26	0.46	0.57	50	0.64	0.78	113	1.25	0.90
P81 - E7	57	0.28	4.09	102	0.69	2.96	212	1.89	2.24	235	2.21	2.18	244	2.38	2.05	299	3.18	1.89
P81 - E8	57	0.28	0.00	102	0.69	0.00	212	1.89	0.00	154	1.37	0.00	244	2.38	0.00	299	3.17	0.00
P82 - E9	105	0.58	1.80	179	1.27	1.40	283	2.53	1.12	307	2.88	1.07	318	3.04	1.05	333	3.29	1.01
P83 - E10	85	0.45	1.89	157	1.11	1.42	241	2.11	1.14	259	2.38	1.09	269	2.52	1.07	285	2.79	1.02
P84 - E11	96	0.55	1.73	163	1.20	1.36	227	2.00	1.13	246	2.29	1.07	256	2.43	1.05	270	2.68	1.01
P85 - E12	96	0.53	1.81	161	1.14	1.42	229	1.92	1.19	251	2.22	1.13	262	2.36	1.11	280	2.62	1.07
S86	195	1.29	1.51	226	1.63	1.38	299	2.42	1.23	342	2.92	1.17	356	3.08	1.16	409	3.61	1.13
S87	100	1.02	0.97	233	2.32	1.00	351	3.32	1.06	383	3.78	1.01	426	4.37	0.98	463	4.85	0.95
SETE1	406	3.46	1.17	455	4.19	1.09	476	4.51	1.06	493	4.79	1.03	510	5.08	1.00	523	5.33	0.98
SETE2	622	2.75	2.27	721	3.63	1.99	764	4.04	1.89	804	4.43	1.81	845	4.84	1.75	878	5.21	1.68
SETE3	191	2.85	0.67	249	4.08	0.61	274	4.66	0.59	299	5.22	0.57	324	5.80	0.56	348	6.36	0.55
SETE4	194	2.53	0.77	237	3.59	0.66	253	4.10	0.62	267	4.57	0.58	281	5.07	0.55	292	5.53	0.53
SETE5	358	3.13	1.14	426	3.88	1.10	448	4.14	1.08	470	4.40	1.07	491	4.65	1.06	509	4.88	1.04
SETE6	215	2.37	0.91	283	3.43	0.83	313	3.89	0.80	338	4.31	0.78	362	4.75	0.76	384	5.18	0.74
SRET1	78	1.10	0.71	79	1.27	0.62	79	1.32	0.59	78	1.37	0.57	78	1.42	0.55	79	1.47	0.54
SRET2	73	1.21	0.60	73	1.49	0.49	73	1.57	0.46	73	1.65	0.44	73	1.73	0.42	73	1.80	0.41
SRET3	133	1.21	1.10	134	1.42	0.94	134	1.50	0.90	135	1.57	0.86	135	1.65	0.82	136	1.72	0.79
SRET4	135	1.27	1.07	134	1.58	0.85	134	1.70	0.79	133	1.81	0.73	132	1.93	0.69	132	2.04	0.65

Fundação	Etapa 6			Etapa 7			Etapa 8			Etapa 9			Etapa 10			Etapa 11		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)
S3A	3113	4.97	6.26	3618	5.81	6.23	4159	6.71	6.20	4479	7.24	6.19	4919	7.98	6.17	5296	8.60	6.16
S4A	1328	5.86	2.27	1571	6.90	2.28	1827	8.00	2.29	1979	8.65	2.29	2164	9.45	2.29	2344	10.22	2.29
S6	1657	4.78	3.47	1892	5.46	3.47	2172	6.26	3.47	2335	6.74	3.47	2558	7.40	3.46	2756	7.97	3.46
S7	2608	5.99	4.35	3032	6.95	4.36	3494	8.04	4.35	3758	8.66	4.34	4141	9.57	4.32	4457	10.32	4.32
S8A	2815	6.82	4.13	3248	7.88	4.12	3774	9.17	4.11	4067	9.91	4.11	4506	11.01	4.09	4857	11.88	4.09
S9A	3079	6.77	4.55	3655	7.99	4.57	4282	9.39	4.56	4606	10.14	4.54	5036	11.16	4.51	5404	12.02	4.50
S11	2524	6.28	4.02	2944	7.39	3.98	3498	8.79	3.98	3782	9.54	3.96	4127	10.47	3.94	4438	11.30	3.93
S12/13	2718	6.29	4.32	3249	7.49	4.34	3874	8.93	4.34	4221	9.72	4.34	4614	10.68	4.32	4997	11.56	4.32
S14A	2061	6.95	2.96	2397	8.18	2.93	2769	9.54	2.90	2986	10.34	2.89	3259	11.40	2.86	3504	12.32	2.85
S15A	1985	6.93	2.86	2324	8.18	2.84	2695	9.56	2.82	2914	10.37	2.81	3212	11.50	2.79	3468	12.46	2.78
S18	1726	4.96	3.48	1991	5.66	3.52	2353	6.59	3.57	2569	7.14	3.60	2859	7.92	3.61	3121	8.59	3.63
S19	2446	6.21	3.94	2833	7.14	3.97	3344	8.34	4.01	3647	9.06	4.03	4114	10.15	4.05	4478	11.01	4.07
S20/30	2917	8.89	3.28	3351	10.15	3.30	3995	11.97	3.34	4388	13.07	3.36	5037	14.83	3.40	5505	16.13	3.41
S21/22/31/32	9250	9.68	9.56	10754	11.21	9.59	12884	13.37	9.64	14134	14.63	9.66	16045	16.56	9.69	17506	18.04	9.70
S23/24/25/33/34	7878	6.79	11.59	9357	8.04	11.63	11278	9.66	11.68	12379	10.58	11.70	13770	11.80	11.67	15006	12.84	11.69
S26/27/35/36	9761	5.87	16.64	11955	7.14	16.75	14401	8.55	16.83	15866	9.40	16.87	18059	10.66	16.94	19787	11.66	16.97
S28/39	6000	5.37	11.16	7301	6.51	11.22	8710	7.73	11.27	9558	8.47	11.29	10808	9.54	11.33	11812	10.41	11.35
S29A	2331	4.89	4.76	2800	5.86	4.78	3297	6.89	4.79	3590	7.50	4.79	3947	8.26	4.78	4292	8.97	4.78
S37	1770	6.20	2.86	2007	6.97	2.88	2356	8.10	2.91	2569	8.78	2.93	2861	9.75	2.93	3120	10.58	2.95
S38	2136	7.52	2.84	2349	8.34	2.82	2669	9.56	2.79	2865	10.30	2.78	3176	11.46	2.77	3413	12.35	2.76
S40A	2589	4.37	5.92	3126	5.27	5.94	3701	6.23	5.94	4040	6.80	5.95	4466	7.52	5.94	4868	8.20	5.94
S41A	2331	5.13	4.55	2634	5.79	4.55	3102	6.79	4.57	3387	7.39	4.58	3858	8.39	4.60	4199	9.11	4.61
S43A	2239	8.31	2.70	2539	9.47	2.68	2989	11.17	2.68	3258	12.18	2.68	3706	13.86	2.67	4015	15.02	2.67
S45A	1298	8.25	1.57	1480	9.51	1.56	1756	11.28	1.56	1919	12.32	1.56	2206	14.08	1.57	2395	15.28	1.57
S46A	1390	7.93	1.75	1653	9.36	1.77	1944	11.05	1.76	2118	12.05	1.76	2412	13.69	1.76	2618	14.85	1.76
S48A	1995	8.15	2.45	2321	9.54	2.43	2685	11.11	2.42	2904	12.05	2.41	3248	13.52	2.40	3507	14.63	2.40
S49A	2058	5.36	3.84	2391	6.26	3.82	2758	7.25	3.81	2980	7.84	3.80	3308	8.72	3.79	3577	9.44	3.79
S51A	1826	5.56	3.28	2196	6.66	3.30	2599	7.86	3.31	2843	8.58	3.31	3201	9.64	3.32	3496	10.51	3.33
S52	2038	6.58	3.10	2223	7.20	3.09	2521	8.18	3.08	2708	8.80	3.08	2984	9.71	3.07	3216	10.47	3.07
S53	2755	7.38	3.73	3030	8.14	3.72	3464	9.33	3.71	3732	10.05	3.71	4156	11.21	3.71	4484	12.10	3.71
S55A	1883	4.90	3.84	2274	5.89	3.86	2696	6.95	3.88	2951	7.59	3.89	3303	8.48	3.89	3611	9.26	3.90
S59	290	2.39	1.21	333	2.75	1.21	354	2.98	1.19	366	3.11	1.18	381	3.28	1.16	396	3.44	1.15
S60	490	2.38	2.06	746	3.33	2.24	824	3.72	2.21	864	3.93	2.20	918	4.21	2.18	967	4.47	2.16
S61	582	2.44	2.38	825	3.34	2.47	902	3.69	2.44	936	3.86	2.43	981	4.09	2.40	1021	4.28	2.38

S62	446	2.21	2.02	681	3.23	2.11	742	3.56	2.08	761	3.69	2.06	782	3.84	2.04	803	3.98	2.02
S63	328	1.65	1.98	562	2.55	2.21	625	2.87	2.18	641	2.98	2.15	654	3.09	2.12	668	3.20	2.09
S64/65	532	2.07	2.58	592	2.36	2.51	669	2.69	2.49	686	2.80	2.45	700	2.91	2.41	713	3.01	2.37
S66	556	2.15	2.58	572	2.28	2.51	591	2.42	2.44	600	2.50	2.40	611	2.60	2.35	621	2.69	2.31
S67	450	2.21	2.04	469	2.36	1.99	490	2.52	1.94	502	2.62	1.92	519	2.75	1.89	533	2.86	1.86
S68	846	3.96	2.14	910	4.29	2.12	978	4.64	2.11	1019	4.85	2.10	1074	5.13	2.09	1122	5.38	2.08
S69	787	3.02	2.61	795	3.12	2.55	802	3.22	2.49	805	3.28	2.46	805	3.34	2.41	808	3.40	2.37
S70	564	3.25	1.74	613	3.57	1.72	668	3.92	1.70	699	4.12	1.70	741	4.39	1.69	780	4.64	1.68
S71	292	2.74	1.06	317	3.02	1.05	343	3.30	1.04	357	3.47	1.03	374	3.66	1.02	392	3.86	1.02
S73	466	3.21	1.45	500	3.54	1.41	549	3.99	1.38	579	4.25	1.36	618	4.62	1.34	654	4.94	1.32
S74	675	4.38	1.54	778	5.09	1.53	888	5.85	1.52	954	6.30	1.51	1038	6.88	1.51	1118	7.43	1.50
S75	835	5.83	1.43	912	6.37	1.43	1050	7.31	1.44	1139	7.90	1.44	1273	8.80	1.45	1384	9.55	1.45
S76	704	6.36	1.11	773	7.00	1.11	894	8.06	1.11	970	8.72	1.11	1093	9.80	1.12	1188	10.62	1.12
P77 - E1	227	2.34	1.95	243	2.60	1.88	271	3.05	1.79	289	3.33	1.74	347	4.25	1.64	371	4.68	1.59
P77 - E2	227	2.32	0.00	243	2.58	0.00	271	3.03	0.00	289	3.31	0.00	347	4.23	0.00	371	4.66	0.00
P78 - E3	159	1.52	2.10	168	1.67	2.01	183	1.92	1.91	192	2.07	1.86	279	3.18	1.76	295	3.46	1.71
P78 - E4	159	1.51	0.00	168	1.67	0.00	183	1.92	0.00	192	2.07	0.00	279	3.18	0.00	295	3.46	0.00
P79/P80 - E5	125	1.53	0.82	133	1.73	0.77	144	1.98	0.72	150	2.13	0.70	226	3.11	0.73	237	3.34	0.71
P79/P80 - E6	125	1.54	0.81	133	1.73	0.77	144	1.99	0.72	150	2.14	0.70	226	3.12	0.73	237	3.35	0.71
P81 - E7	334	3.80	1.76	364	4.35	1.68	397	4.99	1.59	417	5.38	1.55	475	6.52	1.46	499	7.05	1.42
P81 - E8	334	3.79	0.00	364	4.34	0.00	397	4.98	0.00	417	5.37	0.00	475	6.50	0.00	499	7.03	0.00
P82 - E9	370	3.87	0.96	401	4.41	0.91	436	5.02	0.87	457	5.41	0.84	493	6.08	0.81	518	6.59	0.79
P83 - E10	314	3.26	0.96	340	3.70	0.92	367	4.19	0.88	384	4.50	0.85	408	4.95	0.82	428	5.34	0.80
P84 - E11	299	3.17	0.94	326	3.63	0.90	355	4.16	0.85	373	4.48	0.83	396	4.94	0.80	417	5.34	0.78
P85 - E12	317	3.17	1.00	351	3.71	0.95	387	4.31	0.90	409	4.69	0.87	437	5.21	0.84	463	5.69	0.81
S86	474	4.34	1.09	533	5.00	1.07	596	5.70	1.05	634	6.12	1.04	686	6.68	1.03	732	7.18	1.02
S87	544	6.08	0.89	600	6.94	0.87	663	7.94	0.84	696	8.49	0.82	741	9.27	0.80	778	9.90	0.79
SETE1	565	6.09	0.93	587	6.52	0.90	620	7.12	0.87	637	7.47	0.85	663	7.97	0.83	683	8.38	0.82
SETE2	985	6.30	1.56	1044	6.92	1.51	1134	7.80	1.45	1186	8.33	1.42	1270	9.15	1.39	1333	9.78	1.36
SETE3	418	7.94	0.53	456	8.82	0.52	513	10.11	0.51	547	10.89	0.50	602	12.13	0.50	644	13.08	0.49
SETE4	328	6.81	0.48	347	7.53	0.46	375	8.59	0.44	392	9.21	0.43	418	10.20	0.41	437	10.94	0.40
SETE5	573	5.63	1.02	605	6.01	1.01	659	6.64	0.99	692	7.03	0.98	740	7.61	0.97	780	8.08	0.97
SETE6	448	6.32	0.71	480	6.91	0.69	532	7.83	0.68	562	8.39	0.67	610	9.28	0.66	645	9.94	0.65
SRET1	79	1.60	0.49	79	1.70	0.46	79	1.81	0.44	79	1.87	0.42	79	1.96	0.40	79	2.04	0.39
SRET2	74	2.02	0.36	74	2.17	0.34	74	2.34	0.31	74	2.44	0.30	74	2.58	0.29	74	2.70	0.27
SRET3	136	1.93	0.71	137	2.05	0.67	137	2.21	0.62	138	2.31	0.60	138	2.44	0.57	139	2.56	0.54
SRET4	131	2.35	0.56	130	2.54	0.51	129	2.79	0.46	129	2.94	0.44	128	3.14	0.41	128	3.32	0.38

Tabela - Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) de todas as etapas (2ª iteração).

Fundação	Início - Zero - Referencia			Etapa 1			Etapa 2			Etapa 3			Etapa 4			Etapa 5		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)
S3A	793	1.15	6.89	1004	1.51	6.66	1678	2.58	6.49	2063	3.22	6.40	2191	3.43	6.38	2572	4.06	6.33
S4A	190	0.96	1.97	367	1.70	2.16	656	2.95	2.22	822	3.68	2.23	876	3.92	2.24	1046	4.66	2.25
S6	397	1.22	3.25	751	2.20	3.42	894	2.60	3.43	1026	2.98	3.45	1165	3.37	3.45	1280	3.71	3.45
S7	549	1.31	4.19	1087	2.51	4.33	1326	3.06	4.33	1542	3.56	4.34	1778	4.10	4.33	1970	4.56	4.32
S8A	512	1.28	4.00	1107	2.66	4.17	1405	3.37	4.17	1651	3.96	4.16	1943	4.66	4.17	2143	5.19	4.13
S9A	376	0.91	4.11	1039	2.26	4.59	1442	3.14	4.60	1718	3.75	4.58	2108	4.56	4.62	2365	5.15	4.59
S11	378	0.89	4.23	734	1.72	4.26	1079	2.65	4.07	1328	3.33	3.99	1635	4.01	4.08	1878	4.68	4.01
S12/13	352	0.83	4.23	608	1.50	4.05	1130	2.62	4.32	1477	3.39	4.35	1697	3.94	4.31	2060	4.74	4.35
S14A	298	0.94	3.16	519	1.66	3.14	1055	3.33	3.16	1315	4.25	3.09	1410	4.60	3.06	1661	5.50	3.02
S15A	270	0.92	2.92	474	1.60	2.97	991	3.29	3.01	1245	4.22	2.95	1330	4.54	2.93	1579	5.46	2.89
S18	276	1.16	2.37	600	2.08	2.89	772	2.52	3.06	934	2.94	3.18	1102	3.37	3.27	1258	3.78	3.33
S19	402	1.32	3.04	858	2.46	3.49	1094	3.03	3.61	1319	3.57	3.70	1559	4.14	3.76	1758	4.68	3.76
S20/30	484	1.85	2.62	972	3.36	2.90	1256	4.19	3.00	1525	4.96	3.07	1806	5.78	3.12	2330	6.98	3.34
S21/22/31/32	1437	1.60	8.98	2893	3.18	9.10	3847	4.18	9.21	4742	5.09	9.31	5689	6.08	9.36	6534	6.99	9.35
S23/24/25/33/34	973	0.85	11.42	1851	1.65	11.21	2972	2.63	11.30	3981	3.47	11.47	4678	4.09	11.45	5722	4.97	11.50
S26/27/35/36	906	0.58	15.69	1658	1.05	15.81	3578	2.25	15.93	5141	3.16	16.27	5697	3.49	16.33	7282	4.42	16.48
S28/39	509	0.54	9.38	850	0.88	9.67	2168	2.06	10.54	3194	2.94	10.86	3535	3.24	10.92	4538	4.10	11.06
S29A	238	0.57	4.18	436	0.98	4.44	942	2.04	4.63	1317	2.80	4.70	1441	3.06	4.71	1808	3.81	4.74
S37	401	1.73	2.32	716	2.79	2.56	871	3.30	2.64	1018	3.78	2.69	1166	4.27	2.73	1313	4.76	2.76
S38	881	2.73	3.23	1182	3.88	3.05	1318	4.41	2.98	1447	4.92	2.94	1580	5.45	2.90	1701	5.99	2.84
S40A	225	0.41	5.46	419	0.75	5.55	986	1.71	5.75	1423	2.43	5.85	1568	2.67	5.87	1993	3.37	5.91
S41A	373	0.96	3.89	876	2.02	4.34	1096	2.49	4.41	1303	2.93	4.45	1546	3.44	4.49	1776	3.95	4.50
S43A	310	1.16	2.68	733	2.65	2.76	954	3.51	2.72	1162	4.29	2.71	1422	5.24	2.71	1689	6.24	2.70
S45A	158	0.98	1.60	389	2.26	1.72	513	3.27	1.57	635	4.13	1.54	795	5.02	1.58	963	6.16	1.56
S46A	120	0.79	1.51	224	1.59	1.41	558	3.20	1.74	754	4.23	1.78	819	4.75	1.72	1090	6.12	1.78
S48A	257	0.97	2.64	479	1.88	2.54	980	3.82	2.56	1217	4.81	2.53	1302	5.22	2.49	1591	6.43	2.47
S49A	255	0.62	4.11	450	1.19	3.79	1066	2.72	3.92	1317	3.38	3.89	1404	3.62	3.88	1670	4.33	3.86
S51A	185	0.55	3.35	315	1.04	3.03	776	2.43	3.20	1040	3.22	3.23	1130	3.49	3.24	1401	4.30	3.25
S52	913	2.81	3.25	1223	3.83	3.19	1338	4.23	3.17	1452	4.61	3.15	1565	5.00	3.13	1678	5.39	3.11
S53	1046	2.71	3.86	1476	3.89	3.79	1652	4.38	3.77	1825	4.86	3.75	2001	5.36	3.74	2170	5.85	3.71
S55A	215	0.54	4.00	388	1.06	3.66	815	2.17	3.75	1077	2.85	3.78	1170	3.09	3.79	1444	3.79	3.81
S59	177	1.27	1.39	247	1.83	1.35	252	1.91	1.32	260	2.00	1.30	265	2.08	1.28	270	2.15	1.26
S60	339	1.30	2.61	434	1.76	2.46	445	1.87	2.37	450	1.95	2.31	470	2.09	2.25	473	2.16	2.20

S61	241	0.90	2.67	353	1.37	2.57	454	1.77	2.57	458	1.82	2.51	564	2.23	2.53	567	2.28	2.49
S62	55	0.30	1.83	138	0.70	1.97	288	1.35	2.13	289	1.40	2.07	432	2.01	2.15	433	2.06	2.11
S63	51	0.26	1.94	66	0.41	1.63	197	0.95	2.08	199	1.00	1.99	317	1.47	2.16	321	1.52	2.11
S64/65	174	0.58	2.98	279	0.95	2.93	431	1.50	2.88	440	1.58	2.79	502	1.82	2.76	512	1.90	2.70
S66	224	0.76	2.93	370	1.26	2.93	512	1.80	2.84	522	1.88	2.77	529	1.93	2.74	538	2.01	2.67
S67	161	0.72	2.22	276	1.21	2.28	395	1.77	2.23	411	1.89	2.18	415	1.93	2.16	431	2.04	2.11
S68	349	1.57	2.22	490	2.21	2.22	651	2.97	2.19	698	3.21	2.17	714	3.29	2.17	762	3.54	2.15
S69	548	1.87	2.92	680	2.36	2.88	783	2.80	2.80	789	2.87	2.75	789	2.89	2.73	793	2.95	2.68
S70	234	1.34	1.74	390	2.16	1.81	415	2.32	1.79	439	2.47	1.78	465	2.63	1.76	484	2.77	1.75
S71	97	0.87	1.11	167	1.45	1.15	229	2.02	1.13	247	2.22	1.11	253	2.29	1.11	271	2.49	1.09
S73	186	1.15	1.62	319	1.85	1.73	342	2.06	1.66	365	2.26	1.61	389	2.47	1.57	411	2.67	1.54
S74	132	0.76	1.73	235	1.41	1.66	383	2.38	1.61	455	2.88	1.58	482	3.06	1.57	556	3.57	1.56
S75	320	2.28	1.40	481	3.34	1.44	528	3.68	1.43	578	4.03	1.43	627	4.38	1.43	678	4.74	1.43
S76	230	2.15	1.07	367	3.34	1.10	410	3.74	1.10	454	4.14	1.10	501	4.57	1.10	552	5.02	1.10
P77 - E1	66	0.41	3.33	111	0.86	2.61	122	1.00	2.46	132	1.13	2.34	162	1.48	2.22	193	1.84	2.11
P77 - E2	66	0.39	0.00	111	0.84	0.00	122	0.98	0.00	132	1.11	0.00	162	1.46	0.00	193	1.82	0.00
P78 -E3	21	0.11	4.02	22	0.19	2.44	23	0.24	1.94	24	0.29	1.67	83	0.69	2.42	141	1.24	2.28
P78 -E4	21	0.10	0.00	22	0.18	0.00	23	0.24	0.00	24	0.28	0.00	83	0.68	0.00	141	1.23	0.00
P79/P80 - E5	21	0.13	1.60	22	0.24	0.95	25	0.36	0.68	26	0.45	0.58	50	0.64	0.79	113	1.25	0.91
P79/P80 -E6	21	0.13	1.61	22	0.23	0.97	25	0.37	0.67	26	0.46	0.57	50	0.65	0.78	113	1.26	0.90
P81 - E7	57	0.28	4.09	102	0.69	2.96	214	1.91	2.24	237	2.24	2.18	247	2.41	2.05	302	3.22	1.88
P81 - E8	57	0.28	0.00	102	0.69	0.00	214	1.91	0.00	157	1.40	0.00	247	2.41	0.00	302	3.21	0.00
P82 - E9	106	0.59	1.79	182	1.31	1.39	292	2.65	1.10	314	2.97	1.06	325	3.14	1.04	354	3.59	0.99
P83 - E10	83	0.43	1.91	154	1.08	1.43	238	2.07	1.15	257	2.35	1.09	266	2.49	1.07	283	2.77	1.02
P84 - E11	97	0.57	1.72	165	1.22	1.35	232	2.05	1.13	250	2.34	1.07	260	2.49	1.05	279	2.79	1.00
P85 - E12	96	0.53	1.82	160	1.13	1.42	229	1.92	1.19	251	2.22	1.13	262	2.36	1.11	285	2.69	1.06
S86	193	1.28	1.51	220	1.61	1.37	292	2.39	1.22	336	2.89	1.17	351	3.05	1.15	396	3.55	1.12
S87	100	1.02	0.97	236	2.34	1.01	351	3.32	1.06	387	3.81	1.02	437	4.43	0.99	470	4.88	0.96
SETE1	392	3.36	1.16	442	4.10	1.08	464	4.43	1.05	484	4.73	1.02	503	5.03	1.00	519	5.30	0.98
SETE2	643	2.81	2.29	760	3.73	2.04	814	4.18	1.95	863	4.59	1.88	912	5.01	1.82	950	5.41	1.76
SETE3	180	2.78	0.65	235	3.98	0.59	259	4.55	0.57	282	5.09	0.55	305	5.65	0.54	326	6.26	0.52
SETE4	192	2.51	0.77	243	3.64	0.67	263	4.17	0.63	281	4.67	0.60	300	5.20	0.58	314	5.76	0.54
SETE5	351	3.09	1.13	431	3.91	1.10	457	4.20	1.09	484	4.49	1.08	510	4.77	1.07	534	5.05	1.06
SETE6	218	2.35	0.93	298	3.53	0.84	332	4.03	0.82	364	4.50	0.81	394	5.00	0.79	422	5.49	0.77
SRET1	79	1.11	0.72	79	1.28	0.62	79	1.33	0.60	79	1.37	0.58	79	1.42	0.56	79	1.47	0.54
SRET2	72	1.20	0.60	72	1.48	0.49	72	1.56	0.46	73	1.64	0.44	73	1.72	0.42	73	1.79	0.41
SRET3	132	1.20	1.10	133	1.41	0.94	134	1.49	0.89	134	1.57	0.86	135	1.65	0.82	135	1.72	0.79
SRET4	136	1.27	1.07	135	1.59	0.85	134	1.70	0.79	133	1.81	0.73	133	1.93	0.69	132	2.04	0.65

Fundação	Etapa 6			Etapa 7			Etapa 8			Etapa 9			Etapa 10			Etapa 11		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)
S3A	3142	5.01	6.27	3649	5.84	6.24	4192	6.74	6.22	4513	7.28	6.20	4955	8.02	6.18	5334	8.65	6.17
S4A	1305	5.78	2.26	1542	6.80	2.27	1793	7.88	2.28	1940	8.51	2.28	2121	9.30	2.28	2296	10.06	2.28
S6	1667	4.80	3.48	1904	5.48	3.48	2185	6.29	3.47	2350	6.77	3.47	2572	7.43	3.46	2771	8.00	3.46
S7	2613	6.00	4.35	3036	6.96	4.36	3497	8.05	4.35	3760	8.67	4.34	4142	9.58	4.32	4457	10.33	4.31
S8A	2875	6.91	4.16	3320	7.99	4.16	3862	9.31	4.15	4166	10.06	4.14	4623	11.19	4.13	4986	12.08	4.13
S9A	3116	6.83	4.56	3692	8.05	4.59	4328	9.46	4.57	4659	10.22	4.56	5104	11.27	4.53	5482	12.14	4.52
S11	2519	6.28	4.01	2943	7.39	3.98	3496	8.80	3.97	3781	9.55	3.96	4127	10.48	3.94	4441	11.31	3.93
S12/13	2728	6.31	4.33	3257	7.50	4.34	3883	8.94	4.34	4230	9.74	4.34	4625	10.70	4.32	5008	11.58	4.32
S14A	2053	6.94	2.96	2390	8.16	2.93	2762	9.53	2.90	2979	10.33	2.88	3254	11.39	2.86	3501	12.31	2.84
S15A	1957	6.87	2.85	2290	8.11	2.82	2653	9.47	2.80	2868	10.27	2.79	3161	11.39	2.77	3412	12.34	2.77
S18	1717	4.96	3.46	1982	5.65	3.51	2341	6.58	3.56	2555	7.13	3.58	2844	7.91	3.60	3104	8.58	3.62
S19	2431	6.20	3.92	2818	7.12	3.96	3329	8.33	4.00	3632	9.04	4.02	4098	10.13	4.05	4461	10.98	4.06
S20/30	2828	8.74	3.24	3246	9.98	3.25	3866	11.76	3.29	4242	12.82	3.31	4863	14.54	3.35	5311	15.81	3.36
S21/22/31/32	9146	9.60	9.52	10626	11.12	9.56	12717	13.24	9.60	13942	14.49	9.62	15815	16.39	9.65	17245	17.85	9.66
S23/24/25/33/34	7893	6.80	11.60	9375	8.05	11.64	11301	9.67	11.69	12404	10.59	11.71	13802	11.81	11.69	15041	12.86	11.70
S26/27/35/36	9798	5.88	16.66	11998	7.15	16.77	14454	8.58	16.85	15923	9.43	16.89	18119	10.69	16.96	19852	11.69	16.99
S28/39	6004	5.38	11.16	7305	6.51	11.22	8714	7.74	11.26	9562	8.47	11.28	10811	9.55	11.33	11815	10.42	11.34
S29A	2336	4.90	4.77	2806	5.87	4.78	3305	6.90	4.79	3598	7.51	4.79	3957	8.27	4.79	4302	8.98	4.79
S37	1731	6.12	2.83	1960	6.88	2.85	2299	7.99	2.88	2504	8.66	2.89	2787	9.61	2.90	3038	10.42	2.91
S38	2080	7.41	2.81	2281	8.21	2.78	2583	9.39	2.75	2768	10.10	2.74	3062	11.23	2.73	3286	12.09	2.72
S40A	2603	4.39	5.93	3144	5.29	5.94	3721	6.25	5.95	4063	6.82	5.95	4492	7.55	5.95	4896	8.23	5.95
S41A	2378	5.20	4.57	2693	5.88	4.58	3180	6.91	4.60	3476	7.53	4.62	3964	8.56	4.63	4318	9.30	4.64
S43A	2234	8.29	2.70	2534	9.45	2.68	2982	11.14	2.68	3249	12.14	2.68	3694	13.82	2.67	4002	14.98	2.67
S45A	1294	8.23	1.57	1475	9.49	1.55	1749	11.25	1.55	1912	12.29	1.56	2195	14.03	1.56	2383	15.23	1.56
S46A	1385	7.91	1.75	1648	9.34	1.76	1938	11.02	1.76	2112	12.02	1.76	2402	13.64	1.76	2606	14.80	1.76
S48A	1961	8.05	2.44	2279	9.42	2.42	2636	10.98	2.40	2850	11.90	2.39	3189	13.36	2.39	3444	14.46	2.38
S49A	2055	5.36	3.83	2394	6.27	3.82	2768	7.27	3.81	2993	7.87	3.80	3330	8.77	3.80	3605	9.50	3.80
S51A	1810	5.53	3.28	2179	6.62	3.29	2580	7.81	3.30	2822	8.53	3.31	3178	9.59	3.31	3472	10.46	3.32
S52	2022	6.54	3.09	2198	7.14	3.08	2484	8.10	3.07	2663	8.69	3.06	2928	9.59	3.05	3150	10.32	3.05
S53	2684	7.25	3.71	2951	7.99	3.69	3372	9.14	3.69	3632	9.86	3.69	4044	10.98	3.68	4361	11.85	3.68
S55A	1868	4.87	3.84	2256	5.85	3.86	2678	6.92	3.87	2932	7.56	3.88	3284	8.44	3.89	3591	9.22	3.90
S59	292	2.40	1.22	337	2.77	1.22	360	3.01	1.20	372	3.14	1.18	388	3.31	1.17	403	3.48	1.16
S60	489	2.38	2.05	741	3.32	2.23	819	3.71	2.21	859	3.92	2.19	912	4.20	2.17	961	4.45	2.16
S61	580	2.44	2.38	824	3.34	2.46	900	3.69	2.44	934	3.86	2.42	978	4.08	2.39	1018	4.28	2.38
S62	439	2.19	2.01	674	3.20	2.11	733	3.53	2.08	751	3.65	2.06	769	3.80	2.03	789	3.93	2.01
S63	330	1.66	1.99	561	2.55	2.20	625	2.87	2.18	640	2.97	2.15	654	3.09	2.12	667	3.19	2.09

S64/65	532	2.06	2.58	594	2.36	2.51	670	2.69	2.49	686	2.80	2.45	700	2.91	2.41	714	3.01	2.37
S66	554	2.15	2.58	571	2.28	2.51	589	2.42	2.44	598	2.49	2.40	608	2.59	2.35	618	2.68	2.31
S67	455	2.22	2.05	475	2.37	2.00	496	2.54	1.95	510	2.64	1.93	527	2.78	1.90	542	2.89	1.87
S68	833	3.91	2.13	895	4.23	2.12	963	4.58	2.10	1003	4.79	2.09	1057	5.07	2.08	1104	5.32	2.08
S69	799	3.06	2.61	809	3.16	2.56	817	3.27	2.50	821	3.33	2.47	823	3.39	2.42	827	3.46	2.39
S70	559	3.23	1.73	607	3.55	1.71	660	3.89	1.70	691	4.09	1.69	732	4.36	1.68	770	4.60	1.67
S71	301	2.80	1.07	329	3.10	1.06	358	3.41	1.05	375	3.59	1.05	394	3.80	1.04	414	4.01	1.03
S73	477	3.24	1.47	514	3.58	1.43	568	4.04	1.40	600	4.31	1.39	643	4.69	1.37	683	5.03	1.36
S74	668	4.35	1.54	771	5.06	1.53	883	5.82	1.52	950	6.28	1.51	1036	6.87	1.51	1117	7.42	1.50
S75	838	5.84	1.44	915	6.38	1.44	1054	7.31	1.44	1143	7.91	1.45	1277	8.81	1.45	1389	9.55	1.45
S76	689	6.26	1.10	758	6.88	1.10	877	7.94	1.10	951	8.59	1.11	1074	9.66	1.11	1167	10.47	1.11
P77 - E1	225	2.32	1.95	241	2.58	1.88	267	3.01	1.78	284	3.28	1.74	340	4.16	1.64	362	4.56	1.59
P77 - E2	225	2.30	0.00	241	2.56	0.00	267	2.98	0.00	284	3.25	0.00	340	4.13	0.00	362	4.53	0.00
P78 -E3	159	1.52	2.10	168	1.68	2.01	183	1.92	1.91	192	2.07	1.86	279	3.18	1.75	295	3.46	1.71
P78 -E4	159	1.52	0.00	168	1.67	0.00	183	1.92	0.00	192	2.07	0.00	279	3.18	0.00	295	3.46	0.00
P79/P80 - E5	126	1.54	0.82	135	1.74	0.77	146	2.00	0.73	153	2.16	0.71	230	3.16	0.73	238	3.36	0.71
P79/P80 -E6	126	1.54	0.82	135	1.75	0.77	146	2.01	0.73	153	2.17	0.70	230	3.16	0.73	238	3.36	0.71
P81 - E7	338	3.84	1.76	367	4.39	1.67	400	5.03	1.59	420	5.43	1.55	477	6.55	1.46	501	7.07	1.42
P81 - E8	338	3.84	0.00	367	4.38	0.00	400	5.02	0.00	420	5.41	0.00	477	6.53	0.00	501	7.05	0.00
P82 - E9	389	4.16	0.93	418	4.68	0.89	450	5.26	0.86	469	5.62	0.83	501	6.24	0.80	524	6.70	0.78
P83 - E10	312	3.23	0.97	337	3.66	0.92	364	4.14	0.88	380	4.44	0.86	404	4.88	0.83	423	5.26	0.80
P84 - E11	309	3.29	0.94	336	3.77	0.89	365	4.30	0.85	383	4.63	0.83	406	5.09	0.80	427	5.51	0.77
P85 - E12	322	3.24	0.99	355	3.76	0.94	390	4.35	0.90	410	4.71	0.87	437	5.21	0.84	462	5.67	0.81
S86	462	4.28	1.08	521	4.94	1.06	585	5.64	1.04	623	6.06	1.03	676	6.62	1.02	721	7.12	1.01
S87	569	6.22	0.91	637	7.14	0.89	713	8.21	0.87	754	8.80	0.86	812	9.65	0.84	858	10.33	0.83
SETE1	574	6.15	0.93	603	6.62	0.91	645	7.28	0.89	669	7.68	0.87	704	8.24	0.85	733	8.71	0.84
SETE2	1087	6.55	1.66	1158	7.20	1.61	1264	8.12	1.56	1327	8.68	1.53	1428	9.53	1.50	1503	10.20	1.47
SETE3	393	7.73	0.51	429	8.57	0.50	482	9.83	0.49	514	10.58	0.49	566	11.78	0.48	605	12.69	0.48
SETE4	363	7.06	0.51	387	7.82	0.49	424	8.93	0.47	445	9.59	0.46	480	10.64	0.45	505	11.43	0.44
SETE5	614	5.90	1.04	653	6.33	1.03	719	7.05	1.02	761	7.49	1.02	820	8.14	1.01	871	8.69	1.00
SETE6	513	6.82	0.75	558	7.52	0.74	630	8.60	0.73	673	9.25	0.73	741	10.31	0.72	793	11.10	0.71
SRET1	79	1.60	0.49	79	1.70	0.46	79	1.81	0.44	79	1.87	0.42	79	1.96	0.40	79	2.04	0.39
SRET2	73	2.02	0.36	73	2.17	0.34	74	2.34	0.31	74	2.44	0.30	74	2.58	0.29	74	2.70	0.27
SRET3	137	1.93	0.71	138	2.06	0.67	138	2.23	0.62	139	2.33	0.60	140	2.46	0.57	140	2.58	0.54
SRET4	130	2.35	0.55	129	2.55	0.51	128	2.80	0.46	127	2.95	0.43	127	3.15	0.40	126	3.33	0.38

Tabela - Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) de todas as etapas (3ª iteração).

Fundação	Início - Zero - Referencia			Etapa 1			Etapa 2			Etapa 3			Etapa 4			Etapa 5		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)
S3A	793	1.15	6.89	1005	1.51	6.66	1679	2.59	6.50	2065	3.22	6.41	2193	3.44	6.38	2576	4.07	6.33
S4A	190	0.96	1.97	367	1.70	2.16	655	2.95	2.22	820	3.67	2.23	874	3.91	2.24	1045	4.65	2.25
S6	397	1.22	3.25	751	2.20	3.42	894	2.60	3.43	1027	2.98	3.45	1166	3.38	3.45	1291	3.73	3.46
S7	549	1.31	4.18	1086	2.51	4.33	1326	3.06	4.33	1541	3.56	4.33	1777	4.10	4.33	1988	4.58	4.34
S8A	512	1.28	4.00	1107	2.66	4.17	1408	3.38	4.17	1655	3.97	4.17	1949	4.67	4.17	2180	5.24	4.16
S9A	376	0.92	4.11	1040	2.26	4.59	1444	3.14	4.60	1719	3.76	4.58	2110	4.57	4.62	2379	5.18	4.60
S11	377	0.89	4.23	731	1.72	4.25	1078	2.65	4.07	1329	3.33	3.99	1633	4.01	4.07	1877	4.68	4.01
S12/13	352	0.83	4.23	610	1.50	4.06	1129	2.62	4.32	1476	3.39	4.35	1698	3.94	4.31	2057	4.74	4.34
S14A	298	0.94	3.15	519	1.66	3.14	1053	3.33	3.16	1314	4.25	3.09	1409	4.60	3.06	1661	5.50	3.02
S15A	269	0.92	2.91	473	1.60	2.96	989	3.29	3.01	1242	4.22	2.95	1327	4.54	2.93	1576	5.45	2.89
S18	276	1.17	2.37	601	2.08	2.89	772	2.52	3.06	934	2.94	3.18	1101	3.37	3.27	1261	3.78	3.34
S19	402	1.32	3.04	857	2.46	3.48	1093	3.04	3.60	1318	3.57	3.69	1558	4.14	3.76	1767	4.66	3.79
S20/30	483	1.85	2.61	969	3.35	2.89	1251	4.18	2.99	1517	4.95	3.07	1795	5.76	3.11	2114	6.62	3.19
S21/22/31/32	1436	1.60	8.95	2893	3.18	9.10	3846	4.18	9.21	4740	5.09	9.31	5686	6.08	9.36	6580	7.01	9.39
S23/24/25/33/34	974	0.86	11.39	1853	1.65	11.21	2973	2.63	11.30	3982	3.47	11.47	4680	4.09	11.45	5720	4.97	11.50
S26/27/35/36	906	0.58	15.56	1658	1.05	15.81	3581	2.25	15.93	5145	3.16	16.28	5701	3.49	16.33	7285	4.42	16.48
S28/39	509	0.54	9.35	850	0.88	9.67	2168	2.06	10.54	3194	2.94	10.86	3535	3.24	10.92	4538	4.10	11.06
S29A	238	0.57	4.18	436	0.98	4.44	943	2.04	4.63	1318	2.81	4.70	1441	3.06	4.71	1809	3.81	4.75
S37	401	1.73	2.32	715	2.79	2.56	869	3.30	2.63	1015	3.78	2.69	1162	4.27	2.72	1310	4.75	2.76
S38	884	2.74	3.23	1178	3.87	3.04	1310	4.40	2.98	1434	4.90	2.93	1562	5.41	2.89	1683	5.92	2.84
S40A	225	0.42	5.39	419	0.75	5.55	986	1.71	5.75	1423	2.43	5.85	1568	2.67	5.87	1994	3.37	5.91
S41A	375	1.00	3.74	877	2.02	4.34	1097	2.49	4.40	1305	2.93	4.45	1548	3.45	4.49	1794	3.97	4.52
S43A	310	1.18	2.63	733	2.66	2.76	954	3.51	2.72	1162	4.29	2.71	1421	5.24	2.71	1691	6.25	2.70
S45A	158	1.00	1.57	389	2.26	1.72	513	3.27	1.57	635	4.13	1.54	794	5.02	1.58	961	6.16	1.56
S46A	120	0.82	1.47	224	1.59	1.41	559	3.21	1.74	755	4.23	1.78	820	4.75	1.73	1090	6.12	1.78
S48A	257	1.01	2.53	479	1.88	2.54	979	3.82	2.56	1215	4.80	2.53	1300	5.22	2.49	1588	6.42	2.47
S49A	257	0.68	3.78	450	1.19	3.79	1067	2.72	3.93	1318	3.38	3.89	1405	3.62	3.88	1672	4.33	3.86
S51A	185	0.61	3.05	315	1.04	3.03	776	2.43	3.20	1039	3.22	3.23	1130	3.49	3.23	1400	4.30	3.25
S52	917	2.82	3.26	1227	3.84	3.19	1341	4.23	3.17	1454	4.62	3.15	1566	5.00	3.13	1685	5.40	3.12
S53	1037	2.70	3.84	1465	3.87	3.78	1639	4.36	3.76	1810	4.83	3.74	1984	5.32	3.73	2167	5.83	3.72
S55A	217	0.60	3.62	388	1.06	3.66	815	2.17	3.75	1076	2.85	3.78	1170	3.09	3.79	1444	3.79	3.81
S59	177	1.27	1.39	247	1.83	1.35	253	1.91	1.32	260	2.00	1.30	265	2.08	1.28	271	2.16	1.26
S60	339	1.30	2.61	434	1.76	2.46	444	1.87	2.37	449	1.95	2.30	469	2.09	2.25	474	2.16	2.19

S61	241	0.90	2.67	353	1.37	2.57	454	1.77	2.57	458	1.82	2.51	564	2.23	2.53	567	2.28	2.49
S62	55	0.30	1.83	138	0.70	1.97	287	1.35	2.13	289	1.40	2.06	431	2.01	2.15	432	2.05	2.10
S63	51	0.26	1.94	66	0.41	1.63	197	0.95	2.08	200	1.00	1.99	318	1.47	2.17	322	1.53	2.11
S64/65	174	0.58	2.98	279	0.95	2.93	431	1.50	2.88	440	1.58	2.79	501	1.81	2.76	512	1.90	2.70
S66	224	0.76	2.93	370	1.26	2.93	512	1.80	2.84	521	1.88	2.77	529	1.93	2.74	538	2.01	2.67
S67	161	0.73	2.22	276	1.21	2.28	395	1.77	2.23	411	1.89	2.18	416	1.93	2.16	432	2.04	2.11
S68	349	1.57	2.22	490	2.20	2.22	650	2.96	2.19	697	3.21	2.17	712	3.29	2.17	760	3.53	2.15
S69	547	1.87	2.92	680	2.36	2.88	784	2.80	2.80	790	2.87	2.75	790	2.89	2.73	794	2.96	2.68
S70	234	1.34	1.74	390	2.16	1.81	415	2.32	1.79	438	2.47	1.77	464	2.63	1.76	486	2.77	1.75
S71	96	0.87	1.11	167	1.45	1.15	229	2.03	1.13	248	2.23	1.11	253	2.29	1.11	272	2.49	1.09
S73	186	1.15	1.62	319	1.85	1.73	343	2.06	1.66	366	2.26	1.62	391	2.48	1.58	414	2.68	1.55
S74	132	0.80	1.66	235	1.41	1.66	383	2.38	1.61	455	2.88	1.58	482	3.06	1.57	556	3.57	1.55
S75	321	2.29	1.40	482	3.35	1.44	530	3.69	1.44	579	4.04	1.43	629	4.39	1.43	683	4.77	1.43
S76	232	2.17	1.07	367	3.33	1.10	411	3.74	1.10	454	4.14	1.10	501	4.57	1.10	553	5.03	1.10
P77 - E1	66	0.40	3.33	111	0.86	2.61	122	1.00	2.46	132	1.13	2.34	162	1.48	2.22	193	1.85	2.11
P77 - E2	66	0.39	0.00	111	0.84	0.00	122	0.98	0.00	132	1.11	0.00	162	1.46	0.00	193	1.83	0.00
P78 -E3	21	0.11	4.01	22	0.19	2.44	23	0.24	1.94	24	0.29	1.67	83	0.69	2.42	141	1.24	2.28
P78 -E4	21	0.10	0.00	22	0.18	0.00	23	0.24	0.00	24	0.28	0.00	83	0.68	0.00	141	1.24	0.00
P79/P80 - E5	21	0.13	1.60	22	0.24	0.95	25	0.36	0.68	26	0.45	0.58	50	0.64	0.79	113	1.25	0.91
P79/P80 -E6	21	0.13	1.61	22	0.23	0.97	25	0.37	0.67	26	0.46	0.57	50	0.65	0.78	113	1.26	0.90
P81 - E7	57	0.28	4.09	102	0.69	2.96	214	1.91	2.24	238	2.25	2.18	247	2.42	2.05	303	3.23	1.88
P81 - E8	57	0.28	0.00	102	0.69	0.00	214	1.91	0.00	156	1.40	0.00	247	2.41	0.00	303	3.22	0.00
P82 - E9	105	0.58	1.80	181	1.30	1.39	291	2.63	1.11	313	2.95	1.06	324	3.12	1.04	351	3.53	0.99
P83 - E10	83	0.43	1.91	155	1.09	1.42	239	2.09	1.15	258	2.36	1.09	267	2.50	1.07	285	2.79	1.02
P84 - E11	96	0.56	1.72	165	1.22	1.35	231	2.05	1.13	250	2.33	1.07	260	2.48	1.05	278	2.79	1.00
P85 - E12	95	0.52	1.82	160	1.13	1.42	229	1.92	1.19	251	2.22	1.13	262	2.36	1.11	285	2.69	1.06
S86	194	1.29	1.51	220	1.61	1.37	292	2.39	1.22	336	2.89	1.17	350	3.05	1.15	395	3.54	1.11
S87	100	1.02	0.97	236	2.34	1.01	350	3.32	1.05	387	3.81	1.02	439	4.44	0.99	475	4.92	0.97
SETE1	389	3.34	1.16	438	4.07	1.08	460	4.40	1.05	480	4.70	1.02	500	5.01	1.00	518	5.30	0.98
SETE2	649	2.82	2.30	775	3.77	2.05	834	4.23	1.97	887	4.65	1.91	941	5.09	1.85	991	5.50	1.80
SETE3	175	2.75	0.64	227	3.93	0.58	250	4.49	0.56	272	5.01	0.54	294	5.56	0.53	313	6.10	0.51
SETE4	192	2.51	0.76	246	3.65	0.67	267	4.20	0.64	288	4.72	0.61	308	5.26	0.59	325	5.78	0.56
SETE5	349	3.08	1.13	432	3.92	1.10	460	4.22	1.09	488	4.52	1.08	515	4.81	1.07	544	5.12	1.06
SETE6	221	2.42	0.92	303	3.57	0.85	338	4.08	0.83	372	4.57	0.81	405	5.08	0.80	441	5.63	0.78
SRET1	80	1.11	0.72	80	1.28	0.62	80	1.33	0.60	79	1.38	0.58	79	1.43	0.56	79	1.47	0.54
SRET2	72	1.20	0.60	72	1.48	0.48	72	1.56	0.46	72	1.64	0.44	73	1.72	0.42	73	1.80	0.41
SRET3	131	1.20	1.10	133	1.41	0.94	133	1.49	0.89	134	1.57	0.85	135	1.65	0.82	135	1.72	0.79
SRET4	136	1.27	1.07	135	1.59	0.85	134	1.71	0.79	133	1.82	0.73	133	1.93	0.69	132	2.04	0.65

Fundação	Etapa 6			Etapa 7			Etapa 8			Etapa 9			Etapa 10			Etapa 11		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)
S3A	3147	5.01	6.28	3654	5.85	6.25	4198	6.75	6.22	4520	7.29	6.20	4963	8.03	6.18	5342	8.66	6.17
S4A	1303	5.77	2.26	1539	6.79	2.27	1789	7.87	2.27	1936	8.50	2.28	2116	9.29	2.28	2291	10.04	2.28
S6	1670	4.80	3.48	1907	5.48	3.48	2189	6.30	3.48	2353	6.77	3.47	2576	7.44	3.46	2775	8.01	3.46
S7	2614	6.01	4.35	3036	6.96	4.36	3496	8.05	4.34	3759	8.67	4.34	4140	9.59	4.32	4455	10.33	4.31
S8A	2887	6.93	4.17	3335	8.01	4.16	3880	9.34	4.15	4186	10.09	4.15	4647	11.23	4.14	5012	12.13	4.13
S9A	3122	6.84	4.57	3697	8.06	4.59	4332	9.47	4.57	4664	10.23	4.56	5110	11.28	4.53	5489	12.15	4.52
S11	2519	6.28	4.01	2944	7.40	3.98	3496	8.80	3.97	3782	9.55	3.96	4128	10.48	3.94	4443	11.32	3.93
S12/13	2730	6.31	4.33	3259	7.50	4.34	3885	8.94	4.34	4232	9.74	4.34	4628	10.70	4.32	5010	11.59	4.32
S14A	2053	6.94	2.96	2390	8.16	2.93	2762	9.53	2.90	2980	10.33	2.88	3256	11.39	2.86	3502	12.31	2.84
S15A	1953	6.86	2.85	2285	8.10	2.82	2647	9.45	2.80	2861	10.26	2.79	3153	11.38	2.77	3403	12.32	2.76
S18	1716	4.96	3.46	1979	5.65	3.50	2338	6.58	3.55	2552	7.13	3.58	2840	7.91	3.59	3099	8.58	3.61
S19	2426	6.19	3.92	2813	7.12	3.95	3325	8.32	3.99	3628	9.04	4.01	4093	10.12	4.04	4456	10.98	4.06
S20/30	2808	8.70	3.23	3221	9.94	3.24	3836	11.71	3.28	4208	12.77	3.30	4822	14.47	3.33	5265	15.73	3.35
S21/22/31/32	9133	9.59	9.52	10609	11.11	9.55	12694	13.23	9.60	13915	14.47	9.62	15780	16.37	9.64	17206	17.82	9.65
S23/24/25/33/34	7892	6.80	11.60	9373	8.05	11.64	11298	9.67	11.69	12400	10.59	11.71	13798	11.81	11.69	15036	12.85	11.70
S26/27/35/36	9803	5.88	16.66	12004	7.16	16.77	14462	8.58	16.86	15932	9.43	16.90	18128	10.69	16.96	19862	11.69	16.99
S28/39	6005	5.38	11.16	7306	6.51	11.22	8715	7.74	11.26	9563	8.48	11.28	10812	9.55	11.32	11816	10.42	11.34
S29A	2337	4.90	4.77	2808	5.87	4.78	3307	6.90	4.79	3600	7.51	4.79	3959	8.27	4.79	4305	8.99	4.79
S37	1723	6.11	2.82	1949	6.86	2.84	2286	7.96	2.87	2490	8.63	2.88	2770	9.58	2.89	3019	10.39	2.91
S38	2043	7.34	2.78	2236	8.12	2.75	2526	9.28	2.72	2703	9.98	2.71	2984	11.08	2.69	3199	11.93	2.68
S40A	2604	4.39	5.93	3145	5.29	5.95	3723	6.25	5.95	4065	6.83	5.95	4494	7.56	5.95	4898	8.24	5.95
S41A	2382	5.21	4.57	2699	5.90	4.58	3187	6.93	4.60	3483	7.55	4.61	3973	8.58	4.63	4327	9.33	4.64
S43A	2233	8.29	2.69	2532	9.44	2.68	2980	11.13	2.68	3247	12.14	2.68	3691	13.81	2.67	3998	14.97	2.67
S45A	1293	8.22	1.57	1473	9.48	1.55	1747	11.24	1.55	1909	12.28	1.55	2192	14.02	1.56	2379	15.21	1.56
S46A	1386	7.91	1.75	1648	9.34	1.77	1939	11.02	1.76	2112	12.02	1.76	2402	13.63	1.76	2606	14.80	1.76
S48A	1956	8.04	2.43	2273	9.41	2.42	2628	10.96	2.40	2842	11.88	2.39	3180	13.33	2.38	3433	14.43	2.38
S49A	2057	5.36	3.83	2396	6.27	3.82	2770	7.27	3.81	2997	7.87	3.81	3334	8.77	3.80	3609	9.50	3.80
S51A	1810	5.52	3.28	2177	6.62	3.29	2578	7.81	3.30	2820	8.53	3.31	3175	9.58	3.31	3468	10.45	3.32
S52	2018	6.53	3.09	2192	7.12	3.08	2474	8.07	3.06	2649	8.66	3.06	2910	9.54	3.05	3127	10.27	3.05
S53	2658	7.19	3.70	2920	7.92	3.69	3335	9.07	3.68	3590	9.77	3.67	3994	10.88	3.67	4306	11.73	3.67
S55A	1867	4.87	3.84	2255	5.85	3.86	2677	6.91	3.87	2931	7.55	3.88	3282	8.44	3.89	3589	9.21	3.90
S59	293	2.40	1.22	338	2.78	1.22	361	3.01	1.20	373	3.15	1.19	389	3.32	1.17	405	3.48	1.16
S60	489	2.38	2.05	741	3.32	2.23	818	3.71	2.21	859	3.92	2.19	911	4.20	2.17	960	4.45	2.16
S61	579	2.44	2.38	824	3.34	2.46	900	3.69	2.44	934	3.86	2.42	977	4.08	2.39	1017	4.28	2.38
S62	438	2.19	2.00	673	3.20	2.10	731	3.53	2.07	749	3.65	2.05	768	3.79	2.03	787	3.92	2.00

S63	331	1.66	1.99	561	2.55	2.20	625	2.87	2.18	640	2.97	2.15	654	3.09	2.12	667	3.19	2.09
S64/65	531	2.06	2.57	594	2.37	2.51	670	2.69	2.49	687	2.80	2.45	701	2.91	2.41	714	3.01	2.37
S66	554	2.15	2.58	571	2.28	2.51	589	2.42	2.44	598	2.49	2.40	608	2.59	2.35	618	2.68	2.31
S67	455	2.22	2.05	475	2.38	2.00	497	2.54	1.95	510	2.64	1.93	528	2.78	1.90	543	2.89	1.88
S68	831	3.90	2.13	892	4.22	2.11	959	4.57	2.10	999	4.78	2.09	1053	5.06	2.08	1100	5.30	2.08
S69	802	3.07	2.62	812	3.17	2.56	820	3.28	2.50	825	3.34	2.47	827	3.41	2.43	833	3.48	2.39
S70	558	3.22	1.73	606	3.54	1.71	659	3.89	1.70	690	4.09	1.69	730	4.35	1.68	768	4.59	1.67
S71	302	2.81	1.07	331	3.11	1.06	360	3.42	1.05	378	3.60	1.05	397	3.82	1.04	418	4.04	1.04
S73	480	3.25	1.48	517	3.59	1.44	572	4.05	1.41	605	4.33	1.40	649	4.71	1.38	690	5.05	1.37
S74	668	4.35	1.54	771	5.06	1.53	883	5.82	1.52	950	6.28	1.51	1035	6.87	1.51	1117	7.42	1.50
S75	840	5.84	1.44	917	6.38	1.44	1056	7.32	1.44	1144	7.91	1.45	1278	8.81	1.45	1390	9.55	1.46
S76	686	6.23	1.10	754	6.86	1.10	873	7.90	1.10	947	8.55	1.11	1068	9.61	1.11	1161	10.42	1.11
P77 - E1	225	2.32	1.95	241	2.58	1.88	267	3.01	1.78	283	3.28	1.74	339	4.15	1.64	362	4.56	1.59
P77 - E2	225	2.30	0.00	241	2.55	0.00	267	2.98	0.00	283	3.25	0.00	339	4.13	0.00	362	4.53	0.00
P78 -E3	159	1.52	2.10	168	1.68	2.01	183	1.92	1.91	192	2.07	1.86	279	3.18	1.75	295	3.46	1.71
P78 -E4	159	1.52	0.00	168	1.67	0.00	183	1.92	0.00	192	2.07	0.00	279	3.18	0.00	295	3.45	0.00
P79/P80 - E5	126	1.54	0.82	135	1.74	0.77	146	2.01	0.73	153	2.16	0.71	230	3.16	0.73	241	3.40	0.71
P79/P80 -E6	126	1.55	0.82	135	1.75	0.77	146	2.01	0.73	153	2.17	0.71	230	3.16	0.73	241	3.40	0.71
P81 - E7	338	3.85	1.76	368	4.40	1.67	401	5.04	1.59	421	5.44	1.55	478	6.56	1.46	501	7.08	1.42
P81 - E8	338	3.85	0.00	368	4.39	0.00	401	5.03	0.00	421	5.43	0.00	478	6.55	0.00	501	7.06	0.00
P82 - E9	385	4.11	0.94	415	4.62	0.90	447	5.21	0.86	467	5.58	0.84	499	6.20	0.80	522	6.67	0.78
P83 - E10	314	3.25	0.96	339	3.68	0.92	366	4.17	0.88	382	4.47	0.86	405	4.90	0.83	425	5.28	0.80
P84 - E11	308	3.28	0.94	335	3.76	0.89	364	4.29	0.85	382	4.61	0.83	405	5.07	0.80	425	5.48	0.78
P85 - E12	321	3.23	0.99	355	3.76	0.94	390	4.35	0.90	410	4.71	0.87	438	5.21	0.84	462	5.68	0.81
S86	460	4.27	1.08	519	4.93	1.05	583	5.63	1.04	622	6.05	1.03	674	6.61	1.02	720	7.11	1.01
S87	575	6.26	0.92	647	7.19	0.90	729	8.30	0.88	773	8.90	0.87	836	9.78	0.85	886	10.48	0.85
SETE1	574	6.15	0.93	605	6.63	0.91	649	7.31	0.89	676	7.72	0.88	715	8.31	0.86	747	8.81	0.85
SETE2	1135	6.68	1.70	1213	7.34	1.65	1329	8.29	1.60	1399	8.86	1.58	1510	9.74	1.55	1594	10.42	1.53
SETE3	377	7.60	0.50	411	8.43	0.49	461	9.65	0.48	492	10.39	0.47	541	11.56	0.47	578	12.46	0.46
SETE4	380	7.20	0.53	408	7.98	0.51	450	9.13	0.49	475	9.82	0.48	516	10.92	0.47	546	11.73	0.47
SETE5	628	6.00	1.05	670	6.45	1.04	742	7.20	1.03	786	7.66	1.03	851	8.34	1.02	906	8.92	1.02
SETE6	536	6.99	0.77	586	7.73	0.76	667	8.88	0.75	716	9.58	0.75	794	10.71	0.74	853	11.56	0.74
SRET1	79	1.60	0.49	79	1.70	0.46	79	1.81	0.44	79	1.87	0.42	79	1.96	0.40	79	2.03	0.39
SRET2	73	2.02	0.36	74	2.17	0.34	74	2.35	0.32	74	2.45	0.30	74	2.59	0.29	75	2.71	0.28
SRET3	137	1.93	0.71	138	2.06	0.67	139	2.23	0.62	140	2.33	0.60	140	2.47	0.57	141	2.59	0.55
SRET4	130	2.36	0.55	129	2.55	0.51	128	2.80	0.46	127	2.95	0.43	126	3.15	0.40	125	3.33	0.37

Tabela - Carga (kN), Recalque (mm) e Coeficiente de Rigidez (kN/m) de todas as etapas (4ª iteração).

Fundação	Início - Zero - Referencia			Etapa 1			Etapa 2			Etapa 3			Etapa 4			Etapa 5		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)
S3A	793	1.15	6.89	1005	1.51	6.66	1680	2.59	6.50	2066	3.22	6.41	2193	3.44	6.38	2577	4.07	6.33
S4A	190	0.96	1.97	367	1.70	2.16	655	2.95	2.22	820	3.67	2.23	874	3.91	2.24	1044	4.65	2.25
S6	397	1.22	3.25	751	2.20	3.42	895	2.61	3.43	1027	2.98	3.45	1167	3.38	3.46	1292	3.74	3.46
S7	549	1.31	4.18	1086	2.51	4.33	1325	3.06	4.33	1541	3.56	4.33	1777	4.10	4.33	1989	4.59	4.34
S8A	512	1.28	4.00	1107	2.66	4.17	1408	3.38	4.17	1656	3.97	4.17	1950	4.67	4.18	2191	5.25	4.17
S9A	377	0.92	4.12	1040	2.26	4.59	1444	3.14	4.60	1720	3.76	4.58	2110	4.57	4.62	2379	5.18	4.59
S11	377	0.89	4.22	730	1.72	4.25	1078	2.65	4.07	1330	3.33	4.00	1632	4.01	4.07	1879	4.69	4.01
S12/13	352	0.83	4.23	610	1.50	4.06	1129	2.62	4.32	1476	3.39	4.35	1699	3.94	4.31	2057	4.74	4.34
S14A	298	0.94	3.16	519	1.66	3.14	1053	3.33	3.16	1314	4.25	3.09	1408	4.60	3.06	1660	5.50	3.02
S15A	269	0.92	2.91	473	1.60	2.96	988	3.29	3.01	1242	4.21	2.95	1327	4.54	2.93	1576	5.45	2.89
S18	276	1.17	2.37	601	2.08	2.89	772	2.52	3.06	934	2.94	3.18	1101	3.37	3.27	1261	3.78	3.33
S19	402	1.33	3.04	857	2.46	3.48	1093	3.04	3.60	1318	3.57	3.69	1557	4.14	3.76	1775	4.67	3.80
S20/30	483	1.85	2.61	968	3.35	2.89	1249	4.17	2.99	1515	4.94	3.06	1792	5.76	3.11	2071	6.55	3.16
S21/22/31/32	1436	1.60	8.95	2894	3.18	9.10	3847	4.18	9.21	4740	5.09	9.31	5686	6.08	9.36	6595	7.02	9.40
S23/24/25/33/34	974	0.86	11.39	1854	1.65	11.21	2974	2.63	11.30	3982	3.47	11.47	4679	4.09	11.45	5718	4.97	11.50
S26/27/35/36	906	0.58	15.57	1659	1.05	15.81	3582	2.25	15.93	5145	3.16	16.28	5702	3.49	16.33	7285	4.42	16.48
S28/39	509	0.54	9.35	850	0.88	9.67	2168	2.06	10.54	3194	2.94	10.86	3535	3.24	10.92	4538	4.10	11.06
S29A	238	0.57	4.18	436	0.98	4.44	943	2.04	4.63	1318	2.81	4.70	1441	3.06	4.71	1809	3.81	4.75
S37	401	1.73	2.32	714	2.79	2.56	868	3.30	2.63	1015	3.78	2.69	1161	4.26	2.72	1308	4.75	2.76
S38	888	2.74	3.24	1177	3.87	3.05	1306	4.39	2.98	1428	4.88	2.92	1553	5.40	2.88	1675	5.90	2.84
S40A	225	0.42	5.39	419	0.75	5.55	986	1.71	5.75	1423	2.43	5.85	1568	2.67	5.87	1994	3.37	5.91
S41A	373	1.00	3.73	877	2.02	4.34	1097	2.49	4.40	1305	2.93	4.45	1548	3.45	4.49	1796	3.97	4.52
S43A	310	1.18	2.63	733	2.66	2.76	954	3.51	2.72	1162	4.29	2.71	1421	5.24	2.71	1690	6.25	2.70
S45A	158	1.00	1.57	389	2.26	1.72	513	3.27	1.57	635	4.13	1.54	794	5.02	1.58	960	6.16	1.56
S46A	120	0.82	1.47	224	1.59	1.41	559	3.21	1.74	755	4.23	1.78	821	4.75	1.73	1090	6.12	1.78
S48A	256	1.01	2.53	479	1.88	2.54	979	3.82	2.56	1215	4.80	2.53	1300	5.22	2.49	1587	6.42	2.47
S49A	255	0.68	3.77	450	1.19	3.79	1067	2.72	3.93	1318	3.38	3.89	1405	3.62	3.88	1672	4.33	3.86
S51A	185	0.61	3.05	315	1.04	3.03	776	2.43	3.20	1039	3.22	3.23	1129	3.49	3.23	1400	4.30	3.25
S52	919	2.82	3.26	1228	3.84	3.19	1342	4.23	3.17	1455	4.62	3.15	1567	5.00	3.13	1685	5.41	3.12
S53	1035	2.70	3.84	1462	3.87	3.78	1636	4.35	3.76	1806	4.82	3.74	1979	5.31	3.73	2162	5.82	3.72
S55A	215	0.60	3.61	388	1.06	3.66	815	2.17	3.75	1076	2.85	3.78	1170	3.09	3.79	1444	3.79	3.81
S59	177	1.27	1.39	247	1.83	1.35	253	1.91	1.32	260	2.00	1.30	265	2.08	1.28	271	2.16	1.26
S60	339	1.30	2.61	434	1.76	2.46	444	1.87	2.37	449	1.95	2.30	469	2.09	2.25	474	2.16	2.19

S61	242	0.90	2.67	353	1.38	2.57	454	1.77	2.57	458	1.82	2.51	564	2.23	2.53	567	2.28	2.49
S62	55	0.30	1.83	138	0.70	1.97	287	1.35	2.13	289	1.40	2.06	431	2.01	2.15	432	2.06	2.10
S63	51	0.26	1.94	66	0.41	1.63	197	0.95	2.08	200	1.00	1.99	318	1.47	2.17	322	1.53	2.11
S64/65	174	0.58	2.98	279	0.95	2.93	431	1.50	2.88	440	1.58	2.79	501	1.81	2.76	512	1.90	2.70
S66	224	0.76	2.93	370	1.26	2.93	512	1.80	2.84	521	1.88	2.77	529	1.93	2.74	538	2.01	2.67
S67	161	0.73	2.22	276	1.21	2.28	396	1.77	2.23	411	1.89	2.18	416	1.93	2.16	432	2.05	2.11
S68	349	1.57	2.22	490	2.20	2.22	650	2.96	2.19	697	3.21	2.17	712	3.29	2.17	759	3.53	2.15
S69	547	1.87	2.92	679	2.36	2.88	784	2.80	2.80	790	2.87	2.75	791	2.89	2.73	795	2.96	2.68
S70	234	1.34	1.74	390	2.16	1.81	415	2.32	1.79	438	2.47	1.77	464	2.63	1.76	486	2.78	1.75
S71	96	0.87	1.11	167	1.45	1.15	229	2.03	1.13	248	2.23	1.11	253	2.29	1.11	272	2.50	1.09
S73	186	1.15	1.62	319	1.85	1.73	343	2.06	1.66	366	2.26	1.62	391	2.48	1.58	414	2.68	1.55
S74	131	0.79	1.66	235	1.41	1.66	383	2.38	1.61	455	2.88	1.58	482	3.06	1.57	555	3.57	1.55
S75	321	2.29	1.40	483	3.35	1.44	530	3.69	1.44	580	4.04	1.44	629	4.39	1.43	684	4.77	1.43
S76	232	2.17	1.07	368	3.34	1.10	411	3.74	1.10	455	4.14	1.10	501	4.57	1.10	552	5.03	1.10
P77 - E1	66	0.41	3.33	111	0.86	2.61	122	1.00	2.46	132	1.13	2.34	162	1.48	2.22	193	1.84	2.11
P77 - E2	66	0.39	0.00	111	0.84	0.00	122	0.98	0.00	132	1.11	0.00	162	1.46	0.00	193	1.82	0.00
P78 -E3	21	0.11	4.02	22	0.19	2.44	23	0.24	1.94	24	0.29	1.67	83	0.69	2.42	141	1.24	2.28
P78 -E4	21	0.10	0.00	22	0.18	0.00	23	0.24	0.00	24	0.28	0.00	83	0.68	0.00	141	1.24	0.00
P79/P80 - E5	21	0.13	1.60	22	0.24	0.95	25	0.36	0.68	26	0.45	0.58	50	0.64	0.79	113	1.25	0.91
P79/P80 -E6	21	0.13	1.61	22	0.23	0.97	25	0.37	0.67	26	0.46	0.57	50	0.65	0.78	113	1.26	0.90
P81 - E7	57	0.28	4.09	102	0.69	2.96	214	1.91	2.24	238	2.25	2.18	247	2.42	2.05	303	3.23	1.88
P81 - E8	57	0.28	0.00	102	0.69	0.00	214	1.91	0.00	157	1.40	0.00	247	2.41	0.00	303	3.22	0.00
P82 - E9	106	0.59	1.79	181	1.30	1.39	291	2.63	1.11	313	2.96	1.06	324	3.12	1.04	351	3.54	0.99
P83 - E10	83	0.44	1.90	155	1.09	1.42	239	2.08	1.15	257	2.36	1.09	267	2.50	1.07	285	2.78	1.02
P84 - E11	97	0.56	1.72	165	1.22	1.35	231	2.05	1.13	250	2.33	1.07	260	2.48	1.05	278	2.79	1.00
P85 - E12	96	0.53	1.81	160	1.13	1.42	229	1.92	1.19	251	2.22	1.13	262	2.36	1.11	285	2.69	1.06
S86	194	1.29	1.51	220	1.61	1.37	292	2.39	1.22	336	2.89	1.17	351	3.05	1.15	395	3.54	1.11
S87	99	1.02	0.97	236	2.34	1.01	350	3.32	1.05	387	3.81	1.02	439	4.44	0.99	476	4.93	0.97
SETE1	388	3.34	1.16	436	4.06	1.07	458	4.39	1.04	478	4.69	1.02	498	4.99	1.00	516	5.28	0.98
SETE2	651	2.83	2.30	780	3.79	2.06	841	4.25	1.98	897	4.68	1.92	954	5.12	1.86	1008	5.55	1.82
SETE3	172	2.73	0.63	223	3.90	0.57	245	4.45	0.55	266	4.97	0.53	287	5.52	0.52	307	6.04	0.51
SETE4	192	2.51	0.76	247	3.66	0.67	269	4.22	0.64	290	4.74	0.61	312	5.29	0.59	331	5.82	0.57
SETE5	348	3.07	1.13	432	3.93	1.10	461	4.23	1.09	489	4.53	1.08	517	4.82	1.07	547	5.14	1.06
SETE6	221	2.41	0.92	304	3.58	0.85	340	4.09	0.83	375	4.59	0.82	408	5.11	0.80	445	5.66	0.79
SRET1	80	1.11	0.72	80	1.28	0.62	80	1.33	0.60	80	1.38	0.58	79	1.43	0.56	79	1.47	0.54
SRET2	72	1.20	0.60	71	1.48	0.48	72	1.56	0.46	72	1.64	0.44	72	1.72	0.42	73	1.80	0.41
SRET3	131	1.20	1.10	133	1.41	0.94	133	1.49	0.89	134	1.57	0.85	135	1.65	0.82	135	1.72	0.79
SRET4	137	1.27	1.07	135	1.59	0.85	134	1.71	0.79	134	1.82	0.74	133	1.93	0.69	132	2.04	0.65

Fundação	Etapa 6			Etapa 7			Etapa 8			Etapa 9			Etapa 10			Etapa 11		
	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)	Carga (kN)	Recalque (mm)	k(x10 ⁵)
S3A	3147	5.01	6.28	3655	5.85	6.25	4199	6.75	6.22	4521	7.29	6.20	4964	8.03	6.18	5344	8.66	6.17
S4A	1303	5.77	2.26	1539	6.79	2.27	1789	7.87	2.27	1936	8.50	2.28	2116	9.29	2.28	2290	10.04	2.28
S6	1671	4.80	3.48	1908	5.49	3.48	2190	6.30	3.48	2354	6.78	3.47	2578	7.44	3.46	2776	8.01	3.46
S7	2614	6.01	4.35	3036	6.97	4.36	3496	8.05	4.34	3759	8.67	4.33	4140	9.59	4.32	4455	10.33	4.31
S8A	2890	6.93	4.17	3338	8.02	4.16	3884	9.35	4.16	4191	10.10	4.15	4653	11.24	4.14	5019	12.14	4.14
S9A	3123	6.84	4.57	3697	8.06	4.59	4332	9.47	4.57	4663	10.23	4.56	5110	11.28	4.53	5489	12.16	4.52
S11	2520	6.28	4.01	2947	7.40	3.98	3499	8.80	3.97	3785	9.56	3.96	4132	10.49	3.94	4447	11.32	3.93
S12/13	2731	6.31	4.33	3260	7.50	4.34	3887	8.95	4.34	4233	9.74	4.34	4630	10.70	4.33	5012	11.59	4.32
S14A	2053	6.94	2.96	2390	8.16	2.93	2762	9.53	2.90	2980	10.33	2.88	3257	11.40	2.86	3504	12.31	2.85
S15A	1953	6.86	2.85	2285	8.10	2.82	2646	9.45	2.80	2860	10.26	2.79	3152	11.38	2.77	3402	12.31	2.76
S18	1715	4.96	3.46	1979	5.65	3.50	2337	6.58	3.55	2551	7.13	3.58	2838	7.91	3.59	3097	8.58	3.61
S19	2425	6.19	3.92	2812	7.12	3.95	3324	8.32	3.99	3626	9.04	4.01	4092	10.13	4.04	4455	10.98	4.06
S20/30	2803	8.69	3.22	3216	9.93	3.24	3829	11.69	3.27	4201	12.75	3.29	4812	14.45	3.33	5255	15.71	3.34
S21/22/31/32	9130	9.59	9.52	10605	11.11	9.55	12689	13.22	9.60	13909	14.46	9.62	15774	16.37	9.64	17198	17.82	9.65
S23/24/25/33/34	7889	6.80	11.60	9369	8.05	11.64	11293	9.66	11.69	12394	10.59	11.71	13791	11.80	11.68	15028	12.85	11.70
S26/27/35/36	9804	5.88	16.66	12004	7.16	16.77	14463	8.58	16.86	15932	9.43	16.90	18129	10.69	16.96	19863	11.69	16.99
S28/39	6005	5.38	11.16	7306	6.51	11.22	8716	7.74	11.26	9564	8.48	11.28	10812	9.55	11.32	11816	10.42	11.34
S29A	2338	4.90	4.77	2808	5.87	4.78	3307	6.90	4.79	3601	7.51	4.79	3960	8.27	4.79	4306	8.99	4.79
S37	1721	6.10	2.82	1947	6.86	2.84	2283	7.96	2.87	2487	8.63	2.88	2766	9.57	2.89	3015	10.38	2.90
S38	2022	7.30	2.77	2210	8.08	2.74	2493	9.22	2.70	2665	9.91	2.69	2939	11.00	2.67	3148	11.84	2.66
S40A	2604	4.39	5.93	3145	5.29	5.95	3723	6.25	5.95	4065	6.83	5.95	4494	7.56	5.95	4898	8.24	5.95
S41A	2382	5.22	4.57	2698	5.90	4.58	3186	6.93	4.60	3482	7.55	4.61	3971	8.58	4.63	4325	9.33	4.64
S43A	2232	8.28	2.69	2531	9.44	2.68	2978	11.13	2.68	3246	12.13	2.68	3689	13.80	2.67	3996	14.96	2.67
S45A	1292	8.22	1.57	1472	9.48	1.55	1746	11.24	1.55	1908	12.27	1.55	2191	14.01	1.56	2378	15.21	1.56
S46A	1386	7.91	1.75	1649	9.34	1.77	1939	11.02	1.76	2113	12.02	1.76	2402	13.63	1.76	2606	14.79	1.76
S48A	1955	8.04	2.43	2272	9.40	2.42	2627	10.95	2.40	2840	11.88	2.39	3177	13.33	2.38	3430	14.42	2.38
S49A	2057	5.36	3.83	2396	6.27	3.82	2770	7.27	3.81	2997	7.87	3.81	3334	8.77	3.80	3610	9.51	3.80
S51A	1809	5.52	3.28	2177	6.62	3.29	2577	7.81	3.30	2819	8.53	3.31	3174	9.58	3.31	3467	10.45	3.32
S52	2018	6.53	3.09	2190	7.12	3.08	2471	8.07	3.06	2645	8.65	3.06	2906	9.53	3.05	3122	10.26	3.04
S53	2650	7.17	3.69	2911	7.90	3.68	3323	9.04	3.68	3576	9.74	3.67	3977	10.84	3.67	4287	11.69	3.67
S55A	1867	4.87	3.84	2255	5.85	3.86	2677	6.91	3.87	2931	7.55	3.88	3282	8.44	3.89	3589	9.21	3.90
S59	293	2.41	1.22	338	2.78	1.22	361	3.02	1.20	374	3.15	1.19	390	3.33	1.17	405	3.49	1.16
S60	489	2.38	2.05	741	3.32	2.23	818	3.71	2.21	859	3.92	2.19	911	4.20	2.17	960	4.45	2.16
S61	579	2.44	2.38	824	3.34	2.46	899	3.69	2.44	933	3.86	2.42	977	4.08	2.39	1017	4.28	2.38
S62	438	2.19	2.00	673	3.20	2.10	731	3.53	2.07	749	3.65	2.05	768	3.79	2.02	787	3.92	2.00

S63	331	1.66	1.99	561	2.55	2.20	625	2.87	2.18	640	2.98	2.15	654	3.09	2.12	667	3.19	2.09
S64/65	531	2.06	2.57	594	2.37	2.51	670	2.69	2.49	687	2.80	2.45	701	2.91	2.41	714	3.01	2.37
S66	554	2.15	2.58	571	2.28	2.51	589	2.42	2.44	598	2.49	2.40	608	2.59	2.35	618	2.68	2.31
S67	455	2.22	2.05	475	2.38	2.00	497	2.54	1.95	510	2.64	1.93	528	2.78	1.90	543	2.89	1.88
S68	830	3.90	2.13	892	4.22	2.11	959	4.57	2.10	999	4.77	2.09	1052	5.05	2.08	1099	5.30	2.08
S69	803	3.07	2.62	813	3.18	2.56	822	3.28	2.50	827	3.34	2.47	829	3.41	2.43	835	3.49	2.39
S70	558	3.22	1.73	606	3.54	1.71	659	3.89	1.70	690	4.09	1.69	730	4.35	1.68	768	4.59	1.67
S71	302	2.81	1.07	331	3.11	1.06	361	3.43	1.05	378	3.61	1.05	398	3.82	1.04	419	4.04	1.04
S73	481	3.25	1.48	518	3.59	1.44	573	4.06	1.41	607	4.34	1.40	651	4.72	1.38	692	5.05	1.37
S74	668	4.35	1.54	771	5.06	1.53	883	5.82	1.52	950	6.28	1.51	1036	6.87	1.51	1117	7.42	1.50
S75	840	5.84	1.44	918	6.38	1.44	1056	7.32	1.44	1145	7.91	1.45	1279	8.81	1.45	1390	9.55	1.46
S76	686	6.23	1.10	754	6.85	1.10	872	7.89	1.10	946	8.54	1.11	1068	9.60	1.11	1160	10.41	1.12
P77 - E1	225	2.32	1.95	240	2.58	1.88	267	3.01	1.78	283	3.28	1.74	339	4.15	1.64	362	4.56	1.59
P77 - E2	225	2.30	0.00	240	2.55	0.00	267	2.98	0.00	283	3.25	0.00	339	4.13	0.00	362	4.53	0.00
P78 - E3	159	1.52	2.10	168	1.68	2.01	183	1.92	1.91	192	2.07	1.86	279	3.18	1.76	295	3.45	1.71
P78 - E4	159	1.52	0.00	168	1.67	0.00	183	1.92	0.00	192	2.07	0.00	279	3.18	0.00	295	3.45	0.00
P79/P80 - E5	126	1.54	0.82	135	1.74	0.77	146	2.00	0.73	153	2.16	0.71	230	3.16	0.73	242	3.40	0.71
P79/P80 - E6	126	1.54	0.82	135	1.75	0.77	146	2.01	0.73	153	2.17	0.71	230	3.16	0.73	242	3.40	0.71
P81 - E7	338	3.85	1.76	368	4.40	1.67	401	5.04	1.59	420	5.44	1.55	478	6.56	1.46	501	7.08	1.42
P81 - E8	338	3.84	0.00	368	4.39	0.00	401	5.03	0.00	420	5.42	0.00	478	6.54	0.00	501	7.06	0.00
P82 - E9	386	4.12	0.94	416	4.63	0.90	448	5.22	0.86	467	5.59	0.84	500	6.21	0.80	522	6.68	0.78
P83 - E10	313	3.25	0.96	338	3.67	0.92	365	4.16	0.88	381	4.46	0.86	405	4.90	0.83	424	5.28	0.80
P84 - E11	308	3.29	0.94	335	3.76	0.89	364	4.29	0.85	382	4.62	0.83	405	5.07	0.80	426	5.49	0.78
P85 - E12	321	3.23	0.99	355	3.76	0.94	390	4.35	0.90	410	4.71	0.87	438	5.21	0.84	462	5.67	0.81
S86	460	4.27	1.08	519	4.93	1.05	584	5.64	1.04	622	6.06	1.03	675	6.61	1.02	720	7.11	1.01
S87	577	6.27	0.92	651	7.21	0.90	734	8.32	0.88	779	8.94	0.87	844	9.82	0.86	896	10.54	0.85
SETE1	572	6.14	0.93	604	6.62	0.91	649	7.31	0.89	677	7.73	0.88	717	8.33	0.86	750	8.83	0.85
SETE2	1158	6.74	1.72	1240	7.41	1.67	1362	8.37	1.63	1436	8.95	1.60	1552	9.84	1.58	1640	10.54	1.56
SETE3	368	7.52	0.49	400	8.34	0.48	448	9.55	0.47	478	10.28	0.46	525	11.43	0.46	560	12.31	0.46
SETE4	389	7.26	0.54	419	8.07	0.52	465	9.24	0.50	492	9.94	0.49	536	11.07	0.48	569	11.91	0.48
SETE5	633	6.03	1.05	676	6.49	1.04	749	7.25	1.03	795	7.72	1.03	862	8.41	1.02	919	9.00	1.02
SETE6	543	7.05	0.77	596	7.80	0.76	680	8.98	0.76	731	9.69	0.75	812	10.85	0.75	874	11.71	0.75
SRET1	79	1.60	0.49	79	1.70	0.46	79	1.81	0.44	78	1.87	0.42	78	1.95	0.40	78	2.03	0.39
SRET2	74	2.02	0.36	74	2.17	0.34	74	2.35	0.32	74	2.45	0.30	75	2.59	0.29	75	2.71	0.28
SRET3	137	1.93	0.71	138	2.06	0.67	139	2.23	0.62	140	2.33	0.60	141	2.47	0.57	142	2.59	0.55
SRET4	130	2.36	0.55	129	2.55	0.51	127	2.80	0.45	126	2.95	0.43	125	3.15	0.40	124	3.33	0.37

Apêndice 11: Método de Barata para sapata Isolada

O método de Barata estima o recalque baseado na Teoria da Elasticidade associada com a interpretação de várias provas tríplices de Housel e ensaios de Cone (CPT). Para placa assente na superfície do terreno, o método se baseia na expressão clássica da Teoria da Elasticidade:

$$\Delta_h = c_\Delta \frac{p}{E_z} D (1 - \nu^2)$$

Sendo

c_Δ = fator de forma da fundação

p = pressão aplicada uniformemente distribuída à fundação

D = menor dimensão ou diâmetro da placa

ν = coeficiente de Poisson

E_z = Módulo de elasticidade do material (solo)

A expressão clássica foi prevista para um meio semi-infinito, homogêneo, isotrópico e elástico. Sendo assim, BARATA (1962) fez considerações e correções. A metodologia possibilita a previsão dos recalques mesmo na ausência das provas de cargas tríplices. O cálculo do recalque (Δ_h) para uma fundação assente à uma profundidade h e com módulo de elasticidade E_z constante é dado pela expressão:

$$\Delta_h = \lambda c_\Delta \frac{p}{E_z} B (1 - \nu^2)$$

Sendo

λ = Coeficiente de Mindlin, $\lambda \leq 1$, leva em consideração a profundidade de assentamento da fundação.

c_Δ = fator de forma da fundação

p = pressão aplicada à fundação

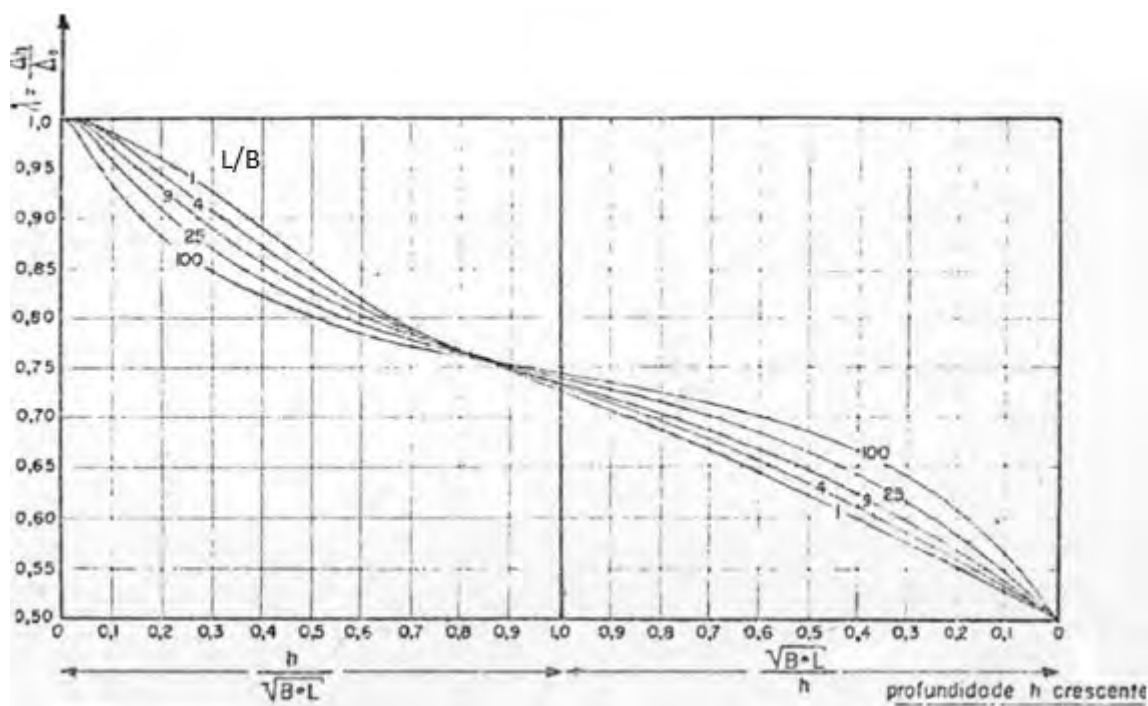
B = Largura (menor dimensão) da fundação

ν = coeficiente de Poisson

E_z = Módulo de deformação; Barata correlacionou o valor de E_z com a resistência de ponta do ensaio de cone, q_c , através da expressão $E_z = a q_c$

a = Coeficiente de Buisman

O coeficiente de Mindlin é estimado por meio de ábacos, sendo função da profundidade de assentamento da fundação (h) e de suas dimensões (B , L).



Valores de λ para fundações Retangulares, FOX (1948), segundo BARATA (1962)

Fatores de forma e coeficientes de Poisson são sugeridos nas tabelas apresentadas a seguir.

Fatores de forma a serem empregados no método de BARATA (1984)
(Admitiu-se que as sapatas podem ser consideradas como fundações rígidas)

Forma da Fundação	Valores de c_d	
Circular	0,88	
Quadrada	0,82	
Retangular	L/B = 1,5	1,06
	L/B = 2,0	1,20
	L/B = 5,0	1,70
	L/B = 10	2,10
	L/B = 100	3,40

Sugestão de valores de coeficientes de Poisson, BARATA (1984)

Tipo de Solo	Valor de ν
Argila saturadas	0,5
Argilas não saturadas	0,1 a 0,3
Areias argilosas	0,2 a 0,3
Siltes	0,3 a 0,35
Areias argilosas	0,2 a 0,4

Segundo BARATA (1984), deve-se calcular o módulo de elasticidade (E_z) ao longo de todo o bulbo de pressão no centro da área carregada. BARATA (1984) define a profundidade do bulbo de pressões como $\alpha \times B$, onde os valores de α são sugeridos na tabela abaixo e B é a menor dimensão da fundação.

Valores de α , BARATA (1984)

Forma da Área Carregada	α
Quadrada ou circular (L/B = 1)	2,00
Retangular	-
L/B = 1,5	2,50
L/B = 2,0	3,00
L/B = 3,0	3,50
L/B = 4,0	4,00
L/B = 5,0	4,25
L/B = 10,0	5,25
L/B = 20,0	5,50
Infinito	6,50

Na ausência de ensaios de cone (CPT), como no caso em estudo, pode-se empregar a correlação entre a resistência de ponta do cone (q_c) e o número de golpes (N_{spt}) do SPT, através da correlação a seguir.

$$q_c = K N_{spt}$$

Com os valores de coeficiente de Buisman e K sugeridos no item 3.1 e os boletins de sondagem à percussão, calcula-se os valores de E_z metro a metro. Plota-se a reta representativa de tendência do comportamento na região do bulbo de tensões. O valor E_z a ser empregado na expressão para os cálculos de recalques deve corresponder ao meio do bulbo de tensões.

Após a breve apresentação do método de Barata, abaixo será exemplificado o cálculo da sapata S21/22/31/32 discutida no item 4.1.

Dados característicos do problema:

Sapata Isolada

-Carga de 20400 kN.

-Dimensões 6,60 m x 6,45 m

-Profundidade de 4,03 m de assentamento (h)

-Distancia da base da sapata até a fronteira rígida (H = 8 metros)

Resolução:

L/B = 1,02 – Aproximadamente quadrada, portanto $c\Delta = 0,82$ e $\alpha = 2,0$ (tabela). Portanto, a profundidade do bulbo de tensões será $2 \times 6,45 = 12,90$ m abaixo do nível de assentamento da sapata.

O coeficiente de Poisson foi fixado em 0,3, um valor intermediário dos intervalos apresentados na tabela de sugestão.

$\frac{h}{\sqrt{B \cdot L}} = 0,62$ - O coeficiente de Mindlin é estimado por meio do ábaco, $\lambda = 0,82$

Como a sapata foi assentada muito próximo do impenetrável a percussão, os módulos de elasticidade das camadas resistentes abaixo da sapata foram obtidos por meio de retro análise discutida no item 3.1 e Apêndice 7. Dessa forma, foram plotados os pontos referentes aos módulos de elasticidades nas profundidades referentes ao meio de cada camada e foi calculado o módulo de elasticidade médio correspondente ao trecho entre a sapata e a fronteira considerada rígida, $E_z = 77000$ kPa.

$$p_{sapata} = \frac{20400}{(6,60 \times 6,45)} = 479,2 \text{ kPa}$$

$$\Delta_{h \text{ estimado}} = \lambda c_{\Delta} \frac{p}{E_z} B (1 - \nu^2) = 0,82 \cdot 0,82 \cdot \frac{479,2}{77000} \cdot 6,45 \cdot (1 - 0,3^2) =$$

$$\Delta_{h \text{ estimado}} = 0,0245 \text{ m} = 24,5 \text{ mm}$$

Devido proximidade da fronteira rígida em relação a base da sapata ($H < 2B$), BARATA (1986) indica que o recalque estimado ($\Delta_{h\text{ estimado}}$) deve ser corrigido e reduzido pela equação a seguir.

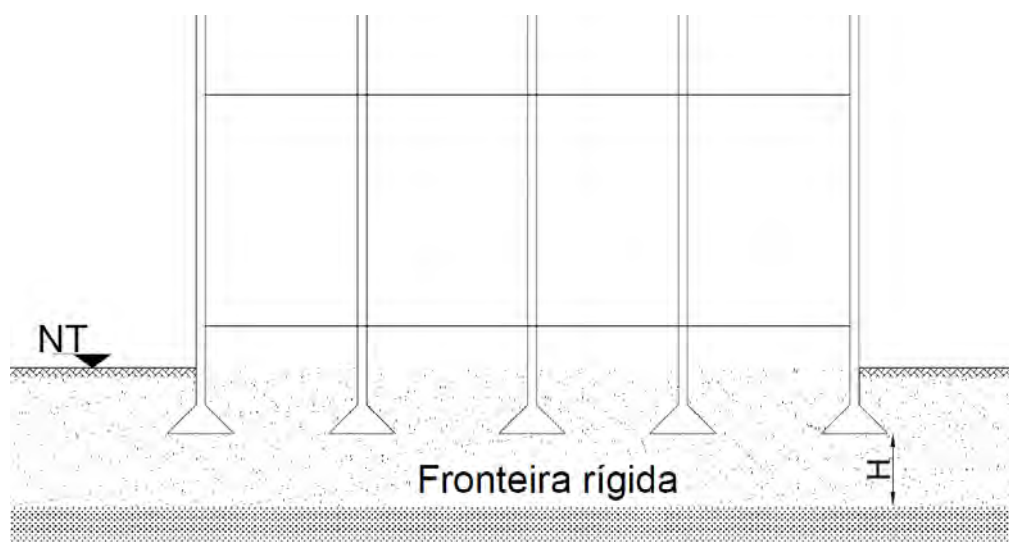
$$\Delta_{h\text{ corrigido}} = I \times \Delta_{h\text{ estimado}}$$

A correção é feita por meio do coeficiente de redução de recalque (I) proposto por SHULTZE E SHERIF (1973), cujos valores são apresentados na tabela abaixo.

Valor do coeficiente I relacionado à fronteira rígida, SHULTZE E SHERIF (1973).

$\begin{matrix} \text{L/B} \\ \text{H/B} \end{matrix}$	1	2	5	100
1,5	0,97	0,89	0,87	0,85
1,0	0,76	0,73	0,65	0,55
0,5	0,52	0,48	0,43	0,39

A figura abaixo ilustra a situação no qual a fronteira rígida encontra-se próxima as sapatas.

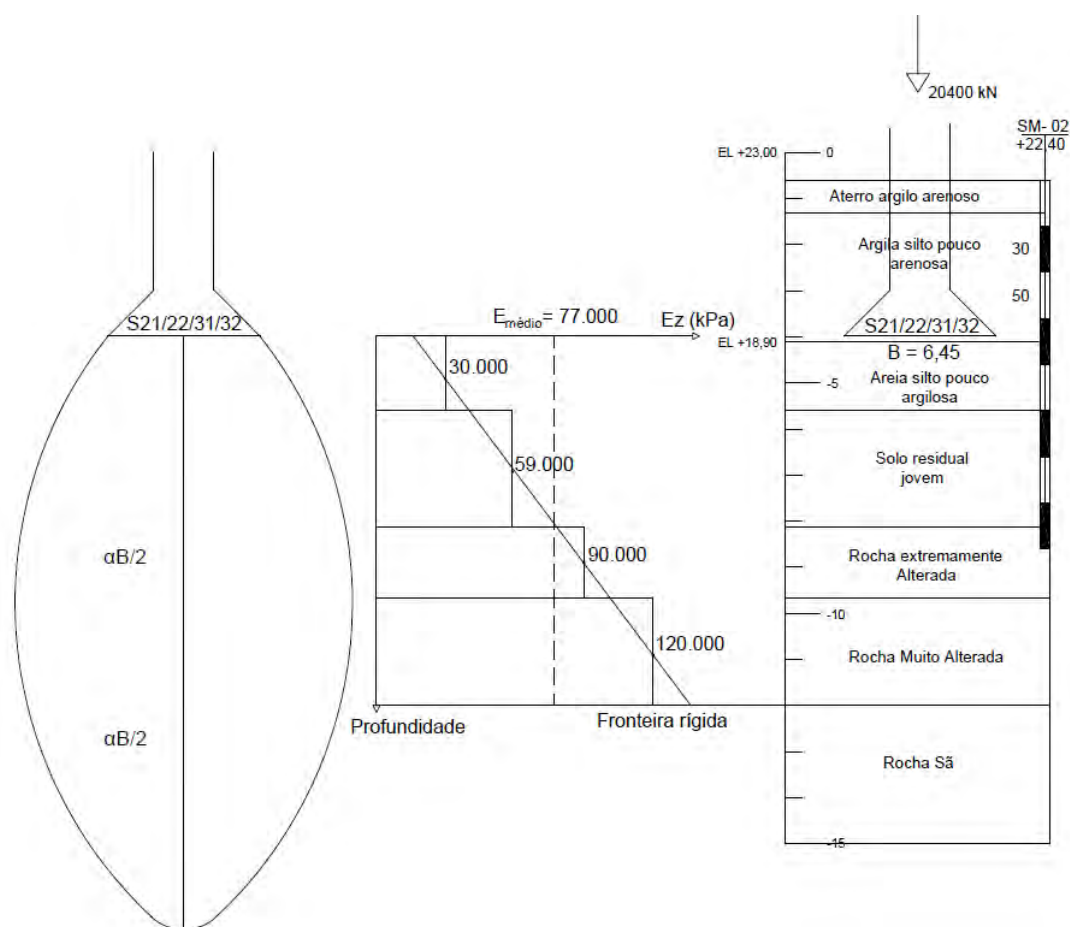


Sapatas próximas em terreno com fronteira rígida rasa.

Sabendo que $H/B=1,24$ e $L/B\approx 1,0$, através da interpolação dos intervalos retirados da tabela, tem-se que $I = 0,85$. Portanto, o recalque corrigido estimado para a sapata isolada é:

$$\Delta_{h \text{ corrigido}} = 0,85 \times = 20,8 \text{ mm}$$

A seguir é apresentado o croquis que auxiliou no cálculo de recalque pelo método de Barata.



Esquema auxiliar para Cálculo de recalque pelo método de Barata para sapata isolada

Grupo de sapatas – Abordagem ampla.

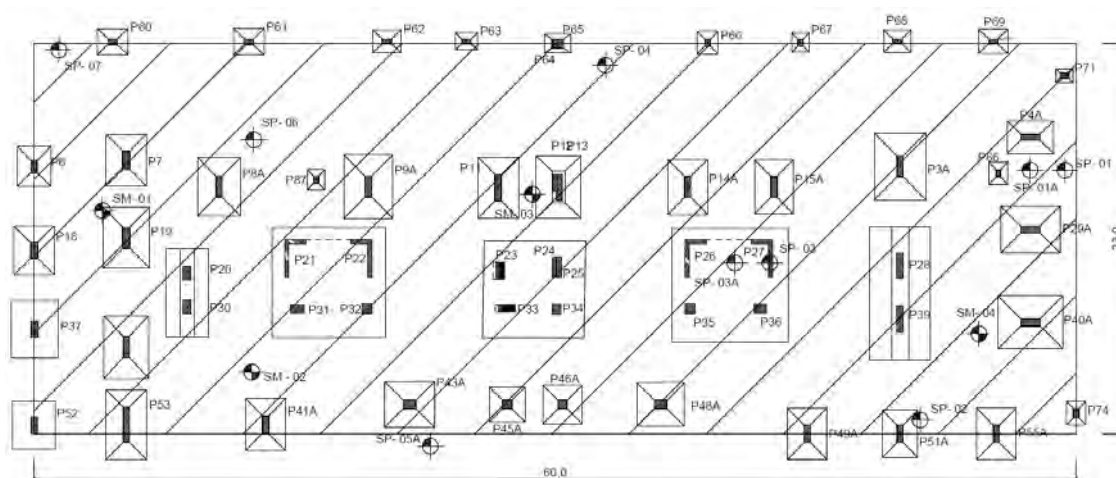
-Carga de 184000 kN.

-Dimensões 60,0 m x 23,0 m

-Profundidade de 4,03 m de assentamento (h)

-Distancia da base do radier até a fronteira rígida ($H = 8$ metros)

Como existem sapatas relativamente próximas umas das outras, na tentativa de considerar o efeito de grupo foi utilizada uma abordagem sugerida em BARATA (1962). BARATA (1986) destaca que no caso de sapatas muito próximas os bulbos de pressão serão sobrepostos, assemelhando-se a um radier. O autor sugere a possibilidade de calcular os recalques como se fora um radier com pressão média correspondente. Portanto, para o caso estudado, na tentativa de adicionar o efeito de grupo, foi idealizado um grande radier fictício contendo, praticamente, todas as projeções das sapatas em planta. A figura abaixo representa o radier com dimensões 60,0 x 23,0 m. O somatório das cargas das sapatas totaliza 184000 kN, resultando numa tensão média de 133,6 kN/m².



Radier fictício equivalente maior.

Para se estimar o recalque, considerando-se o efeito de grupo, foi utilizado o radier equivalente representado pela área hachurada descrita anteriormente. Por possuir grandes dimensões, de acordo com o método de Barata (1962), o radier utilizado será considerado flexível. Além disso, será adotada, para o radier fictício equivalente, a cota de assentamento de 4,03 m, correspondente à profundidade de assentamento das sapatas consideradas.

Por ser um radier equivalente flexível, o recalque no centro distingui-se das bordas. Para estimar os recalques segundo essas premissas, foi utilizada a

tabela proposta por BARATA (1984), que introduz os fatores de forma relacionado às dimensões do radier analisado.

Fatores de forma (C_Δ) relacionados às dimensões da fundação (Barata, 1984)

Forma da Fundação	Valores de c_Δ – Sapatas Flexíveis		
	Centro	Borda	Médio
Quadrada	1,12	0,56	0,95
Retangular	L/B = 1,5	0,68	1,2
	L/B = 2,0	0,77	1,31
	L/B = 5,0	1,05	1,83
	L/B = 10	1,26	2,25
	L/B = 100	1,69	2,96

Sendo, $L/B = 2,61$, foi realizada uma interpolação e os fatores de forma obtidos foram: $c_\Delta=1,64$ (centro), $c_\Delta=0,83$ (Borda), $c_\Delta=0,1,41$ (médio).

O coeficiente de Poisson foi fixado em 0,3, um valor intermediário dos intervalos apresentados na tabela de sugestão.

$\frac{h}{\sqrt{B} \cdot L} = 0,11$ - O coeficiente de Mindlin é estimado por meio do ábaco, $\lambda = 0,98$

Como o radier tem grandes dimensões, seu bulbo de tensões atinge grandes profundidades, muito além da fronteira rígida. Para essa situação, foi adotado o mesmo módulo de elasticidade média utilizado, anteriormente, para o caso de sapata isolada, $E_z = 77000$ kPa.

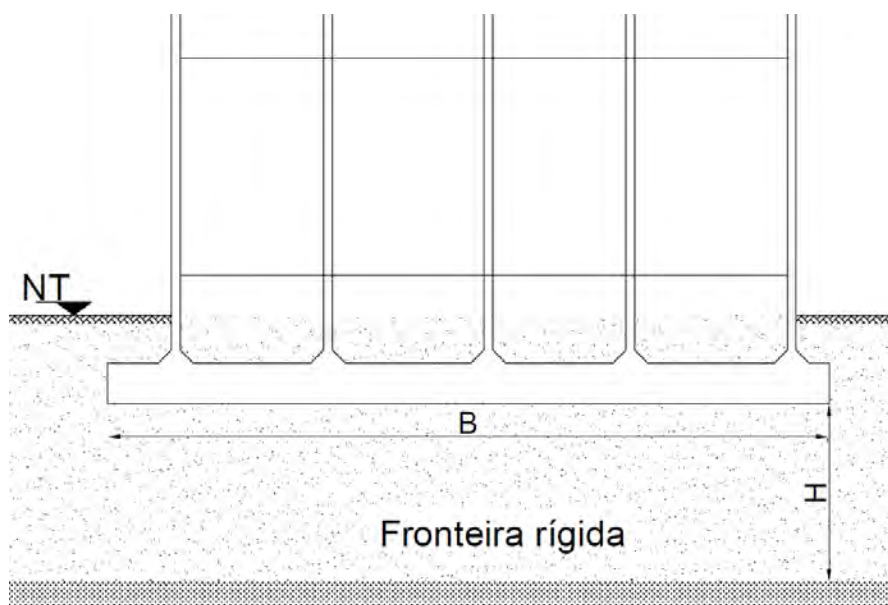
$$\Delta_{h \text{ estimado}} = \lambda c_\Delta \frac{p}{E_z} B(1 - \nu^2) = 0,98 \cdot c_\Delta \cdot \frac{133,6}{77000} \cdot 23 \cdot (1 - 0,3^2) =$$

$$\Delta_{h \text{ estimado centro}} = 58,3 \text{ mm}$$

$$\Delta_{h \text{ estimado borda}} = 29,5 \text{ mm}$$

$$\Delta_{h \text{ estimado médio}} = 50,2 \text{ mm}$$

A figura abaixo ilustra a situação no qual a fronteira rígida encontra-se próxima ao radier.



Consideração da “fronteira rígida” no caso de prédio sobre radier.

Sabendo que $H/B=0,35$ e $L/B=2,61$, através da interpolação dos intervalos retirados da tabela, tem-se que $I = 0,39$. Portanto, o recalque corrigido para a radier fictício equivalente é:

$$\Delta_{h \text{ corrigido centro}} = 0,39 \times 58,3 = 22,8 \text{ mm}$$

$$\Delta_{h \text{ corrigido borda}} = 0,39 \times 29,5 = 11,5 \text{ mm}$$

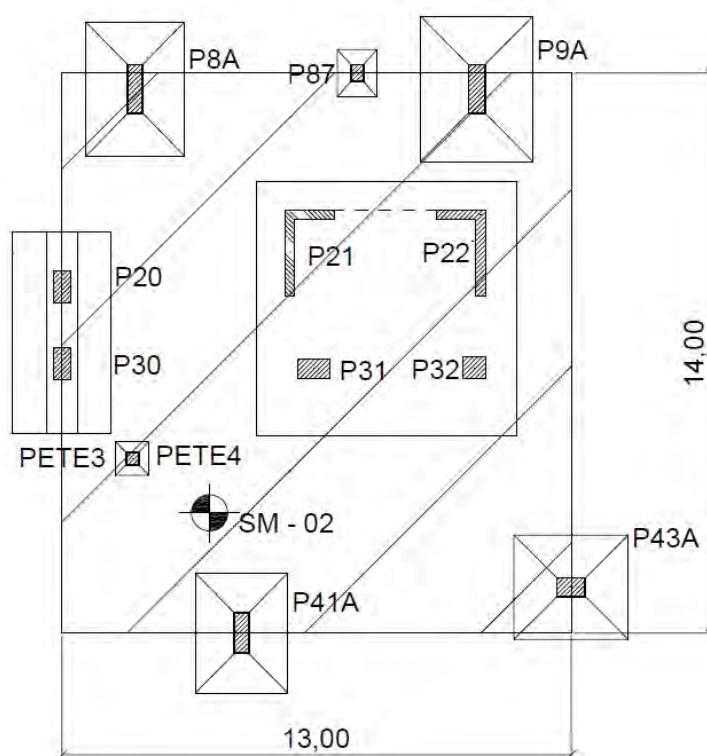
$$\Delta_{h \text{ corrigido médio}} = 0,39 \times 50,2 = 19,6 \text{ mm}$$

Como o P31 que foi o pilar instrumentado está na região central do radier, pode-se dizer que o recalque estimado é aproximadamente de 22,8 mm.

Grupo de sapatas – Abordagem restrita

- Carga de 45000 kN.
- Dimensões 13,0 m x 14,0 m
- Profundidade de 4,03 m de assentamento (h)
- Distancia da base do radier até a fronteira rígida ($H = 8$ metros)

Como é sabido, o efeito de grupo é mais proeminente quanto mais próximo estiver as fundações umas das outras. Portanto, também é interessante concentrar a avaliação estritamente na região próxima à sapata em estudo. A abordagem utilizou somente as sapatas imediatamente vizinhas para idealização do radier fictício. A figura abaixo mostra o radier equivalente de 13,0 x 14,0 m, cujo somatório das cargas das sapatas contidas no radier tem um total de 45000 kN, por conseguinte, uma tensão média de 247,2 kN/m².



Radier fictício equivalente menor

$L/B = 1,08$ –Portanto $c\Delta = 1,12$ (centro), $c\Delta = 0,56$ (Borda), $c\Delta = 0,95$ (médio) e $\alpha = 2,0$ (tabela).

O coeficiente de Poisson foi fixado em 0,3, um valor intermediário dos intervalos apresentados na tabela de sugestão.

$\frac{h}{\sqrt{B \cdot L}} = 0,29$ - O coeficiente de Mindlin é estimado por meio do ábaco, $\lambda = 0,93$

Manteve-se o módulo de elasticidade médio utilizado nas resoluções anteriores, ou seja, $E_z = 77000 \text{ kPa}$.

$$\Delta_{h \text{ estimado}} = \lambda c_{\Delta} \frac{p}{E_z} B (1 - \nu^2) = 0,93 \cdot c_{\Delta} \cdot \frac{274,2}{77000} \cdot 13,0 \cdot (1 - 0,3^2) =$$

$$\Delta_{h \text{ estimado centro}} = 39,5 \text{ mm}$$

$$\Delta_{h \text{ estimado borda}} = 19,8 \text{ mm}$$

$$\Delta_{h \text{ estimado médio}} = 33,5 \text{ mm}$$

Sabendo que $H/B=0,62$ e $L/B=1,08$, através da interpolação dos intervalos retirados da tabela, tem-se que $I = 0,57$. Portanto, o recalque corrigido para a radier fictício equivalente é:

$$\Delta_{h \text{ corrigido centro}} = 0,57 \times 39,5 = 22,7 \text{ mm}$$

$$\Delta_{h \text{ corrigido borda}} = 0,57 \times 19,8 = 11,3 \text{ mm}$$

$$\Delta_{h \text{ corrigido médio}} = 0,57 \times 33,6 = 19,2 \text{ mm}$$

Como o P31 que foi o pilar instrumentado está na região central do radier, pode-se dizer que o recalque estimado é aproximadamente de 22,7 mm.

Apêndice 12: Curvas Recalque x tempo de todos os pilares instrumentados

