



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GLEIBSON SILVA DE ALMEIDA FILHO

**ANÁLISE DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO VIA
*SOFTWARE TQS***

Caruaru

2022

GLEIBSON SILVA DE ALMEIDA FILHO

**ANÁLISE DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO VIA
*SOFTWARE TQS***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientador: Prof. Dr. José Moura Soares

Caruaru

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar pelos melhores caminhos e por ter me dado saúde e a força necessária para alcançar meus objetivos.

Aos meus pais, Gleibson Almeida e Risélia Simone e à minha avó Raquel Maria, por tudo que fizeram por mim.

À minha querida esposa Eduarda Moura, que nunca mediu esforços para me ajudar, pelo apoio incondicional.

Ao professor José Moura Soares, amigo e orientador, por toda atenção, paciência e conhecimentos transmitidos.

Ao professor Roberto Evaristo por ter disponibilizado o acesso ao programa TQS.

Aos engenheiros Washington Martinez, Thiago Araújo e Renato Lima pelos ensinamentos sobre o TQS.

Ao professor Gérson Jacques Miranda dos Anjos por disponibilizar a planilha de cálculo de capacidade de carga utilizada neste trabalho.

Ao professor Juan Velasquez por ter me confiado as monitorias da disciplina de álgebra linear.

Aos colegas e amigos que conquistei durante a graduação e à todas as pessoas envolvidas direta ou indiretamente com minha jornada até aqui.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CRH	Coefficiente de Reação Horizontal
CRV	Coefficiente de Reação Vertical
ISE	Interação Solo Estrutura
SISEs	Sistema de Interação Solo-Estrutura
SPT	Ensaio de Penetração Padrão
SSI	Soil- Structure Interaction
TQS	Programa de cálculo estrutural Tecnologia e Qualidade em Sistemas

Análise da interação solo-estrutura de um edifício via *software* TQS

Analysis of the soil-structure interaction of a building by TQS software

Gleibson Silva de Almeida Filho¹

RESUMO

Normalmente, os projetos estruturais são analisados considerando apoios rígidos em sua base, isto é, sem consideração do efeito dos deslocamentos dos apoios. No entanto, na realidade o edifício está apoiado sobre o maciço de solo deformável que sofre deslocamento, provocando uma redistribuição nos esforços na superestrutura. Anteriormente, a complexidade do estudo, justificada pela heterogeneidade do solo e suas características do ponto de vista do comportamento tensão-deformação, impossibilitava que o efeito da interação solo-estrutura (ISE) fosse considerado, no entanto o advento dos programas computacionais possibilitou a implementação das teorias existentes sobre a ISE, e já se consegue fazer simulações que consideram esta interação, possibilitando com que a análise seja feita. O presente trabalho tem como objetivo analisar a interação solo-estrutura de um edifício de concreto armado com 8 pavimentos, utilizando o programa comercial TQS para verificar os efeitos dos esforços da superestrutura e infraestrutura. Para a comparação, serão analisados modelos que consideram a estrutura sobre apoios rígidos e os que simulem o solo deformável. Para isso, foi utilizado o módulo SISEs (Sistema de Interação Solo–Estrutura) do TQS, o qual simula, baseado na teoria de Winkler, vínculos elásticos, dados pelos coeficientes de reação vertical (CRV) e horizontal (CRH), atrelados aos nós dos apoios da estrutura. Após a análise dos resultados (comparação entre as duas situações), verificou-se efetivamente que a consideração da ISE modifica os valores dos esforços da superestrutura (redistribuição dos esforços e deslocamentos), o que torna a análise estrutural mais realista.

Palavras-chave: ISE; TQS; Coeficientes de mola.

¹Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: gleibson.almeida@ufpe.br

ABSTRACT

Normally, structural designs are analyzed considering rigid supports at their base, that is, without considering the effect of support displacements. However, the building is supported on the deformable soil massif that undergoes displacement, causing a redistribution of the efforts in the superstructure. Previously, the complexity of the study, justified by the heterogeneity of the soil and its characteristics from the point of view of stress-strain behavior, made it impossible to consider the effect of soil-structure interaction (SSI), however the advent of computer programs made it possible to implement of the existing theories about the SSI, and it is already possible to make simulations that consider this interaction, allowing the analysis to be carried out. The present work aims to analyze the soil-structure interaction of a reinforced concrete building with 8 floors, using the commercial program TQS to verify the effects of the efforts of the superstructure and infrastructure. For comparison, models that consider the structure on rigid supports and those that simulate deformable soil were analyzed. For this, the TQS module SISEs (Sistema de Interação Solo–Estrutura) was used, which simulates, based on Winkler's theory, elastic constraints (given by the vertical and horizontal reaction coefficients) linked to the support nodes of the structure. After analyzing the results (comparison between the two situations), it was effectively verified that the consideration of the SSI modifies the values of the forces of the superstructure (redistribution of forces and displacements), which makes the structural analysis more realistic.

Keywords: SSI; TQS; Spring coefficients.

DATA DE APROVAÇÃO: 09 de novembro de 2022.

1 INTRODUÇÃO

Nos sistemas estruturais em edifícios, são constituídos por duas partes: a superestrutura, formada por elementos estruturais, como vigas, lajes e pilares, e a infraestrutura, composta pela fundação e o maciço de solos adjacente. Tais maciços, quando submetido às cargas da fundação, se deformam, o que provoca movimentações na estrutura, alterando assim os esforços dos elementos estruturais que foram previstos no projeto, podendo causar patologias como fissuras e trincas no mesmo ou até danos mais graves.

Segundo Iwamoto (2000), é muito comum que os engenheiros estruturais presumam apoios rígidos e indeformáveis no cálculo da estrutura, resultando num conjunto de cargas (reações verticais, horizontais e momentos fletores) que é passado ao engenheiro geotécnico que dimensiona as fundações e calcula os recalques comparando-os com os recalques admissíveis. Soares (2004), afirma que quando uma carga é aplicada ao solo, o estado original da tensão muda, causando deformação. Essas deformações, dependendo da sua magnitude, vão alterar a distribuição de forças na estrutura, o que pode levar desde problemas estéticos a possíveis danos. Sendo assim, o conhecimento do mecanismo de interação solo-estrutura (ISE) é essencial, principalmente em solos que possuam grande deformabilidade.

De acordo com Colares (2006) a interação solo-estrutura é dada pela influência recíproca entre a superestrutura e a infraestrutura que é composta pelas fundações e pelo maciço de solos. Holanda Jr. (1998), afirma que este efeito começa na fase de construção e continua até que se atinja um estado de equilíbrio, em que as tensões e as deformações estão estabilizadas, tanto da estrutura como do maciço de solos.

Conforme Santos (2018), apesar do fato de que ao considerar o mecanismo de interação solo-estrutura tornar a representação do modelo mais realista, geralmente este mecanismo é negligenciado. Para Soares (2004), isso pode ser explicado pela complexidade do estudo do comportamento tensão-deformação e da heterogeneidade do solo.

No passado, onde os cálculos eram obrigatoriamente feitos à mão, se a deformabilidade do solo fosse considerada, seriam gerados um volume muito grande de cálculos, o que tornava inviável o cálculo de edifícios considerando a ISE, no entanto, com o advento e popularização dos programas de computadores, este panorama deveria ter mudado significativamente. (SOUZA; REIS, 2008).

Balzan *et al.* (2020) afirmam que o modelo de Winkler, desenvolvido em 1867, é um dos modelos mais utilizados nos projetos estruturais que consideram a ISE, tal fato é justificado pela simplicidade do método para considerar a interação solo-estrutura, o mesmo parte do princípio que as pressões de contato no solo são proporcionais aos recalques. O modelo representa as propriedades mecânicas do solo por meio de molas.

Têm-se, com a consideração da interação solo-estrutura a possibilidade de se analisar um modelo conjunto que considera a infraestrutura e a superestrutura simultaneamente, podendo verificar a influência de um sobre o outro e o desempenho do edifício como um conjunto. É fundamental que, a favor da segurança, durabilidade e qualidade das edificações, esta prática se torne comum nos escritórios de cálculo, principalmente em casos onde o solo apresenta baixa capacidade, onde podem ocorrer grandes recalques.

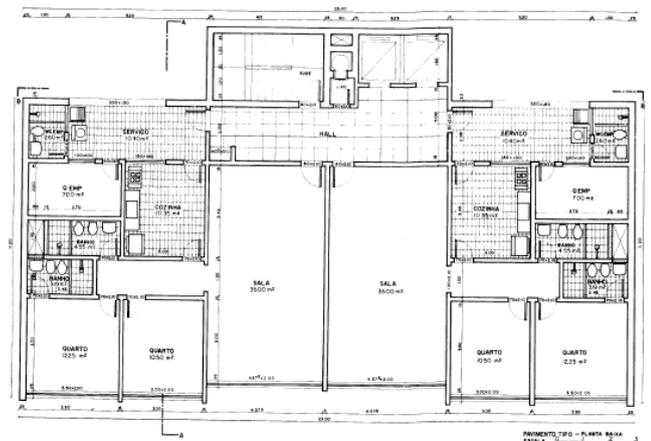
2 METODOLOGIA

Nos itens a seguir, será apresentada a metodologia utilizada para se considerar o cálculo de interação solo-estrutura para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Considerações iniciais

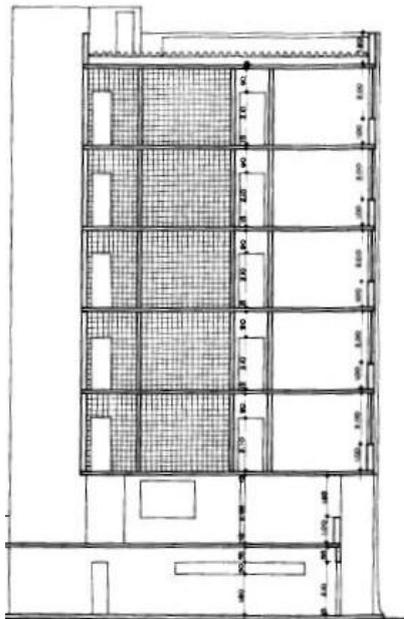
Para análise do efeito da interação solo-estrutura tomou-se como base um edifício fictício composto por 9 pavimentos (térreo, pilotis elevado, 5 pavimentos tipo, cobertura e caixa d'água) apresentado por L.Oberg (1979). A Figura 1 mostra a planta baixa do pavimento tipo do edifício, e a Figura 2 um corte do mesmo.

Figura 1- Planta baixa do pavimento tipo.



Fonte: L.Oberg (1979)

Figura 2 - Corte do edifício.



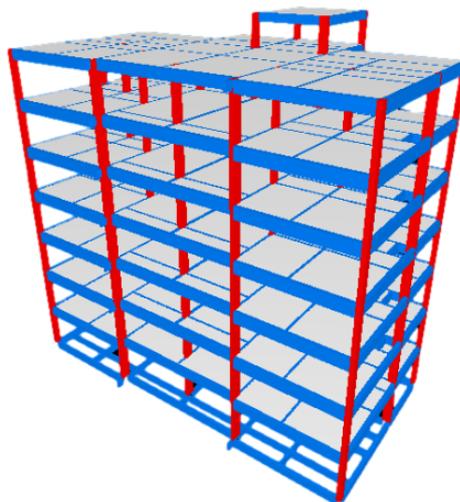
Fonte: L.Oberg (1979)

Dois modelos foram elaborados computacionalmente no programa TQS, com o intuito de compará-los. A modelagem foi composta pela superestrutura, infraestrutura e pelo maciço de solo. O primeiro, representa o modelo que considera a interação solo-estrutura, ou seja, leva em consideração a deformação do solo, já no segundo foi considerado que a fundação se apoia em uma base engastada, considerando os apoios indeslocáveis, para representar o modelo tradicional de projeto. Ambos foram submetidos às análises afim de comparar os esforços nos elementos estruturais.

2.2 Concepção estrutural

Os elementos estruturais foram inicialmente arbitrados, foi considerado a laje como sendo maciça com espessura de 12 cm, para as vigas foram adotadas seções de 15x40, 15x50, 15x70, entre outras, variando de acordo com o vão a ser vencido e carregamentos, e para os pilares foram utilizadas dimensões de 20x40, 20x50, entre outras. Considerou-se uma resistência característica do concreto (f_{ck}) igual a 30 MPa. Os carregamentos foram inseridos conforme a norma ABNT NBR 6120:2019. Em seguida estes elementos estruturais foram lançados no TQS, e foi considerada a ação do vento no edifício conforme norma ABNT NBR 6123:1988. A partir disso, foi feito o dimensionamento e análise estrutural, inicialmente com a suposição de apoios indeslocáveis, onde todas as seções atenderam as recomendações da norma ABNT 6118:2014. A Figura 3 mostra a edificação em estudo modelada tridimensionalmente no TQS para esta situação.

Figura 3 - Vista 3D do edifício.



Fonte: Autor (2022).

De posse do dimensionamento do edifício, inicialmente com a suposição de apoios indeslocáveis, foram extraídas as cargas na fundação, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Cargas na fundação.

PILAR	CARGA (tf)
P1	87,9
P2	163,9
P3	72,9
P4	62,7
P5	62,3
P6	191,8
P7	197,6
P8	146
P9	128,8
P10	123,2
P11	127,6
P12	134,3
P13	83,7
P14	88,3
P15	160,1
P16	95,9
P17	100,1
P18	99,4
P19	97,1

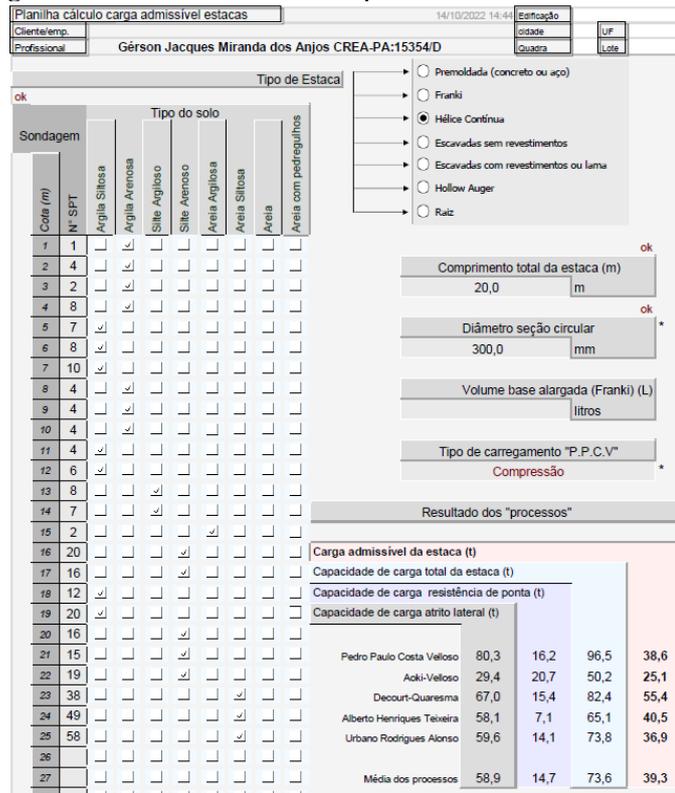
Fonte: Autor (2022).

2.2.1 Cálculo da capacidade de carga das estacas

Após a análise dos perfis de solo e das cargas na fundação obtidas anteriormente, adotou-se para o projeto uma fundação profunda do tipo estaca de hélice contínua com 30 cm de diâmetro e 20 metros de comprimento. Com isso, foi possível obter a carga admissível das estacas (Figura 4) e posteriormente o número de estacas por bloco (Tabela 2).

Em seu trabalho, Santos (2017), constatou que o furo SPT - 1 que forneceu o menor de carga admissível em comparação aos demais, sendo assim o mesmo foi adotado, tornando assim o pré-dimensionamento a favor da segurança.

Figura 4- Planilha de cálculo da capacidade admissível das estacas.



Fonte: Autor (2022).

Tabela 2 - Número de estacas.

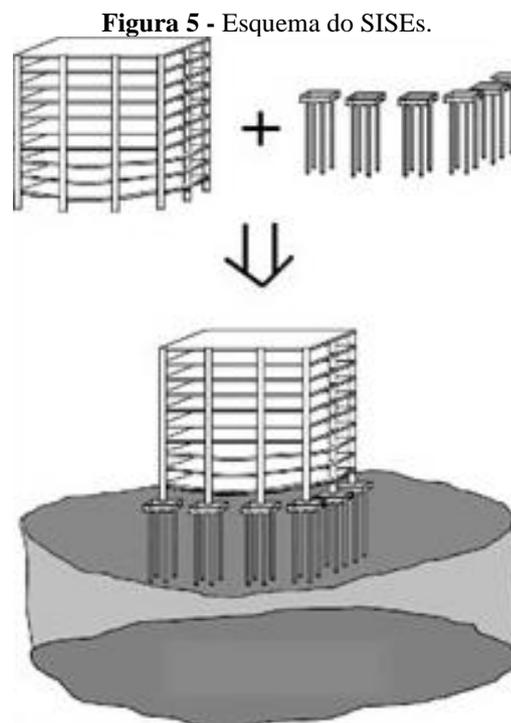
PILAR	CARGA (tf)	Nº DE ESTACAS	GEOMETRIA DO BLOCO
P1	87,9	3	TRIANGULAR
P2	163,9	5	PENTAGONAL
P3	72,9	3	TRIANGULAR
P4	62,7	3	TRIANGULAR
P5	62,3	3	TRIANGULAR
P6	191,8	5	PENTAGONAL
P7	197,6	6	HEXAGONAL
P8	146	4	QUADRADA
P9	128,8	4	QUADRADA
P10	123,2	4	QUADRADA
P11	127,6	4	QUADRADA
P12	134,3	4	QUADRADA
P13	83,7	3	TRIANGULAR
P14	88,3	3	TRIANGULAR
P15	160,1	5	PENTAGONAL
P16	95,9	3	TRIANGULAR
P17	100,1	3	TRIANGULAR
P18	99,4	3	TRIANGULAR
P19	97,1	3	TRIANGULAR

Fonte: Autor (2022).

2.3 Modelagem do solo

Para a análise, foi utilizado o módulo SISEs (Sistema de Interação Solo – Estrutura), componente do programa computacional TQS, tal qual tem como objetivo a determinação dos esforços solicitantes em todos os pontos da estrutura e das fundações com maior precisão. Tal feito pode ser realizado considerando que o solo se deforma ao receber a fundação. No módulo, também é possível obter os recalques em cada ponto da fundação (TQS, 2022).

No SISEs, o solo é simulado através de vínculos elásticos (coeficientes de reação vertical e horizontal) baseados na teoria de Winkler onde as características do solo são convenientemente tratadas e os valores dos vínculos (ou molas) são obtidos. No módulo, como toda a estrutura e a fundação participam de um mesmo modelo a solução final é alcançada de forma mais direta do que um cálculo de forma iterativa. (TQS, 2022). A Figura 6 ilustra a esquemática do Sises.

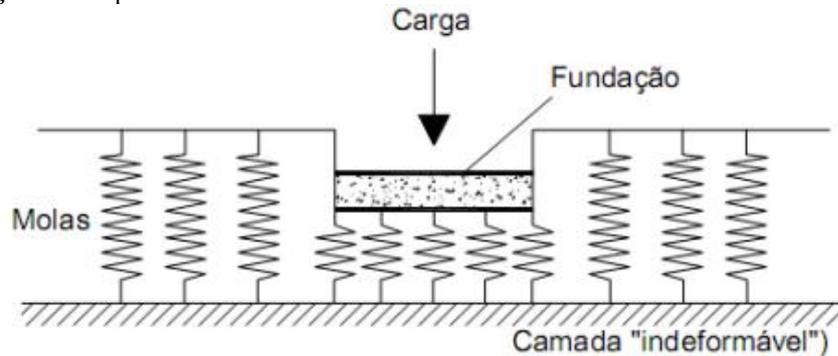


Fonte: TQS (2022).

Antoniazzi (2011) afirma que, na teoria de Winkler, o solo é visto como um sistema de molas lineares independentes entre si, onde são consideradas apenas as deformações que ocorrem na região de aplicação da carga, ou seja, sem considerar a contribuição das cargas no entorno das fundações (Figura 5). Neste modelo, as pressões de contato convergem com os deslocamentos. Assim, são estabelecidos valores de coeficientes de reação de acordo com cada tipo de solo e fundação, considerando que para cada direção de deslocamento há uma flexibilidade diferente

que pode ser entendida como mola.

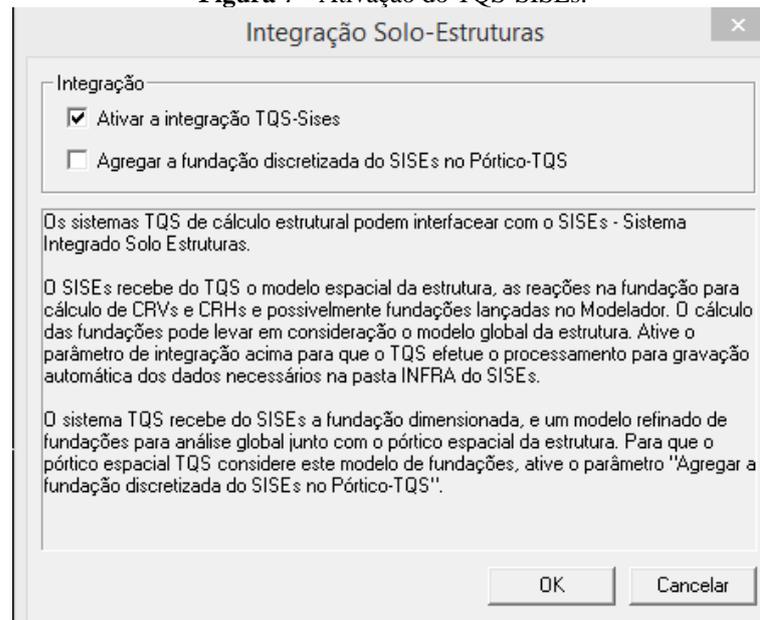
Figura 6 - Hipótese de Winkler: deformabilidade do solo através de molas discretas.



Fonte: Antoniazzi (2011).

Para a utilização do SISEs, o edifício inicial foi duplicado e seu modelo foi ajustado para que neste seja considerada a ISE (Figura 7), onde existe uma caixa de seleção que dever marcada para que tal análise seja feita.

Figura 7 - Ativação do TQS-SISEs.



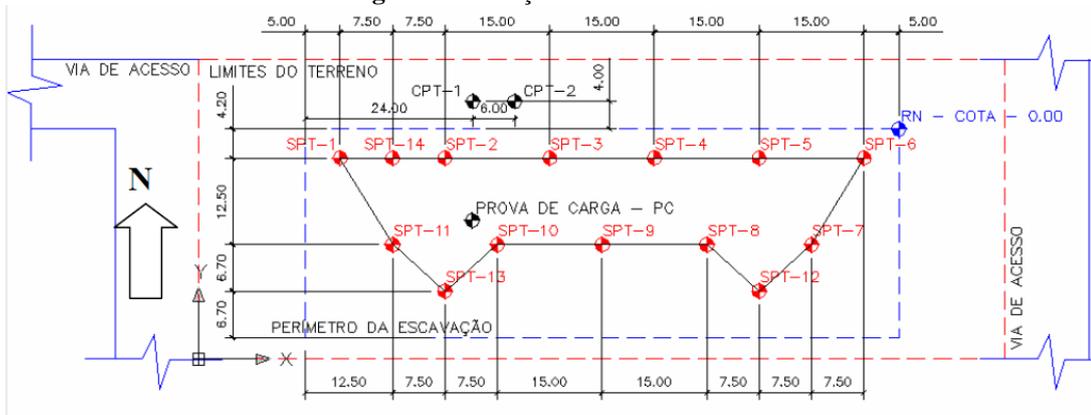
Fonte: Autor (2022).

2.3.1 Dados do solo

Para este estudo, utilizou-se um solo fictício baseado em um solo típico do Distrito Federal (Brasília-Asa Norte) onde foram realizados furos de sondagem SPT estudados por Soares (2004), o qual dispôs de 14 furos (Figura 8). O edifício real estudado por Soares (2004) possuía um terreno com área muito maior do que o aqui estudado, assim optou-se por selecionar dos 14 furos disponíveis, 6 deles que foram considerados como sendo sondagens do terreno fictício considerado neste trabalho, as 6 sondagens utilizadas correspondem aos furos SPT-1, SPT-2,

SPT-10, SPT-11, SPT-13 e SPT-14.

Figura 8 - Localização dos furos de SPT.



Fonte: Soares (2004).

2.3.2 Dados de entrada do solo no TQS - Lançamento das Sondagens

Todos os perfis de sondagem considerados no cálculo foram lançados através de um editor específico no módulo SISEs, e neste, foram informados os valores de N_{SPT} , as camadas de solo, sua composição e características físicas (Figura 9). Além disso, o TQS associa todas as camadas de solo com os valores dos coeficientes de reação vertical (CRV), já os valores dos coeficientes de reação horizontal (CRH) são calculados de acordo com os valores de N_{SPT} .

Figura 9 - Lançamento das sondagens no SISEs.

Leitura	SPT	SPT-T	Adesão	Pressão de Injeção
	ngolpes	kgf.m	kPa	kgf/cm ²
1 m	4			
2 m	2			
3 m	8			
4 m	7			
5 m	8			
6 m	10			
7 m	4			
8 m	4			
9 m	4			

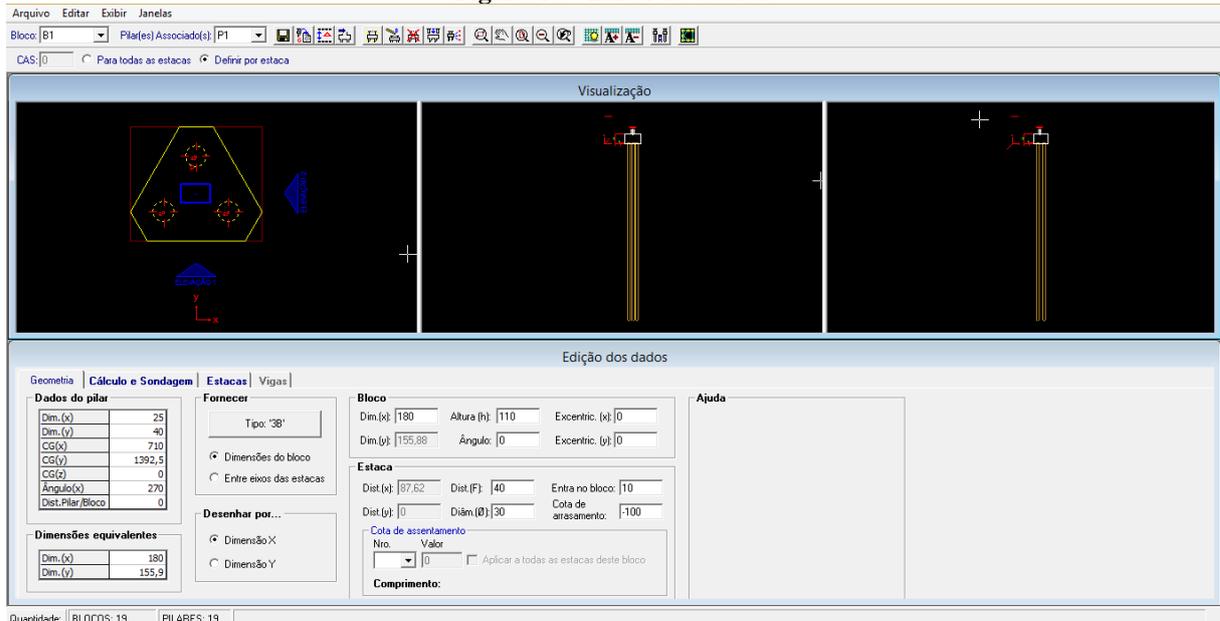
Nº	Material	DESCRIÇÃO DO SOLO	INI	FIM
1	Argila	ATERRO - ARGILA ARENOSA	-1	3
2	Argila	ATERRO - ARGILA SILTOSA	3	6
3	Argila	ARGILA ARENOSA	6	9
4	Argila	ARGILA SILTOSA	9	11

Fonte: Autor (2022).

2.3.3 Editor de estacas circulares e quadradas

Neste editor, mostrado na Figura 10, foi possível importar as fundações, que já haviam sido inseridas no modelador estrutural do TQS e assim definir ou complementar alguns dados dos elementos de fundação, assim como critérios de cálculo.

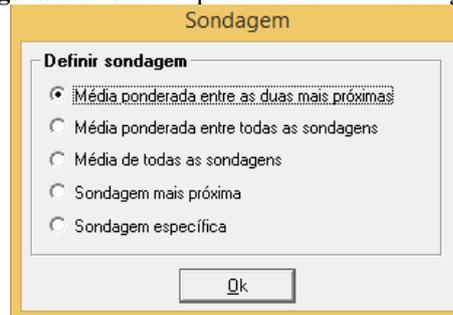
Figura 10 - Editor de estacas.



Fonte: Autor (2022).

Dentro do editor, pode-se modificar parâmetros para cada bloco em particular, entre os parâmetros que podem ser modificados no mesmo, estão a geometria das fundações, o critério para o cálculo do CRV (coeficiente de reação vertical) e CRH (coeficiente de reação horizontal) e o critério para a escolha da sondagem que será utilizada para o bloco em questão, que neste caso optou-se pela primeira opção (Figura 11), mesmo sabendo que das 6 sondagens escolhidas apenas 2 estavam abaixo da projeção do edifício, mas considerou-se a média para representar melhor a continuidade do solo.

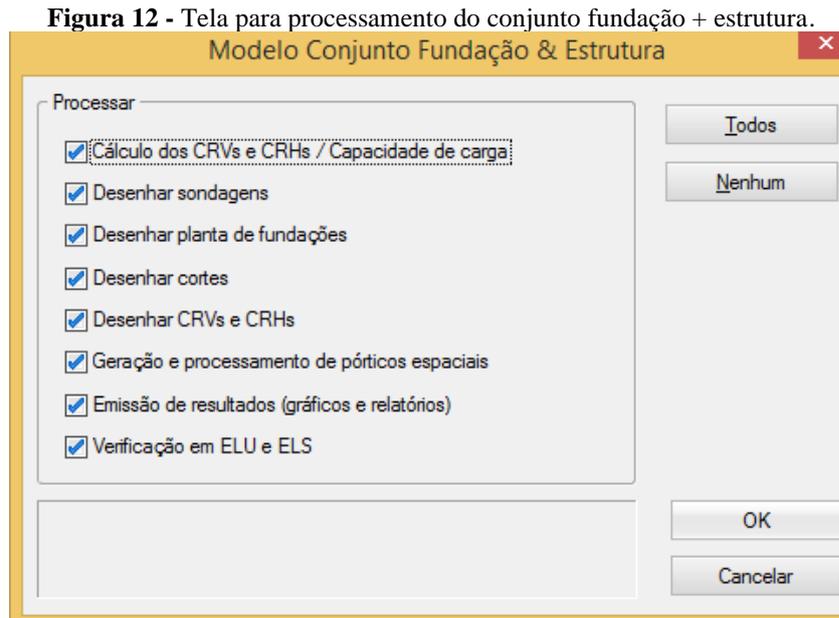
Figura 11 - Critério para a escolha da sondagem.



Fonte: Autor (2022).

2.4 Geração do modelo fundação + estrutura

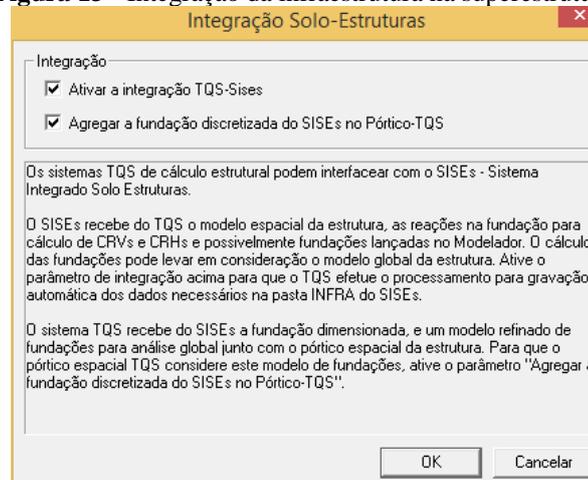
De posse do modelo estrutural, e finalizado o lançamento das sondagens e definição dos critérios, foi possível realizar o processamento e assim obter o modelo fundação + estrutura (Figura 12), onde o modelo que considera os apoios como molas, as quais representam a deformabilidade do solo, foi calculado.



Fonte: Autor (2022).

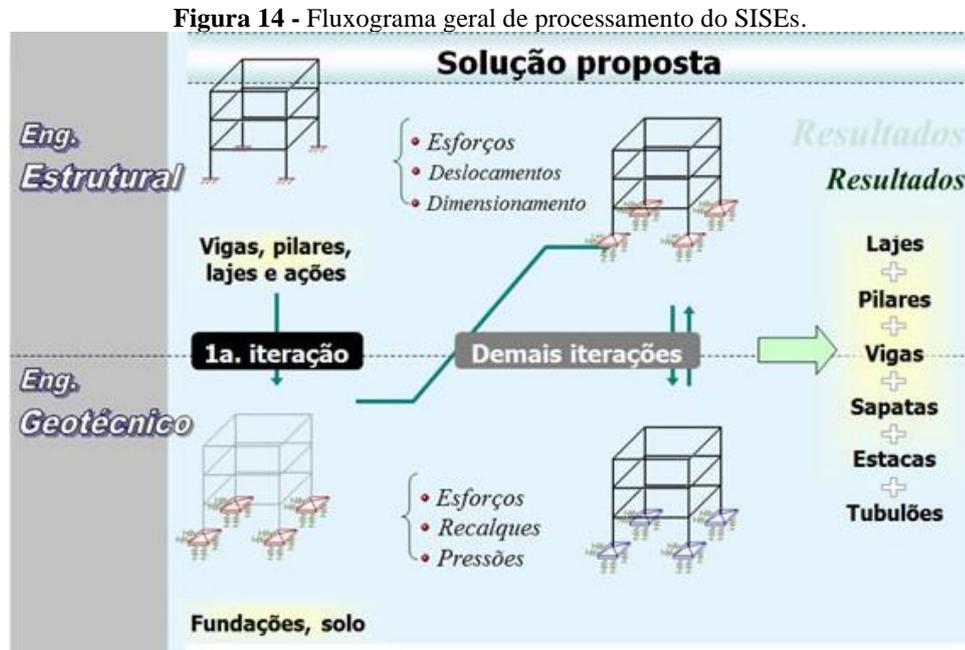
Após o processamento e geração do modelo, foi necessário integrar o mesmo ao pórtico TQS (Figura 13), exportar os dados dos elementos do SISEs para o modelador estrutural e fazer um novo processamento global, no qual o modelo já está composto pelo conjunto infra + superestrutura.

Figura 13 - Integração da infraestrutura na superestrutura.



Fonte: O autor (2022).

O procedimento citado no último parágrafo foi repetido até que o momento em que não houve diferenças significativas entre os resultados apresentados. A Figura 14 ilustra o fluxograma geral do processamento do SISEs.



Fonte: TQS Informática (2022).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, serão apresentados alguns resultados da análise estrutural considerados mais importantes. A análise consistirá na comparação dos deslocamentos e dos esforços atuantes na estrutura com e sem a consideração da ISE. Vale pontuar que todos os esforços foram observados a partir da análise sob o caso de carregamento 1 do TQS (todas permanentes e acidentais dos pavimentos).

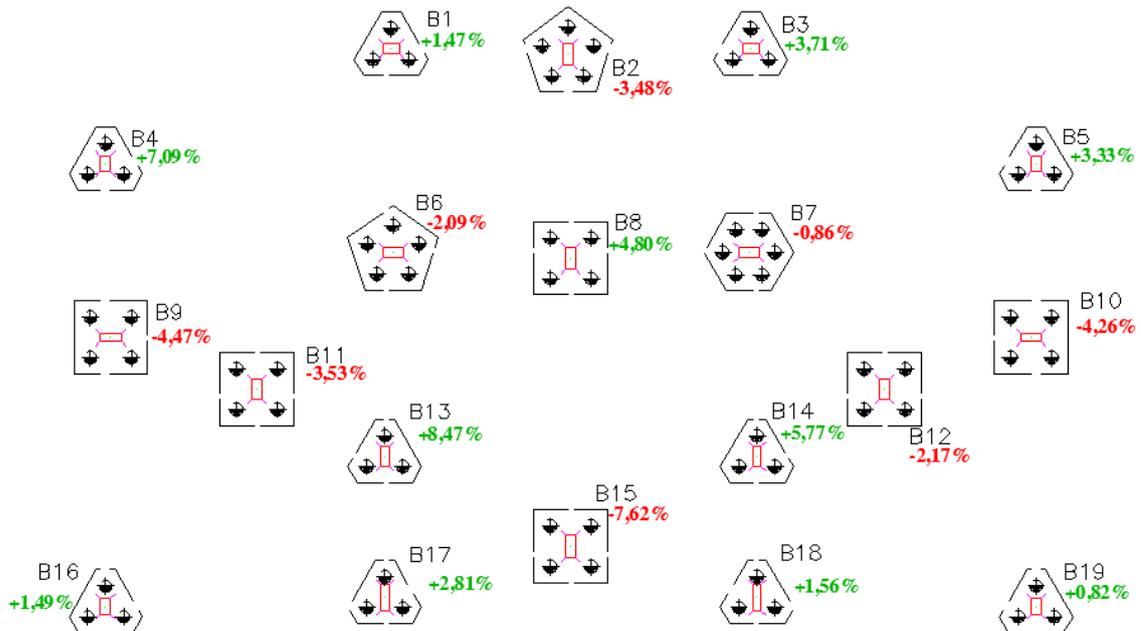
3.1 Análise da redistribuição das cargas nas fundações

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos com a hipótese de apoios indeslocáveis e com a consideração da interação solo estrutura. Constatou-se que houve variação dos esforços em todos os blocos da estrutura. Comparando os resultados, observou-se que houve um alívio de até 7,62%, enquanto o maior ganho de carregamento nas fundações chegou a 8,47%. Na Figura 15 mostra-se em termos espaciais como se deu a interação solo-estrutura onde os valores em verde significam acréscimo de carregamento nos pilares e os valores em vermelho significam alívio de carga.

Tabela 3 - Comparativo entre as cargas na fundação com e sem a consideração da ISE.

BLOCO	SEM ISE CARGA (tf)	COM ISE CARGA (tf)	DIFERENÇA PERCENTUAL
B1	88,5	89,8	1,47%
B2	163,6	157,9	-3,48%
B3	72,8	75,5	3,71%
B4	63,5	68	7,09%
B5	63,1	65,2	3,33%
B6	191,2	187,2	-2,09%
B7	197,2	198,9	0,86%
B8	145,7	138,7	-4,80%
B9	123,1	117,6	-4,47%
B10	122,4	118,5	-3,19%
B11	127,3	122,8	-3,53%
B12	133,9	128,2	-4,26%
B13	83,8	90,9	8,47%
B14	88,4	93,5	5,77%
B15	160	147,8	-7,62%
B16	100,9	102,4	1,49%
B17	99,7	102,5	2,81%
B18	95,9	97,4	1,56%
B19	97,1	97,9	0,82%

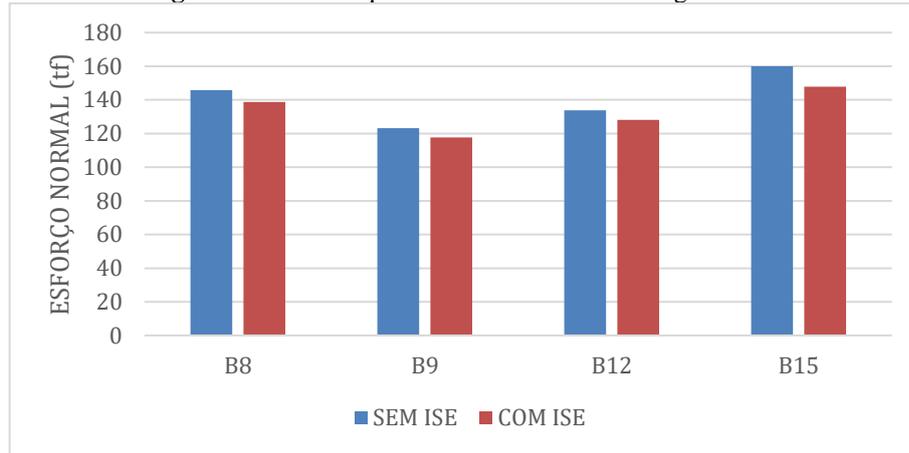
Fonte: Autor (2022).

Figura 15 - Redistribuição dos esforços na fundação.

Fonte: Autor (2022).

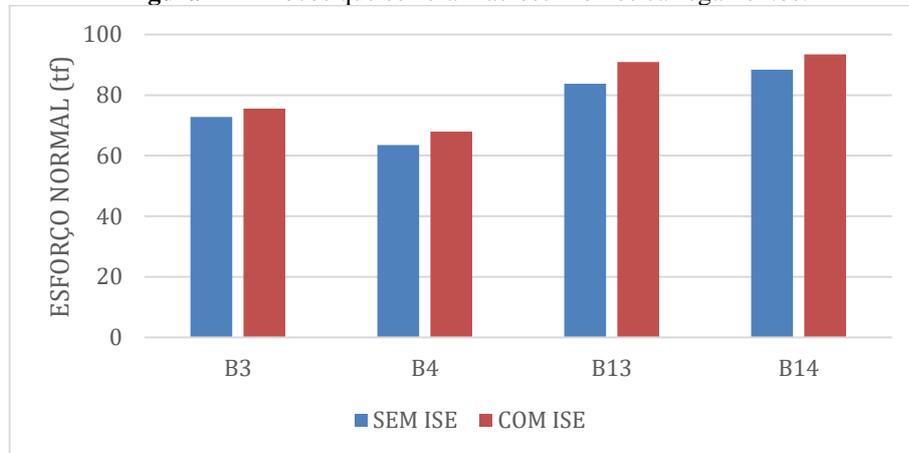
Observando o comportamento dos blocos B3, B4, B8, B9, B12, B13, B14 e B15, foi possível evidenciar o fenômeno observado por Gusmão (1990), onde a redistribuição das cargas decorrentes da consideração ISE se dá dos pilares mais carregados, que têm alívio nos carregamentos (P8, P9, P12 e P15), para os menos carregados, que sofrem acréscimo nos carregamentos (P3, P4, P13 e P14), como ilustra as Figuras 16 e 17.

Figura 16 - Blocos que sofreram alívio nos carregamentos.



Fonte: Autor (2022).

Figura 17 - Blocos que sofreram acréscimo nos carregamentos.

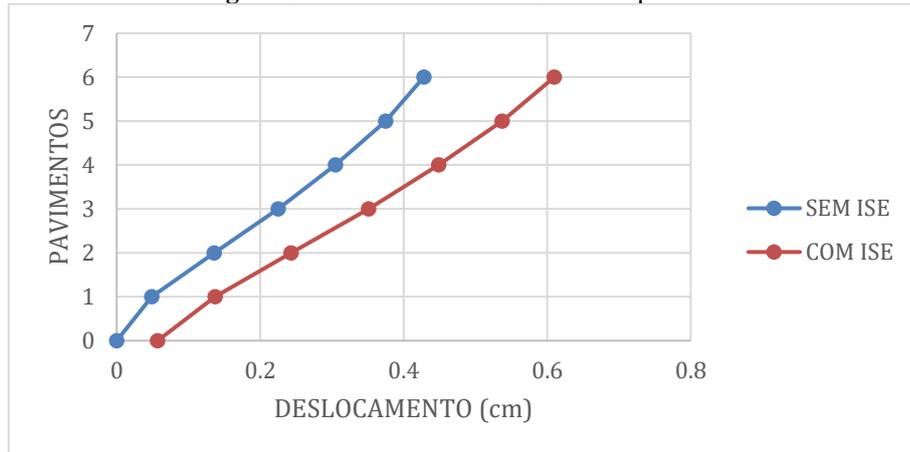


Fonte: Autor (2022).

3.2 Análise do deslocamento horizontal

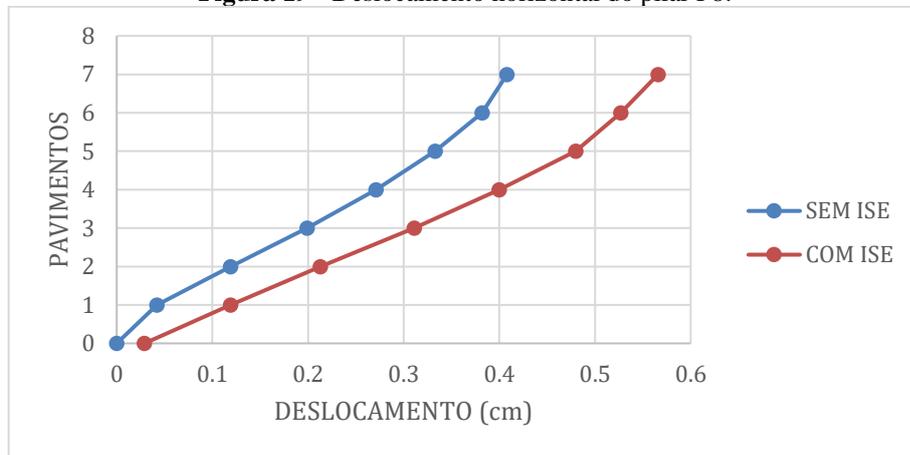
Em todos os pilares analisados foi possível observar diferenças nos deslocamentos horizontais, onde o modelo com a consideração da ISE apresentou valores maiores em comparação ao modelo que simula apoios indeslocáveis. As Figuras 18, 19, 20 e 21 mostram respectivamente o comportamento dos pilares P6, P8, P13 e P15, escolhidos conforme o critério baseado no maior carregamento nos mesmos e maior variação em termos percentuais.

Figura 18- Deslocamento horizontal do pilar P6.



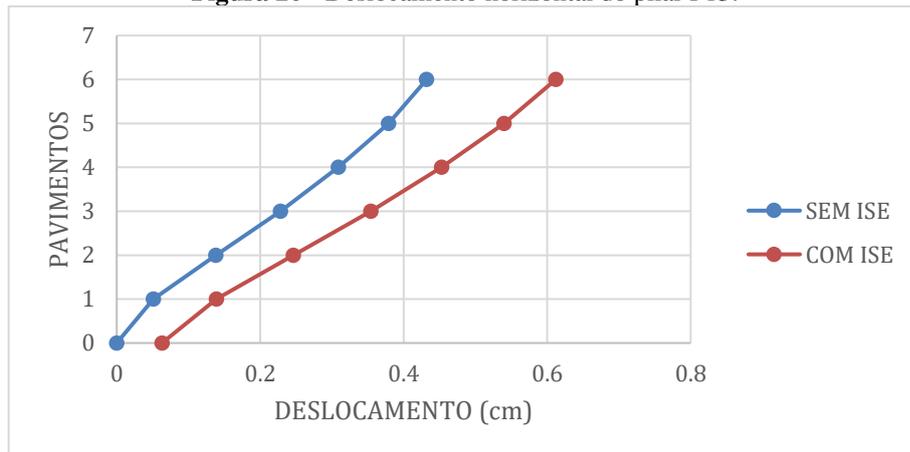
Fonte: Autor (2022).

Figura 19 - Deslocamento horizontal do pilar P8.

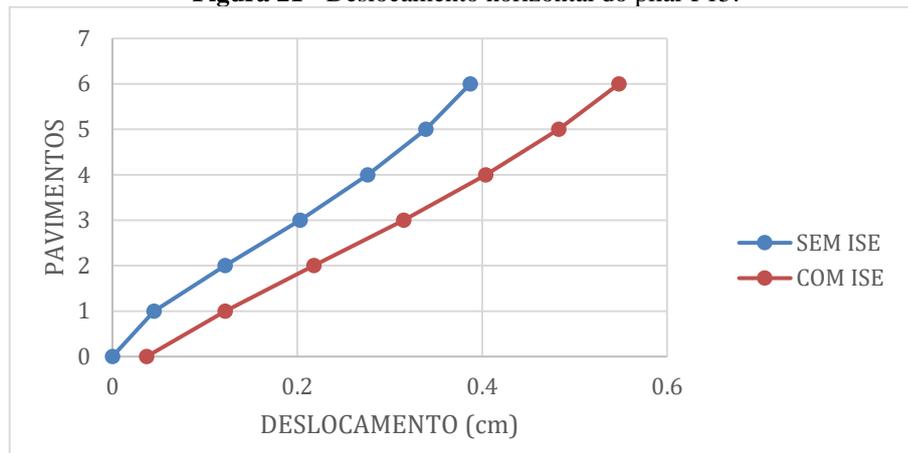


Fonte: Autor (2022).

Figura 20 - Deslocamento horizontal do pilar P13.



Fonte: Autor (2022).

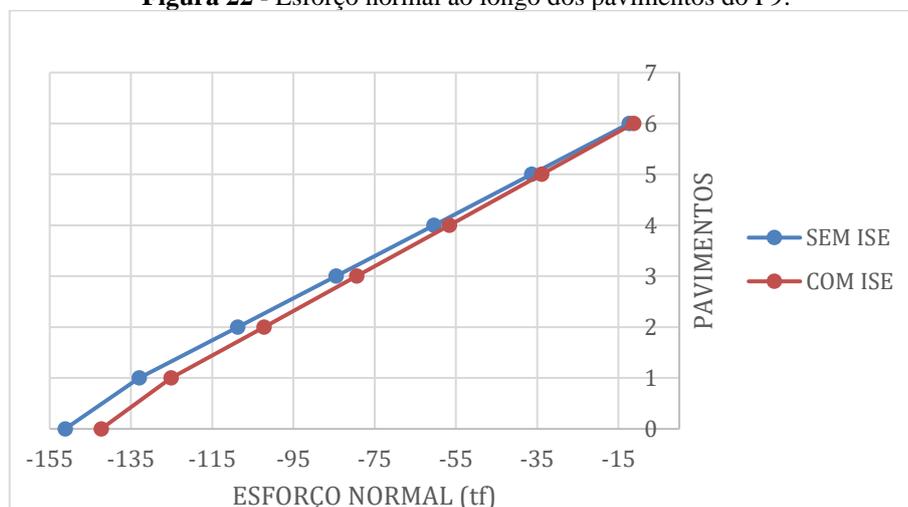
Figura 21 - Deslocamento horizontal do pilar P15.

Fonte: Autor (2022).

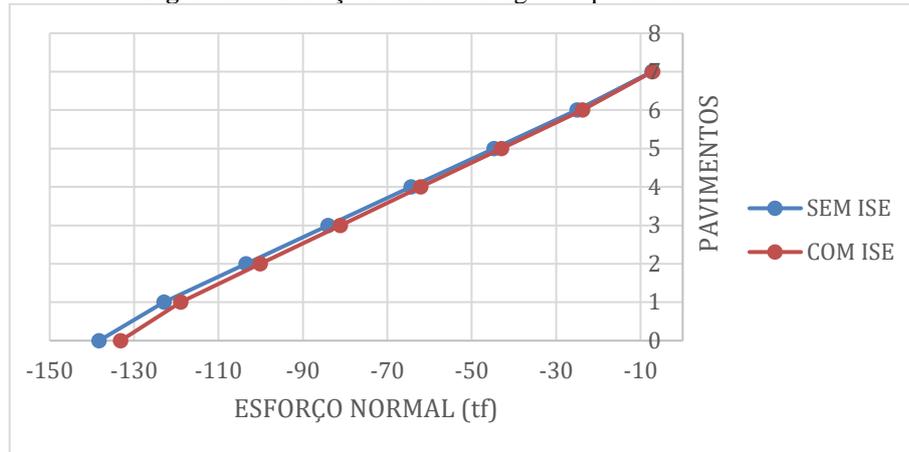
Notou-se que, com a consideração da interação solo-estrutura, houve acréscimo nos deslocamentos horizontais em todos os pavimentos, com relação ao valor do acréscimo observados nos gráficos anteriores, notou-se um aumento significativo nos últimos pavimentos, ao passo que nos primeiros pavimentos a diferença percentual entre os resultados foi mais significativa, como pode ser observado na Tabela 6 do Apêndice A. O mesmo comportamento foi observado por Antoniazzi (2011) e Santos (2017).

3.3 Análise do esforço normal nos pilares ao longo dos pavimentos

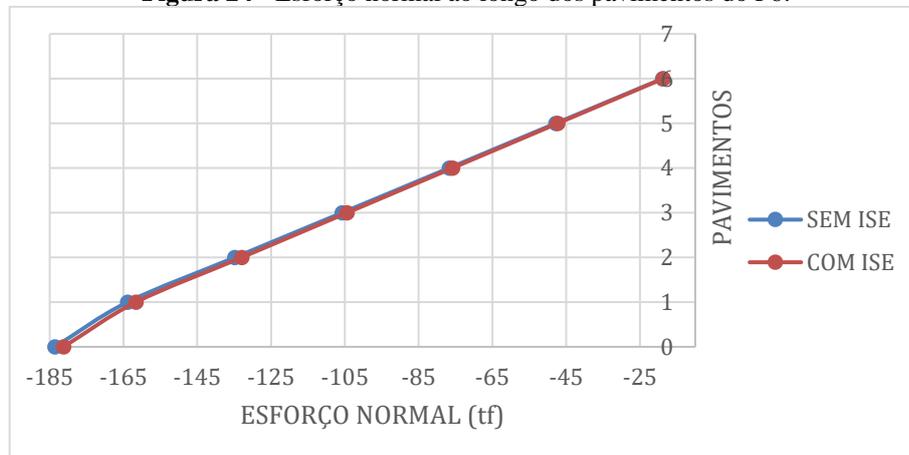
Também foi possível observar a redistribuição dos esforços ao longo dos pavimentos, analisando sobre essa perspectiva, evidenciou-se mais uma vez que os pilares mais carregados tendem ter um decréscimo nos esforços normais, enquanto os pilares menos carregados, acréscimo. Os pilares P6, P8, P9 e P13 foram analisados e as Figuras 22, 23, 24 e 25 ilustram os resultados obtidos, considerando ou não a interação solo estrutura.

Figura 22 - Esforço normal ao longo dos pavimentos do P9.

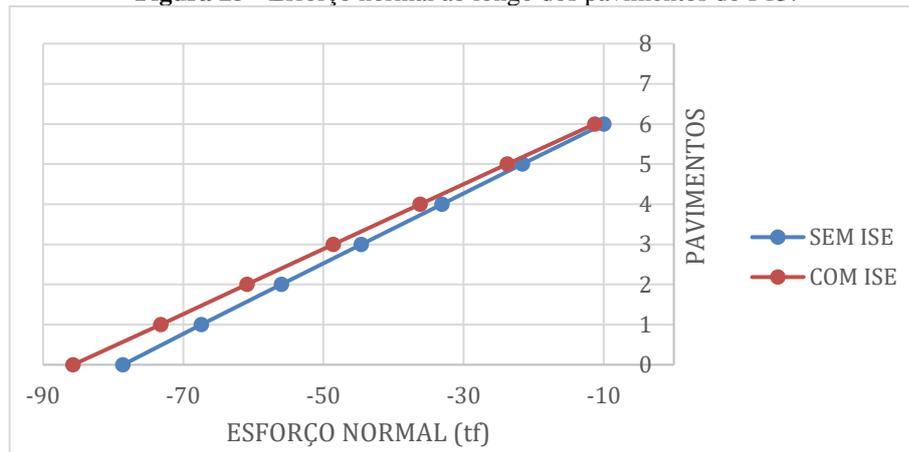
Fonte: Autor (2022).

Figura 23 - Esforço normal ao longo dos pavimentos do P8.

Fonte: Autor (2022).

Figura 24 - Esforço normal ao longo dos pavimentos do P6.

Fonte: Autor (2022).

Figura 25 - Esforço normal ao longo dos pavimentos do P13.

Fonte: Autor (2022).

Vale pontuar que com a consideração da ISE, é esperado que os primeiros pavimentos sejam os mais afetados, no entanto no presente modelo pôde-se observar nos pilares P13 e P15 a maior diferença percentual ocorreu nos últimos pavimentos (Tabela 4). Em seu trabalho, Santos

(2017) pôde observar o mesmo comportamento.

Tabela 4 - Esforço normal dos pilares P13 e P15 ao longo dos pavimentos.

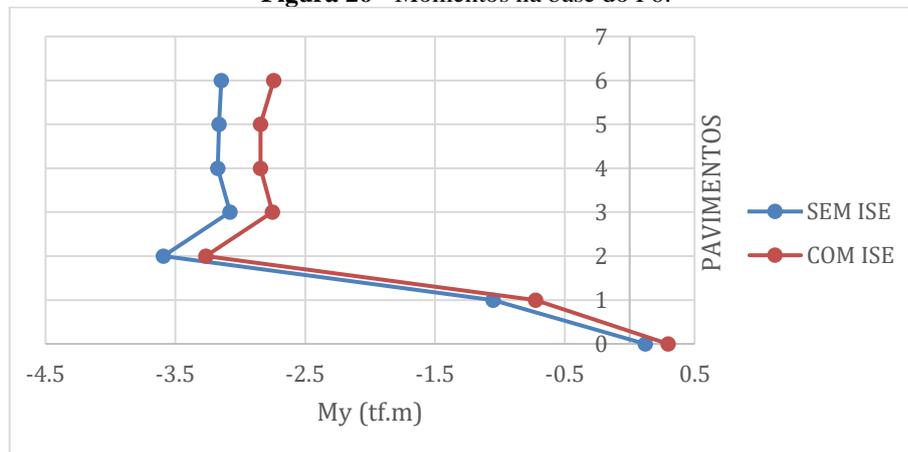
PISO	ESFORÇOS NORMAIS (tf)				DIFERENÇA PERCENTUAL	
	SEM ISE		COM ISE		P13	P15
	P13	P15	P13	P15		
0	-78,6	-151,2	-85,74	-142,34	9,08%	-5,86%
1	-67,4	-133	-73,19	-125,11	8,59%	-5,93%
2	-56	-108,7	-60,92	-102,25	8,79%	-5,93%
3	-44,6	-84,5	-48,59	-79,4	8,95%	-6,04%
4	-33,1	-60,4	-36,22	-56,62	9,43%	-6,26%
5	-21,6	-36,3	-23,77	-33,91	10,05%	-6,58%
6	-10	-12,3	-11,28	-11,24	12,80%	-8,62%

Fonte: Autor (2022).

3.4 Análise dos momentos fletores base e no topo dos pilares P6 e P15

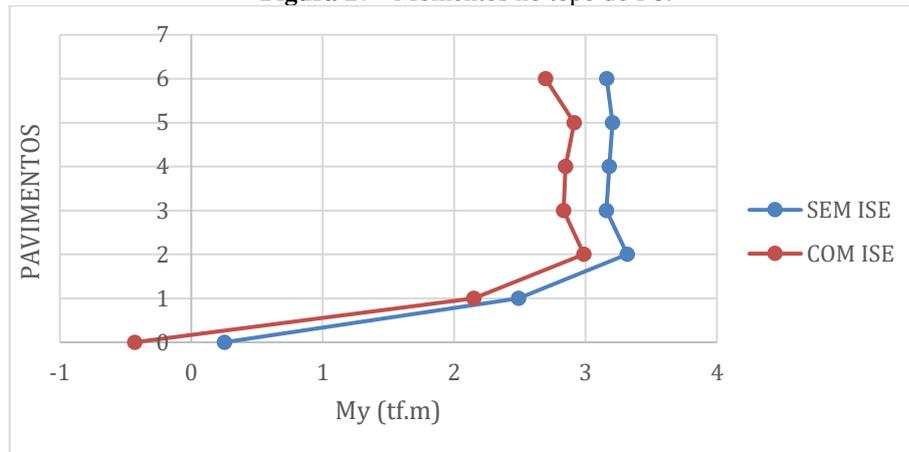
Seguindo a metodologia utilizada por Antoniazzi (2011), foram comparados os momentos na base e no topo dos pilares ao longo dos pavimentos, com e sem a consideração da deformabilidade do solo. As Figuras 26, 27, 28 e 29 apresentam a comparação dos momentos dos pilares P6 e P15 em ambos os modelos estudados.

Figura 26 - Momentos na base do P6.



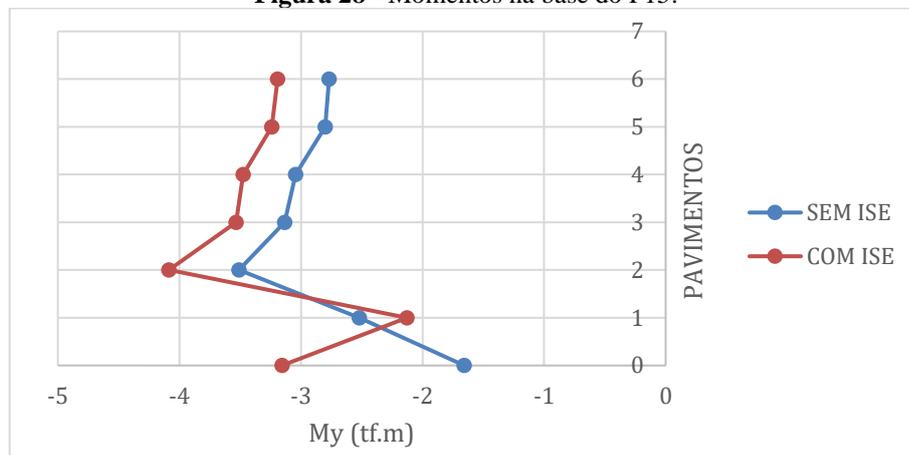
Fonte: Autor (2022).

Figura 27 - Momentos no topo do P6.



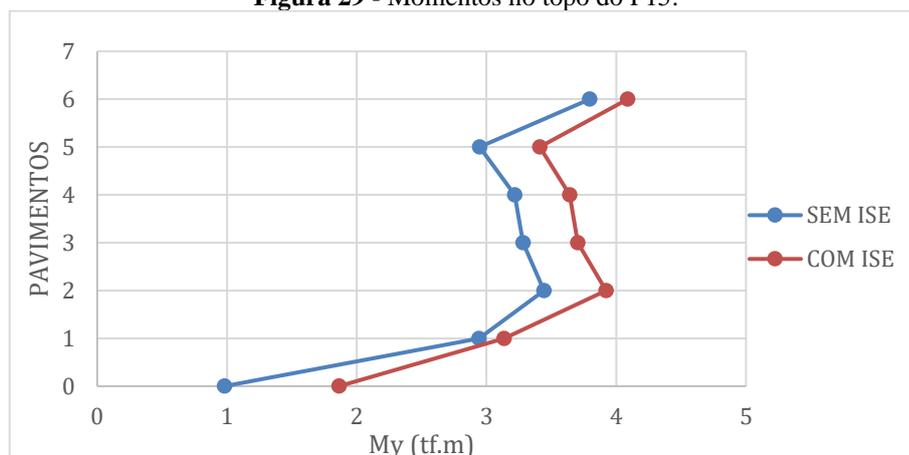
Fonte: Autor (2022).

Figura 28 - Momentos na base do P15.



Fonte: Autor (2022).

Figura 29 - Momentos no topo do P15.



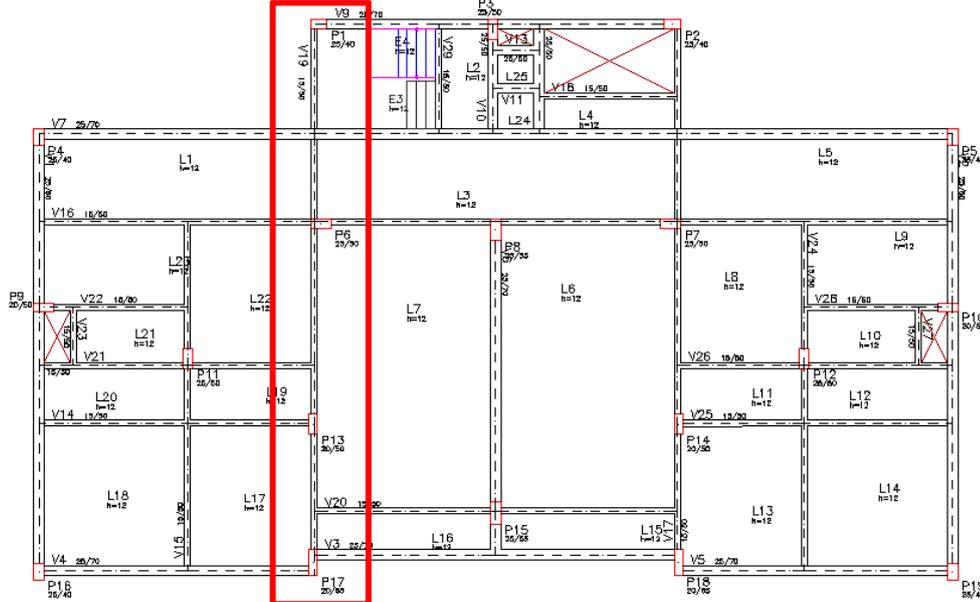
Fonte: Autor (2022).

Comparando os resultados, foi possível observar variações nos momentos em todos os pavimentos, onde, em termos percentuais, as maiores diferenças estão nos primeiros pavimentos, conforme pode ser visto na Tabela 7 contida no Apêndice A.

3.5 Análise dos momentos fletores e esforços cortantes da viga V19 (viga com maior número de apoios)

Ao considerar o deslocamento do solo também ficou nítida a influência do mesmo nos momentos fletores e esforços cortantes das vigas. Para a análise, escolheu-se a viga V19, a Figura 30 aponta a localização da mesma na planta de forma.

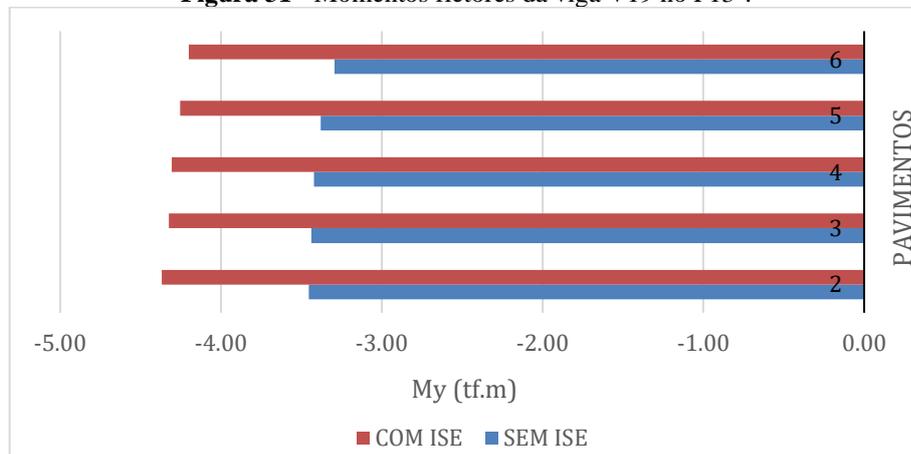
Figura 30 - Planta de forma do pav. tipo.



Fonte: Autor (2022).

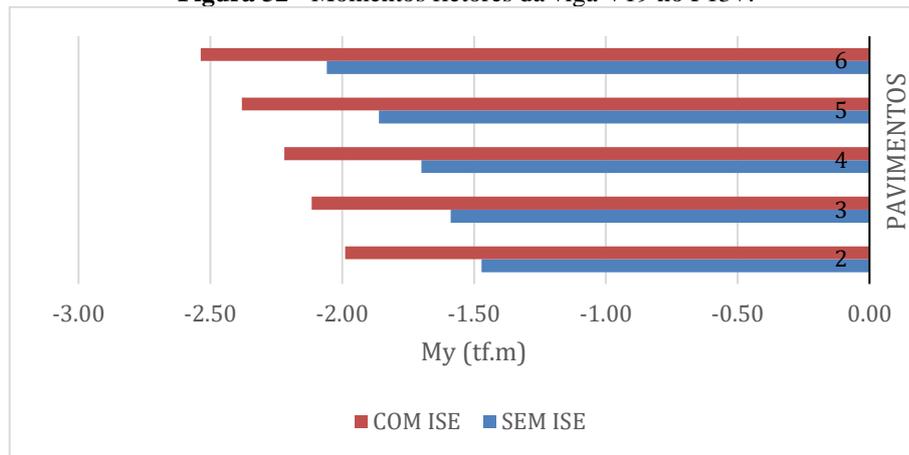
A viga em questão está presente nos pavimentos tipo, do piso 2 ao 6, a mesma se apoia nos pilares P1, P6, P13 e P19, como ilustra a Figura 30. Nela, observou-se variações nos esforços em todos os pontos analisados. As Figuras 31, 32, 33, 34, 35 e 36 mostram os pontos onde foram observadas as maiores variações nos esforços, que foi nos pilares P1 e P13. Os demais resultados podem ser encontrados no Apêndice A.

Figura 31 - Momentos fletores da viga V19 no P13-.



Fonte: Autor (2022).

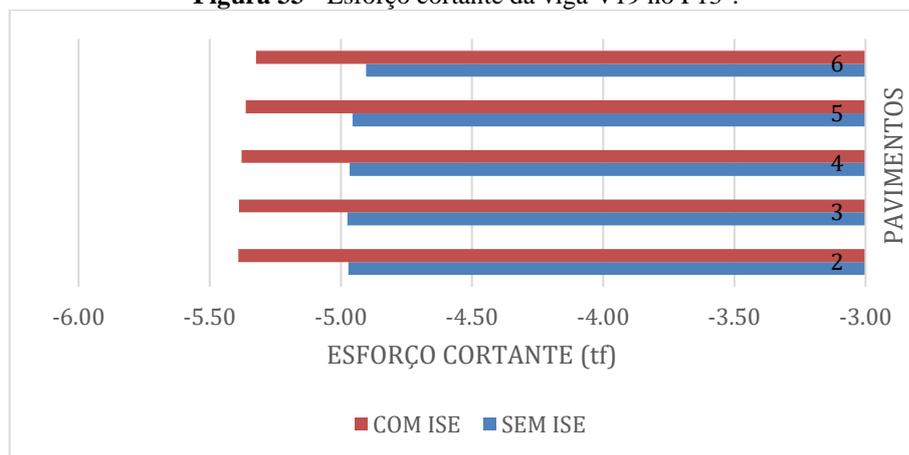
Figura 32 - Momentos fletores da viga V19 no P13+.



Fonte: Autor (2022).

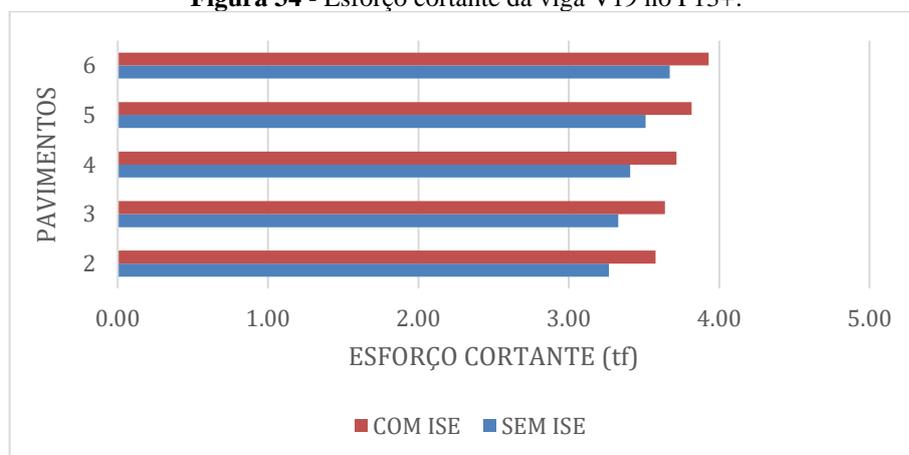
As Figuras 31 e 32 ilustram, respectivamente os momentos fletores à esquerda e à direita do P13 ao longo dos pavimentos, foi possível verificar que houve um acréscimo de até 35,12%.

Figura 33 - Esforço cortante da viga V19 no P13-.



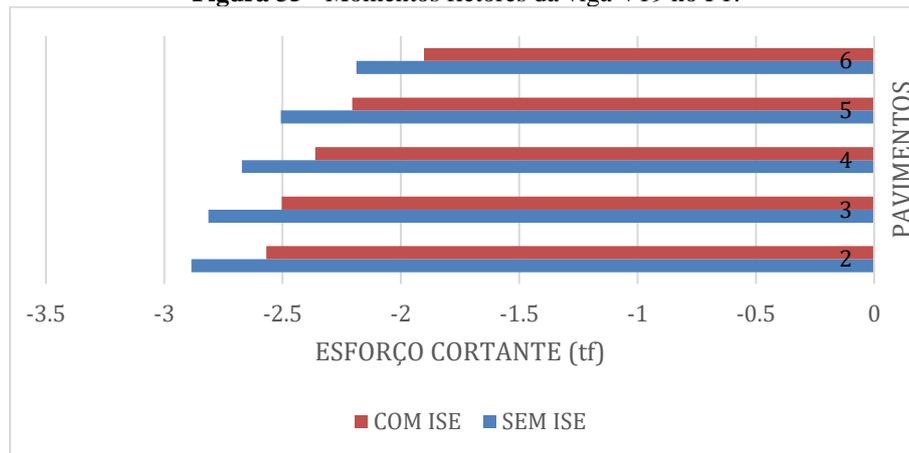
Fonte: Autor (2022).

Figura 34 - Esforço cortante da viga V19 no P13+.

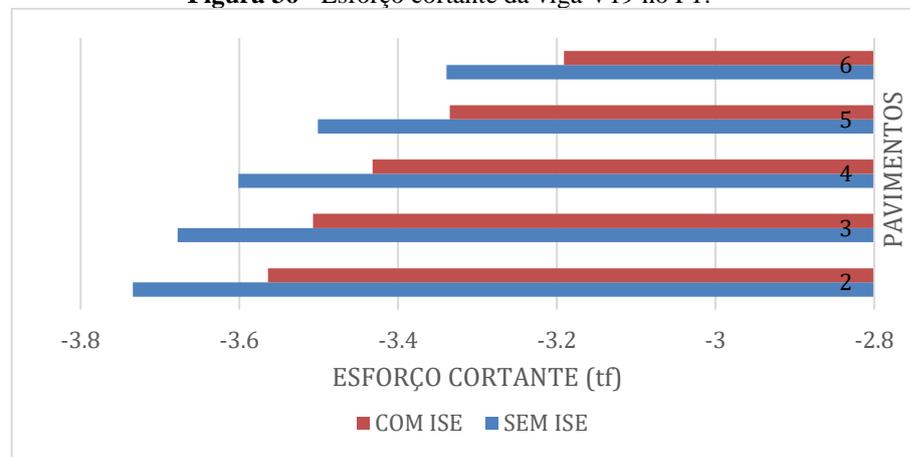


Fonte: Autor (2022).

No tocante aos esforços cortantes, como mostram as Figuras 33 e 34, observou-se que neste ponto também houve acréscimo.

Figura 35 - Momentos fletores da viga V19 no P1.

Fonte: Autor (2022).

Figura 36 - Esforço cortante da viga V19 no P1.

Fonte: Autor (2022).

Com relação aos momentos fletores e esforços cortantes no P1, observou-se uma redução nos valores, o que implica que, dependendo dos comportamentos dos apoios da mesma, ao considerar a deformabilidade do solo, em uma mesma viga podem ocorrer acréscimo em alguns pontos e redução em outros.

4 CONCLUSÕES

Os principais objetivos deste trabalho foram não só entender o funcionamento do Sistema de Interação Solo-Estrutura (SISEs) do programa computacional TQS, mas também observar como a ferramenta pode auxiliar na compreensão do comportamento da estrutura como um todo quando a deformabilidade do solo é considerada, isso foi possível através da comparação entre os modelos que simulavam as situações de apoios indeslocáveis e com apoios flexibilizados.

Com base nos resultados apresentados buscou-se, a partir da comparação entre os resultados obtidos em ambos os modelos, mostrar a importância da consideração da interação solo-

estrutura, onde foi possível ter a confirmação dos resultados analisados por outros autores. Quando se considerou o efeito causado pela deformação do solo observou-se, em todos os elementos analisados, variações em seus esforços, principalmente nos pavimentos mais próximos às fundações.

A interação solo estrutura gerou redistribuição nas cargas da fundação, confirmando a tendência de transferência de carga dos pilares mais carregados para os menos carregados, além de provocar o aumento do deslocamento horizontal em todos os pilares analisados.

No que se refere aos momentos fletores dos pilares, ao analisa-los na base e no topo dos mesmos, observou-se que normalmente a variação é mais significativa nos primeiros pavimentos, contudo foi possível observar que em alguns casos a influencia pode ocorrer de maneira significativa nos pavimentos superiores também.

Durante a análise do comportamento das vigas, foi possível perceber variações relevantes em alguns casos. Evidenciou-se também que, numa mesma viga, é possível observar que algumas seções podem sofrer acréscimo nos esforços, ao passo em que outras podem ter um alívio nos mesmos.

Nesta perspectiva, é possível afirmar que a consideração da interação solo estrutura traz resultados significativos no cálculo estrutural, que pode servir como ferramenta de auxílio na tomada de decisões, impactando diretamente na segurança, durabilidade e também no fator econômico, dependendo das características do solo onde será feita a construção. Solos mais rígidos ou rochosos, Santos (2018), apresentam também esta interação, porém em menor magnitude, já solos mais compressíveis podem apresentar magnitudes consideráveis, conforme Soares (2004).

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 Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**, NBR 6120. Rio de Janeiro, ABNT, 2019.

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

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

BALZAN, A. R.; RAMIRES, F. B; JUNIOR, L. S. L. **Interação solo-estrutura e sua influência na análise estrutural de silos graneleiros em aço.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.1, p.2760-2779.

COLARES, G. M. **Programa para análise da Interação Solo-Estrutura no projeto de edifícios.** Dissertação de mestrado, EESC/USP. São Carlos, 2006.

GUSMÃO, A. D. **Estudo da Interação Solo-Estrutura e Sua Influência em Recalques de Edificações.** Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1990.

HOLANDA JR., O. G. **Interação Solo-Estrutura para edifícios de concreto armado sobre fundações diretas.** Dissertação de mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo, 1998.

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

L. Oberg. **Desenho Arquitetônico – 22ª ed.** Rio de Janeiro, 1979

SOARES, J. M. **Estudo numérico-experimental da interação solo-estrutura em dois edifícios do distrito federal.** Tese de Doutorado - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2004.

SANTOS, M, K. **Estudo de interação solo-estrutura em um edifício fictício com múltiplos pavimentos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2017.

SANTOS, Y. R, P. **Estudo Da Interação Solo-Estrutura de um caso de obra de edifícios com fundações em maciço rochoso.** Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2018.

SOUZA, R. A.; REIS J.H.C. **Interação Solo-Estrutura para Edifícios sobre Fundações Rasas.** Acta Sci. Technol, Maringá, V. 30, N. 2, P. 161-171, 2008.

TQS INFORMÁTICA. **TQS Docs.** São Paulo, 2022. Disponível em: <http://docs.tqs.com.br>. Acesso em: 26 set. 2022

APÊNDICE A

Tabela 5 - Comparação da força normal nos pilares com e sem ISE.

PISO	ESFORÇOS NORMAIS (tf)											
	SEM ISE				COM ISE				DIF. PERCENTUAL			
	P6	P8	P13	P15	P6	P8	P13	P15	P6	P8	P13	P15
0	-183,6	-138,3	78,6	-151,2	-181,27	-133,21	-85,74	-142,34	-1,27%	-3,68%	9,08%	-5,86%
1	-163,9	-122,9	67,4	-133	-161,59	-118,96	-73,19	-125,11	-1,41%	-3,21%	8,59%	-5,93%
2	-134,8	-103,5	-56	-108,7	-132,93	-100,11	-60,92	-102,25	-1,39%	-3,28%	8,79%	-5,93%
3	-105,7	-84	44,6	-84,5	-104,35	-81,13	-48,59	-79,4	-1,28%	-3,42%	8,95%	-6,04%
4	-76,7	-64,4	33,1	-60,4	-75,79	-62,08	-36,22	-56,62	-1,19%	-3,60%	9,43%	-6,26%
5	-47,8	-44,7	21,6	-36,3	-47,25	-42,93	-23,77	-33,91	-1,15%	-3,96%	10,05%	-6,58%
6	-18,8	-25	-10	-12,3	-18,66	-23,73	-11,28	-11,24	-0,74%	-5,08%	12,80%	-8,62%
7		-7,3				-7,15				-2,05%		

Fonte: Autor (2022).

Tabela 6 - Comparação do deslocamento horizontal com e sem ISE.

PAV	DESLOCAMENTO HORIZONTAL (cm)											
	SEM ISE				COM ISE				DIF. PERCENTUAL			
	P6	P8	P13	P15	P6	P8	P13	P15	P6	P8	P13	P15
0	0	0	0	0	0,057	0,03	0,06	0,04	-	-	-	-
1	0,05	0,04	0,05	0,05	0,14	0,12	0,14	0,12	179,59%	183,33%	172,55%	171,11%
2	0,14	0,12	0,14	0,12	0,24	0,21	0,25	0,22	78,68%	78,99%	78,26%	78,69%
3	0,23	0,20	0,23	0,20	0,35	0,31	0,35	0,32	56,00%	56,28%	55,26%	55,17%
4	0,31	0,27	0,31	0,28	0,45	0,40	0,45	0,40	47,21%	47,60%	46,60%	46,38%
5	0,38	0,33	0,38	0,34	0,54	0,48	0,54	0,48	43,20%	44,14%	42,48%	42,48%
6	0,43	0,38	0,43	0,39	0,61	0,53	0,61	0,55	42,52%	37,96%	41,67%	41,60%
7		0,41				0,57				38,73%		

Fonte: Autor (2022).

Tabela 7 - Comparação dos momentos na base e no topo do P6.

PAV	MOMENTOS FLETORES (tf.m)					
	SEM ISE		COM ISE		DIF. PERCENTUAL	
	BASE	TOPO	BASE	TOPO	BASE	TOPO
0	0,12	0,252	0,296	-0,431	146,67%	-271,03%
1	-1,053	2,491	-0,725	2,151	-31,15%	-13,65%
2	-3,592	3,318	-3,265	2,988	-9,10%	-9,95%
3	-3,079	3,16	-2,752	2,833	-10,62%	-10,35%
4	-3,174	3,18	-2,844	2,848	-10,40%	-10,44%
5	-3,164	3,205	-2,843	2,915	-10,15%	-9,05%
6	-3,145	3,162	-2,743	2,697	-12,78%	-14,71%

Fonte: Autor (2022).

Tabela 8 - Comparação dos momentos na base e no topo do P7.

PAV	MOMENTOS FLETORES (tf.m)					
	SEM ISE		COM ISE		DIF. PERCENTUAL	
	BASE	TOPO	BASE	TOPO	BASE	TOPO
0	-0,193	0,396	-0,167	0,681	-13,47%	71,97%
1	0,888	-2,366	0,477	-2,045	-46,28%	-13,57%
2	3,543	-3,224	3,263	-2,935	-7,90%	-8,96%
3	3,039	-3,085	2,74	-2,79	-9,84%	-9,56%
4	3,148	-3,1	2,852	-2,796	-9,40%	-9,81%
5	3,193	-3,267	2,916	-3,01	-8,68%	-7,87%
6	2,985	-2,531	2,634	-1,966	-11,76%	-22,32%
7	0,942	2,252	1,137	2,436	20,70%	8,17%

Fonte: Autor (2022).

Tabela 9 - Comparação dos momentos na base e no topo do P15.

PAV	MOMENTOS FLETORES (tf.m)					
	SEM ISE		COM ISE		DIF. PERCENTUAL	
	BASE	TOPO	BASE	TOPO	BASE	TOPO
0	-1,657	0,98	-3,156	1,864	90,46%	90,20%
1	-2,52	2,941	-2,128	3,135	-15,56%	6,60%
2	-3,51	3,443	-4,086	3,921	16,41%	13,88%
3	-3,135	3,282	-3,534	3,702	12,73%	12,80%
4	-3,043	3,217	-3,476	3,642	14,23%	13,21%
5	-2,801	2,946	-3,24	3,411	15,67%	15,78%
6	-2,77	3,796	-3,192	4,088	15,23%	7,69%

Fonte: Autor (2022).

Tabela 10- Comparação dos esforços da V19 no P1.

PAV.	SEM ISE		COM ISE		DIF. PERCENTUAL	
	My (tf.m)	Fz (tf)	My(tf.m)	Fz (tf)	My (tf.m)	Fz (tf)
2	-4,079	5,973	-4,173	5,995	2,30%	0,37%
3	-4,141	5,982	-4,242	6,006	2,44%	0,40%
4	-4,163	5,991	-4,262	6,015	2,38%	0,40%
5	-4,226	6,005	-4,324	6,029	2,32%	0,40%
6	-4,138	5,99	-4,236	6,012	2,37%	0,37%

Fonte: Autor (2022).

Tabela 11 - Comparação dos esforços da V19 no P6.

PAV.	SEM ISE				COM ISE				DIF. PERCENTUAL			
	My- (tf.m)	My+ (tf.m)	Fz- (tf)	Fz+ (tf)	My- (tf.m)	My+ (tf.m)	Fz- (tf)	Fz+ (tf)	My- (tf.m)	My+ (tf.m)	Fz- (tf)	Fz+ (tf)
2	-10,764	-8,36	-9,219	6,325	-10,037	-7,573	-8,881	6,011	6,75%	9,41%	3,67%	4,96%
3	-10,731	8,291	-9,188	6,312	-10,17	-7,506	-8,855	6,001	5,23%	9,47%	3,62%	4,93%
4	-10,661	8,293	-9,158	6,314	-9,947	-7,512	-8,825	6,004	6,70%	9,42%	3,64%	4,91%
5	-10,593	8,279	-9,117	6,317	-9,883	-7,502	-8,786	6,01	6,70%	9,39%	3,63%	4,86%
6	-10,543	-8,4	-9,116	6,356	-9,827	-7,607	-8,779	6,039	6,79%	9,44%	3,70%	4,99%

Fonte: Autor (2022).

Tabela 12 - Comparação dos esforços da V19 no P13.

PAV.	SEM ISE				COM ISE				DIF. PERCENTUAL			
	My- (tf.m)	My+ (tf.m)	Fz- (tf)	Fz+ (tf)	My- (tf.m)	My+ (tf.m)	Fz- (tf)	Fz+ (tf)	My- (tf.m)	My+ (tf.m)	Fz- (tf)	Fz+ (tf)
2	-3,46	-1,47	-4,97	3,27	-4,37	-1,99	-5,39	3,58	26,45%	35,12%	8,45%	9,49%
3	-3,44	-1,59	-4,98	3,33	-4,33	-2,12	-5,39	3,64	25,76%	33,17%	8,30%	9,31%
4	-3,42	-1,70	-4,97	3,41	-4,31	-2,22	-5,38	3,72	25,83%	30,59%	8,29%	9,04%
5	-3,38	-1,86	-4,96	3,51	-4,26	-2,38	-5,36	3,82	25,89%	27,89%	8,23%	8,69%
6	-3,30	-2,06	-4,90	3,67	-4,20	-2,54	-5,32	3,93	27,50%	23,22%	8,54%	7,03%

Fonte: Autor (2022)

Tabela 13 - Comparação dos esforços da V19 no P1.

PAV.	SEM ISE		COM ISE		DIF. PERCENTUAL	
	My (tf.m)	Fz (tf)	My (tf.m)	Fz (tf)	My (tf.m)	Fz (tf)
2	-2,885	-3,734	-2,568	-3,564	-10,99%	-4,55%
3	-2,813	-3,678	-2,503	-3,507	-11,02%	-4,65%
4	-2,672	-3,601	-2,362	-3,432	-11,60%	-4,69%
5	-2,507	-3,501	-2,205	-3,335	-12,05%	-4,74%
6	-2,188	-3,339	-1,903	-3,191	-13,03%	-4,43%

Fonte: Autor (2022)

ANEXO A

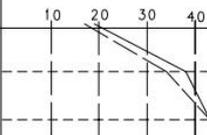
Figura 37- Boletim de sondagem do furo FS1

CLIENTE:		FURO Nº FS 01		SONDAGEM A PERCUSSÃO PARA FINS DE:	
LOCAL: SQN 212 BL.E PROJ.08 - BSB/DF		DATA DE INÍCIO: 03/05/01		RECONHECIMENTO DO SOLO	
		DATA DE FIM: 04/05/01		Nº REL.: FL:	
NÍVEL DE ÁGUA	CAMADAS	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO 30 Cm Início e 2° e 3°	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO N/30 cm. INICIAIS ----- FINAIS	CLASSIFICAÇÃO MACROSCÓPICA DO SOLO
	1		-		
	2		04		ATERRO- ARGILA ARENOSA, VERMELHA, MOLE, MUITO MOLE A MEDIA
	3		02		
	4		08		
	5		07		
	6		08		ATERRO- ARGILA SILTOSA, POUCA ARENOSA, VERMELHA, MEDIA.
	7		10		
	8		04		ARGILA ARENOSA, MARROM, MOLE.
	9		04		
N. A.	10		04		ARGILA SILTOSA, VERMELHA, MOLE A MEDIA.
	11		04		
	12		06		SILTE ARGILOSO, VARIEGADO, MEDIO.
	13		08		
	14		07		AREIA ARGILOSA, MARROM, FOFA.
	15		02		
	16		20		SILTE ARENOSO, VARIEGADO, COMPACTO A MEDIANAMENTE COMPACTO.
	17		16		
	18		12		ARGILA SILTOSA, VERMELHA, MEDIANA- MENTE COMPACTA A COMPACTA.
	19		20		
	20		16		SILTE ARENOSO, VARIEGADO, MEDIANA- MENTE COMPACTO.
	21		15		
	22		17		SILTE ARENOSO COM PEDREGULHO, VA- RIEGADO, COMPACTO.

OBS:	
RN.: ± 0,00	ENGº RESPONSÁVEL
COTA: + 2,00	

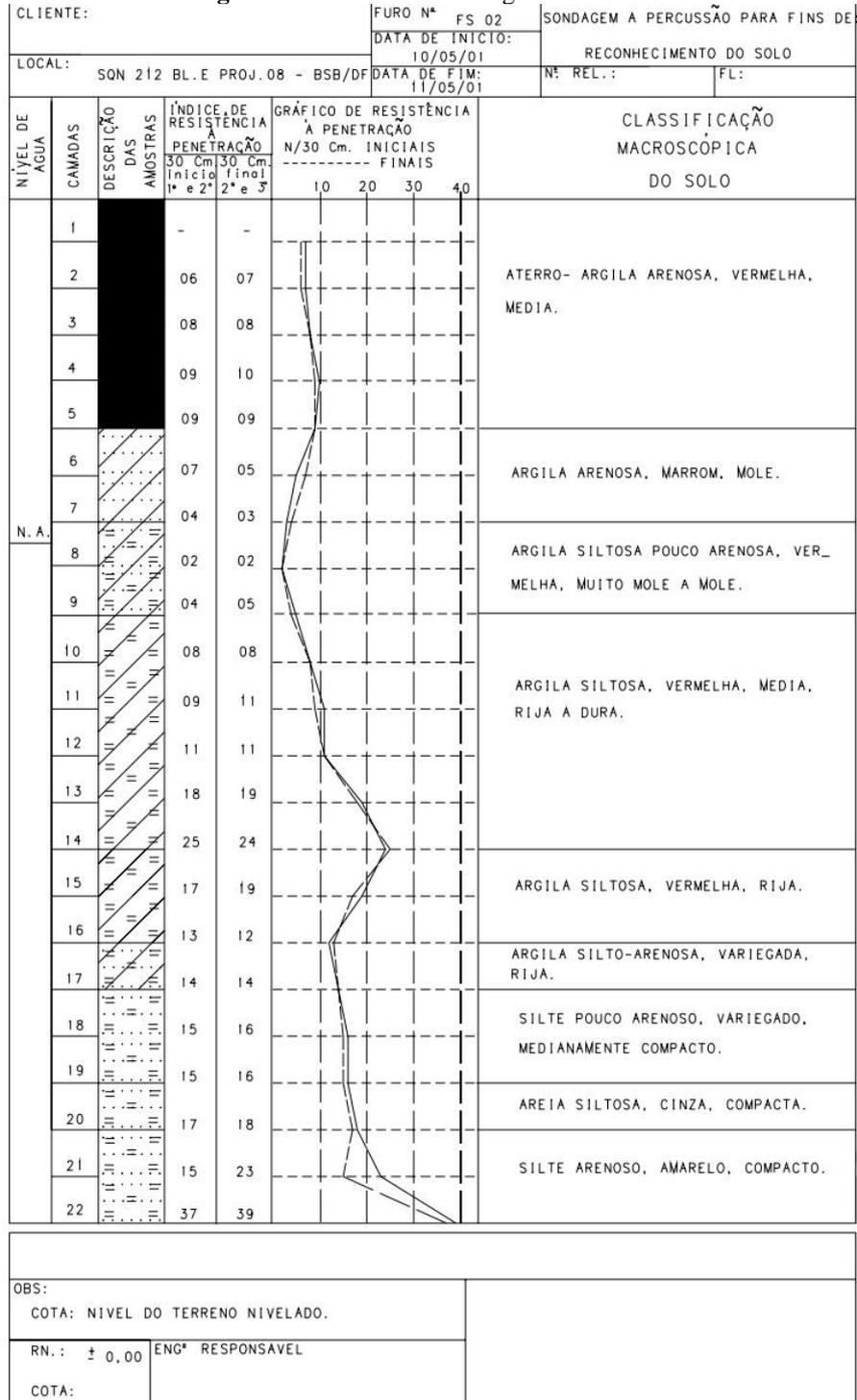
Fonte: Soares (2004)

Figura 38 - Boletim de sondagem do furo FS1 (continuação)

CLIENTE:		FURO N° FS 01 CONT		SONDAGEM A PERCUSSÃO PARA FINS DE:		
LOCAL:		DATA DE INÍCIO: 03/05/01		RECONHECIMENTO DO SOLO		
SON 212 BL.E PROJ.08 - BSB/DF		DATA DE FIM: 04/05/01		N° REL.:	FL:	
NÍVEL DE ÁGUA	CAMADAS	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO N/30 Cm. INICIAIS ----- FINAIS		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO N/30 Cm. INICIAIS ----- FINAIS	CLASSIFICAÇÃO MACROSCÓPICA DO SOLO
			30 Cm início 1º e 2º	30 Cm final 2º e 3º		
	23	...	34	38		AREIA SILTOSA, COM PEDREGULHO, AMA- RELA, COMPACTA A MUITO COMPACTA.
	24	...	46	49		
	25	...	54	58		
						LIMITE DE SONDAGEM À PERCUSSÃO : 24.45 METROS N.A. INICIAL = 9.20 METROS N.A. 24 HORAS = 9.25 METROS
OBS:						
RN. : ± 0,00		ENG° RESPONSÁVEL				
COTA: + 2,00						

Fonte: Soares (2004)

Figura 39 - Boletim de sondagem do furo FS2



Fonte: Soares (2004)

Figura 40 - Boletim de sondagem do furo FS2 (continuação)

CLIENTE:				FURO N° FS 02 CONT.		SONDAGEM A PERCUSSÃO PARA FINS DE			
LOCAL:				DATA DE INÍCIO:		RECONHECIMENTO DO SOLO			
SON 212 BL.E PROJ.08 - BSB/DF				10/05/01					
				DATA DE FIM:		N. REL.:			
				11/05/01		FL:			
NÍVEL DE ÁGUA	CAMADAS	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO				CLASSIFICAÇÃO MACROSCÓPICA DO SOLO
			30 Cm Início 1ª e 2ª	30 Cm Final 2ª e 3ª	N/30 cm. INICIAIS ----- FINAIS				
	23		41	44					SILTE ARENOSO, AMARELO, MUITO COMPACTO.
	24								LIMITE DE SONDAGEM À PERCUSSÃO : 22,45 METROS N. A. INICIAL = 10,30 METROS N. A. 24 HORAS = 10,35 METROS
	25								
	26								
OBS:									
COTA: NÍVEL DO TERRENO NIVELADO									
RN.: ± 0,00		ENG° RESPONSÁVEL							
COTA:									

Fonte: Soares (2004)

Figura 41 - Boletim de sondagem do furo FS10

CLIENTE:		FURO Nº FS 10		SONDAGEM A PERCUSSÃO PARA FINS DE:	
LOCAL: SQN 212 BL.E PROJ.08 - BSB/DF		DATA DE INÍCIO: 10/05/01		RECONHECIMENTO DO SOLO	
		DATA DE FIM: 10/05/01		Nº REL.: FL:	
NÍVEL DE ÁGUA	CAMADAS	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO MACROSCÓPICA DO SOLO
			30 Cm início e 2º 30 Cm final 1º e 2º e 3º	N/30 Cm. INICIAIS ----- FINAIS	
				10 20 30 40	
	1		-		ATERRO- ARGILA POUCA ARENOSA, VERMELHA, MEDIA.
	2		06		
	3		06		ATERRO- AREIA ARGILOSA, MARROM, MEDIA.
	4		09		
	5		09		
	6		07		AREIA ARGILOSA, MARROM, MEDIA.
N. A.	7		02		ARGILA ARENOSA, MARROM, MUITO MOLE.
	8		02		
	9		06		ARGILA POUCA ARENOSA, VERMELHA, MEDIA.
	10		06		
	11		10		ARGILA SILTOSA VERMELHA, MEDIA A RIJA.
	12		12		
	13		12		
	14		14		ARGILA SILTO-ARENOSA COM PEDREGULHO, VERMELHA, RIJA, DURA A MEDIA.
	15		22		
	16		12		ARGILA SILTO-ARENOSA, VERMELHA, MEDIA.
	17		08		
	18		12		SILTE ARENOSO, VARIEGADO, MEDIANAMENTE COMPACTO, COMPACTO A MUITO COMPACTO.
	19		33		
	20		47		
	21		54		
	22				LIMITE DE SONDAÇÃO A PERCUSSÃO: 20,45 METROS

OBS: N. A. INICIAL = 6,80 METROS N. A. 24 HORAS = 6,85 METROS COTA: NÍVEL NATURAL DO TERRENO NIVELADO.	
RN.: ± 0,00	ENGº RESPONSÁVEL
COTA:	

Fonte: Soares (2004)

Figura 42 - Boletim de sondagem do furo FS11

CLIENTE:		FURO Nº FS 11		SONDAGEM A PERCUSSÃO PARA FINS DE			
		DATA DE INÍCIO:		RECONHECIMENTO DO SOLO			
LOCAL:		DATA DE FIM:		Nº REL.:			
SON 212 BL.E PROJ.08 - BSB/DF		11/05/01		FL:			
NÍVEL DE ÁGUA	CAMADAS	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO			GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO N/30 cm. INICIAIS ----- FINAIS	CLASSIFICAÇÃO MACROSCÓPICA DO SOLO
			30 Cm início 1º e 2º	30 Cm final 2º e 3º			
	1		-	-			
	2		08	08			ATERRO- ARGILA ARENOSA, VERMELHA, MEDIA A MOLE.
	3		06	06			
	4		06	06			
	5		05	03			
	6		02	02			
N. A.	7		02	02			ARGILA ARENOSA, MARROM, MUITO MOLE.
	8		04	04			ARGILA ARENOSA, VERMELHA, MOLE, ME_ DIA A RIJA.
	9		07	09			
	10		12	12			
	11		13	14			
	12		17	18			
	13		19	20			ARGILA SILTOSA POUCA ARENOSA, VER_ MELHA, DURA A RIJA.
	14		15	15			
	15		12	11			
	16		12	11			SILTE POUCA ARENOSO, VARIEGADO, ME_ DIANAMENTE COMPACTO.
	17		15	16			
	18		16	16			
	19		14	14			
	20		10	10			SILTE ARENOSO, AMARELO, COMPACTO A MUITO COMPACTO.
	21		20	28			
	22		38	42			
OBS:							
COTA: NÍVEL NATURAL DO TERRENO NIVELADO							
RN. : ± 0,00		ENG* RESPONSÁVEL					
COTA:							

Fonte: Soares (2004)

Figura 43 - Boletim de sondagem do furo FS11 (continuação)

CLIENTE:				FURO N° FS II CONT:	SONDAGEM A PERCUSSÃO PARA FIIIS DE				
LOCAL: SQN 212 BL.E PROJ.08 - BSB/DF				DATA DE INICIO:	RECONHECIMENTO DO SOLO				
				DATA DE FIM:	N° REL.:	FL:			
NÍVEL DE ÁGUA	CAMADAS	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO N/30 Cm. INICIAIS ----- FINAIS				CLASSIFICAÇÃO MACROSCÓPICA DO SOLO
			30 Cm início 1ª e 2ª	30 Cm final 2ª e 3ª	10	20	30	40	
	23	..II..II ..II..II ..II..II ..II..II	47 53	49 56					SILTE ARENOSO, VARIEGADO, MUITO COMPACTO.
	24								LIMITE DE SONDAGEM À PERCUSSÃO : 23,45 METROS N.A. INICIAL = 6,50 METROS N.A. 24 HORAS = 6,55 METROS
	25								
	26								
OBS:									
COTA: NÍVEL NATURAL DO TERRENO NIVELADO.									
RN.: ± 0,00			ENG° RESPONSÁVEL						
COTA:									

Fonte: Soares (2004)

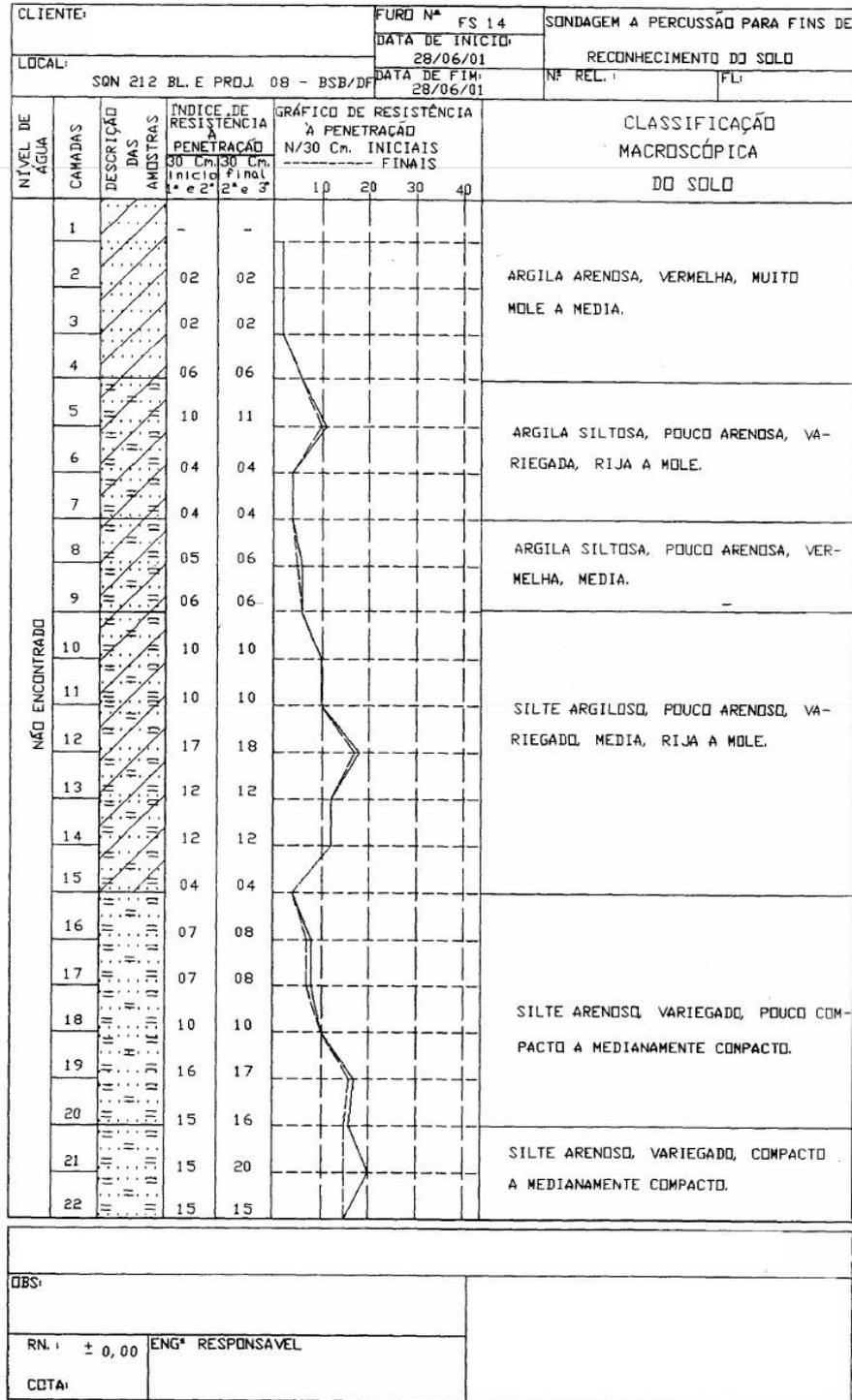
Figura 44 - Boletim de sondagem do furo FS13

CLIENTE:		FURO Nº FS 13		SONDAGEM A PERCUSSÃO PARA FINS DE:	
LOCAL:		DATA DE INÍCIO:		RECONHECIMENTO DO SOLO	
SQN 212 BL.E PROJ.08 - BSB/DF		17/05/01			
		DATA DE FIM:		Nº REL. : FL:	
		17/05/01			
NÍVEL DE ÁGUA	CAMADAS	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO MACROSCÓPICA DO SOLO
			30 Cm início 1ª e 2ª 30 Cm final 2ª e 3ª	N/30 Cm. INICIAIS ----- FINAIS	
				10 20 30 40	
	1		-		ATERRO- ARGILA ARENOSA COM PEDREGU_ LHO. VARIEGADA, MEDIA.
	2		05	06	
	3		11	11	
	4		08	07	ATERRO- ARGILA ARENOSA COM PEDREGU_ LHO. VERMELHA, MEDIA.
	5		11	10	
	6		09	08	
N. A.	7		02	02	ARGILA ARENOSA, MARROM, MUITO MOLE A MOLE.
	8		03	05	
	9		11	10	
	10		09	08	ARGILA SILTOSA POUCO ARENOSA, VERME_ LHA, MEDIA A RIJA.
	11		11	12	
	12		11	11	
	13		16	15	
	14		14	14	ARGILA SILTO-ARENOSA COM PEDREGULHO, VERMELHA, RIJA, DURA A MEDIA.
	15		37	50	
	16		36	37	
	17		35	39	ARGILA SILTO-ARENOSA, VERMELHA, MEDIA.
	18		37	38	
	19		43	45	SILTE ARENOSO, VARIEGADO, MEDIANA_ MENTE COMPACTO, COMPACTO A MUITO COMPACTO.
	20		51	56	
	21				LIMITE DE SONDAGEM A PERCUSSAO: 19,45 METROS
	22				

OBS: N.A. INICIAL = 7,15 METROS N.A. 24 HORAS = 7,20 METROS COTA: NIVEL NATURAL DO TERRENO NIVELADO	
RN. : ± 0,00	ENGº RESPONSÁVEL
COTA:	

Fonte: Soares (2004)

Figura 45 - Boletim de sondagem do furo FS14



Fonte: Soares (2004)

GLEIBSON SILVA DE ALMEIDA FILHO

**ANÁLISE DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO VIA
*SOFTWARE TQS***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil

Área de concentração: Estruturas

Aprovado em 09 de novembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Moura Soares (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Roberto Evaristo de Oliveira Neto (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco

BSc. Eng. Washington Martinez Bezerra da Silva (Avaliador)
Engenheiro Civil Sênior