

## **A IMPORTÂNCIA DA CONSIDERAÇÃO DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA NA PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS**

**Fernanda Assunção Valim<sup>1</sup>**

**Nelci Helena Maia Gutierrez<sup>2</sup>**

**Camila Forigo<sup>3</sup>**

**Leandro Vanalli<sup>4</sup>**

### **RESUMO**

Por muito tempo os engenheiros estruturais admitiam que os apoios das superestruturas, quando calculados, fossem engastadas na base. Convencionava-se dessa maneira devido à dificuldade que se tinha, no passado, em analisar manualmente edifícios sobre apoios flexíveis. No entanto, a suposição de que o sistema de fundação apresenta um comportamento rígido e indeslocável não condiz com a realidade geotécnica. Atualmente, com a chegada dos microcomputadores e com o desenvolvimento de muitos programas computacionais, pode-se, de forma mais simplificada e precisa, calcular estruturas considerando a deformabilidade do solo. Dessa forma, o conhecimento do comportamento do solo quando submetido a cargas e sua influência na estrutura é de suma importância para confecção de projetos mais próximos da realidade. Visando um conhecimento mais realista sobre o comportamento mecânico das edificações, o trabalho tem como objetivo apresentar uma forma de considerar a interação solo – estrutura (ISE), através do software Ftool, no dimensionamento das edificações e reafirmar a importância dessa consideração.

**Palavras-chave:** Intereração solo-estrutura, deformabilidade do solo.

---

<sup>1</sup> Mestranda, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil-PCV, fernanda\_avalim@hotmail.com

<sup>2</sup> Profª. Drª., Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, nhmgutierrez@gmail.com

<sup>3</sup> Mestranda, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil-PCV, camila.forigo@hotmail.com

<sup>4</sup> Profª. Drª., Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, Ivanalli@uem.br

## 1. INTRODUÇÃO

O comportamento que o solo exerce na distribuição de cargas de uma estrutura nem sempre é considerado por parte dos engenheiros estruturais. O solo é um material flexível, e quando uma força é aplicada sobre ele, sofre deformações que podem gerar distorções angulares nas edificações. Dessa forma faz-se necessário a condução de uma análise mais ajustada à realidade física, considerando esse comportamento de interação solo-estrutura (ISE) nos cálculos estruturais. Esse trabalho tem o objetivo de mostrar a importância dessa consideração nos cálculos de estruturas e orientar de que forma isso pode ser feito, de uma maneira simples e acessível, utilizando-se da ferramenta FTOOL.

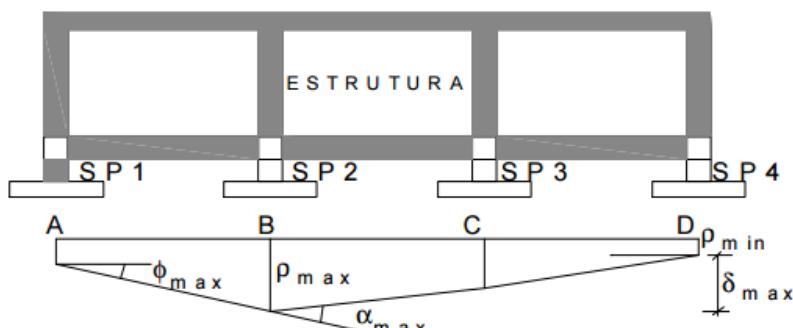
## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Recalques

Recalque é o deslocamento do solo quando submetido a cargas, provocando movimentação na fundação que, dependendo da intensidade, pode resultar em sérios danos à estrutura (REBELLO, 2008 apud SANTOS, 2014).

Todos os tipos de solos, quando submetido a uma carga, sofrem recalques, inevitavelmente, em maior ou menor grau, dependendo das propriedades inerentes a cada solo e da intensidade do carregamento aplicado. Esses recalques tendem, geralmente, a cessarem ou estabilizarem após um certo período de tempo, dependendo das peculiaridades geotécnicas do solo. Recalques em solos arenosos, podem se estabilizar em poucas horas ou dias, já os recalques em solos argilosos moles tendem a cessar ou estabilizar somente após algumas décadas.

Quando os apoios da fundação de uma estrutura sofrem recalques, nem sempre estes recalques são iguais, podendo ser de intensidades diferentes. Quando isso ocorre, tem-se os recalques ditos diferenciais, como ilustrado na Figura 1.



**Figura 1 – Esquema de recalque diferencial de apoio**

Fonte: Colares-2006.

Em que:  $\rho$  = recalque absoluto;  $\delta$  = recalque diferencial;  $\phi$  = rotação e  $\alpha$  = deformação angular.

Quando submetida a recalques diferenciais de apoio, uma estrutura pode sofrer variações em seus esforços solicitantes. Essas variações podem não ser tão significativas a ponto de afetar o estado limite último dos elementos estruturais, porém podem afetar seu estado limite de serviço, fazendo com que ocorram fissuras indesejáveis nas construções.

## 2.2. Recalque de Fundações Diretas ou Rasas

De acordo com Colares (2006), os elementos estruturais de fundação são responsáveis por transmitir os esforços das edificações para o terreno, atendendo às condições de segurança e de economia. A forma adequada de transmissão desses esforços deve atender dois requisitos básicos: a segurança com relação à ruptura, que significa que o solo de assentamento da fundação não pode entrar em colapso, ou ruptura; e os recalques compatíveis com os valores tolerados pela estrutura. Ou seja, o fato de um sistema de fundação apresentar segurança à ruptura não garante um bom desempenho, pois há necessidade de se verificar se os recalques, absolutos e diferenciais, satisfazem as condições de funcionalidade, desempenho e segurança.

De acordo com Fabrício e Rossignolo (2009), os recalques de fundações são, costumeiramente, divididos em três tipos. São classificados em recalque imediato ou elástico, recalque por adensamento e recalque por compressão secundária. Dessa forma, a equação geral do cálculo do recalque de uma fundação pode ser expressa pela Equação 1.

$$W = W_i + W_a + W_s \quad (1)$$

O recalque elástico  $W_i$  é devido às deformações elásticas do solo, ocorre imediatamente após a aplicação das cargas e é muito importante nos solos arenosos, e relativamente importante nas argilas não saturadas.

O recalque por adensamento primário  $W_a$  é devido à expulsão da água dos vazios do solo que ocorre lentamente, e está relacionada com a permeabilidade do solo. Esse tipo de recalque é muito importante nos solos argilosos.

O recalque por compressão secundária  $W_s$  acontece devido ao rearranjo estrutural causado por tensões de cisalhamento, ocorre muito lentamente nos solos argilosos, e é geralmente desprezado no cálculo de fundações, salvo em casos particulares, quando assume importância decisiva.

Segundo Souza e Reis (2008), a principal parcela de recalque é o recalque imediato, de modo que os recalques por adensamento primário e compressão secundária são, geralmente, negligenciados. Esses tipos de recalques se desenvolvem ao longo do tempo, sendo significativos em solos de alta compressibilidade e baixa permeabilidade como a argila mole.

De acordo com Colares (2006), por usar hipóteses da Teoria da Elasticidade, o recalque imediato também é chamado de recalque elástico. Entretanto, os solos não são materiais elásticos e, em consequência, os recalques imediatos geralmente não são totalmente recuperáveis com o descarregamento. Por isso, a designação recalque elástico não é recomendável. Mas o uso da Teoria da Elasticidade justifica-se pelo fato de ser bem razoável a hipótese de comportamento tensão-deformação elástico linear até níveis de tensões inferiores à tensão admissível, pela aplicação dos fatores de segurança.

Segundo Antoniazzi (2011), o recalque imediato, de acordo com a Equação 2, desenvolvida por Perloff, estimado pela teoria da elasticidade, avalia a forma, a rigidez e a largura das sapatas, consideradas apoiadas em um meio semi-infinito, homogêneo, com módulo de elasticidade constante com a profundidade.

$$W_i = \sigma \cdot B \cdot \left( \frac{1 - \vartheta^2}{E_s} \right) \cdot I_w \quad (2)$$

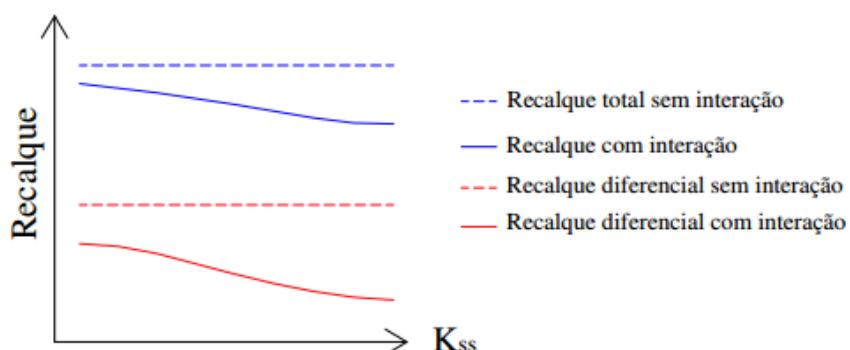
Em que:  $W_i$  = recalque imediato;  $\sigma$  = tensão média na superfície de contato entre a base da sapata e o solo;  $I_w$  = fator de influência, que depende da forma e rigidez da fundação;  $B$  = menor dimensão da base da sapata;  $\vartheta$  = coeficiente de Poisson;  $E_s$  = módulo de elasticidade do solo;

### 2.3. Fatores que influenciam no mecanismo da interação Solo - Estrutura

Genericamente, o mecanismo de interação solo-estrutura gera uma redistribuição de esforços nos elementos estruturais, de modo mais evidente nos pilares, em que ocorre a transferência de esforços dos pilares mais carregados para os menos carregados, o que pode causar o esmagamento dessas peças, em virtude da sobrecarga considerada no dimensionamento convencional. Consequentemente, o mesmo ocorre com os valores dos recalques, sendo os diferenciais mais afetados do que os totais (MEYERHOR (1953), GOSHY (1978), AOKI (1997), GUSMÃO (1990), MOURA (1995) apud, COLARES, 2006).

De acordo com Antoniazzi (2011), diversos são os fatores que afetam, com maior ou menor intensidade, os efeitos do mecanismo da interação solo-estrutura. O número de pavimentos da edificação, a influência dos primeiros pavimentos, forma da planta baixa da edificação, o processo construtivo, edificações vizinhas, rigidez relativa estrutura-solo são alguns dos principais itens.

Lopes e Gusmão (1991) apud Colares (2006), concluíram, observando o trabalho de Meyerhor (1953), que o aumento do valor da rigidez relativa estrutura-solo ( $K_{ss}$ ) reduz os valores dos recalques, afetando de modo mais acentuado o recalque diferencial (Figura 2).



**Figura 2 – Recalque versus rigidez relativa solo-estrutura**

Fonte: Lopes e Gusmão-1991.

Quanto ao número de pavimentos, o aumento da rigidez relativa estrutura-solo ( $K_{ss}$ ), que pode se dar pelo aumento do número de pavimentos de um edifício, reduz os valores dos recalques diferenciais. Isso se deve ao fato de que aumentada a rigidez da estrutura ( $K_e$ ), verifica-se uma tendência de uniformização dos recalques e da redistribuição das cargas (LOPES e GUSMÃO, 1991).

Com relação às edificações vizinhas, segundo resultados de Reis (2000) apud Colares (2006), os recalques calculados, considerando a influência do grupo de edifícios, foram maiores que os obtidos considerando cada bloco isolado. Por outro lado, o efeito de grupo diminui com o aumento da distância entre os blocos vizinhos e os pontos em que os recalques foram calculados.

Outro parâmetro importante e de grande influência é o processo construtivo. Quando se estuda interação solo-estrutura, é comum adotar-se a simplificação de que todo o carregamento só passa a atuar na edificação após o término da construção. Porém, é sabido que a rigidez da estrutura aumenta significativamente com o acréscimo do número de pavimentos. Logo, é importante a consideração da sequência construtiva para a análise da ISE (ANTONIAZZI, 2011).

## 2.4. Coeficiente de reação vertical

Para se modelar uma estrutura com mais fidelidade à realidade, um dos fatores importantes é o conhecimento das características do solo na região onde será implantado o empreendimento. Dessa forma, torna-se possível a simulação da interação solo-estrutura nos modelos estruturais, empregando-se molas, que representam a deformabilidade do solo, ou impondo-se deslocamentos, que simulam os efeitos de recalques (ANTONIAZZI, 2011).

Segundo Souza e Reis (2008), Scarlat (1993) relata uma maneira mais simplificada de quantificar os efeitos da deformabilidade dos solos, embora não tão precisa de análise interativa onde considera-se o meio tridimensional, que consiste em considerar uma série de molas discretas na base da fundação. O meio é então considerado elástico e essas molas são, então, representadas pelo coeficiente de apoio elástico  $K_v$ .

Dessa forma, para a obtenção das constantes de molas que representarão o solo, é necessária a obtenção do coeficiente de reação vertical ( $k_v$ ), que nada mais é do que a relação entre a força aplicada no solo ( $R$ ) e o respectivo recalque ( $w$ ) (Equação 3).

$$k_v = \frac{R}{w} \quad (3)$$

De acordo com Souza e Reis, 2008, esse procedimento simplificado é baseado na Hipótese de Winkler e negligencia a interação das molas adjacentes, e os erros tendem a crescer para o caso de solos pouco rígidos.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo do comportamento da interação Solo-Estrutura utilizou-se do programa computacional FTOOL. A demonstração da aplicação da interação será feita através do pórtico plano carregado com uma carga linearmente distribuída de 10KN/m, conforme ilustrado na Figura 3.

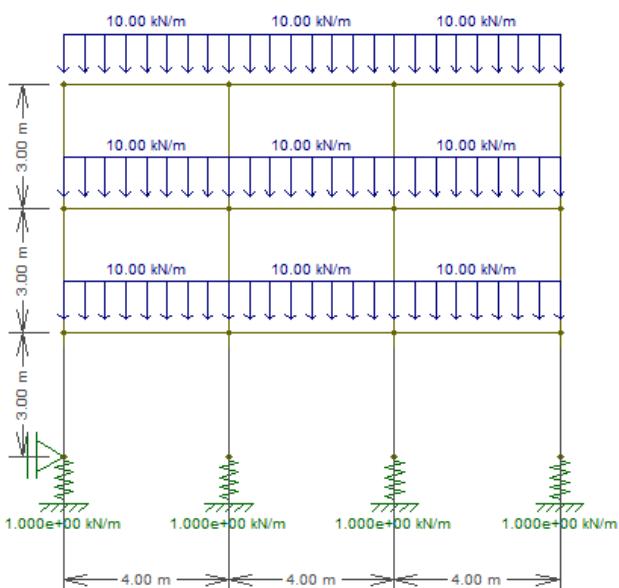


Figura 3 – Pórtico plano carregado para aplicação da ISE.

### 3.1. Considerações

#### 3.1.1. Solo

O tipo de solo considerado para a análise do recalque da interação solo-estrutura foi a **Argila Arenosa**.

##### 3.1.1.1 Módulo de Elasticidade do solo

Devido à grande variabilidade do módulo de elasticidade dos solos recomenda-se que esta propriedade seja determinada através de ensaios tri-axiais, Cone de Penetração Estática (CPT) ou ensaio de Penetração Dinâmica (SPT). Porém, devido à falta de tempo e recursos para a realização de ensaios, optou-se por adotar um módulo de elasticidade com base nos parâmetros apresentados por Marangon (2009) constantes na Tabela 1.

**Tabela 1 – Valores de Módulo de Elasticidade para diferentes tipos de solo**

Solo	E (Kgf/cm <sup>2</sup> )
Argila muito mole	3 - 30
Argila mole	20 - 40
Argila média	45 - 90
Argila dura	70 - 200
Argila arenosa	300 - 425
Areia Siltosa	50 - 200
Areia Fofa	100 - 250
Areia Compacta	500 - 1000
Areia e Pedregulho compacto	800 - 2000
Areia e Pedregulho fofo	500 - 1400
Silte	20 - 200

Fonte: Marangon-2009.

Para o tipo de solo escolhido (Argila Arenosa), temos que o módulo de elasticidade se encontra entre 300 – 425 Kgf/cm<sup>2</sup>. Dessa forma, adotaremos um valor de 360 Kgf/cm<sup>2</sup>. Portanto,

$$E_s = 360 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \cong 36.000 \text{ KPa}$$

##### 3.1.1.2. Coeficiente de Poisson

Ao se exercer um esforço de tensão em um material qualquer o mesmo sofre uma deformação longitudinal e, consequentemente, uma deformação transversal. O coeficiente de Poisson nada mais é no que a razão entre essas duas deformações. Vale salientar que essa relação é constante na faixa da elasticidade, pois as deformações são proporcionais.

No presente trabalho adotaremos um valor para o coeficiente de Poisson de acordo com Marangon (2009) apresentado na Tabela 2, que estima a propriedade para cada tipo de solo.

**Tabela 2 – Valores de Coeficiente de Poisson para diferentes tipos de solo**

Solo	Coeficiente de Poisson (9)
Argila saturada	0,4 - 0,5
Argila não - saturada	0,1 - 0,3
Argila arenosa	0,2 - 0,3
Silte	0,3 - 0,35
Areia compacta	0,2 - 0,4
Areia grossa	0,15
Areia fina	0,25
Rocha	0,1 - 0,4
Concreto	0,15
Gelo	0,36

Fonte: Marangon-2009.

Para o caso de Argila arenoso temos que o coeficiente de Poisson está entre 0,2 – 0,3. Adotaremos o valor:  $\vartheta = 0,3$

### 3.1.2. Fundação

A fundação escolhida para a simulação do comportamento solo-estrutura no presente trabalho foi a sapata com dimensões de 1,00 por 1,00 m. Sendo assim, o valor da menor dimensão da base da sapata é de 1,00 metro. Ou seja,

$$B = 1,0 \text{ m}$$

#### 3.1.2.1 Fator de Influência ( $I_w$ )

Considerando que a sapata escolhida para a simulação seja flexível, quadrada (1,00 por 1,00 m), e que as cargas dos pilares estejam centradas na fundação, temos, de acordo com Souza e Reis (2008) apresentado na Tabela 3, que o valor do fator de influência para a fundação escolhida é de 1,12.

**Tabela 3 – Valores do fator de influência para diferentes tipos de solo**

Forma	Fundação Flexível			Rígida
	Centro	Vértice	Valor Médio	
Circular	1,00	0,64	0,85	0,88
Quadrada	1,12	0,56	0,95	0,82
Retangular	Valores de $I_w$			
$L/B = 1,5$	1,36	0,68	1,15	1,06
$L/B = 2$	1,53	0,77	1,30	1,20
$L/B = 5$	2,10	1,05	1,83	1,70
$L/B = 10$	2,54	1,27	2,25	2,10
$L/B = 100$	4,01	2,00	3,69	3,40

Fonte: Souza e Reis-2008.

### 3.1.3. Estrutura

Admitiu-se que a estrutura (Pórtico) apresentado na Figura 3, possui vigas com seção transversal de 15cm x 40 cm (10% do vão de 4,00 metros) e pilares com 15cm x 30cm. Lembrando-se de que os pilares se encontram centrados em sapatas flexíveis de 1,00m x 1,00m.

O pórtico utilizado, simula uma estrutura de concreto, portanto é necessário determinar o valor do módulo de elasticidade do concreto ( $E_c$ ) utilizado, que foi determinado a partir da Equação (4).

$$E_{ci} = \alpha_e \cdot 5600 \sqrt{fck} \quad (4)$$

Para um  $\alpha_e = 1,2$  (basalto) e um  $fck = 25 \text{ MPa}$ , tem-se:

$$E_{ci} = 1,2 \cdot 5600 \sqrt{25} = 33600 \text{ MPa}$$

## 3.2. Calculo da interação solo-estrutura no Ftool (Passos)

**Passo 1:** Primeiramente calcula-se as reações de apoio da estrutura considerando-se os apoios rígidos.

**Passo 2:** A partir das reações encontradas no passo 1, são determinados os recalques de todos os pilares, utilizando a Equação 2, citada no item 2.2.

$$W_i = \sigma \cdot B \cdot \left( \frac{1 - \vartheta^2}{E_s} \right) \cdot I_w$$

**Passo 3:** Com o valor do recalque para cada pilar podemos agora obter o valor do coeficiente de mola para os deslocamentos verticais através da equação 3, já mencionada no presente trabalho no item 2.4, a fim de simular o comportamento do solo.

$$K_{vi} = N/W_i$$

**Passo 4:** Adicionando os coeficientes de deslocamento verticais na estrutura do Ftool, através da adição de molas que substituíram os apoios rígidos, são encontrados novas reações de apoio e novos recalques.

**Passo 5:** Em seguida comparou-se os resultados obtidos para o comportamento da estrutura quando não considerado o ISE e quando considerado o ISE.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos nas reações de apoio, da estrutura apresentada na Figura 3, e os respectivos recalques gerados. São considerados primeiramente os apoios rígidos, ou seja, sem a ISE. Através da reação de apoio encontrada calcula-se o valor do coeficiente de mola, introduzindo esse valor no programa Ftool, considerando os apoios flexíveis, ou seja, considerando a ISE.

**Tabela 4 – ISE com controle dos coeficientes de mola**

PILAR	APOIO RÍGIDO		APOIO FLEXÍVEL		
	Kv (KN/m)	R (KN)	Kv (KN/m)	R (KN)	Wi (m)
P1	-	51,7	35321,821	57,7	0,0014637
P2	-	128,3	35321,821	122,3	0,0036323
P3	-	128,3	35321,821	122,3	0,0036323
P4	-	51,7	35321,821	57,7	0,0014637

Fonte: Autor-2015.

A Figura 4 mostra o diagrama de momento da estrutura sem considerar a interação solo-estrutura.

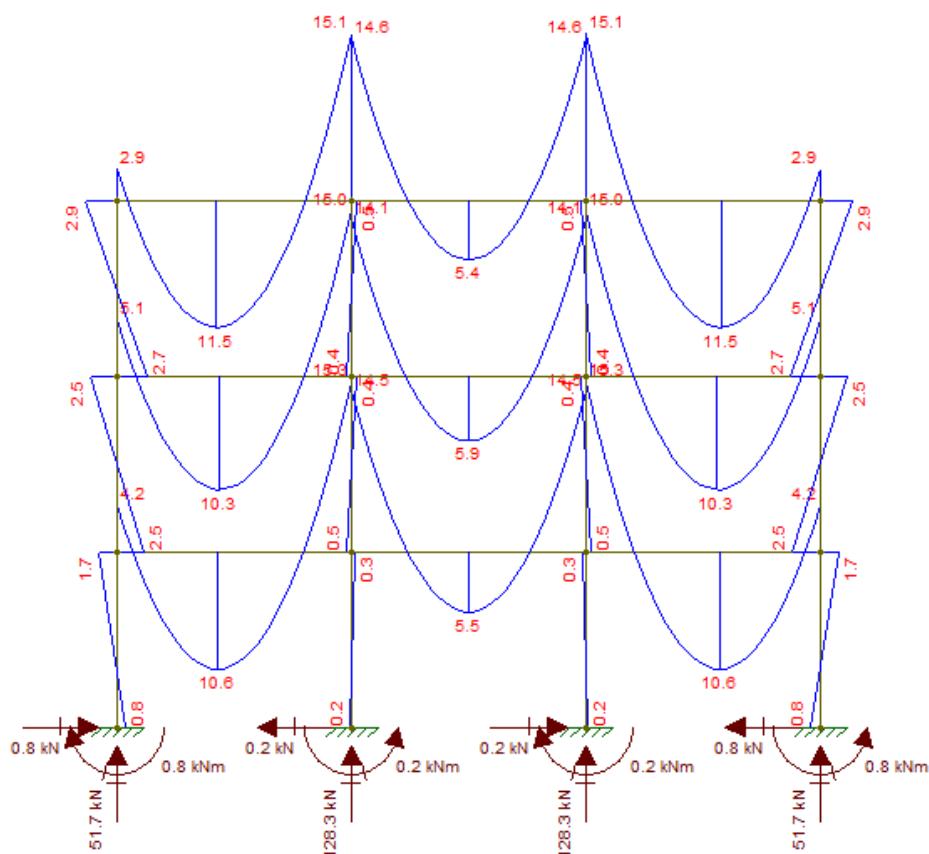
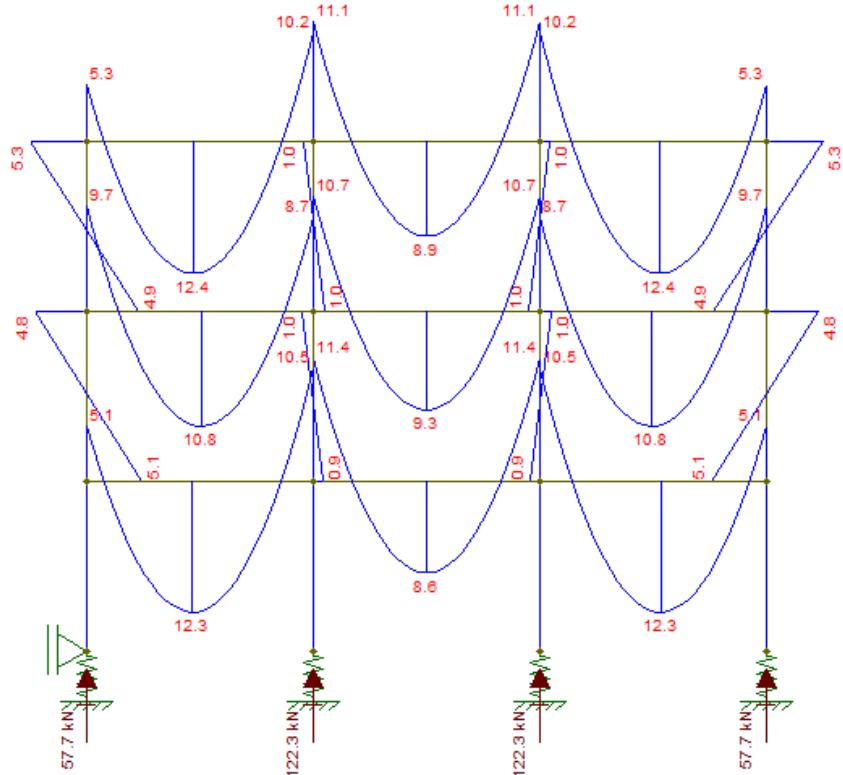


Figura 4 – Diagrama de momento sem considerar o ISE

Fonte: Autor-2015.

Quando não considerado o ISE temos que o momento negativo máximo nas vigas da estrutura é de 15,30 KN.m e momento positivo máximo de 11,50 KN.m. Nos pilares o momento negativo máximo é de 2,90 KN.m e o momento positivo máximo é de 2,70 KN.m.

A Figura 5, mostra o diagrama de momento da estrutura considerando a interação solo-estrutura.



**Figura 5 – Diagrama de momento considerando o ISE**

Fonte: Autor-2015.

Quando considerado o ISE temos que o momento negativo máximo nas vigas da estrutura é de 11,4 KN.m e momento positivo máximo de 12,40 KN.m. Nos pilares o momento negativo máximo é de 5,30 KN.m e o momento positivo máximo é de 5,10 KN.m.

Em seguida calcula-se a diferença, em porcentagem, dos momentos para o caso de não considerar e considerar o ISE. Os dados estão aferidos na Tabela 5.

**Tabela 5 – Comparação dos valores dos momentos encontrados nas vigas e pilares para o caso sem considerar o ISE e considerando o ISE**

VIGAS				PILARES			
MOMENTOS (KN.m)							
POSITIVO		NEGATIVO		POSITIVO		NEGATIVO	
s/ ISE	c/ ISE	s/ ISE	c/ ISE	s/ ISE	c/ ISE	s/ ISE	c/ ISE
11,5	12,4	15,3	11,4	2,7	5,1	2,9	5,3
Aumento de 8%		Diminuição de 26%		Aumento de 89%		Aumento de 83%	

Fonte: Autor-2015.

Dessa forma, observou-se que para o caso das vigas houve um aumento de 8% do momento máximo positivo e uma diminuição de 26% do momento máximo negativo, quando considerado a interação solo-estrutura. Para o caso dos pilares observou-se que ocorreu um aumento de 89% do momento máximo positivo e um aumento de 83% do momento máximo negativo.

## **5. CONCLUSÕES**

O presente trabalho apresenta uma forma de calcular a interação solo-estrutura e mostra a importância dessa consideração nos cálculos estruturais. Os resultados obtidos evidenciam que os recalques sofridos no solo têm grande influência nos esforços atuantes nas vigas e pilares.

Constatou-se, para os pilares, houve um aumento muito grande, acima de 80%, tanto no momento positivo quanto no negativo. Dessa forma, a não consideração do ISE nos cálculos da estrutura, mesmo que de pequeno ou médio porte, podem ter sua durabilidade comprometida e gerar desde danos estéticos (fissuras) até danos estruturais na mesma. Porém, muitas vezes essa interação não é considerada por parte dos engenheiros projetistas. Por falta de conhecimento e de comunicação com os engenheiros de fundações.

No presente trabalho apresentamos uma estrutura com elementos estruturais de fundação pré-definidas. Porém, uma vez conhecida a carga de reação nos apoios, considerando a interação solo-estrutura, podemos recalcular as sapatas para suportar essa nova solicitação. Quando mudamos as dimensões da fundação modificamos também o valor do coeficiente de mola, que mudará todo o comportamento estrutural mais uma vez. Dessa forma entramos num processo iterativo, que pode ser utilizado para a otimização da estrutura e da fundação, fazendo um aproveitamento da interação solo-estrutura a fim de melhor distribuir os esforços na estrutura e diminuir os custos com materiais.

A simulação realizada considera o solo homogêneo, isotrópico e semi-infinito, bem definido sobre a base de cada uma das sapatas. Para o caso de solos estratificados, o recalque absoluto seria uma composição dos recalques existentes para uma das camadas e a equação utilizada não seria mais uma aproximação apropriada.

Com a realização desse trabalho pode-se apresentar uma maneira simples para se levar em consideração a interação solo-estrutura. Para tal, foi utilizado o programa Ftool, por ser um programa de fácil utilização. Porém, a aplicação dos métodos pode ser feita através de qualquer programa computacional que possibilite a introdução de recalques ou apoios elásticos, com a introdução do coeficiente de mola, para o cálculo dos esforços.

Deve-se levar em conta que, mesmo sendo feita a ISE, ainda assim o cálculo deve ser considerado aproximado, visto que os modelos analíticos para o cálculo dos recalques e os métodos práticos utilizados para a obtenção dos dados geotécnicos são, geralmente, insatisfatórios.

## **REFERÊNCIAS**

ANTONIAZZI, H.P. Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2011.

COLARES, G. M. Programa para análise da interação solo-estrutura no projeto de edifícios. Dissertação apresentada à escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Estruturas, São Carlos, 2006.

LOPES, F. R.; GUSMÃO, A. D. On the soil-structure interaction in the distribution of foundation loads and settlements. In: EUROPEAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 10, Firenze, 1991. Proceeding. Rotterdam, A. A. Balkema, v. 2, p. 505 – 9, 1991.

MARANGON, M. Mecânica dos Solos II: Empuxo de Terra. Notas de aula do Curso de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, NuGeo/Núcleo de Geotecnia. Disponível em: <[http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/ms2\\_unid06.pdf](http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/ms2_unid06.pdf)>. Acesso em: 12, agosto de 2015.

REIS, J.H.C.; AOKI, N. Aplicação do método de aproximações sucessivas para solução de problemas em interação solo-estrutura de edifícios. Belo Horizonte: ABMS, v7, Belo Horizonte, p.405-410, 2005.

SOUZA, R.A.; REIS, J.H.C. Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundações rasas. Maringá: Acta Sei Technol, v.30, n. 2, p. 161 – 171, 2008.