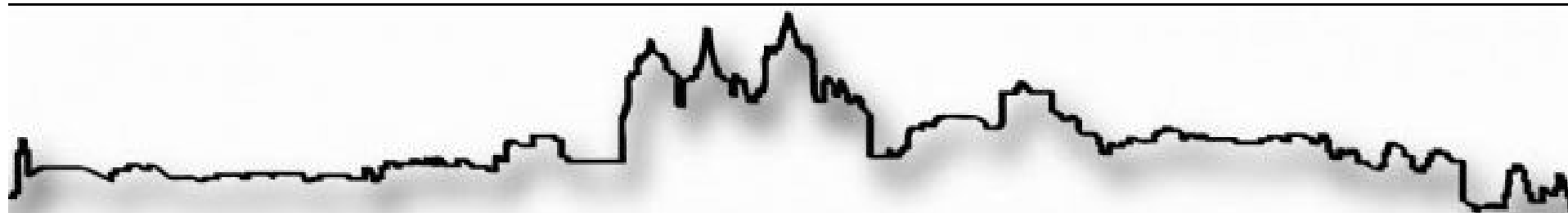


VIENEEC 2010
Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Civil
Évora

VIENEEC 2010
Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Civil
Évora

VIENEEC 2010
Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Civil
Évora

VIENEEC 2010
Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Civil
Évora



U. É V O R A

VI ENEEC 2010

Encontro Nacional de Estudantes
de Engenharia Civil

FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS - UMA ÚNICA ENTIDADE

(A. Segadães Tavares)

A ENGENHARIA ESPECTRO DE INTERVENÇÕES

O acto de engenharia é um *acto técnico*;
não é um *acto científico*!

A técnica apoia-se na ciência na
pesquisa de soluções adequadas.

A grande distinção entre as duas reside
no facto de a ciência eleger como meta
o “*Porquê?*”.

A técnica, em particular a engenharia,
valorizam sobretudo o “*Para Quê?*”.

A ENGENHARIA ESPECTRO DE INTERVENÇÕES

Deste facto resulta que, em engenharia, a resolução de um problema representa não a sua solução única e definitiva, mas sim um leque de soluções que satisfazem, em maior ou menor grau, os dados do problema.

Do conjunto das soluções possíveis será então seleccionada a solução a utilizar.

A ENGENHARIA ESPECTRO DE INTERVENÇÕES

Solução que, atendendo prioritariamente ao imperativo absoluto da segurança, deverá atender também aos da economia e fiabilidade e ainda, porque não, da qualidade plástica!

A ENGENHARIA PRINCÍPIOS DAS SUAS INTERVENÇÕES

Deverão assim estar presentes numa obra de engenharia, ou em qualquer das suas partes, aquilo que há já mais de 2000 anos Vitruvius sintetizou em três palavras:

➤ *Utilitas*

➤ *Firmitas*

➤ *Venustas*

A ENGENHARIA

PRINCÍPIOS DAS SUAS INTERVENÇÕES

Utilitas

Porque a utilidade justifica a obra pública, sendo escassos os recursos e inúmeras as necessidades a satisfazer.

Firmitas

Pela robustez que a deve acompanhar, tornando-a durável e duradoura, buscando os seus alicerces na sabedoria, nos conhecimentos que aproximam a ideia da realidade.

Venustas

Da beleza de Vénus, beleza que desejamos coroe as realizações do homem.

A ENGENHARIA E A FORMA

Não é a obra independente da selecção e escolha do material adequado.

A **resistência** característica condiciona, à partida, a utilização de um dado material.

Mas não é menos importante a **forma**, a geometria com que ele é utilizado e em que se integra.

Forma que em engenharia está, as mais das vezes, relacionada com a natureza e propriedades dos materiais.

A ENGENHARIA E A FORMA

Mas não é apenas a forma geométrica como um dado material é utilizado a condicionar a sua resistência e, em consequência, a capacidade de poder ser utilizado.

São igualmente importantes as condições envolventes em que é utilizado, o confinamento a que está sujeito.

Porque não são as forças que produzem a rotura dos corpos.

Quem a provoca são as deformações.

O SOLO DE FUNDAÇÃO

Hipótese Base

Solo uniforme, homogéneo, de comportamento elástico (isotrópico)

Força vertical actuando num meio semi-indefinido
(Problemas de Boussinesq e Flamant)

Campo Elástico

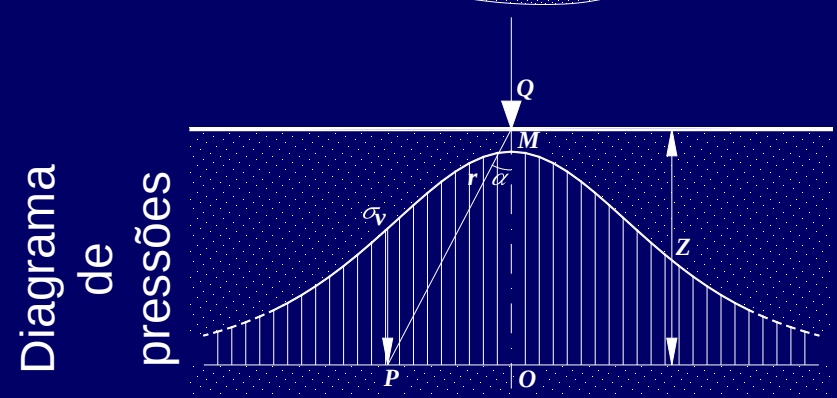
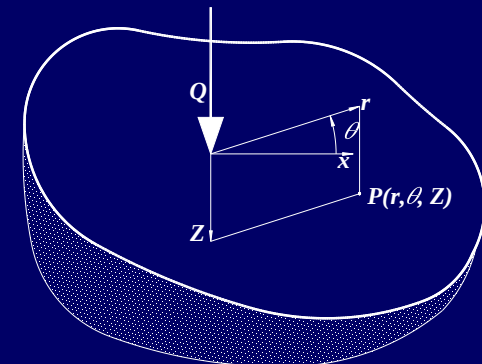
1 – Deslocamentos no Plano Limite

$$(w)_{z=0} = \frac{Q(1-\nu^2)}{\pi \cdot E \cdot r} \quad (u)_{z=0} = \frac{Q \cdot (1-2\nu) \cdot (1+\nu)}{2 \pi \cdot E \cdot r}$$

(Singularidades para $r=0$)

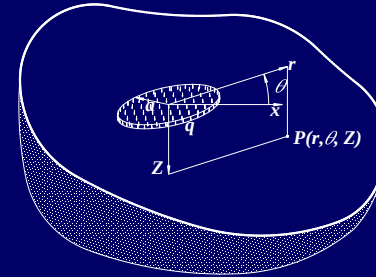
2 – Tensões Verticais (à profundidade Z)

$$\sigma_v = \frac{3Q}{2\pi Z^2} \cos^5 \alpha$$



O SOLO DE FUNDAÇÃO

Carga vertical distribuída actuando num círculo de raio a no plano limite

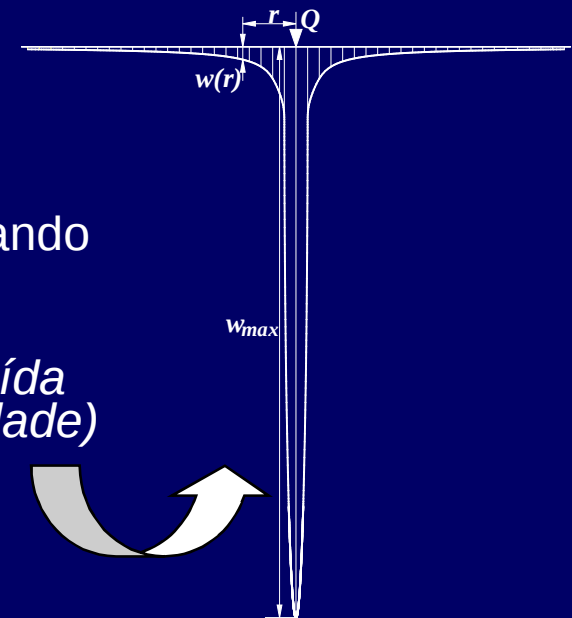


Deslocamentos máximo (no centro) e na periferia de um círculo de raio a em que actua uma carga uniforme de densidade q

$$(w)_{max} = \frac{2(1-\nu^2).q.a}{E} \quad (w)_{r=a} = \frac{4(1-\nu^2).q.a}{\pi \cdot E}$$

Curva de deslocamentos aproximada numa linha passando pelo ponto de aplicação de uma força concentrada Q

- *pode considerar-se que a força Q actua como distribuída num círculo de raio pequeno (para resolver a singularidade)*

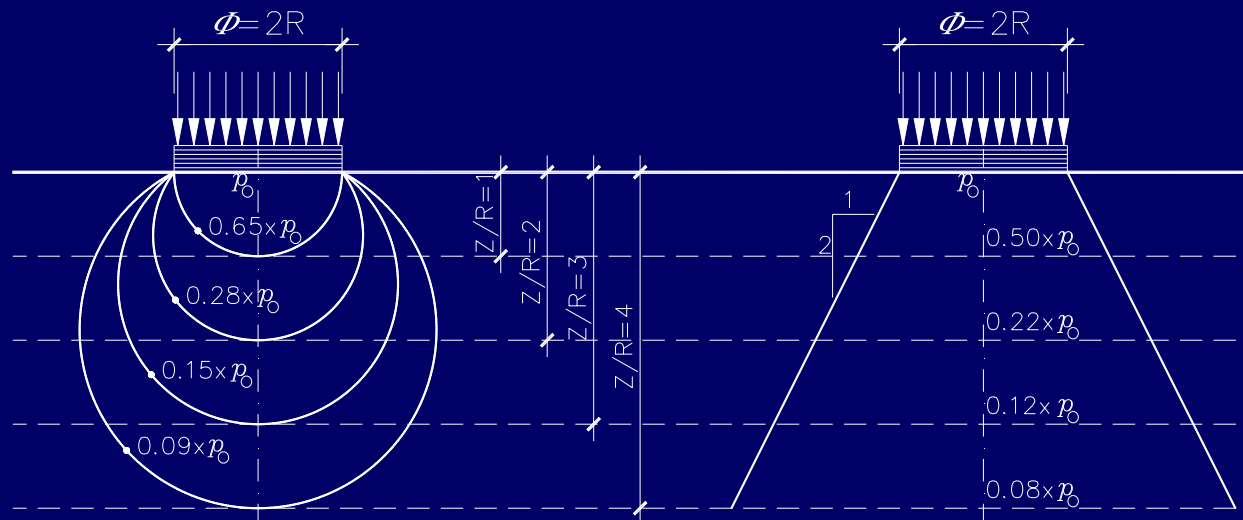


O SOLO DE FUNDAÇÃO

NOTA IMPORTANTE:

A imprecisão dos dados caracterizando as formações de fundação é a mais das vezes tal que o uso de métodos sofisticados pode muitas vezes conduzir a uma falsa sensação de segurança!

No esquema abaixo evidenciam-se as aproximações que se podem conseguir usando métodos aproximados, e assim determinar as relações entre cargas e assentamentos...



O SOLO COMO ELEMENTO DA CONSTRUÇÃO

O principal objectivo é adoptar para o solo um modelo que seja compatível com os modelos de análise que actualmente são correntes em engenharia de estruturas.

Importa assim, definida uma malha de análise, caracterizar o comportamento do solo através de uma matriz de flexibilidade ou de rigidez.

Os modelos que se apresentaram constituem uma via, no caso de fundações superficiais.

No caso de fundações em estacas são particularmente adequadas as soluções de Poulos & Davies

Outra via pode corresponder à obtenção da “Matriz de Rigidez do Solo” recorrendo um modelo adequado de elementos finitos.

Exemplo de Aplicação 1

– Docas Secas

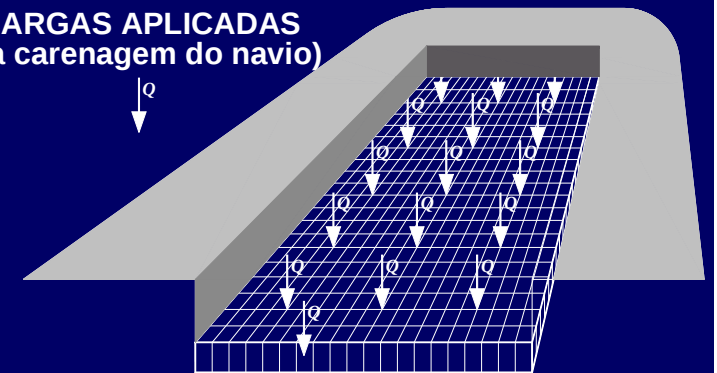
“DOCA SECA” – Equipamento para construção/reparação naval constituído por uma laje assente no terreno e dispendo de paredes envolventes que garantam trabalhos a seco.

A descarga do navio quando carenado é feita num conjunto discreto de pontos, constituindo o “*Vector da Forças Solicitantes*” $\{Q\}$

Petroleiro em Doca Seca



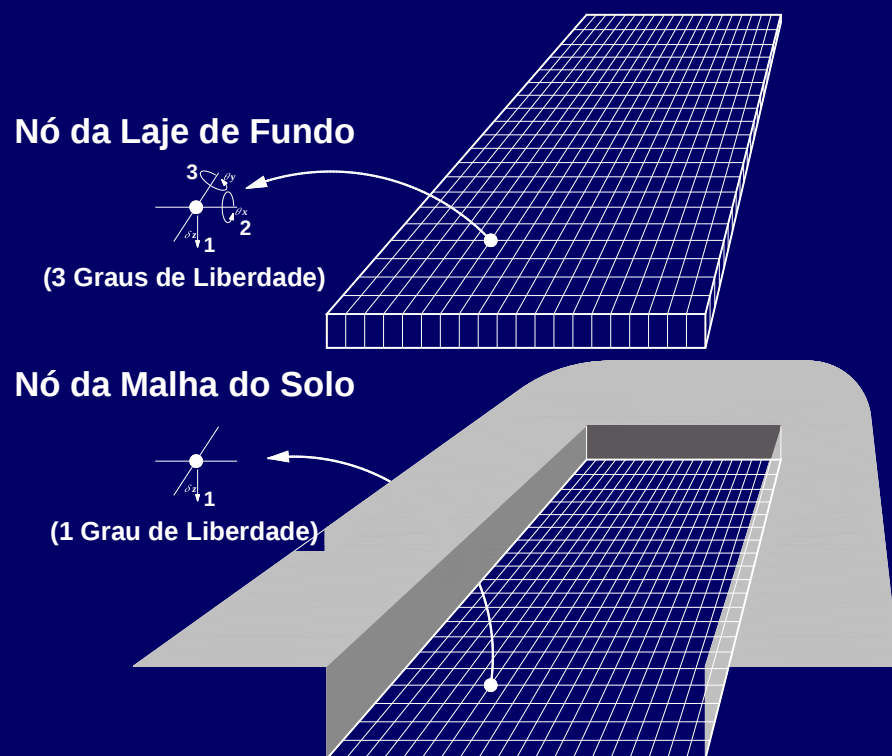
CARGAS APLICADAS
(Da carenagem do navio)



Exemplo de Aplicação 1

– Docas Secas

Modelo de Análise



Matriz de Rigidez da Laje

	Nó i			Nó j			Nó k		
	3i-2	3i-1	3i	3j-2	3j-1	3j	3k-2	3k-1	3k
Nó i	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3i-2	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3i-1	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3i	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Nó j	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3j-2	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3j-1	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3j	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Nó k	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3k-2	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3k-1	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3k	•	•	•	•	•	•	•	•	•

• Elementos não nulos
0 Elementos nulos



Matriz de Rigidez da Fundação

	Nó i			Nó j			Nó k		
	3i-2	3i-1	3i	3j-2	3j-1	3j	3k-2	3k-1	3k
Nó i	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3i-2	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3i-1	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3i	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Nó j	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3j-2	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3j-1	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3j	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Nó k	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3k-2	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3k-1	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3k	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Exemplo de Aplicação 1

– Docas Secas

Os deslocamentos verticais dos nós da laje de fundo são idênticos aos dos nós homólogos do terreno de fundação (*compatibilidade na interface laje/terreno*)



A verificação da compatibilidade é garantida pela verificação desta igualdade. A rigidez do solo de fundação para deslocamentos generalizados correspondentes às rotações dos nós pode ser desprezada!

A rigidez da associação laje de fundo e do terreno de fundação é obtida através de:

$$[K]_{TOTAL} = [K]_{Laje\ de\ Fundo} + [K]_{Solo\ de\ Fundação}$$

Exemplo de Aplicação 1

– Docas Secas

Os deslocamentos correspondentes à actuação da acção sobre a laje de fundo da doca, como habitual, são obtidos pela resolução do sistema de equações:

- $\{Q\} = [K]_{TOTAL} \times \{U\}$

Determinado $\{U\}$ podem determinar-se as forças na interface solo de fundação/laje de fundo:

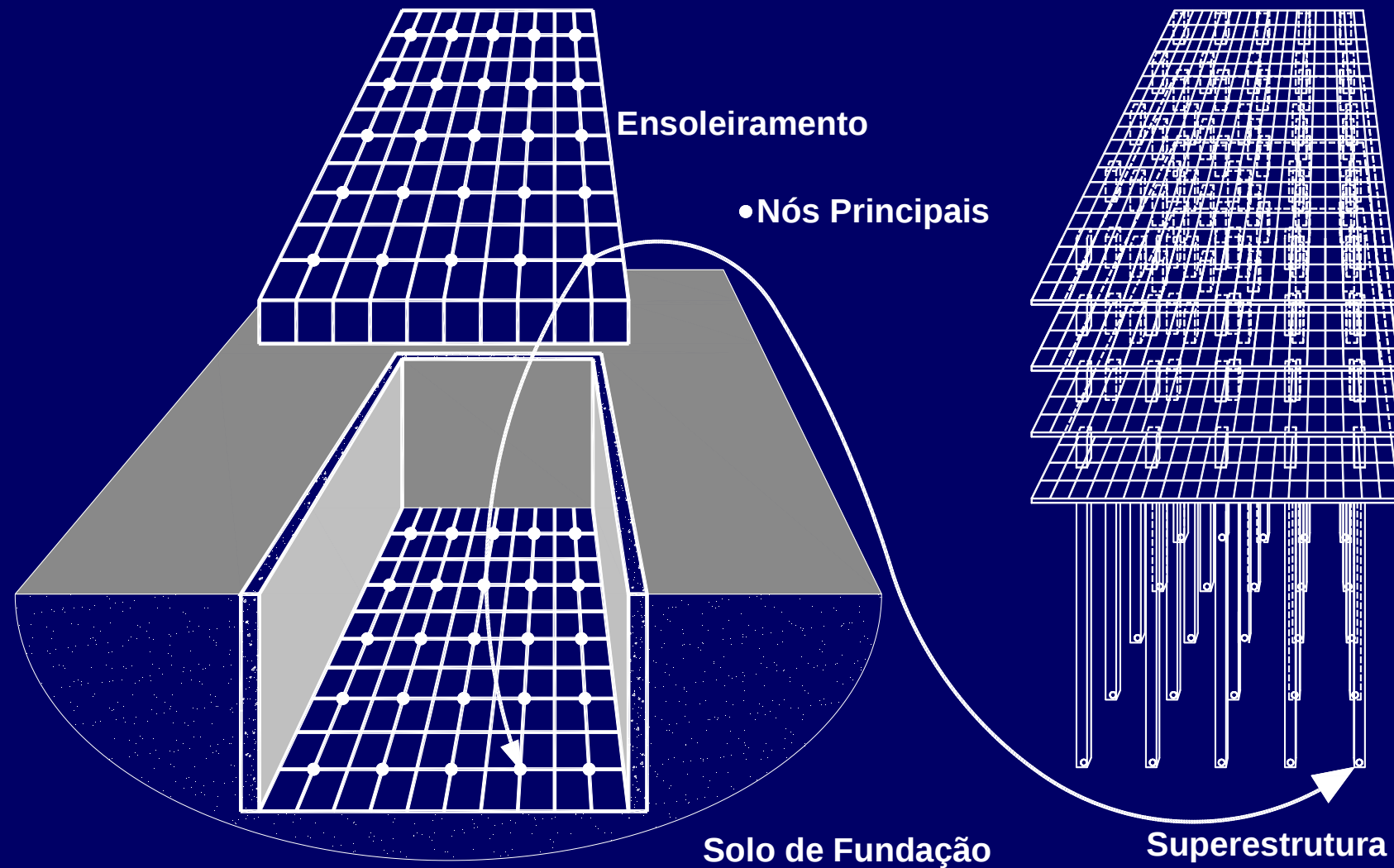
- $\{F\}_{\text{Nós da Fundação}} = [K]_{\text{Solo de Fundação}} \times \{U\}$
e com $\{F\}$ o valor das tensões no solo

Analogamente podem agora determinar-se os valores dos esforços na laje de fundo e as correspondentes forças nodais em cada elemento:

- $\{F\}_{\text{Nós do Elemento}} = [K]_{\text{do Elemento}} \times \{U\}_{\text{Nós do Elemento}}$

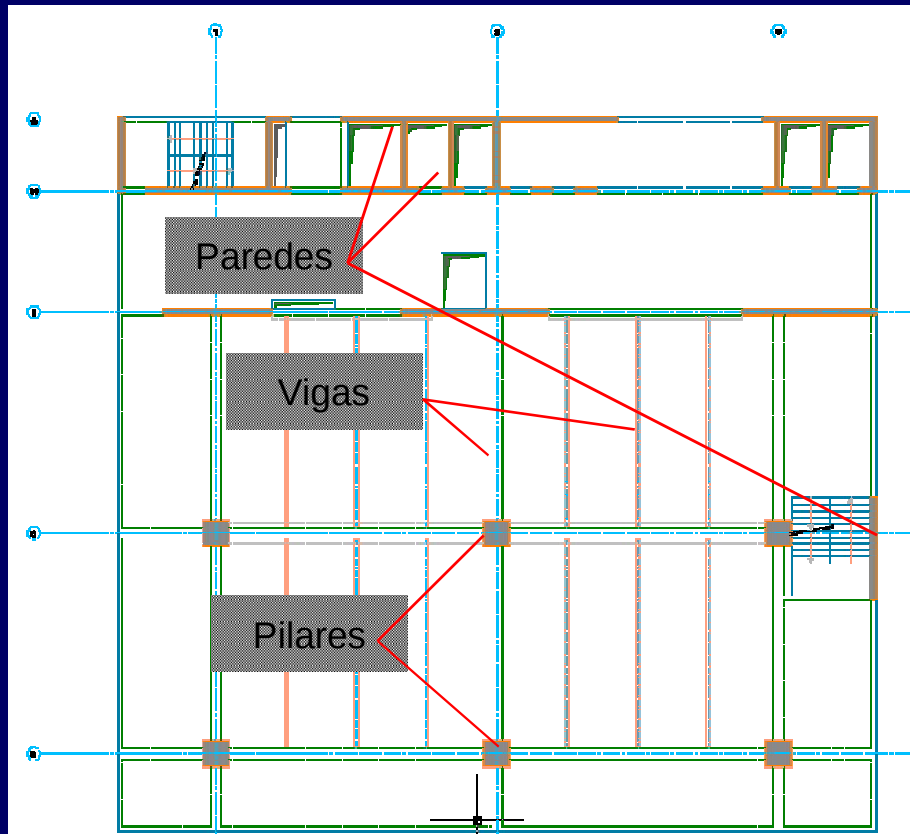
Exemplo de Aplicação 2

– Ensoleiramentos Gerais em Edifícios



Exemplo de Aplicação 2

– Ensoleiramentos Gerais em Edifícios

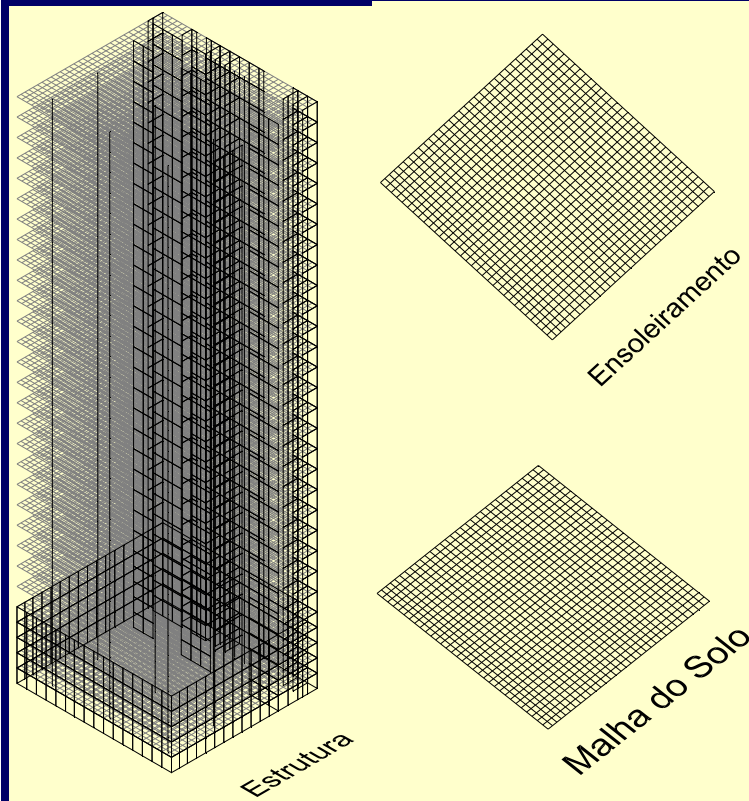


Planta do Piso Tipo

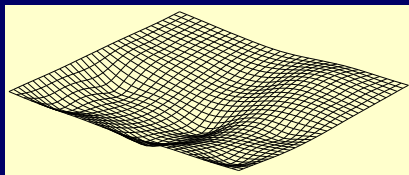
- estabilidade horizontal assegurada por um pórtico tridimensional associado a paredes de corte (“*shear walls*”)
- pórtico tridimensional constituído por:
 - conjunto de 6 pilares dispostos numa malha ortogonal com uma métrica de 10.20x13.00m
 - vigas com 1,00m de altura por 0,50m de largura de alma
 - Paredes, com 30cm, que se desenvolvem junto aos acessos verticais e na separação entre a zona de escritórios e vestíbulo

Exemplo de Aplicação 2

– Ensoleiramentos Gerais em Edifícios



Deformada da Laje de Fundo



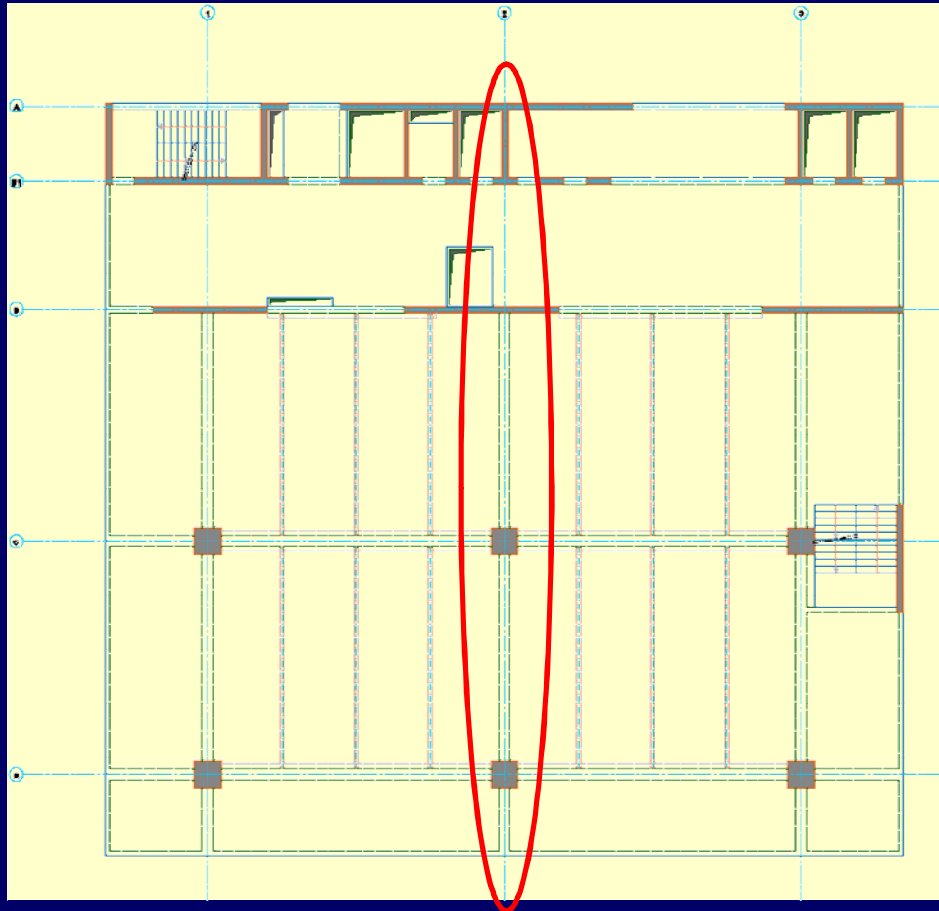
- Os deslocamentos verticais na estrutura são compatibilizados pela:
 - Rigidez do solo
 - Rigidez da laje de fundo
 - Rigidez do Edifício (relativa aos nós de ligação ao ensoleiramento)
- O deslocamentos finais na fundação são calculados:
 - $[K]_{TOTAL} = [K]_{SOLO} + [K]_{FUNDAÇÃO} + [K]_{ESTRUTURA}$
 - $[F]_{TOTAL} = [K]^{-1}_{TOTAL}$
 - $\{Deslocamentos\} = [F]_{TOTAL} \times \{Reacções\}$
- Impondo os deslocamentos assim calculados nos nós de ligação do modelo tridimensional pode ser determinado o campo elástico correspondente aos assentamentos de apoio e isolados os respectivos esforços

Se de grande rigidez, a laje do ensoleiramento tem um importante contributo na uniformização dos deslocamentos verticais na fundação (redução de assentamentos diferenciais)

Exemplo de Aplicação 2

– Ensoleiramentos Gerais em Edifícios

Planta do piso tipo – alinhamento analisado



Seleccionou-se para análise comparativa o alinhamento assinalado

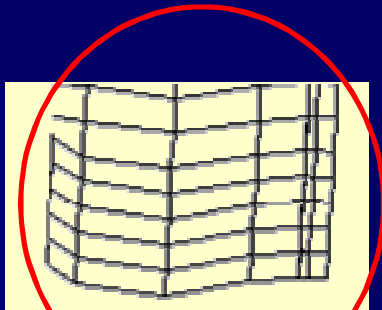
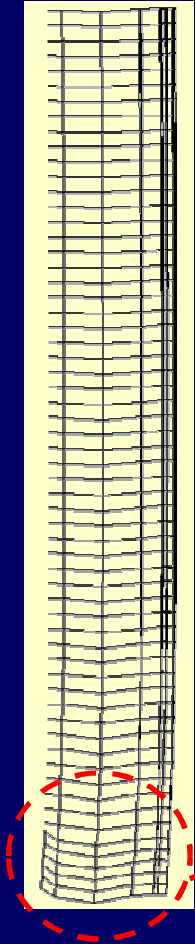
- Razão da escolha
 - Vigas
 - Paredes e pilares
 - Estrutura não simétrica
 - Pilares com maior área de influência

A comparação entre os diferentes modelos baseou-se no alinhamento em que efeitos são mais pronunciados

Exemplo de Aplicação 2

– Ensoleiramentos Gerais em Edifícios

Deformada para
Assentamentos de Apoio

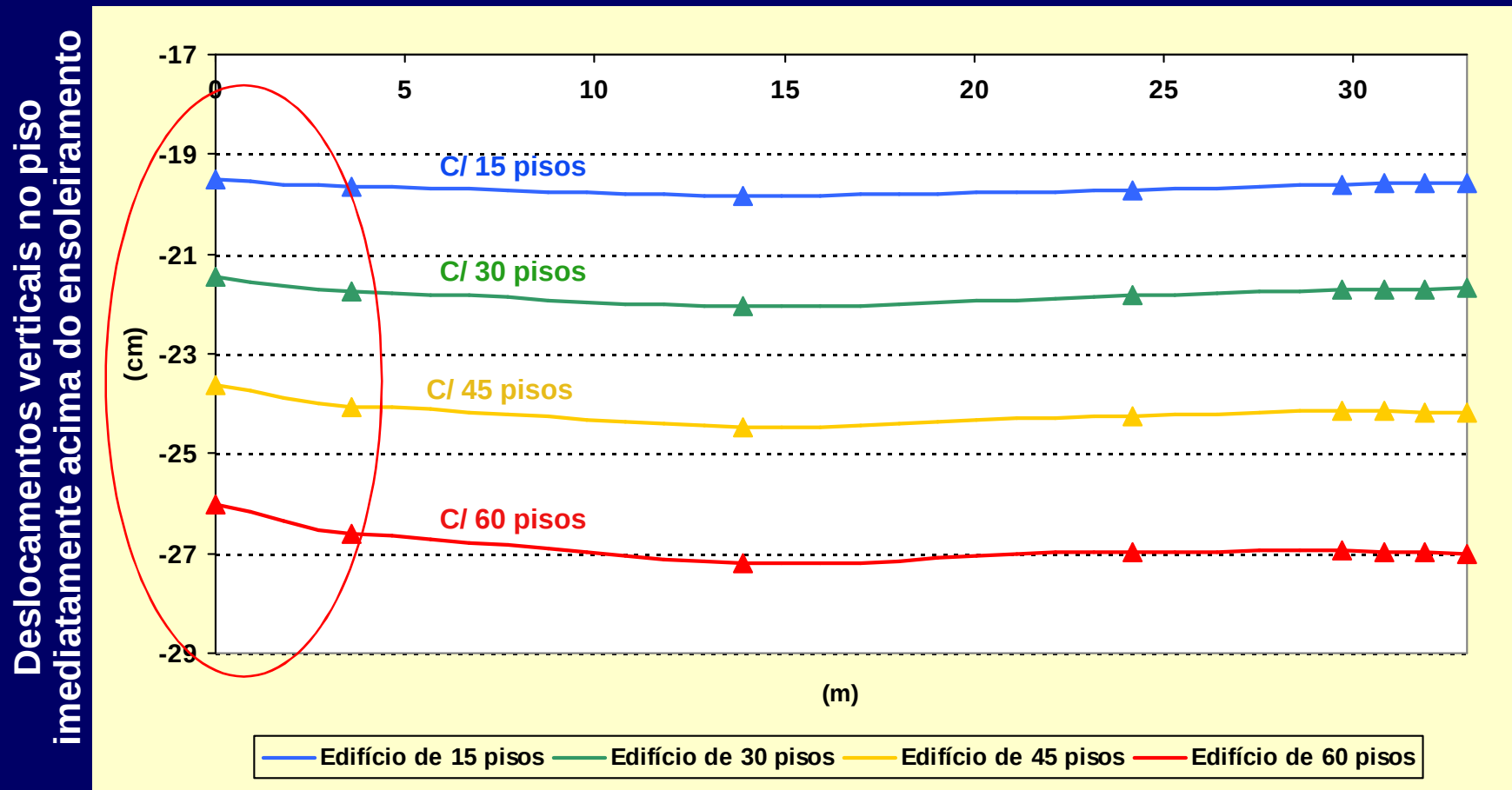


Importância dos assentamentos do edifício:

- Elevado número de pisos tem como consequência descarga verticais elevadas na fundação
- Considere-se um solo podendo comportar tensões admissíveis elevadas, mas apreciável deformabilidade:
 - $SPT > 60$ pancadas $\Rightarrow \sigma_{adm} = 0.600$ MPa
 - Admitido maciço de fundação com um módulo de deformabilidade $E = 220$ MPa
- ✓ Esforços na estrutura são originados não pelo valor total dos assentamentos mas pelos deslocamentos relativos;
- ✓ Deslocamentos relativos diminuem em altura (ao contrário das deformações axiais dos elementos verticais de suporte).

Exemplo de Aplicação 2

– Ensoleiramentos Gerais em Edifícios

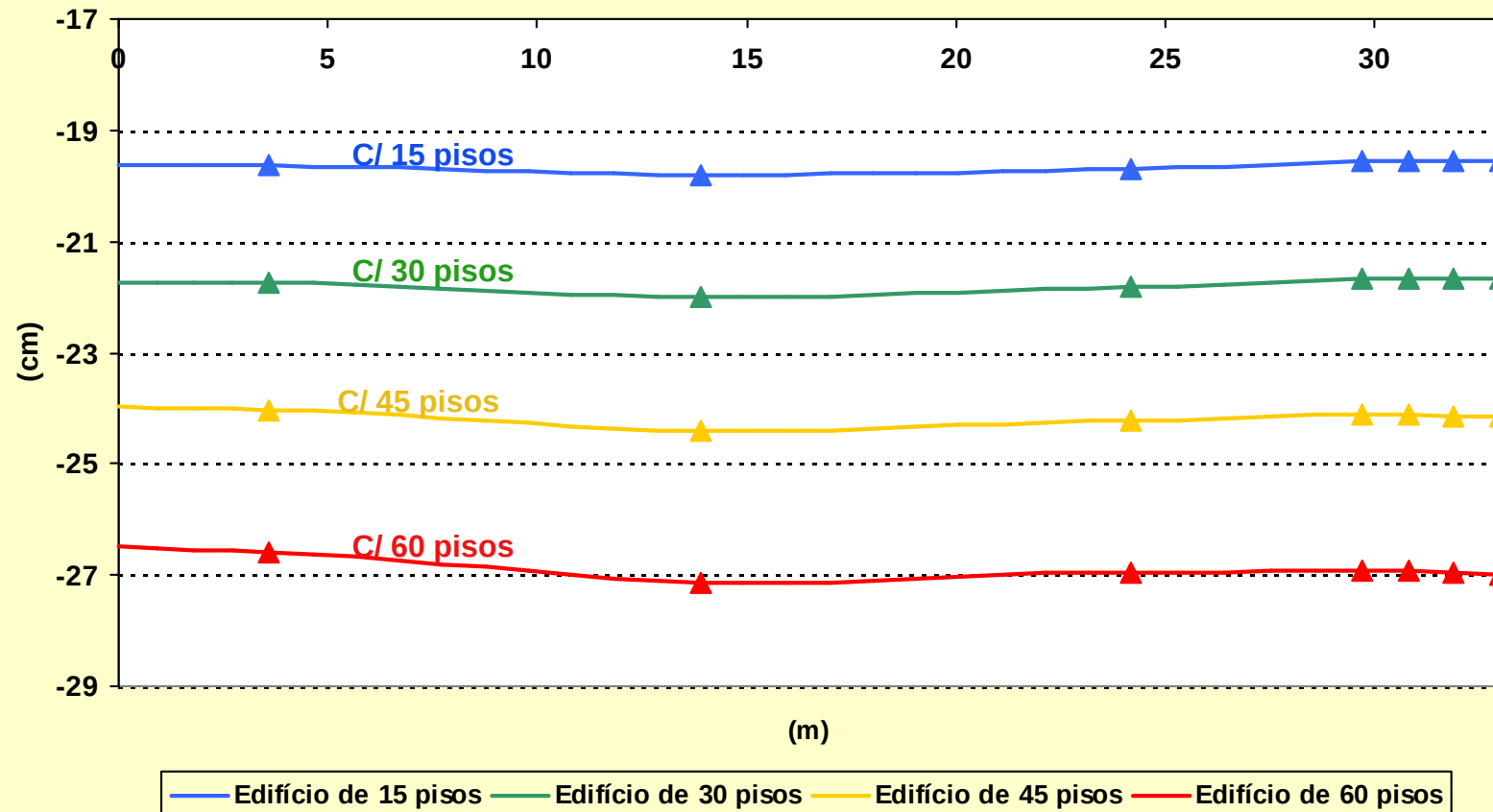


Assentamentos diferenciais mais importantes entre a periferia e os pilares contíguos. Os assentamentos aumentam com o número de pisos do edifício

Exemplo de Aplicação 2

– Ensoleiramentos Gerais em Edifícios

Deslocamentos verticais 5 pisos
acima do ensoleiramento



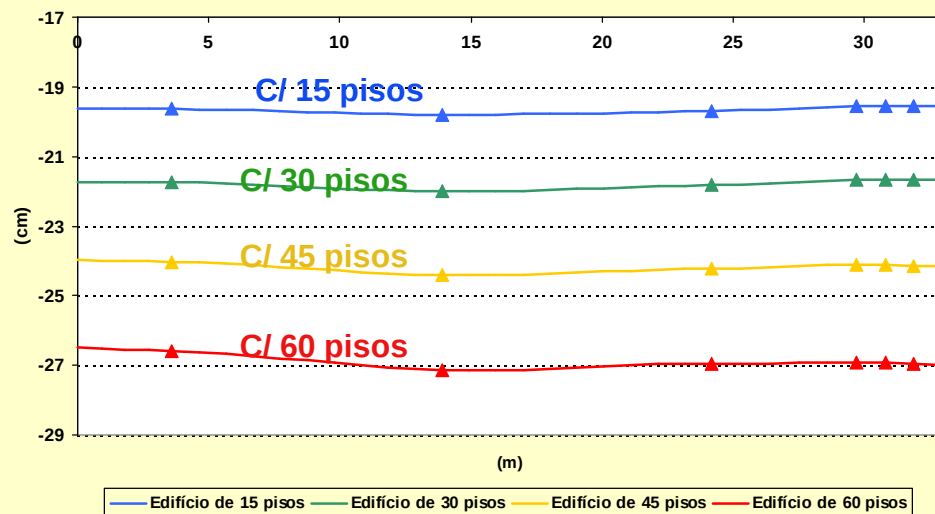
Assentamentos diferenciais muito menores do que os que ocorrem ao nível do ensoleiramento

Exemplo de Aplicação 2

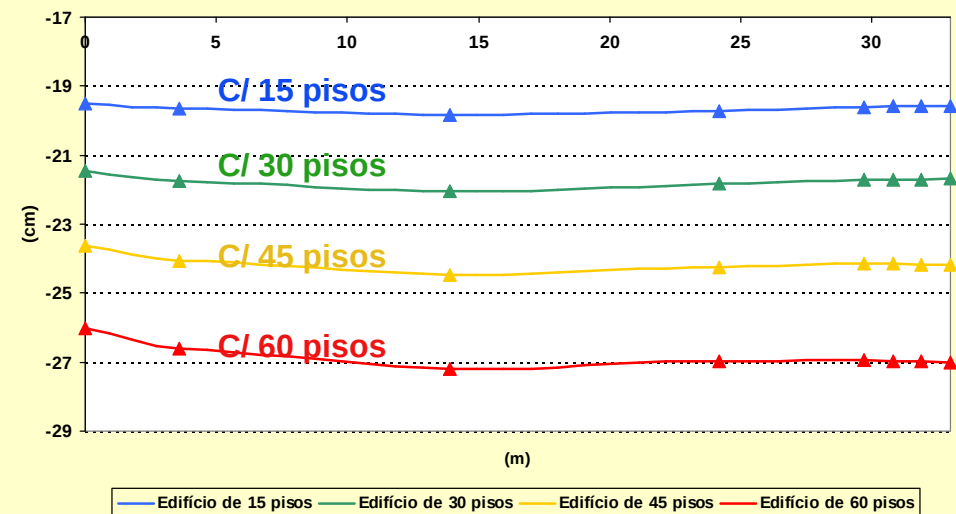
– Ensoleiramentos Gerais em Edifícios

Efeitos conjuntos de assentamentos de fundação e da deformação da estrutura

Deformada ao nível do piso 6



Deformada ao nível do piso 1



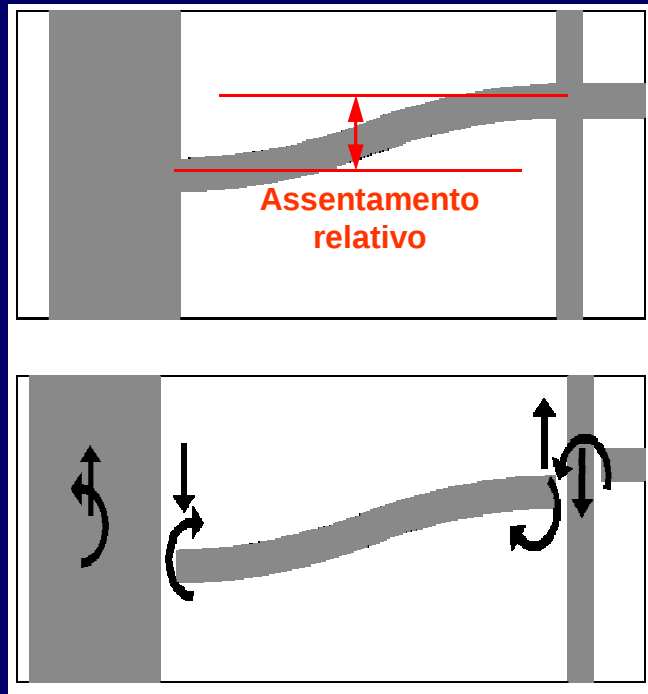
CONCLUSÕES:

- Quanto maior for o número de pisos maiores os assentamentos absolutos (mais carga $\Rightarrow$ maior deformação)
- Quanto mais elevado o piso mais se atenuam os assentamentos relativos (maior contribuição da estrutura na repartição das cargas)

Exemplo de Aplicação 2

– Ensoleiramentos Gerais em Edifícios

Esforços induzidos



Os assentamentos diferenciais dão origem a curvaturas com os correspondentes esforços de flexão associados;

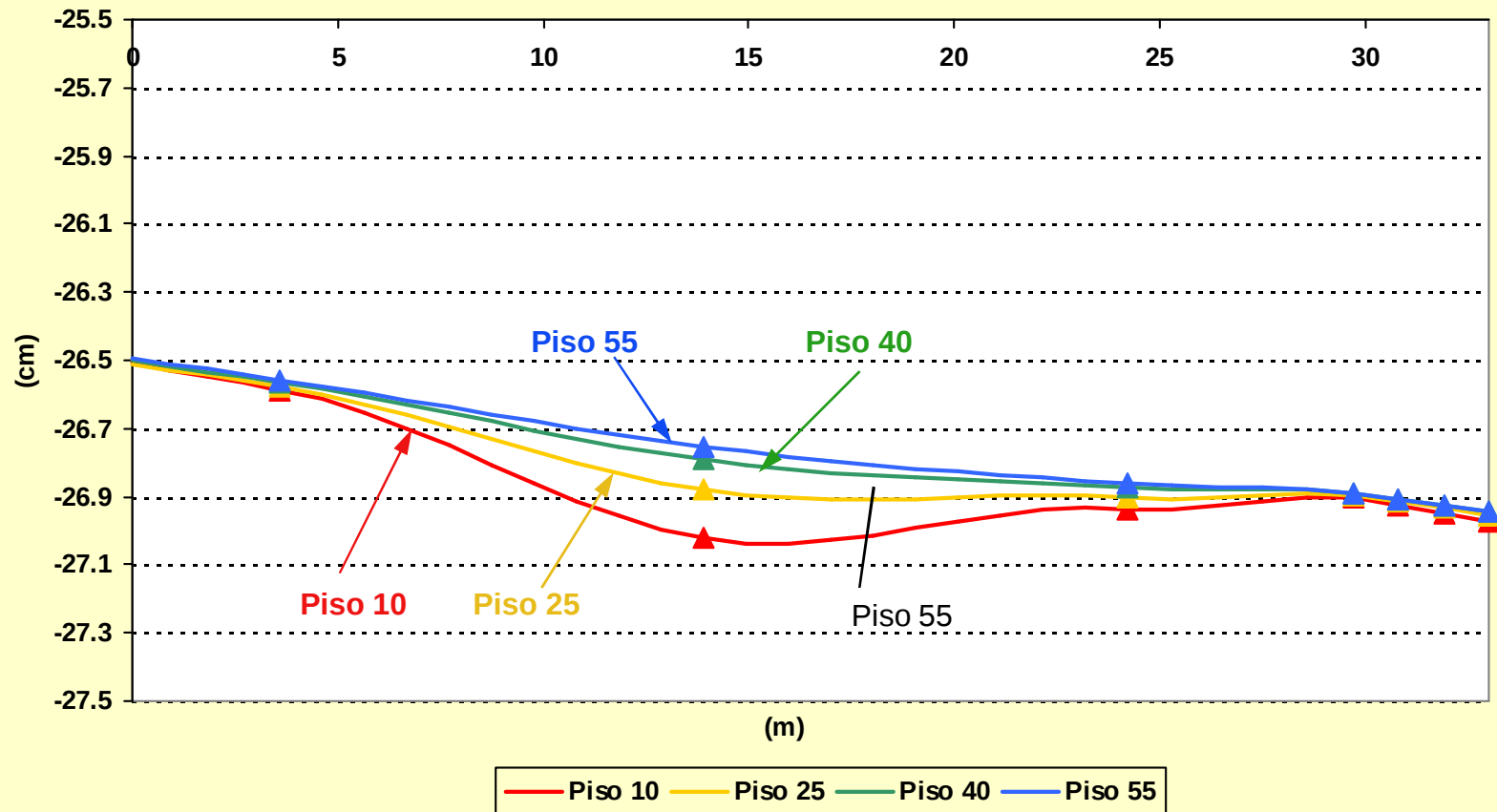
Em consequência os elementos verticais experimentando maiores assentamentos na base vêm os esforços axiais reduzidos por transferência para os elementos vizinhos;

A rigidez vertical da estrutura, em particular dos seus termos cruzados, adiciona-se à rigidez do ensoleiramento, tendo como efeito a redução de assentamentos relativos

Exemplo de Aplicação 2

– Ensoleiramentos Gerais em Edifícios

Deformadas segundo um eixo transversal num edifício de 60 pisos

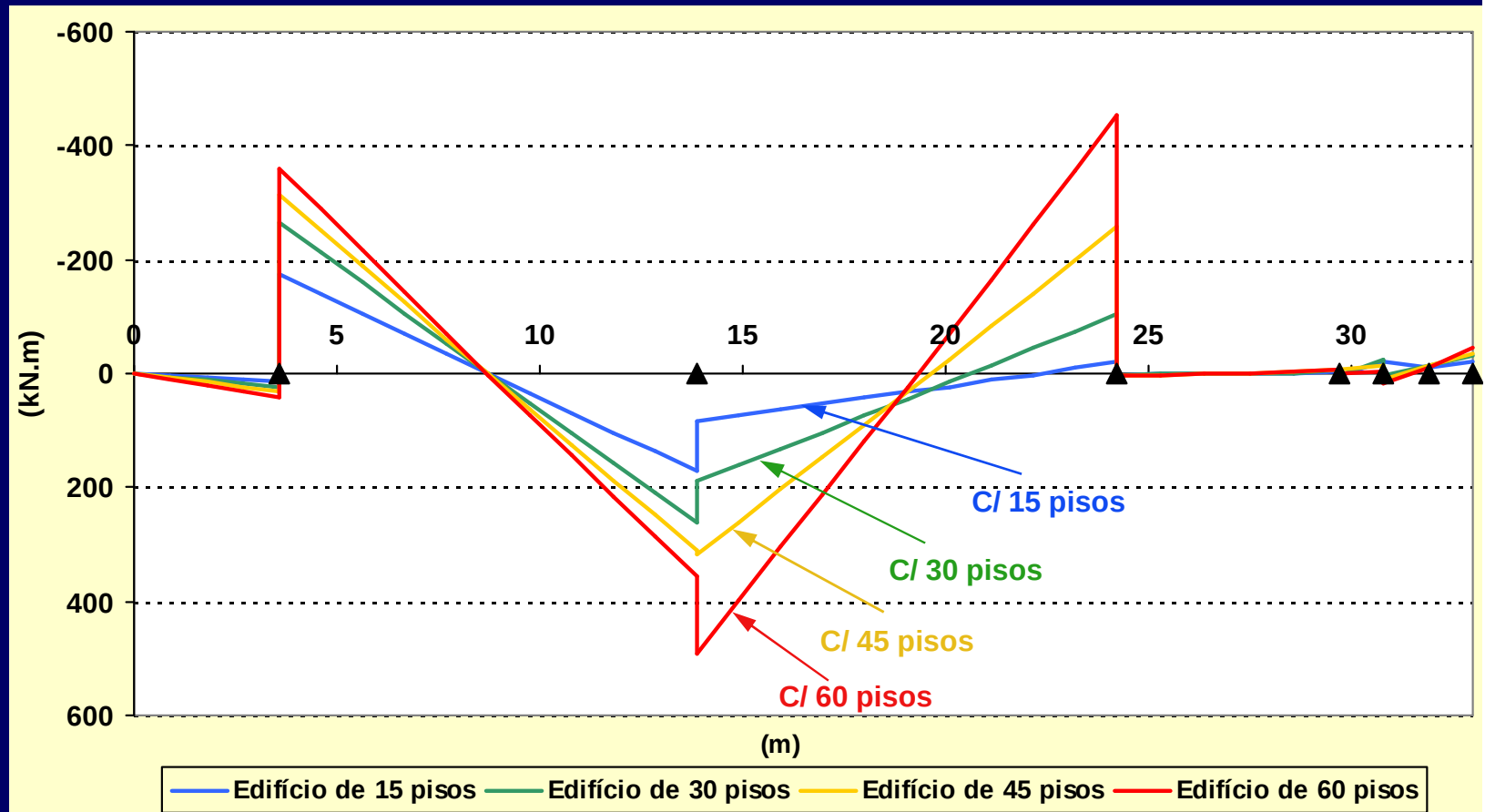


Atenuação dos assentamentos diferenciais em altura

Exemplo de Aplicação 2

– Ensoleiramentos Gerais em Edifícios

Evolução dos Momentos Flectores por Assentamentos com o Número de Pisos (numa viga do piso 6)

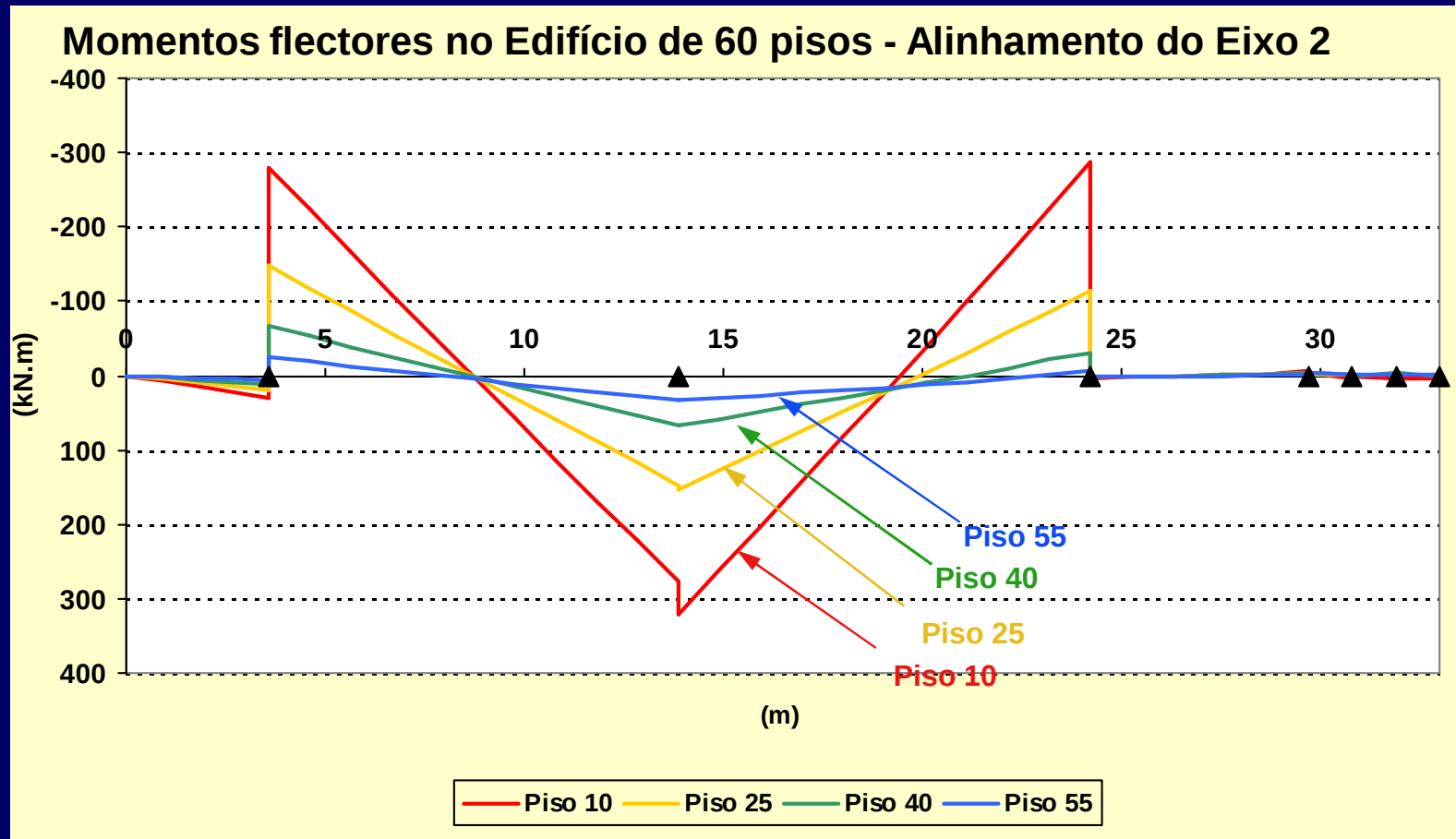


**Esforços máximos numa viga do Piso 6
(crescentes com o número de pisos)**

Exemplo de Aplicação 2

– Ensoleiramentos Gerais em Edifícios

Evolução em Altura dos Momentos
Flectores por Assentamentos



**Esforços máximos em vigas homólogas
(decrecentes em altura)**

O SOLO COMO ELEMENTO DA CONSTRUÇÃO

Conclusões:

A importância do comportamento do solo de fundação não se limita à determinação da sua capacidade para suportar as cargas que a superestrutura transmite às fundações;

Igualmente importante é a caracterização da sua deformação e a interacção com a estrutura, conduzindo a situações de deformação que, sendo compatíveis, correspondam à solução equilibrada da solução;

Só com uma análise integrada é possível a satisfação destes objectivos!

Pela sua interacção o solo de fundação e a estrutura propriamente dita são parte integrante de uma única entidade, abrangente, que integra as propriedades das suas parcelas.

O SOLO COMO ELEMENTO DA CONSTRUÇÃO

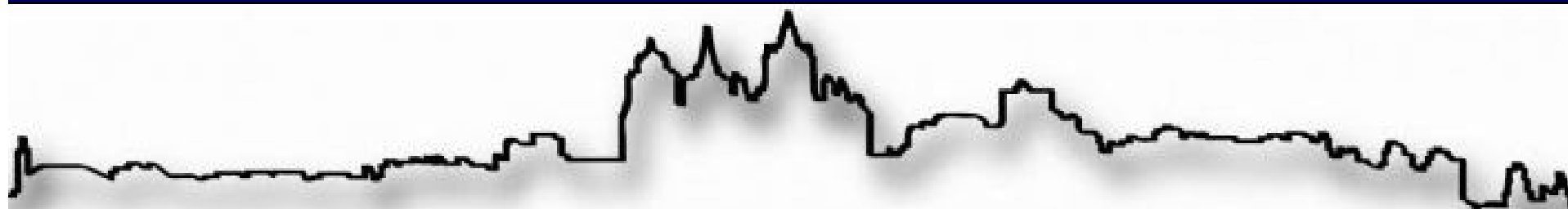
Conclusões:

A importância do comportamento do solo de fundação não se limita à determinação da sua capacidade para suportar as cargas que a superestrutura transmite às fundações;

Igualmente importante é a caracterização da sua deformação e a interacção com a estrutura, conduzindo a situações de deformação que, sendo compatíveis, correspondam à solução equilibrada da solução;

Só com uma análise integrada é possível a satisfação destes objectivos!

Pela sua interacção o solo de fundação e a estrutura propriamente dita são parte integrante de uma única entidade, abrangente, que integra as propriedades das suas parcelas.



U. ÉVORA

VI ENEEC 2010

Encontro Nacional de Estudantes
de Engenharia Civil

sta



Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia

2010
Abril
14

