

ECV 114 – FUNDAÇÕES E OBRAS DE TERRA

FUNDAÇÕES RASAS – INTRODUÇÃO

Prof. Ana Paula Moura
ana.paula.moura@live.com

PROGRAMAÇÃO DA AULA

- 1) Parâmetros do solo;
- 2) Filosofias de projeto;
- 3) Modos de ruptura;
- 4) Bulbo de tensões

1. PARÂMETROS DO SOLO

A) Coesão: Principal parcela da resistência dos solos finos:
argilas

B) Ângulo de atrito: Principal parcela da resistência dos
solos granulares: areias

C) Peso específico

Os solos são compostos por vários tipos de grãos, logo vão apresentar tanto coesão como ângulo de atrito → Ensaio de cisalhamento direto ou de compressão triaxial.

1. PARÂMETROS DO SOLO

“A resistência ao cisalhamento desenvolvida no interior das massas de solos é a responsável pela capacidade que os solos tem de suportar as tensões desenvolvidas pelas solicitações conservando sua estabilidade. Caso contrário as tensões desenvolvidas nas massas de solo podem levar a uma condição de desequilíbrio e conseqüentemente a sua ruptura. Conhecendo-se a resistência interna ao cisalhamento estaremos aptos a realizar dimensionamento de estruturas de terra e fazer verificações das condições de estabilidade dessas massas de solo.”

1. PARÂMETROS DO SOLO

Solos saturados (argilas moles): parâmetros de resistência dependem das condições de carregamento variando de não drenado a drenado.

Capacidade de carga:

- Condição crítica → não drenada;
- Tende a aumentar com a dissipação das pressões neutras.

Capacidade de carga com valores não drenados é menor.

1. PARÂMETROS DO SOLO

A) Coesão

a) Ensaio de laboratório

b) Teixeira e Godoy (1996) - correlação com N_{spt} :

$$c = 10 N_{spt} \text{ (kPa)}$$

1. PARÂMETROS DO SOLO

B) Ângulo de atrito

a) Ensaio de laboratório

b) Godoy (1983) – condição não drenada

$$\Phi = 28^\circ + 0,4 N_{\text{spt}}$$

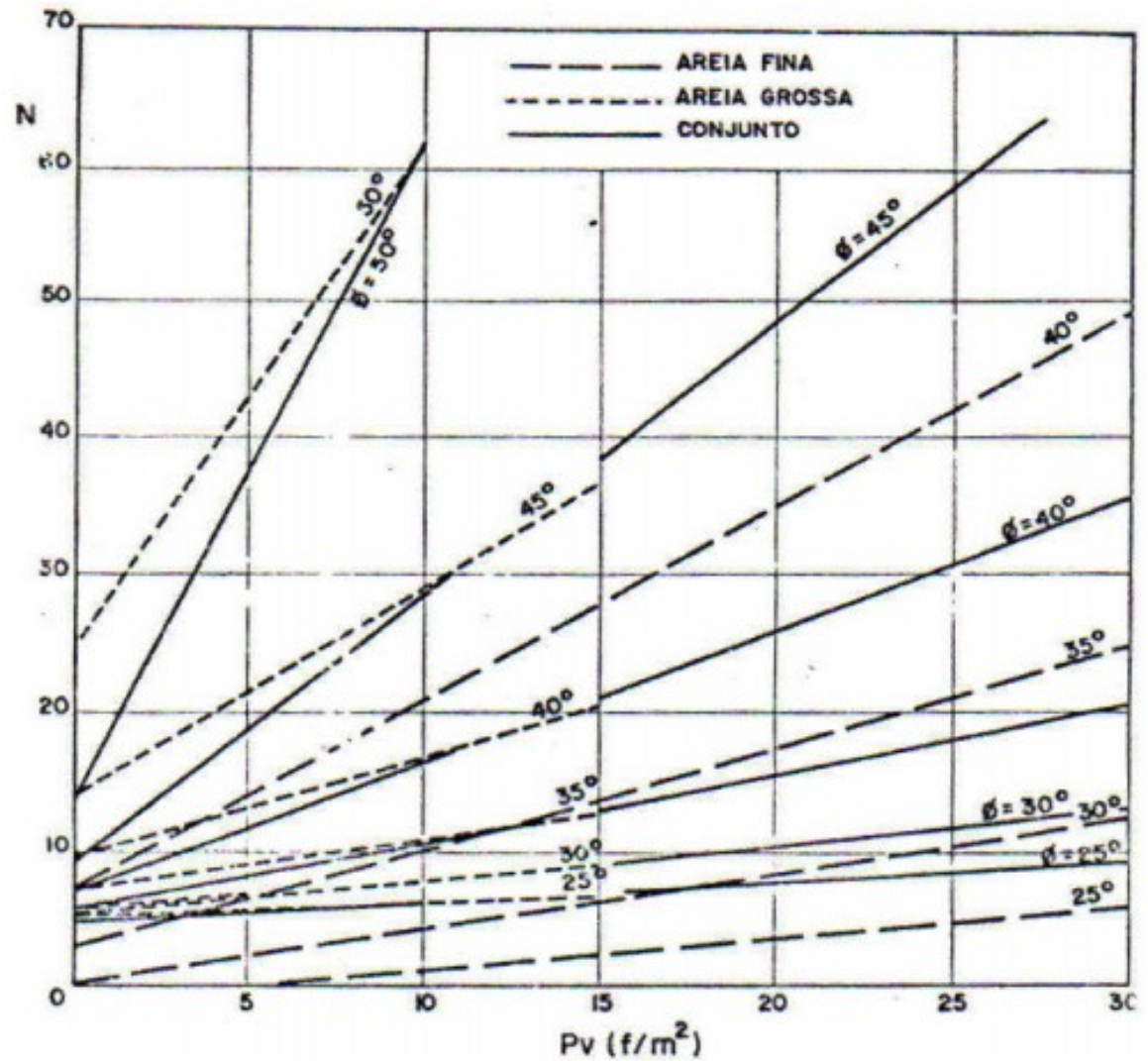
c) Teixeira (1996) – condição não drenada

$$\Phi = (20N_{\text{spt}})^{1/2} + 15$$

d) Mello (1971): Areias - Gráfico

1. PARÂMETROS DO SOLO

B) Ângulo de atrito



1. PARÂMETROS DO SOLO

C) Peso específico

a) Ensaio de laboratório

b) Godoy (1972) – tabelas

Nspt	Consistência	Peso específico (kN/m ³)
≤ 2	Muito Mole	13
3 - 5	Mole	15
6 - 10	Média	17
11 - 19	Rija	19
≥ 20	Dura	21

1. PARÂMETROS DO SOLO

C) Peso específico

b) Godoy (1972) – tabelas

Nspt	Compacidade	Peso específico (kN/m ³)		
		Seca	Úmida	Saturada
≤ 5	Fofa	16	18	19
5 - 8	Pouco compacta	16	18	19
9 - 18	Medianamente compacta	17	19	20
19 - 40	Compacta	18	20	21
≥ 40	Muito compacta	18	20	21

1. PARÂMETROS DO SOLO

C) Peso específico

b) Godoy (1972) – tabelas

***Areia saturada – peso específico submerso – para cálculo de capacidade de carga usar peso específico efetivo, ou seja, desconta o peso específico da água.

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

Forças externas:

- Ações permanentes
- Ações variáveis
- Ações excepcionais

Forças reativas internas → Esforços solicitantes

- Normal
- Cortante
- Momento fletor e torção.

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA ADMISSÍVEL:

“Tensão adotada em projeto que, aplicada pela fundação, atende, com fatores de segurança pre determinados, aos estados limites último (ruptura) e de serviço (deformações).”

Em outras palavras: “É a carga que, aplicada à sapata, que provoca recalques que não produzem inconvenientes à estrutura e, simultaneamente, oferece segurança satisfatória à ruptura ou escoamento da fundação.”

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

A) FILOSOFIA DA SOLICITAÇÃO ADMISSÍVEL

$$S_a = \frac{R_{med}}{FS}$$

- Solicitação admissível:
 - Tensão admissível → Fundações diretas
 - Carga admissível → Estacas
- Valor médio de resistência com 50% de probabilidade de ocorrência de valores inferiores;
- Fator de segurança global.

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

A) FILOSOFIA DA SOLICITAÇÃO ADMISSÍVEL

$$S_a = \frac{R_{med}}{FS} \quad S_i \leq S_a \quad FS = \frac{R_{med}}{S_{med}}$$

- Solicitação em cada elemento \leq Solicitação admissível;
- Solicitação média não deve ultrapassar a admissível;
- Mas, a favor da segurança, a prática consagrou verificar todos os valores disponíveis de solicitação, inclusive o máximo.

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

A) FILOSOFIA DA SOLICITAÇÃO ADMISSÍVEL

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{rmed}}{FS}$$

- Tensão admissível: tensão vertical que cada sapata ou tubulão aplica no maciço de solo;
- Valor médio da capacidade de carga;
- Fator de segurança global \rightarrow 3 para fundação direta e 2 para indireta.

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

A) FILOSOFIA DA SOLICITAÇÃO ADMISSÍVEL

Fatores que influenciam a escolha do coeficiente de segurança	COEFICIENTE DE SEGURANÇA		
	PEQUENO		GRANDE
Propriedades dos materiais	Solo homogêneo Investigações geotécnicas amplas		Solo não-homogêneo Investigações geotécnicas escassas
Influências exteriores tais como: água, tremores de terra, etc.	Grande número de informações, medidas e observações disponíveis		Poucas informações disponíveis
Precisão do modelo de cálculo	Modelo bem representativo das condições reais		Modelo grosseiramente representativo das condições reais
Conseqüências em caso de acidente	Conseqüências financeiras limitadas e sem perda de vidas humanas	Conseqüências financeiras consideráveis e risco de perda de vidas humanas	Conseqüências financeiras desastrosas e elevadas perdas de vidas humanas

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

B) FILOSOFIA DOS VALORES DE CÁLCULO

$$\gamma_f N_k \leq \frac{R_{c,k}}{\gamma_m}$$

γ_f = coef. de majoração das ações

N_k = carga característica (atuante)

$R_{c,k}$ = resistência característica

γ_m = coef. de minoração da resistência

- Valor de cálculo da solicitação \leq Valor de cálculo da resistência;
- Fator de segurança parcial.

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

Pag. 20 e 21 - Considerações sobre as tensões admissíveis

- 1) Métodos teóricos
- 2) Métodos semi empíricos
- 3) Prova de carga sobre placa

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

- 1) **Métodos teóricos:** aplicação das fórmulas de capacidade de carga para estimativa da tensão – estudos teóricos;
- 2) **Métodos semi empíricos:** correlações propostas a partir de resultados “in situ”, como o SPT.
- 3) **Prova de carga sobre placa:** ensaio – método prático.

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

Na escolha do fator de segurança é importante levar em consideração o nível de conhecimento do terreno e as características da estrutura.

Vesic, 1975:

Tipo de estrutura	Características	Investigação do subsolo	
		Ampla	Limitada
Pontes ferroviárias, depósitos, silos, obras hidráulicas, muros de arrimo, chaminés	A carga máxima pode ocorrer com frequência. Ruptura com conseqüências desastrosas.	3,0	4,0
Pontes rodoviárias, prédios industriais ou públicos de pequeno porte	A carga máxima ocorre ocasionalmente. Ruptura com conseqüências sérias.	2,5	3,5
Edifícios de apartamentos ou escritórios	A carga máxima tem pouca probabilidade de ocorrer	2,0	3,0

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

NBR6122:2010 – Projeto e execução de fundações

Tabela 1 – Fundações superficiais – Fatores de segurança e coeficientes de minoração para solicitações de compressão

Métodos para determinação da resistência última	Coeficiente de minoração da resistência última	Fator de segurança global
Semi-empíricos ^a	Valores propostos no próprio processo e no mínimo 2,15	Valores propostos no próprio processo e no mínimo 3,00
Analíticos ^b	2,15	3,00
Semi-empíricos ^a ou analíticos ^b acrescidos de duas ou mais provas de carga, necessariamente executadas na fase de projeto, conforme 7.3.1	1,40	2,00

^a Atendendo ao domínio de validade para o terreno local.

^b Sem aplicação de coeficientes de minoração aos parâmetros de resistência do terreno.

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

NBR6122:1996 – Projeto e execução de fundações

Tabela 4 - Pressões básicas (σ_p)

Classe	Descrição	Valores (MPa)
1	Rocha sã, maciça, sem laminação ou sinal de decomposição	3,0
2	Rochas laminadas, com pequenas fissuras, estratificadas	1,5
3	Rochas alteradas ou em decomposição	ver nota c)
4	Solos granulares concrecionados - conglomerados	1,0
5	Solos pedregulhosos compactos a muito compactos	0,6
6	Solos pedregulhosos fofos	0,3
7	Areias muito compactas	0,5

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

NBR6122:1996 – Projeto e execução de fundações

Tabela 4 - Pressões básicas (σ_v)

Classe	Descrição	Valores (MPa)
8	Areias compactas	0,4
9	Areias medianamente compactas	0,2
10	Argilas duras	0,3
11	Argilas rijas	0,2
12	Argilas médias	0,1
13	Siltes duros (muito compactos)	0,3
14	Siltes rijos (compactos)	0,2
15	Siltes médios (medianamente compactos)	0,1

2. FILOSOFIAS DE PROJETO

Resumindo...

Tensão admissível → capacidade de carga dividida por um
fator de segurança global

e

Verificar se ocorrerão recalques excessivos!

3. MODOS DE RUPTURA

A partir da observação de ensaios e de catástrofes, constata-se que a capacidade de suporte do solo provém dos modelos:

A) Ruptura generalizada

B) Ruptura localizada

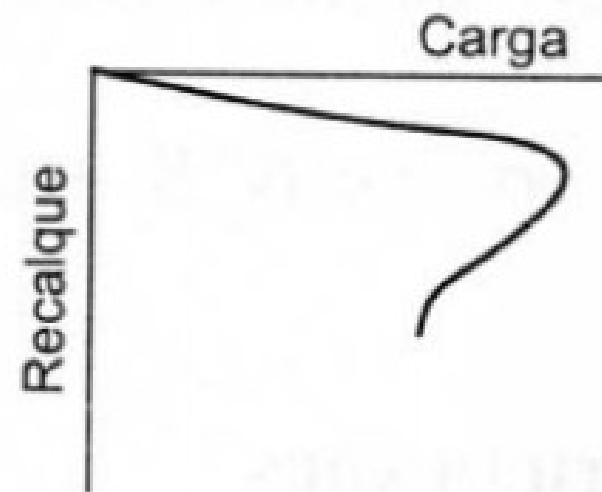
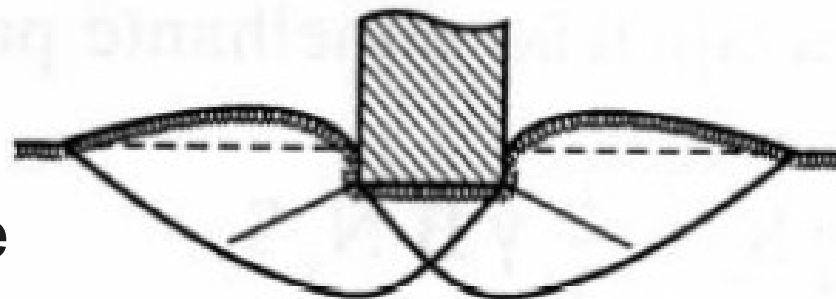
C) Ruptura por puncionamento

O tipo de ruptura ocorrerá em função da compressibilidade do solo, geometria da fundação, carregamento e embutimento.

3. MODOS DE RUPTURA

A) Ruptura geral

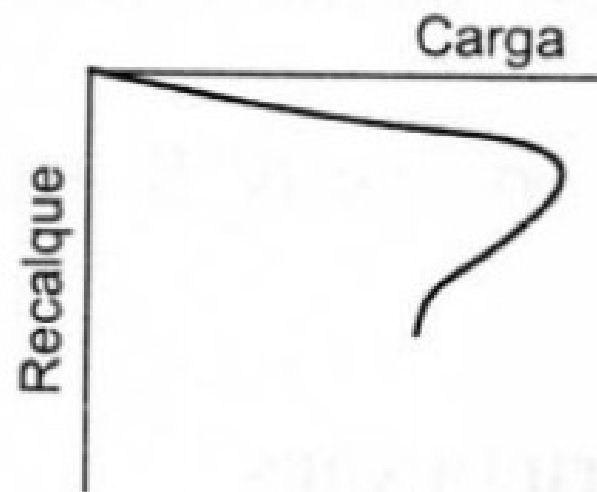
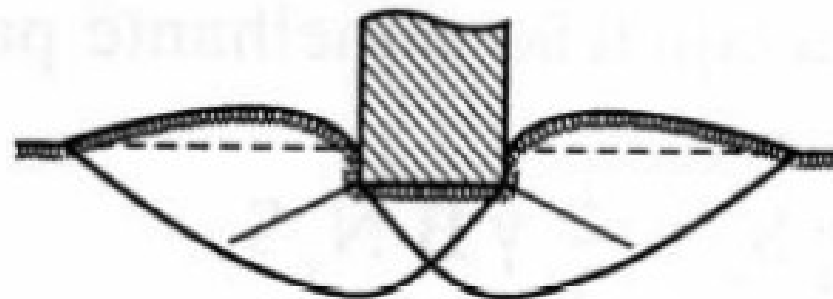
- Formação de uma cunha que tem movimento vertical pra baixo e que empurra lentamente duas outras cunhas, que tendem a levantar o solo adjacente à fundação.
- Superfície de ruptura bem definida;



3. MODOS DE RUPTURA

A) Ruptura geral

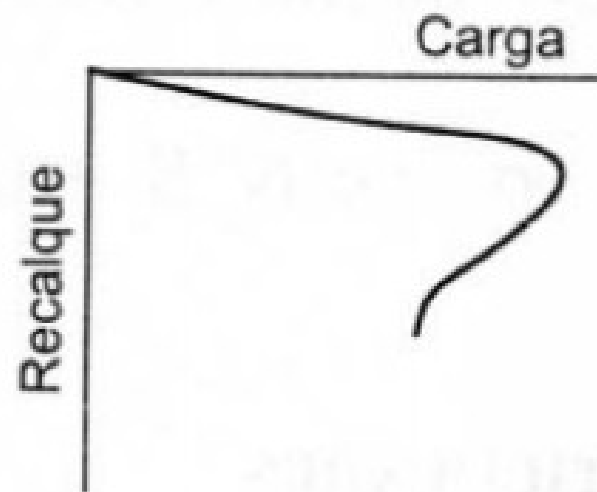
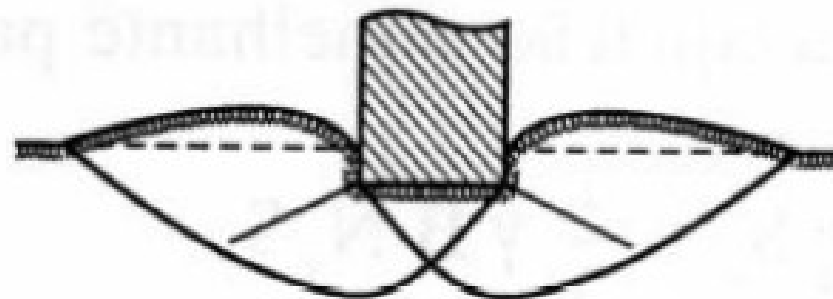
- Nota-se um ponto de carga máxima
- A formação da protuberância na superfície é acompanhada pelo tombamento da fundação – a sapata pode girar;
- Frágil – Súbita – Catastrófica
- Baixos valores de recalque;



3. MODOS DE RUPTURA

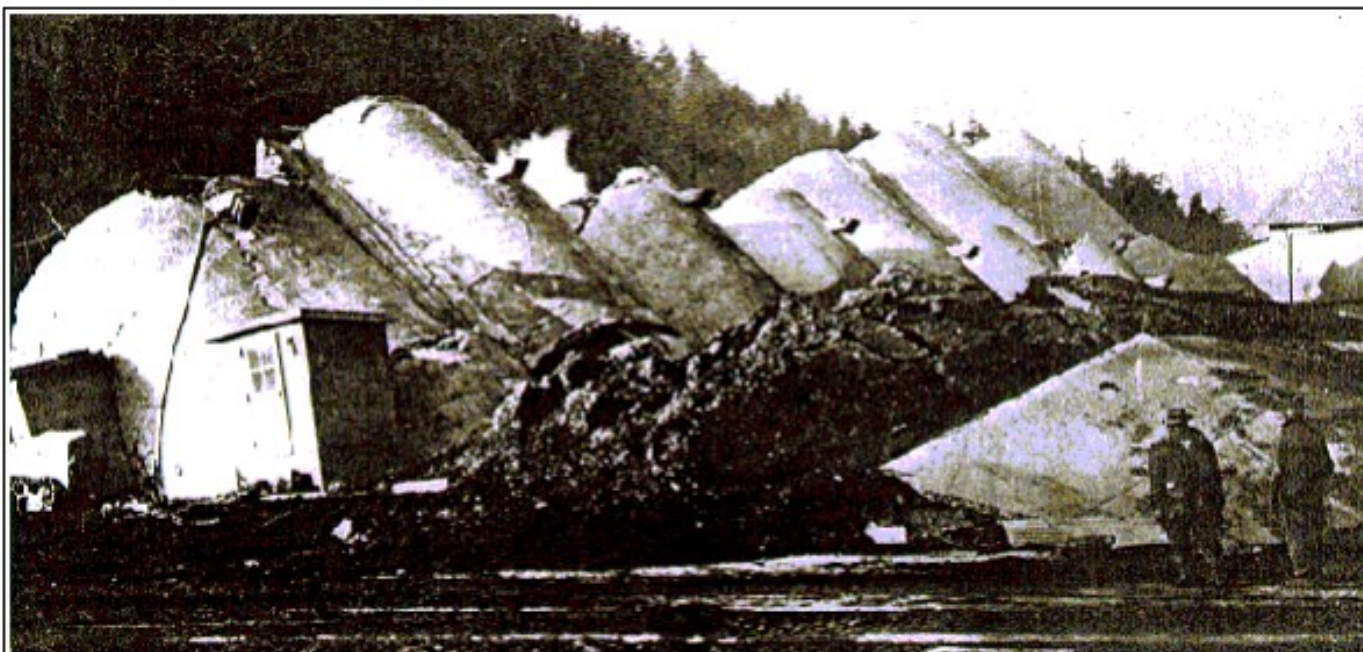
A) Ruptura geral

- Solos mais resistentes (menos deformáveis) com sapatas suficientemente rasas;
- Areia compactada e muito compactas e argilas rijas e duras



3. MODOS DE RUPTURA

A) Ruptura geral

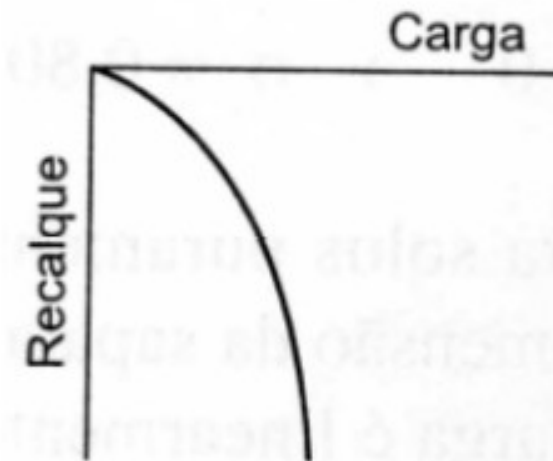
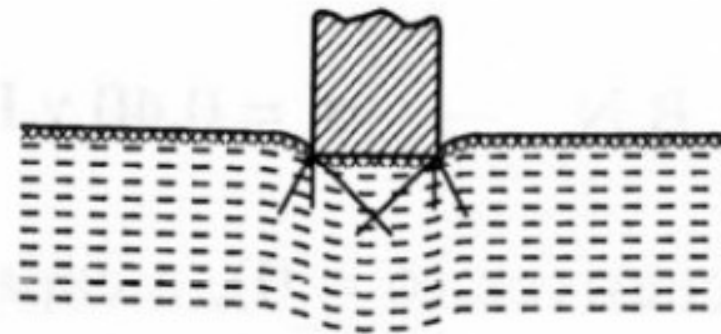


**Ruptura geral nas fundações de silos de concreto armado
(TSCHEBOTTARIOFF, 1978)**

3. MODOS DE RUPTURA

B) Ruptura por punçãoamento

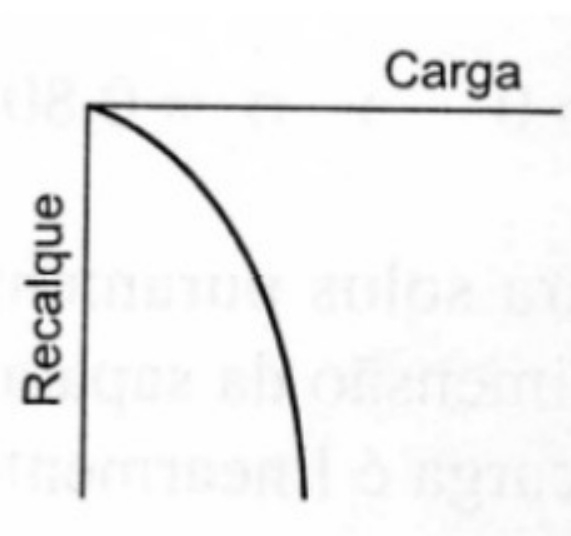
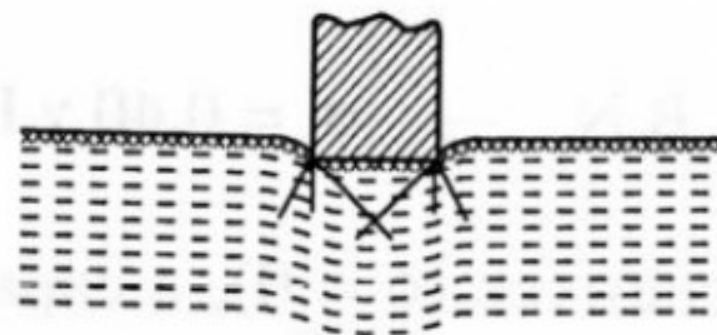
- Movimento vertical da fundação e a ruptura é verificada pelos recalques → Deslocamento da sapata para baixo, sem desaprumar;
- O solo fora da área carregada praticamente não participa e não há movimentação do solo na superfície;



3. MODOS DE RUPTURA

B) Ruptura por punção

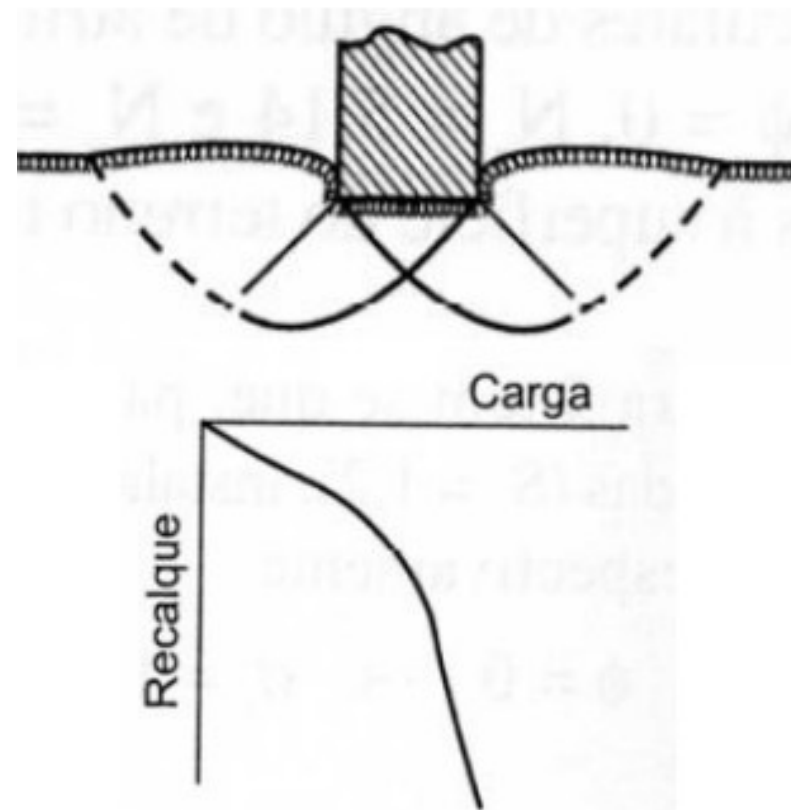
- O padrão de ruptura não é facilmente observado;
- Para a carga de ruptura os recalques passam a ser incessantes com ou sem acréscimo de carga.
- Solos mais deformáveis (menos resistentes);



3. MODOS DE RUPTURA

C) Ruptura localizada

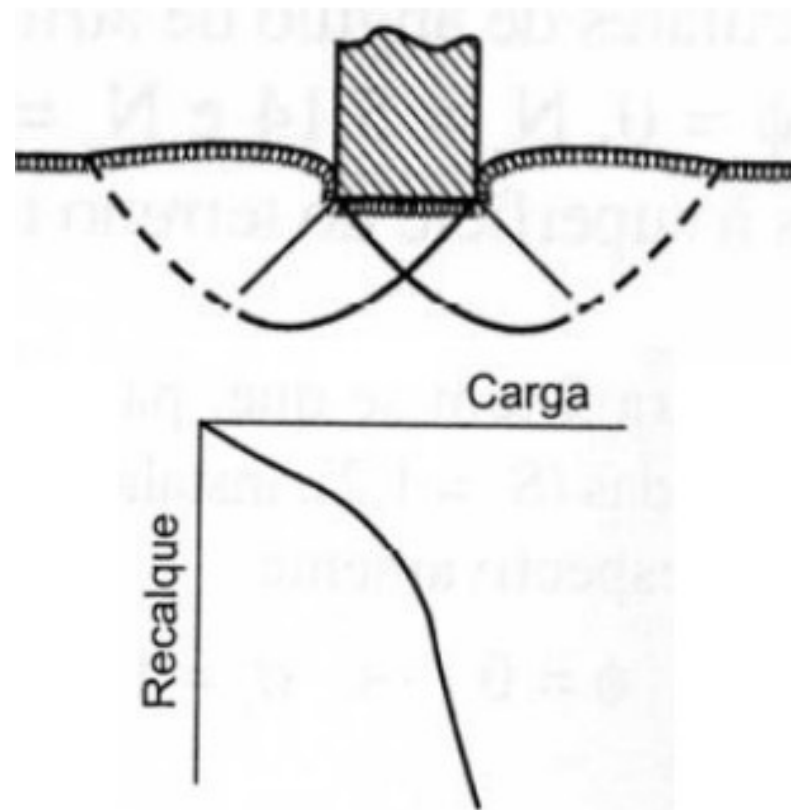
- Caso intermediário;
- Solos de média resistência;
- O padrão só é bem definido logo abaixo da fundação;
- Não gira;



3. MODOS DE RUPTURA

C) Ruptura localizada

- Poucos incrementos de carga causa recalques acentuados;
- Não há colapso catastrófico;
- Ocorre com frequência em sapatas mais profundas e tubulões;
- Transição.



3. MODOS DE RUPTURA

Resumindo...

- Ruptura geral → Areia compacta a muito compacta e argila rija a dura;
- Ruptura por puncionamento → Areia pouco compacta a fofa e argila mole a muito mole;
- Ruptura local → Areia medianamente compacta e argilas médias.

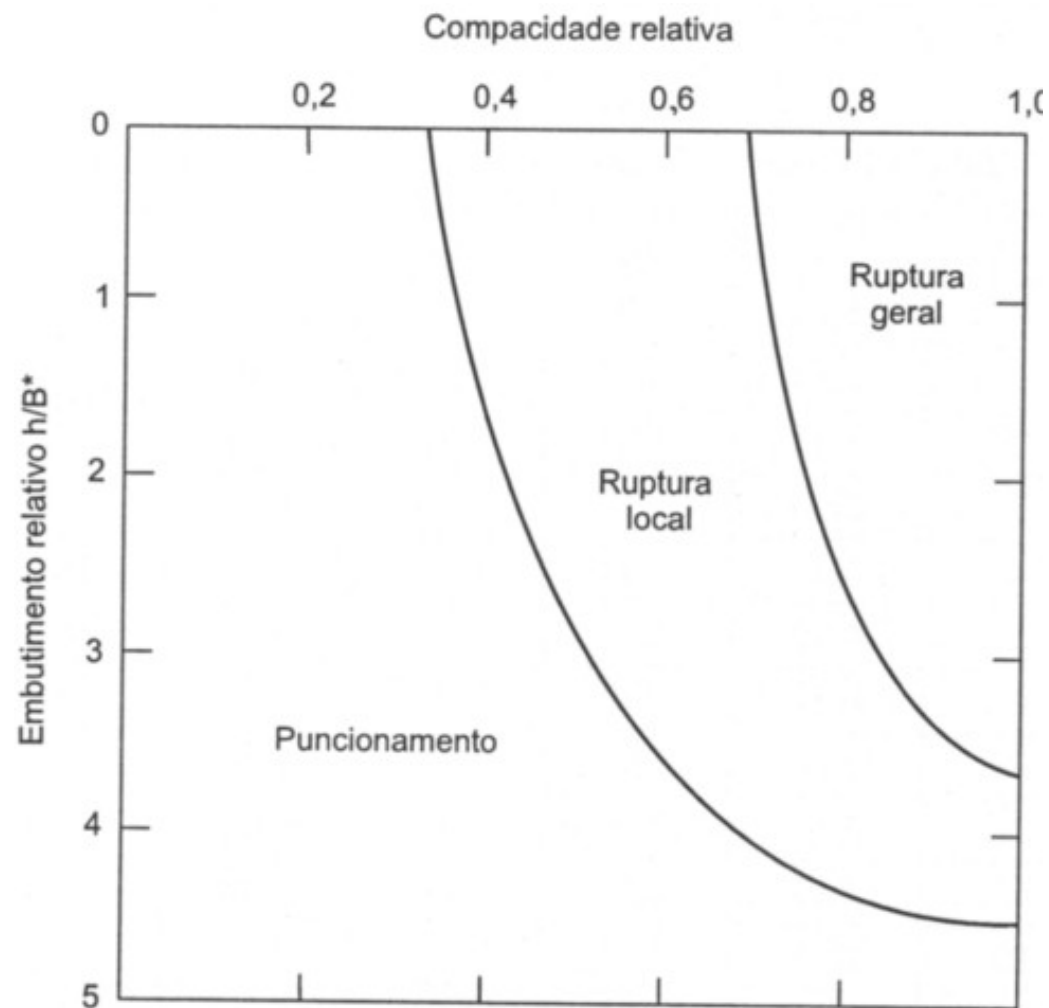
3. MODOS DE RUPTURA

O modo de ruptura não depende somente da rigidez do solo. E o efeito do embutimento da sapata no maciço?

Para o caso de areia, Vesic (1975) considera o embutimento relativo da sapata h/B^ e estabelece:*

3. MODOS DE RUPTURA

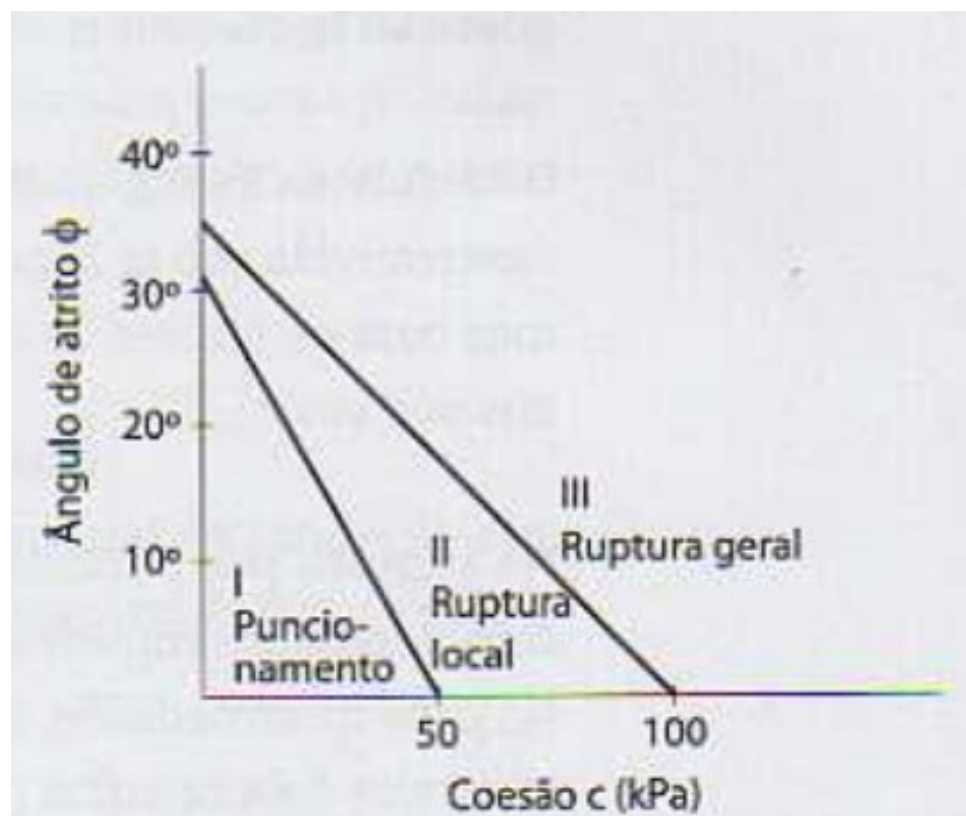
$$B^* = \frac{2BL}{B + L}$$



3. MODOS DE RUPTURA

Modo de ruptura em solo $c - \phi$

Diagrama em função dos parâmetros do solo



3. MODOS DE RUPTURA

Fatores que influenciam no modo de ruptura:

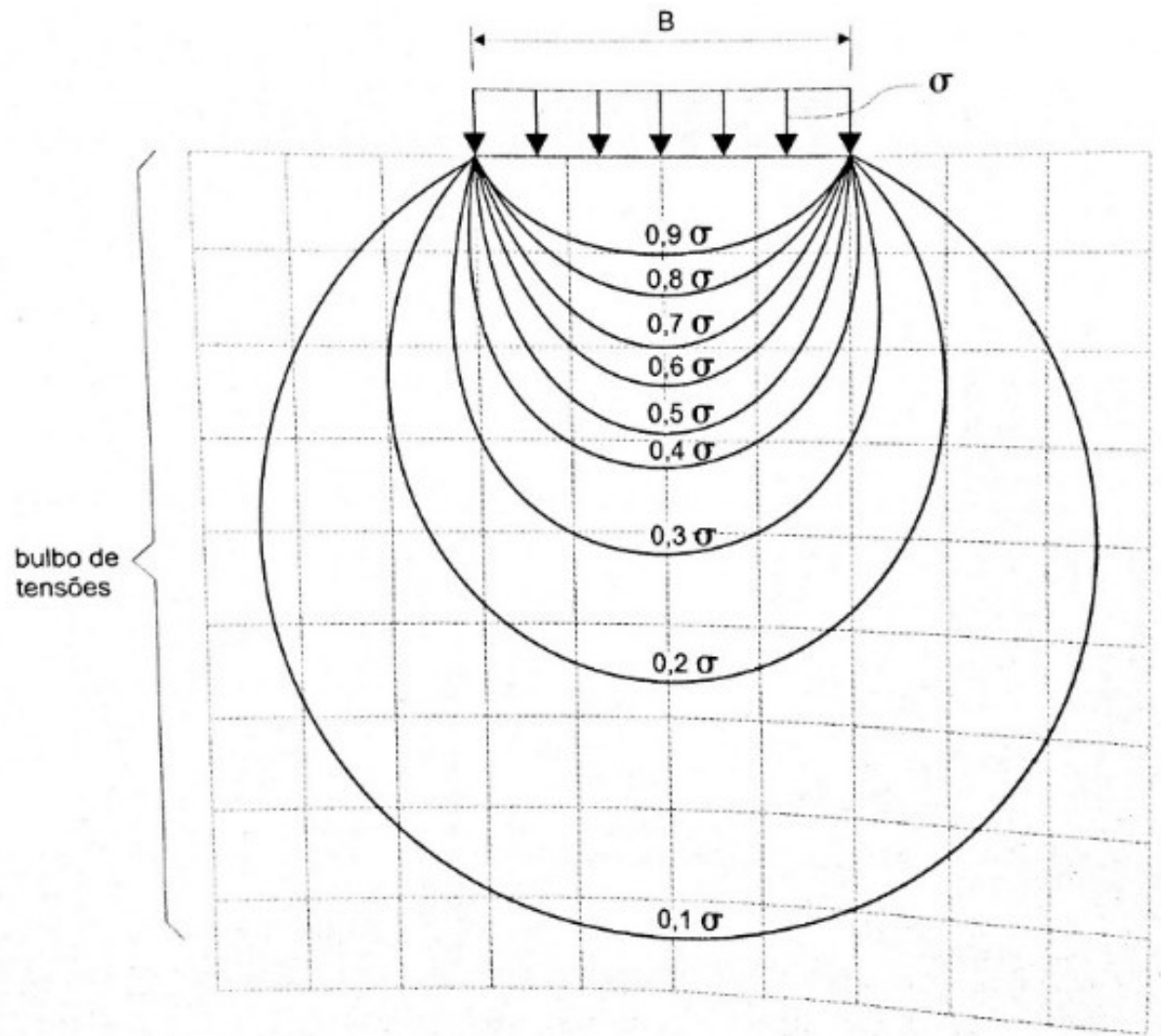
- 1) **Rigidez**: quanto mais rígido → ruptura geral;
- 2) **Geometria do carregamento - profundidade relativa (h/B)**: quanto maior a profundidade → ruptura por puncionamento;
- 3) **Geometria do carregamento – geometria em planta (L/B)**: não apresenta clareza;
- 4) **Excentricidade e inclinação da carga.**

4. BULBO DE TENSÕES

TENSÃO SOB A SAPATA VARIA COM A PROFUNDIDADE

Isóbara: Lugar geométrico dos pontos que sofrem o mesmo acréscimo de tensão.

Curvas isobáricas



4. BULBO DE TENSÕES

Profundidade do bulbo de tensões:

- Sapata circular ou quadrada ($L = B$) $\rightarrow z = 2B$
- Sapata retangular ($L = 2$ a $4 B$) $\rightarrow z = 3B$
- Sapata corrida ($L \geq 5B$) $\rightarrow z = 4B$

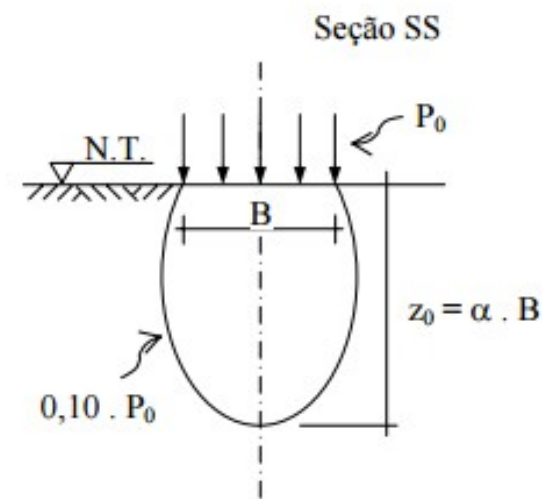
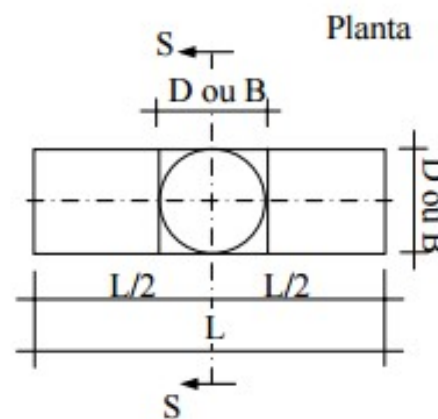
“Para efeito da capacidade de carga e determinação dos parâmetros do solo não importa o solo que estiver além da profundidade $z = 2B$.”

4. BULBO DE TENSÕES

Aplicações práticas do conceito de bulbo de pressões (BARATA, 1993)

Pelos resultados experimentais e pelas expressões de $\Delta\sigma'_v = \sigma_z$ para o caso de áreas carregadas, pode-se depreender que, quanto maiores às dimensões da fundação, maiores serão as tensões a uma dada profundidade, ou, em outras palavras, quanto maiores às dimensões da placa carregada, maior a massa de terra afetada pelo bulbo de pressões. Inicialmente, convém que se saiba que o bulbo de pressões atinge uma profundidade $Z_0 = \alpha \cdot B$, conforme esta representado na figura 7.29, sendo B a largura (menor dimensão) da área carregada e α um fator que depende da forma desta área. Valores de α são fornecidos na tabela na mesma figura, calculados pela teoria da elasticidade, para o caso de base à superfície do terreno (no caso de base abaixo da superfície, os valores de α serão menores que os da tabela, deles não diferindo substancialmente, todavia). Em solos arenosos os valores da tabela deverão ser acrescidos de aproximadamente 20%.

Forma de área carregada	α	
Circular ou quadrada ($L/B=1$)	~ 2,0	
Retangular $L \cdot B$	1,5	~ 2,5
	2	~ 3,0
	3	~ 3,54
	4	~ 4,0
	5	~ 4,25
	10	~ 5,25
20	~ 5,50	
Infinitamente longa	∞	~ 6,50



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ABEF/ABMS (1996) Fundações - Teoria e Prática. São Paulo: Pini, 1998. 751 p.
- 2) ALONSO, U. R. Exercícios de fundações. São Paulo: Blucher, 2010.
- 3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122:2010 – Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- 4) REBELO, Y. C. P. Fundações – guia prático de projeto, execução e dimensionamento. São Paulo: Zigurate, 2008.
- 5) VELLOSO, D. & LOPES, F. R. Fundações. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 568 p.
- 6) CINTRA, J. C. A, AOKI N., ALBIERO, J. H. Fundações diretas: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de textos, 2011.
- 7) Material de aula do professor Marcelo Medeiros – UFPR.
- 8) Material de aula do professor Douglas Bittencourt – PUC Goiás.
- 9) Material de aula do professor Sérgio Paulino Mourthé – Faculdades Kennedy.