



Eurocódigo 7 – Parte 1

Projecto geotécnico – Regras gerais

Rui Correia
LNEC



Sumário

- Enquadramento, objectivo e programa do EC 7
- Relevância do EC 7 em Portugal
- Algumas especificidades dos materiais geotécnicos
- **Apresentação geral do EC 7-1**
- Anexo Nacional
- Conclusão



Enquadramento do EC 7

Normalização em eng.^a geotécnica

Finalidade

- Garantia de qualidade - estabelecimento de parâmetros objectivos para a definição, avaliação e certificação da qualidade
- Estabelecimento de bases harmonizadas para a cooperação e entendimento entre todas as entidades envolvidas (autoridade, dono de obra, projectista, empreiteiro, gestão da qualidade, controlo técnico)

Tipos de normas

- Normas de materiais
- **Normas de projecto**
- Normas de execução de obras
- Normas de observação e controlo da segurança



Enquadramento do EC 7

Normalização em eng.^a geotécnica

Normas de materiais

- Prospeção geotécnica e ensaios (de campo e de laboratório) de caracterização de terrenos [CEN/TC 341, ISO/TC 182]
- Geossintéticos (normas de ensaio, normas de exigência de características) [CEN/TC 189, ISO/TC 221]

Normas de execução de trabalhos geotécnicos especiais [CEN/TC 288]

- Estacas moldadas
- Ancoragens
- Paredes moldadas
- Estacas prancha
- Estacas cravadas
- Tratamento de terrenos
- “Jet-grouting”
- Micro-estacas
- Aterros reforçados



Programa do EC 7- Projecto geotécnico

Objectivo

- *o EC 7 aplica-se aos aspectos geotécnicos do projecto de edifícios e de outras obras de engenharia civil*

A “transversalidade” do EC 7

- todos os projectos de obras de engenharia civil têm aspectos geotécnicos (embora o seu grau de relevância seja muito variável)
- é no EC 7 (e não no EC 1) que são definidas as acções geotécnicas (*acções transmitidas à estrutura pelo terreno, por um aterro, por água livre ou por água do terreno*)



Programa do EC 7- Projecto geotécnico

Parte 1: Regras gerais (EN 1997-1)

- base geral dos aspectos geotécnicos do projecto de obras de engenharia civil

Parte 2: Caracterização geotécnica – Prospeção e ensaios (EN 1997-2)

- requisitos relativos ao planeamento, à realização e à interpretação dos resultados obtidos nos estudos de caracterização geotécnica para apoio ao projecto



Programa do EC 7- Projecto geotécnico

Parte 1: Regras gerais

- bases do projecto geotécnico
 - cumprimento de requisitos de segurança estrutural, aptidão para a utilização e durabilidade
 - valores característicos e valores de cálculo das variáveis básicas: acções, propriedades dos materiais e dados geométricos
 - definição das acções geotécnicas
- regras gerais para os estudos de caracterização geotécnica
- princípios e regras para o projecto dos principais tipos de obras geotécnicas

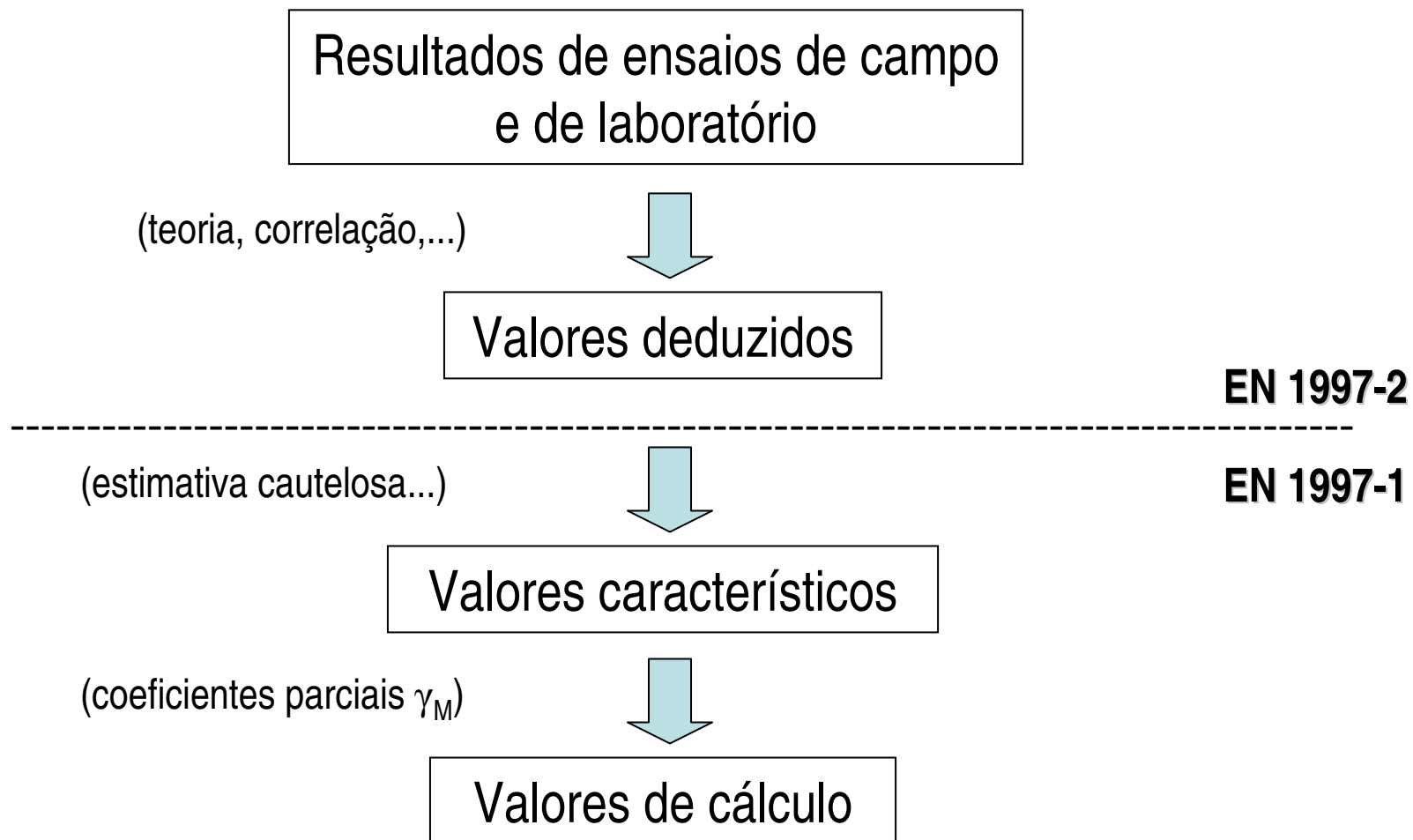


Programa do EC 7- Projecto geotécnico

Parte 2: Caracterização geotécnica

- princípios e regras relativos a
 - planeamento dos estudos de caracterização geotécnica (prospecção e ensaios) para apoio ao projecto
 - requisitos gerais para os ensaios mais comuns de campo e de laboratório
 - interpretação dos resultados dos ensaios, tendo em vista a determinação de valores deduzidos dos parâmetros geotécnicos

Propriedades dos terrenos





Relevância do EC 7 em Portugal

Não existe em Portugal nenhum regulamento ou norma com o objecto do EC 7 (aspectos geotécnicos do projecto de obras de engenharia civil, em geral)

No domínio do projecto geotécnico há contudo a referir:

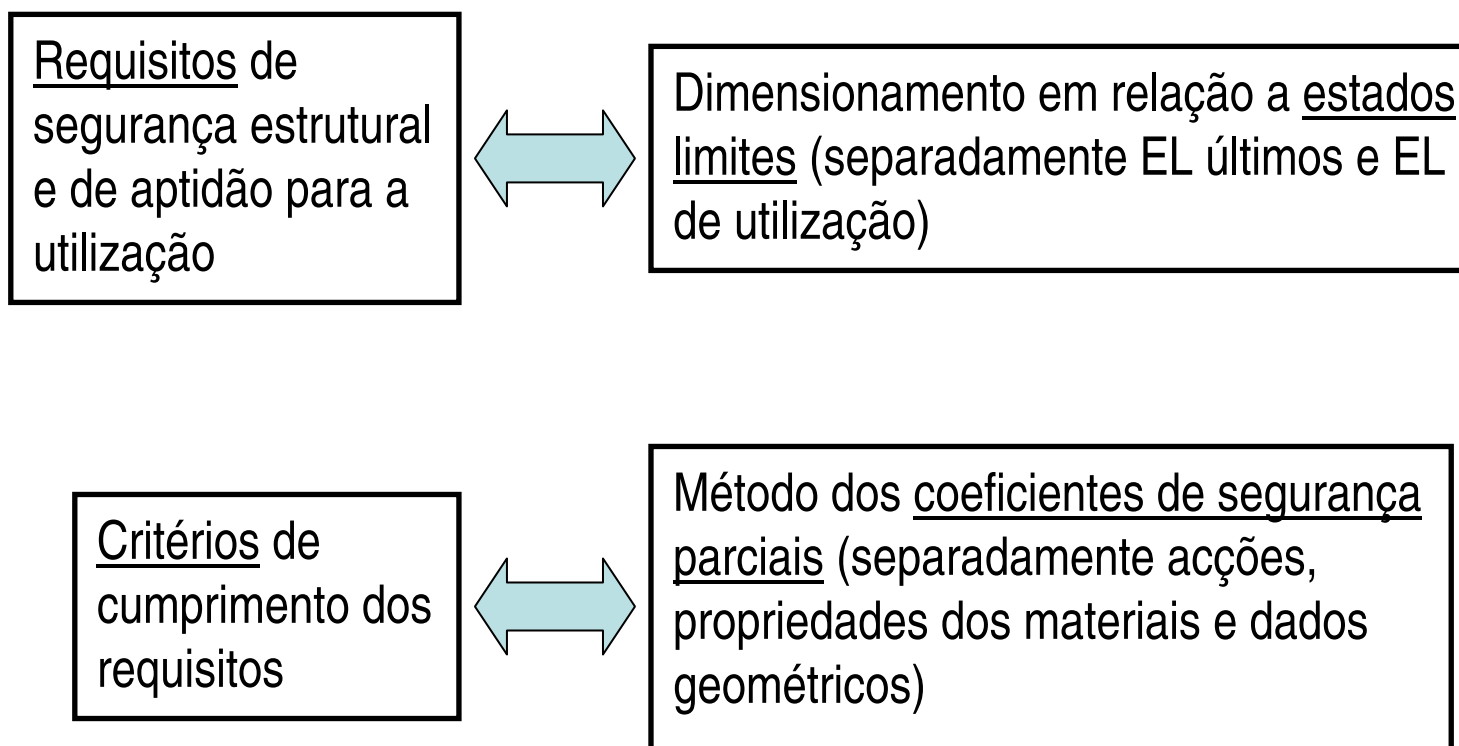
- algumas especificações do LNEC, como “Fundações directas correntes – Recomendações” (1968)
- Normas de Projecto de Barragens (1993), complementar do Regulamento de Segurança de Barragens (1990)
- Regulamento de Pequenas Barragens (1993)
- “Recomendações na área da geotecnia” (2004), da EGOE



Relevância do EC 7 em Portugal

- A prática corrente do projecto geotécnico em Portugal é ainda preponderantemente a seguinte:
 - utilização de um coeficiente de segurança global (CSG) como critério de cumprimento do requisito de segurança estrutural
 - recurso frequente ao CSG como critério indirecto de cumprimento do requisito de aptidão para a utilização (exemplo: fundações)
- O EC 7 (juntamente com o EC 0 e o EC 8) vem estabelecer, para os aspectos geotécnicos dos projectos, uma metodologia (requisitos e critérios) e uma terminologia idênticas às utilizadas para os aspectos estruturais

EC 7 – Requisitos e Critérios





Algumas especificidades dos materiais geotécnicos

- com excepção dos materiais de aterro, ocorrem em maciços naturais
→ maior incerteza na caracterização
- reologia dos solos: dilatância, viscosidade, anisotropia, ...
- maciços rochosos: influência das descontinuidades
- solos: meios trifásicos
 - influência das pressões intersticiais na resistência e na deformabilidade
 - forças de percolação, que podem causar roturas hidráulicas
 - interacção entre a deformação do esqueleto sólido e o escoamento da água e do ar dos poros



Secções do EC 7-1

- 1 – Generalidades
- 2 – Bases do projecto geotécnico
- 3 – Dados geotécnicos
- 4 – Supervisão da construção, observação e manutenção
- 5 – Aterros, rebaixamento freático e melhoramento ou reforço do terreno
- 6 – Fundações superficiais

- 7 – Fundações por estacas
- 8 – Ancoragens
- 9 – Estruturas de suporte
- 10 – Rotura hidráulica
- 11 – Estabilidade global
- 12 – Aterros



Anexos do EC 7-1

Anexo	Tipo	Título
A	Normativo	Coeficientes parciais e de correlação para estados limites últimos e valores recomendados
B	Informativo	Informação básica sobre os coeficientes parciais a utilizar nas Abordagens de Cálculo 1, 2 e 3
C	Informativo	Exemplos de procedimentos para a determinação de pressões de terras
D	Informativo	Exemplo de um método analítico de cálculo da capacidade resistente do terreno ao carregamento
E	Informativo	Exemplo de um método semi-empírico para a estimativa da capacidade resistente do terreno ao carregamento
F	Informativo	Exemplos de métodos de avaliação do assentamento
G	Informativo	Exemplo de um método para a determinação da capacidade resistente presumida do terreno de fundações superficiais em rocha
H	Informativo	Valores limites da deformação estrutural e dos movimentos das fundações
J	Informativo	Lista de verificação para a supervisão da construção e a observação do comportamento



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

- Requisitos de projecto
- Situações de projecto
- Durabilidade
- Dimensionamento geotécnico com base no cálculo
- Dimensionamento por medidas prescritivas
- Ensaios de carga e ensaios em modelos experimentais
- Método observacional
- Relatório do projecto geotécnico



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Requisitos de projecto

A verificação de que, em qualquer situação de projecto, nenhum estado limite é excedido, pode ser efectuada:

- por cálculos
- por medidas prescritivas
- por (ou com apoio de) modelos experimentais ou ensaios de carga
- pelo método observacional



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Requisitos de projecto

- *Tendo em vista o estabelecimento de requisitos mínimos no que respeita à quantidade e à qualidade*
 - *dos estudos de caracterização geotécnica*
 - *dos cálculos*
 - *e dos procedimentos de controlo da construção*

devem ser identificados a complexidade de cada projecto geotécnico e os riscos que lhe estão associados
- *A fim de estabelecer requisitos de projecto geotécnico poderão ser introduzidas três Categorias Geotécnicas, 1, 2 e 3 (por ordem crescente de complexidade/risco)*



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Categoria Geotécnica 1

Inclui apenas estruturas

- pequenas e relativamente simples
- com risco negligenciável

São considerados suficientes

- estudos de caracterização qualitativos
- procedimentos simplificados no projecto e na construção



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Categoria Geotécnica 2

- Inclui os tipos correntes de estruturas e de fundações que não envolvam nem riscos fora do comum nem condições difíceis do terreno ou do carregamento
- São requeridos geralmente
 - dados geotécnicos de natureza quantitativa
 - dimensionamento por via quantitativa
- Podem ser utilizados procedimentos correntes
 - nos ensaios de campo e de laboratório
 - no projecto e na construção



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Categoria Geotécnica 3

- Inclui as estruturas ou partes de estruturas não abrangidas pelas outras 2 categorias (grande dimensão, risco fora de comum, condições geotécnicas invulgares ou particularmente difíceis, áreas de elevada sismicidade, ...)
- *Nos projectos de estruturas da Categoria Geotécnica 3 deverão normalmente ser utilizadas disposições e regras alternativas às da presente Norma*

Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Orientação para a atribuição da Categoria Geotécnica

Anexo Nacional (informação complementar)		Classe de consequências (CC)		
		1	2	3
Complexidade do projecto geotécnico	Elevada	CG 2	CG 3	CG 3
	Média	CG 2	CG 2	CG 3
	Baixa	CG 1	CG 2	CG 2



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Dimensionamento geotécnico com base no cálculo

- Envolve
 - *acções*
 - *propriedades de solos, de rochas e de outros materiais*
 - *grandezas geométricas*
 - *valores limite das deformações, etc. (ELUt)*
 - *modelos de cálculo (de acções, de efeitos de acções, de capacidades resistentes)*
- *O conhecimento das propriedades do terreno e o controlo da qualidade da execução são mais importantes para satisfazer os requisitos fundamentais do que a precisão dos modelos de cálculo e dos coeficientes de segurança parciais*



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Acções

- Acção geotécnica: *acção transmitida à estrutura pelo terreno, por um aterro, por água livre ou por água do terreno*. Pode ser um conjunto de forças (p.e. impulso de terras) ou um conjunto de deformações impostas (p.e. assentamentos diferenciais)
- Devem ser objecto de especial atenção:
 - as acções repetidas ou de intensidade variável (pelas eventuais implicações na degradação das propriedades dos terrenos)
 - as acções transmitidas pela água do terreno ou por água livre



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Valor característico de parâmetros geotécnicos

- *A escolha dos valores característicos dos parâmetros geotécnicos deve ser baseada em valores deduzidos obtidos de ensaios de laboratório e de campo, complementados por experiência*
- *Nos casos em que tal seja necessário devem ser aplicados coeficientes de calibração para converter resultados de ensaios de laboratório e de campo em valores representativos do comportamento do solo e da rocha*
- *O valor característico de um parâmetro geotécnico deve ser escolhido de forma a constituir uma estimativa cautelosa do valor que condiciona a ocorrência do estado limite em consideração*
- *Se se utilizarem métodos estatísticos, o valor característico deverá ser deduzido de forma a que a probabilidade calculada de que o valor que condiciona a ocorrência do estado limite em consideração seja mais desfavorável não exceda 5 %*

Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

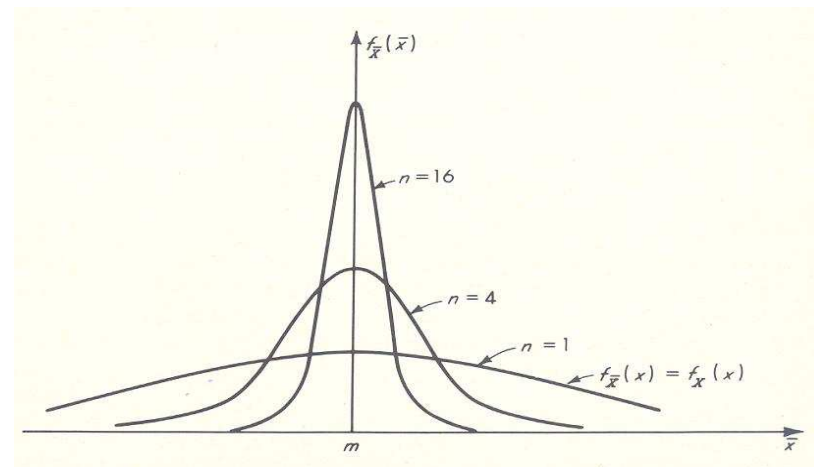
Valor característico de parâmetros geotécnicos

- No projecto geotécnico o “valor que condiciona” é muitas vezes uma média espacial do valor pontual do parâmetro em causa
- Nesse caso, e uma vez que a variância da média espacial diminui com a extensão, o valor característico do parâmetro depende da extensão da zona de terreno que condiciona o comportamento da obra, na situação de projecto e no estado limite em análise (não é, pois, um valor intrínseco)



$$R = \sum (X_i l_i) = \sum (X_i l/n) = l (\sum X_i)/n = l X_m$$

$$\text{Var}[X_m] = 1/n \text{Var}[X]$$



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Valor de cálculo de parâmetros geotécnicos

- Os valores de cálculo dos parâmetros geotécnicos devem
 - ser obtidos a partir dos valores característicos
$$X_d = X_k / \gamma_M$$
 - ou ser avaliados directamente

Anexo Nacional (informação complementar)

- *No caso de aplicação do coeficiente parcial γ_M ao valor característico superior de um parâmetro de resistência do terreno os valores de γ_M a adoptar devem ser os inversos dos valores indicados no Anexo A da presente Norma e neste Anexo Nacional. Tal poderá suceder, por exemplo, na determinação de certas acções exercidas pelo terreno (como seja o atrito lateral negativo) sobre estacas carregadas axialmente*

Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Tipos de estados limites últimos a considerar no projecto geotécnico

- perda de equilíbrio – EQU

- rotura estrutural – STR

- rotura do terreno – GEO

projecto
estrutural

tratados no EC 0
e no EC 7-1

- levantamento global – UPL

- rotura hidráulica – HYD

tratados apenas
no EC 7-1

Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

ELU de perda de equilíbrio (EQU)

- *perda de equilíbrio da estrutura ou do terreno, considerados como corpos rígidos, em que as propriedades de resistência dos materiais estruturais e do terreno não têm influência significativa na capacidade resistente*
- *no projecto geotécnico a verificação EQU limitar-se-á a um número reduzido de casos, tais como fundações rígidas assentes em rocha (exemplo: derrubamento de muro de suporte)*
- Critério: $E_{dst,d} \leq E_{stb,d} + T_d$

$$E_{dst,d} = E\{\gamma_F F_{rep} ; X_k/\gamma_M ; a_d\}_{dst}$$

$$E_{stb,d} = E\{\gamma_F F_{rep} ; X_k/\gamma_M ; a_d\}_{stb}$$



Estados limites últimos em situações persistentes ou tr. Valores dos coeficientes parciais – acções

		EC 0/EC 7			EC 7	
		EQU	STR/GEO		UPL	HYD
			A1	A2		
γ_F (γ_E)	$\gamma_{G;sup}$	1,10	1,35	1,00	1,00	1,35
	$\gamma_{G;inf}$	0,90	1,00	1,00	0,90	0,90
	γ_Q	1,50	1,50	1,30	1,50	1,50



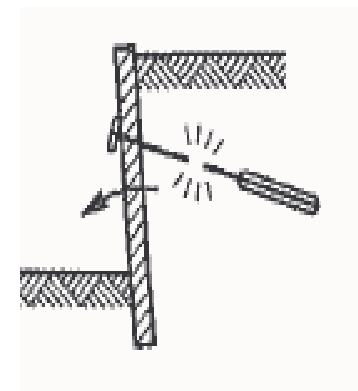
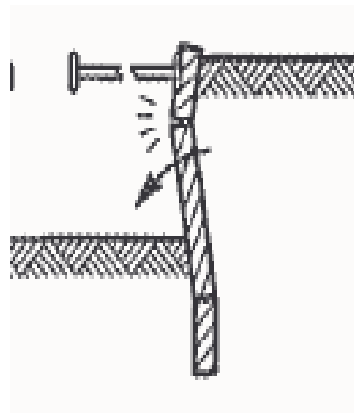
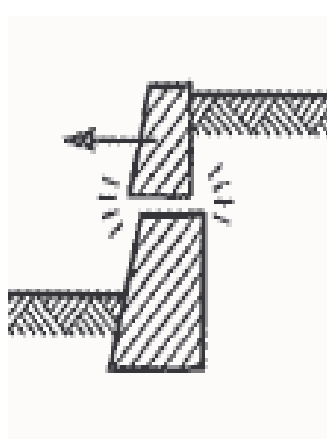
Estados limites últimos em situações persistentes ou tr. Valores dos coeficientes parciais – propriedades (Anexo A)

		EQU	STR/GEO		UPL	HYD
			M1	M2		
γ_M	$\gamma_{\phi'}$	1,25	1,00	1,25	1,25	---
	$\gamma_{c'}$	1,25	1,00	1,25	1,25	---
	γ_{cu}	1,40	1,00	1,40	1,40	---
	γ_{qu}	1,40	1,00	1,40	---	---
	γ_{γ}	1,00	1,00	1,00	1,00	---

Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

ELU de rotura estrutural (STR)

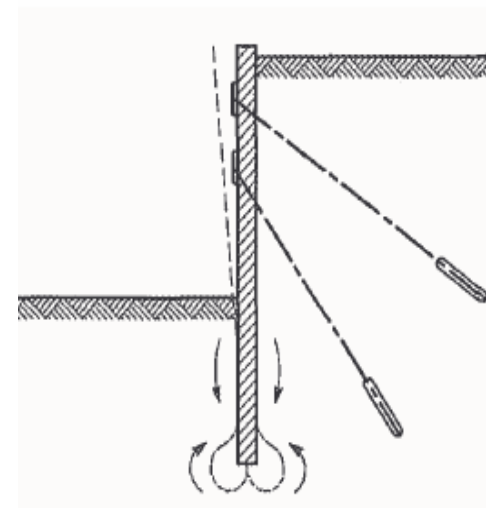
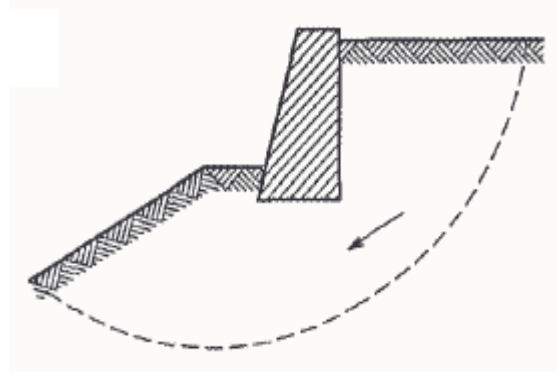
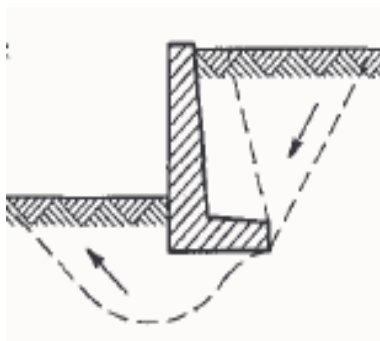
- *rotura interna ou deformação excessiva da estrutura ou de elementos estruturais (incluindo, por exemplo, sapatas, estacas ou muros de caves), em que as propriedades de resistência dos materiais estruturais têm influência significativa na capacidade resistente*



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

ELU de rotura do terreno (GEO)

- rotura ou deformação excessiva do terreno, em que as propriedades de resistência do solo ou da rocha têm influência significativa na capacidade resistente



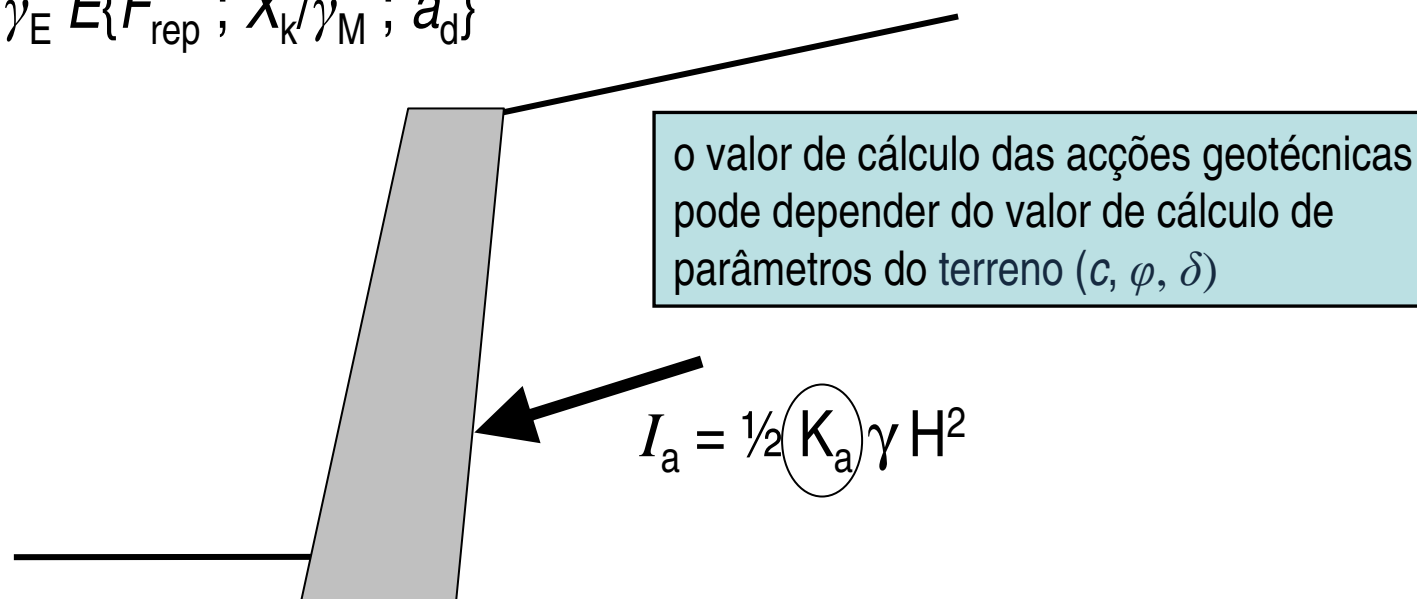
Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

ELU de rotura estrutural ou de rotura do terreno (STR/GEO)

- Critério: $E_d \leq R_d$

$$E_d = E\{\gamma_F F_{rep}; X_k/\gamma_M; a_d\}$$

$$E_d = \gamma_E E\{F_{rep}; X_k/\gamma_M; a_d\}$$



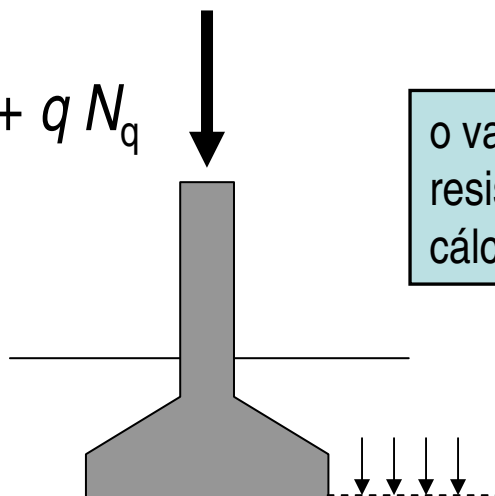
Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

ELU de rotura estrutural ou de rotura do terreno (STR/GEO)

- Critério: $E_d \leq R_d$

$$R_d = R\{\gamma_F F_{rep}; X_k/\gamma_M; a_d\} / \gamma_R$$

$$R = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + q N_q$$



o valor de cálculo da capacidade resistente pode depender do valor de cálculo das acções

Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

ELU de rotura estrutural ou de rotura do terreno (STR/GEO)

Situações de projecto persistentes ou transitórias

- A aplicação das equações para a determinação de E_d e de R_d é efectuada recorrendo a uma de três abordagens de cálculo alternativas, utilizando diferentes conjuntos de valores de coeficientes parciais para as acções (A), para as propriedades dos materiais (M) e para as capacidades resistentes (R)
 - Abordagem de cálculo 1 (2 combinações)
 - Abordagem de cálculo 2
 - Abordagem de cálculo 3

Anexo Nacional (NDP)

- *Em Portugal, as verificações respeitantes a estados limites últimos de rotura estrutural ou de rotura do terreno (STR/GEO) em situações persistentes ou transitórias devem ser efectuadas utilizando a Abordagem de Cálculo 1*

Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

ELU de rotura estrutural ou de rotura do terreno (STR/GEO)

Situações de projecto persistentes ou transitórias

		AC 1 - C 1		AC 1 - C 2		AC 2		AC 3	
		Geral	Estacas e ancor.	Geral	Estacas e ancor.	Proc. 1	Proc. 2	Acções geotéc.	Acções estrut.
E_d	γ_F	A1	A1	A2	A2	A1	---	A2	A1*
	γ_E	---	---	---	---	---	A1	---	---
	γ_M	M1=1	M1=1	M2	M2	M1=1	M1=1	M2	---
R_d	γ_F	A1	A1	A2	A2	A1	= 1	A2	A1*
	γ_M	M1=1	M1=1	M2	M1=1	M1=1	M1=1	M2	
	γ_R	R1=1	R1>1	R1=1	R4>1	R2>1	R2>1	R3=1**	



Estados limites últimos em situações persistentes ou tr. Valores dos coeficientes parciais – acções

		EC 0/EC 7			EC 7	
		EQU	STR/GEO		UPL	HYD
			A1	A2		
γ_F (γ_E)	$\gamma_{G;sup}$	1,10	1,35	1,00	1,00	1,35
	$\gamma_{G;inf}$	0,90	1,00	1,00	0,90	0,90
	γ_Q	1,50	1,50	1,30	1,50	1,50



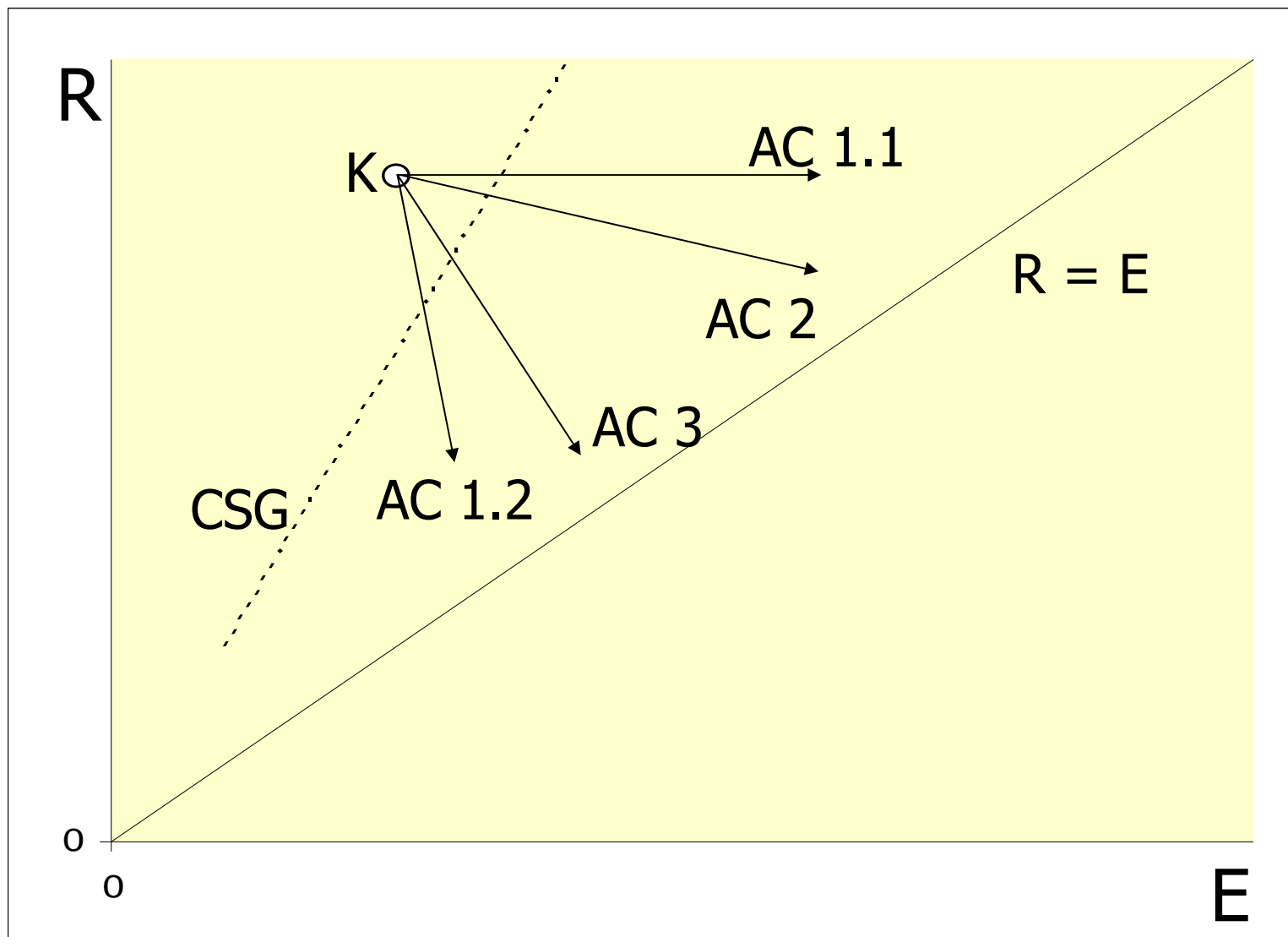
Estados limites últimos em situações persistentes ou tr. Valores dos coeficientes parciais – propriedades (Anexo A)

		EQU	STR/GEO		UPL	HYD
			M1	M2		
γ_M	$\gamma_{\phi'}$	1,25	1,00	1,25	1,25	---
	$\gamma_{c'}$	1,25	1,00	1,25	1,25	---
	γ_{cu}	1,40	1,00	1,40	1,40	---
	γ_{qu}	1,40	1,00	1,40	---	---
	γ_{γ}	1,00	1,00	1,00	1,00	---



ELU de rotura estrutural ou de rotura do terreno (STR/GEO)

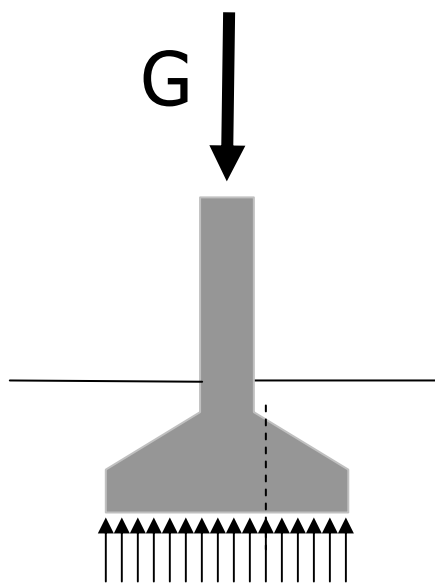
Situações de projecto persistentes ou transitórias



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

ELU de rotura estrutural ou de rotura do terreno (STR/GEO)

Exemplo de aplicação da AC 1



STR (flexão)

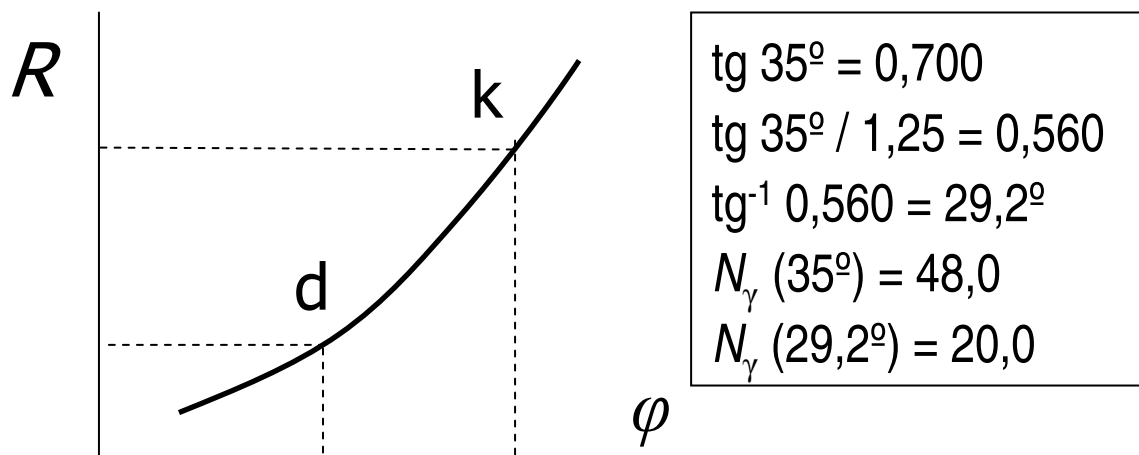
$$\text{Comb. 1} - E(1,35 G) \leq R_d \quad \leftarrow$$

$$\text{Comb. 2} - E(1,00 G) \leq R_d$$

GEO (capac. resistente – carregam. do terreno)

$$\text{Comb. 1} - E(1,35 G) \leq R(\text{tg } \varphi_k / 1,00)$$

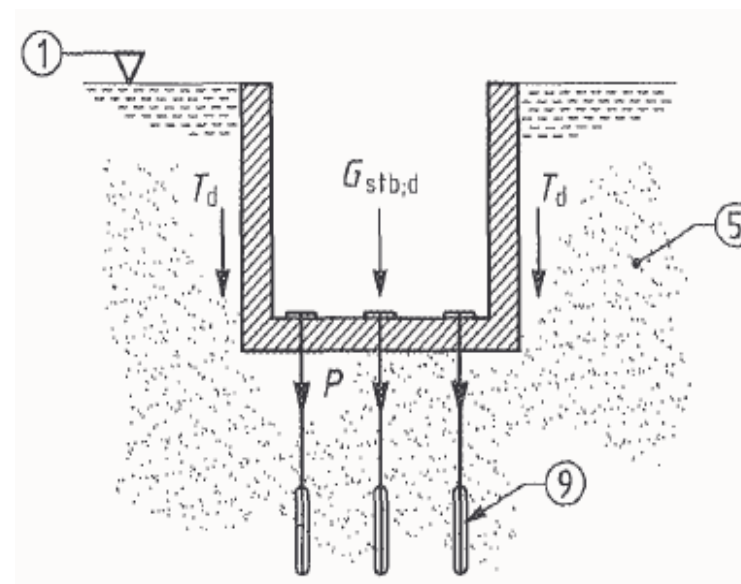
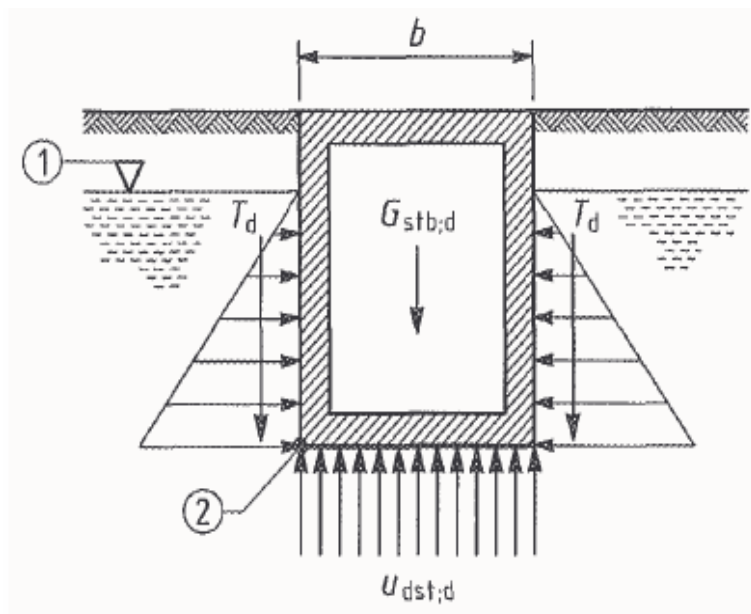
$$\text{Comb. 2} - E(1,00 G) \leq R(\text{tg } \varphi_k / 1,25) \quad \leftarrow$$



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

ELU de levantamento global (UPL)

- perda de equilíbrio da estrutura ou do terreno devida a levantamento global originado por pressão da água (flutuação) ou por outras acções verticais



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

ELU de levantamento global (UPL)

- Critério: $G_{dst,d} + Q_{dst,d} \leq G_{stb,d} + R_d$

Anexo Nacional (informação complementar)

- *Em 2.4.7.4(2), 10.2(2)P e 10.2(3) é feita referência a uma forma alternativa de contabilizar eventuais capacidades resistentes adicionais em verificações respeitantes a estados limites de levantamento global (UPL). Em Portugal não é permitida a utilização dessa forma alternativa, ou seja, as capacidades resistentes adicionais que eventualmente existam devem sempre ser contabilizadas como tal, recorrendo aos valores dos coeficientes parciais que constam do Quadro A.16 do Anexo A, e não como acções verticais permanentes estabilizantes*



Estados limites últimos em situações persistentes ou tr. Valores dos coeficientes parciais – acções

		EC 0/EC 7			EC 7	
		EQU	STR/GEO		UPL	HYD
			A1	A2		
γ_F (γ_E)	$\gamma_{G;sup}$	1,10	1,35	1,00	1,00	1,35
	$\gamma_{G;inf}$	0,90	1,00	1,00	0,90	0,90
	γ_Q	1,50	1,50	1,30	1,50	1,50



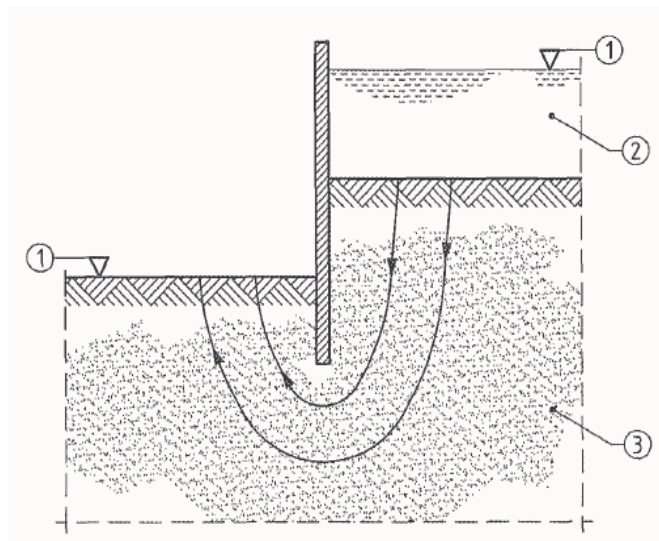
Estados limites últimos em situações persistentes ou tr. Valores dos coeficientes parciais – propriedades (Anexo A)

		EQU	STR/GEO		UPL	HYD
			M1	M2		
γ_M	$\gamma_{\phi'}$	1,25	1,00	1,25	1,25	---
	$\gamma_{c'}$	1,25	1,00	1,25	1,25	---
	γ_{cu}	1,40	1,00	1,40	1,40	---
	γ_{qu}	1,40	1,00	1,40	---	---
	γ_{γ}	1,00	1,00	1,00	1,00	---

Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

ELU de rotura causada por gradientes hidráulicos (HYD)

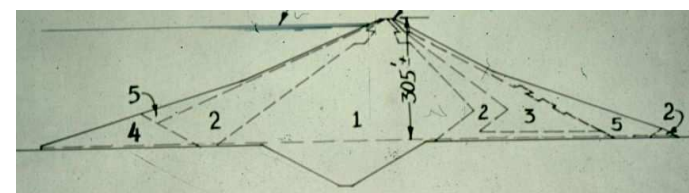
- levantamento hidráulico, erosão interna ou erosão tubular no terreno causados por gradientes hidráulicos



Levantamento hidráulico



Erosão tubular (barragem de Teton, EUA, 1976)





Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Levantamento hidráulico

- Critério: para qualquer coluna de solo

$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \quad \underline{\text{ou}} \quad S_{dst;d} \leq G'_{stb;d}$$

- pressão na água dos poros (desestabilizante) \leq tensão total (estabilizante)
- força vertical de percolação (desestabilizante) \leq peso submerso (estabilizante)

Anexo Nacional (informação complementar)

- *Em verificações respeitantes ao estado limite último de levantamento hidráulico deverá preferencialmente ser utilizada a expressão (2.9b), que é formulada em termos de força de percolação e de peso submerso. A expressão (2.9a) só é equivalente à expressão (2.9b) se, na determinação dos valores de cálculo da tensão total na base de uma coluna de solo e da pressão na água dos poros na base da mesma coluna, forem criteriosamente aplicados coeficientes parciais diferenciados a certas parcelas dos valores característicos das referidas grandezas. A utilização da expressão (2.9a) sem essa aplicação diferenciada de coeficientes parciais pode traduzir-se numa exigência irrazoavelmente conservadora*



Estados limites últimos em situações persistentes ou tr. Valores dos coeficientes parciais – acções

		EC 0/EC 7			EC 7	
		EQU	STR/GEO		UPL	HYD
			A1	A2		
γ_F (γ_E)	$\gamma_{G;sup}$	1,10	1,35	1,00	1,00	1,35
	$\gamma_{G;inf}$	0,90	1,00	1,00	0,90	0,90
	γ_Q	1,50	1,50	1,30	1,50	1,50



Estados limites últimos em situações persistentes ou tr. Valores dos coeficientes parciais – propriedades (Anexo A)

		EQU	STR/GEO		UPL	HYD
			M1	M2		
γ_M	$\gamma_{\phi'}$	1,25	1,00	1,25	1,25	---
	$\gamma_{c'}$	1,25	1,00	1,25	1,25	---
	γ_{cu}	1,40	1,00	1,40	1,40	---
	γ_{qu}	1,40	1,00	1,40	---	---
	γ_{γ}	1,00	1,00	1,00	1,00	---



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Situações acidentais – ELU STR/GEO

Anexo Nacional (Informação complementar)

- *Contrariamente ao que sucede no caso de situações persistentes ou transitórias, para as quais é em geral necessário considerar duas combinações distintas de conjuntos de valores dos coeficientes parciais (uma vez que é adoptada a Abordagem de Cálculo 1), no caso de situações acidentais há que considerar apenas uma única combinação de conjuntos de valores*

Anexo Nacional (Informação complementar)

- *As expressões (2.5), (2.6a) e (2.7c) aplicam-se a todas as situações de projecto, e não apenas a situações persistentes ou transitórias*

$$E_d \leq R_d$$

$$E_d = E\{\gamma_F F_{rep}; X_k/\gamma_M; a_d\}$$

$$R_d = R\{\gamma_F F_{rep}; X_k/\gamma_M; a_d\} / \gamma_R$$

Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Situações acidentais

Anexo Nacional (NDP)

- *Os valores dos coeficientes parciais para as acções a adoptar em Portugal em verificações respeitantes a estados limites últimos em situações acidentais são os seguidamente indicados*

Acções	Tipo de estado limite			
	EQU	STR/GEO	UPL	Levantamento hidráulico (HYD)
Acções permanentes desfavoráveis	1,0	1,0	1,0	1,2
Acções permanentes favoráveis	1,0	1,0	0,9	0,9
Acções variáveis desfavoráveis	1,0	1,0	1,0	1,0
Acções variáveis favoráveis	0	0	–	–

Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Situações acidentais

Anexo Nacional (NDP)

Os valores dos coeficientes parciais para os parâmetros do terreno a adoptar em Portugal em verificações respeitantes a estados limites últimos em situações acidentais são os seguidamente indicados

Parâmetro do terreno	Tipo de estado limite		
	EQU	STR/GEO	UPL
Ângulo de atrito interno em tensões efectivas	1,25	1,1	1,25
Coesão em tensões efectivas	1,25	1,1	1,25
Resistência ao corte não drenada	1,4	1,15	1,4
Resistência à compressão uniaxial	1,4	1,15	–
Peso volúmico	1,0	1,0	–

Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

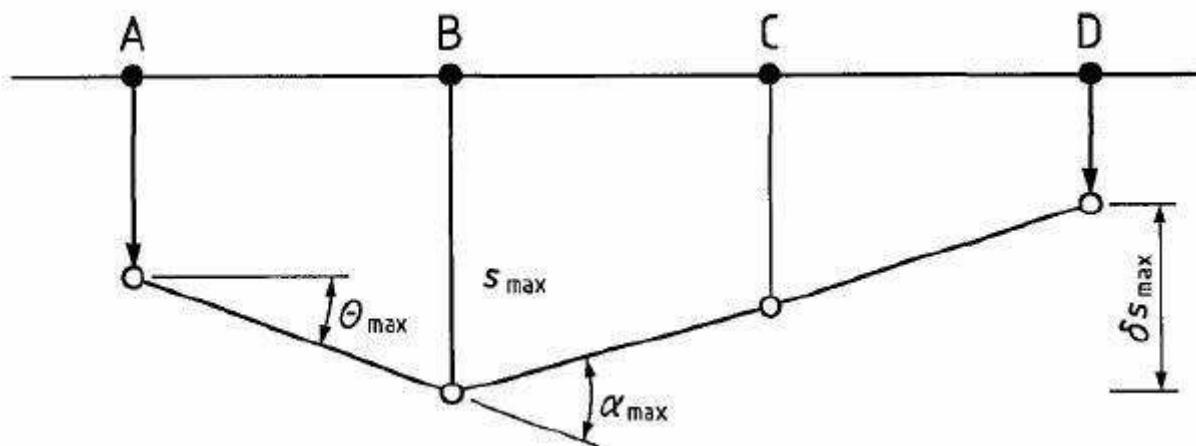
Estados limites de utilização

- Critério: $E_d \leq C_d$ (o valor de cálculo dos efeitos das acções – deslocamentos, rotações, ... – não excede o valor de cálculo dos correspondentes valores limites)
- Os valores dos coeficientes parciais são geralmente unitários em ELUt
- No projecto de fundações devem ser estabelecidos valores limites para os movimentos em geral, e em particular para os movimentos diferenciais
- A definição dos valores limites dos movimentos/deformações de uma estrutura depende de factores tais como a utilização prevista, o tipo e o material da estrutura, o tipo de fundação e de terreno, o modo de deformação, ...

Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Estados limites de utilização

- No Anexo H (informativo) são dadas orientação gerais sobre os valores limites dos movimentos/deformações de estruturas e são apresentadas as definições de alguns termos utilizados neste contexto (assentamento total, assentamento diferencial, rotação, inclinação, deflexão relativa, rotação relativa, etc.)





Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Método observacional

- o projecto é continuamente revisto ao longo da fase construtiva, em função do comportamento observado
- requisitos que devem ser cumpridos antes do início da construção:
 - definição dos limites de admissibilidade do comportamento
 - elaboração de um plano de observação mediante o qual seja possível a deteccção, em tempo oportuno, de qualquer eventual ultrapassagem dos limites estabelecidos, e a adopção, nesse caso, de medidas correctivas adequadas
 - elaboração de um plano de contingência com a definição das medidas correctivas



Secção 2 – Bases do projecto geotécnico

Relatório do Projecto Geotécnico

- *As hipóteses, os dados, os métodos de cálculo e os resultados da verificação da segurança e da aptidão para a utilização devem ser registados no Relatório do Projecto Geotécnico*
- *O nível de pormenorização do Relatório do Projecto Geotécnico pode variar muito, dependendo do tipo de projecto*
- *O Relatório do Projecto Geotécnico deve incluir um plano de supervisão e observação apropriado. Os aspectos que requeiram verificação durante a construção ou que requeiram manutenção após a construção devem ser claramente identificados*
- *Relativamente à observação do comportamento da obra, deverão ser explicitados o objectivo, os locais de medição, a frequência das leituras, o modo como irão ser obtidos os resultados, etc.*



Secção 3 – Dados geotécnicos

- Generalidades
- Estudos de caracterização geotécnica
 - Estudos de caracterização preliminares
 - Estudos de caracterização para o dimensionamento
- Determinação dos parâmetros geotécnicos
- Relatório da Caracterização Geotécnica



Secção 3 – Dados geotécnicos

Determinação dos parâmetros geotécnicos

- identificação
- peso volúmico, índice de compacidade, compactação relativa
- resistência ao corte e rigidez de solos
- qualidade e propriedades de rochas e de maciços rochosos
- parâmetros de permeabilidade e de consolidação de solos e de rochas
- parâmetros geotécnicos obtidos através de ensaios de campo (penetrómetro de cone, SPT, corte rotativo, pressiómetro, etc.)

Secção 3 – Dados geotécnicos

Relatório da Caracterização Geotécnica

- *Os resultados dos estudos de caracterização geotécnica devem ser compilados num Relatório da Caracterização Geotécnica, que deve fazer parte do Relatório do Projecto Geotécnico*
- *O Relatório da Caracterização Geotécnica deverá normalmente consistir*
 - *na apresentação de toda a informação geotécnica disponível, incluindo aspectos geológicos (relato factual dos trabalhos efectuados e documentação sobre os procedimentos utilizados)*
 - *na avaliação, do ponto de vista geotécnico, da informação disponível (revisão dos trabalhos efectuados, revisão dos valores deduzidos atribuídos, eventuais propostas para trabalhos adicionais de campo e/ou de laboratório)*



Secção 4 – Supervisão da construção, observação e manutenção

- Generalidades
- Supervisão
- Verificação das condições do terreno
- Verificação da construção
- Observação
- Manutenção



Secção 4 – Supervisão da construção, observação e manutenção

- *O plano de supervisão deverá especificar o tipo, a qualidade e a frequência da supervisão e estabelecer os limites de admissibilidade para os resultados a obter*
- *O trabalho de construção deve ser objecto de inspecção contínua e os resultados da inspecção devem ser devidamente registados*
- *A observação deve ser efectuada para verificar a validade das previsões de comportamento feitas no projecto e assegurar que o comportamento da estrutura após a sua conclusão continua a estar de acordo com os requisitos*
- *Deve ser especificada a manutenção necessária para garantir a segurança e a aptidão para a utilização da estrutura*



Secção 5 – Aterros, rebaixamento freático e melhoramento ou reforço do terreno

- Generalidades
- Requisitos fundamentais
- Construção de aterros
- Rebaixamento freático
- Melhoramento ou reforço do terreno



Secção 5 – Aterros, rebaixamento freático e melhoramento ou reforço do terreno

Construção de aterros

- *Os critérios de selecção de material adequado para ser utilizado como material de aterro devem basear-se nas características de resistência, rigidez, durabilidade e permeabilidade após compactação. Estes critérios devem ter em consideração a finalidade do aterro e os requisitos das estruturas que nele sejam fundadas*
- *Tendo em vista o desenvolvimento de procedimentos adequados para a compactação deverá ser executado um aterro experimental no local, utilizando o material e o equipamento de compactação previstos para a obra*
- *O aterro deve ser inspeccionado ou ensaiado de modo a assegurar que a natureza dos materiais de aterro, o teor de água de colocação e os procedimentos de compactação cumprem o especificado.*



Secção 5 – Aterros, rebaixamento freático e melhoramento ou reforço do terreno

Rebaixamento freático

- *Qualquer sistema de remoção de água do terreno ou de redução da pressão na água do terreno deve basear-se nos resultados de um estudo de caracterização geotécnica ou hidrogeológica*
- *Poderá ser removida água do terreno por drenagem gravítica, por bombagem em poços, agulhas filtrantes ou furos, ou por electroosmose*
- *A eficiência do rebaixamento freático deve ser verificada através da observação do nível freático, das pressões na água dos poros e dos movimentos do terreno, quando necessário*



Secção 5 – Aterros, rebaixamento freático e melhoramento ou reforço do terreno

Melhoramento ou reforço do terreno

- Antes da escolha ou da utilização de um processo de melhoramento ou de reforço do terreno deve ser efectuado um estudo de caracterização geotécnica das condições iniciais do terreno
- A eficácia do melhoramento do terreno deve ser verificada relativamente aos critérios de aceitação, determinando as alterações produzidas das propriedades do terreno pertinentes



Secção 6 – Fundações superficiais

- Generalidades
- Estados limites
- Acções e situações de projecto
- Considerações de projecto e de construção
- Dimensionamento em relação aos estados limites últimos
- Dimensionamento em relação aos estados limites de utilização
- Fundações em rocha; considerações de projecto adicionais
- Dimensionamento estrutural de fundações superficiais
- Preparação do terreno de fundação

Secção 6 – Fundações superficiais

Generalidades

- *As disposições desta secção aplicam-se a fundações superficiais, incluindo sapatas isoladas, sapatas contínuas e ensoleiramentos gerais*

Estados limites

- Devem ser considerados, entre outros, os seguintes estados limites:
 - *perda de estabilidade global*
 - *rotura por insuficiência de capacidade resistente do terreno ao carregamento, rotura por punçoamento*
 - *rotura por deslizamento*
 - *rotura estrutural, rotura conjunta do terreno e da estrutura*
 - *assentamentos, empolamentos ou vibrações excessivos*



Secção 6 – Fundações superficiais

Métodos de dimensionamento

- *No dimensionamento de fundações superficiais deve ser utilizado um dos seguintes métodos*
 - *método directo, no qual são efectuadas análises separadas para cada um dos estados limites; nas verificações de ELU os cálculos devem modelar de forma tão aproximada quanto possível os mecanismos de rotura considerados; nas verificações de ELUt deve ser efectuado um cálculo de assentamentos*
 - *método indirecto, baseado em experiência comparável e em resultados de ensaios de campo ou de laboratório*
 - *método prescritivo, no qual é utilizada uma capacidade resistente presumida do terreno*

Secção 6 – Fundações superficiais

Capacidade resistente do terreno ao carregamento

- Critério: $V_d \leq R_d$
- Método analítico (ou procedimento numérico, ou método de eq limite)
- Método semi-empírico
- Método (prescritivo) baseado na capacidade resistente ao carregamento presumida do terreno

no Anexo D é apresentado um método analítico

$$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

no Anexo E é apresentado um método semi-empírico

$$R_d/A' = \sigma_{v,0} + k p_{le}^*$$

no Anexo G é apresentado um método prescritivo aplicável a fundações em terreno rochoso

Secção 6 – Fundações superficiais

Capacidade resistente ao deslizamento

- Critério: $H_d \leq R_d + R_{p;d}$
- Condições drenadas: $R_d = (V'_d \operatorname{tg} \delta_d) / \gamma_{R;h}$ (coesão c' desprezada)
- Condições não drenadas: $R_d = (A' c_{u;d}) / \gamma_{R;h}$
- Condições não drenadas: $R_d \leq 0,4 V_d$ (acesso de água ou de ar à superfície de contacto entre a fundação e um solo argiloso subjacente)

Cargas com grandes excentricidades

- *Devem ser tomadas precauções especiais (designadamente no que diz respeito às tolerâncias geométricas) sempre que a excentricidade da carga exceda 1/3 da largura de uma sapata rectangular ou 0,6 do raio de uma sapata circular*



Secção 6 – Fundações superficiais

Estados limites de utilização

- *Os cálculos de assentamentos não deverão ser considerados exactos, constituindo os respectivos resultados apenas uma estimativa aproximada*
- *No caso de argilas moles devem sempre ser realizados cálculos de assentamentos. No caso de fundações em argilas rijas ou duras das CG 2 e 3 deverão em geral ser realizados cálculos de assentamentos.*
- *Os cálculos de assentamentos devem contemplar quer os assentamentos imediatos quer os diferidos (por consolidação e por fluência)*
- *No Anexo F são apresentados métodos para a determinação dos assentamentos imediatos e dos assentamentos por consolidação*
- *Devem ser utilizados modelos lineares ou não lineares da rigidez do terreno, conforme seja mais adequado*



Secção 7 – Fundações por estacas

- Generalidades
- Estados limites
- Acções e situações de projecto
- Métodos de dimensionamento e considerações de projecto
- Ensaios de carga de estacas
- Estacas carregadas axialmente
- Estacas carregadas transversalmente
- Dimensionamento estrutural de estacas
- Supervisão da construção

Secção 7 – Fundações por estacas

Generalidades

- *As disposições desta secção aplicam-se a estacas trabalhando por resistência de ponta, a estacas flutuantes, a estacas à tracção e a estacas carregadas transversalmente, instaladas por cravação, por meio de macacos, por meio de trado ou com extracção do terreno*

Estados limites

- Devem ser considerados, entre outros, os seguintes estados limites:
 - *perda de estabilidade global*
 - *rotura por insuficiência de capacidade resistente do terreno relativamente à compressão ou à tracção das estacas*
 - *rotura do terreno devida a carregamento transversal*
 - *rotura estrutural das estacas (compressão, tracção, flexão, ...)*
 - *deslocamentos excessivos*

Secção 7 – Fundações por estacas

Métodos de dimensionamento

- *O dimensionamento deve basear-se num dos seguintes procedimentos*
 - *utilização de resultados de ensaios de carga estática*
 - *utilização de métodos de cálculo empíricos ou analíticos cuja validade haja sido demonstrada através de ensaios de carga estática em condições comparáveis*
 - *utilização de resultados de ensaios de carga dinâmica cuja validade haja sido demonstrada através de ensaios de carga estática em condições comparáveis*
 - *consideração do comportamento observado de uma fundação por estacas comparável*

Secção 7 – Fundações por estacas

Capacidade resistente à compressão com base em ensaios de carga estática

$$(R_{c;m})_i \rightarrow (R_{c;m})_{\text{mean}}, (R_{c;m})_{\text{min}}$$

$$R_{c;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;m})_{\text{mean}}}{\xi_1}, \frac{(R_{c;m})_{\text{min}}}{\xi_2} \right\} \quad \xi_1, \xi_2 - \text{coef. de correlação}$$

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_t \quad \text{ou} \quad R_{c;d} = R_{b;k} / \gamma_b + R_{s;k} / \gamma_s$$

$\gamma_t, \gamma_b, \gamma_s$ – coef. de segurança parciais para a capacidade resistente total, na ponta e lateral



Secção 7 – Fundações por estacas

Capacidade resistente à compressão directamente com base em resultados de ensaios do terreno

$$(R_{c;cal})_i \rightarrow (R_{c;cal})_{mean}, (R_{c;cal})_{min}$$

$$R_{c;k} = (R_{b;k} + R_{s;k}) = \frac{R_{b;cal} + R_{s;cal}}{\xi} = \frac{R_{c;cal}}{\xi} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;cal})_{mean}}{\xi_3}, \frac{(R_{c;cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

ξ_3, ξ_4 – coef. de correlação

$$R_{c;d} = R_{b;k} / \gamma_b + R_{s;k} / \gamma_s$$

γ_b, γ_s – coef. de segurança parciais para a capacidade resistente na ponta e lateral



Secção 7 – Fundações por estacas

Capacidade resistente à compressão com base em parâmetros de resistência do terreno obtidos de ensaios

$$R_{b;k} = A_b q_{b;k}$$

$$R_{s;k} = \sum A_{s;i} q_{s;i;k}$$

$$R_{c;d} = R_{b;k} / \gamma_b + R_{s;k} / \gamma_s$$

γ_b , γ_s – coef. de segurança parciais para a capacidade resistente na ponta e lateral

Secção 7 – Fundações por estacas

Capacidade resistente à compressão com base em ensaios dinâmicos

$$(R_{c;m})_i \rightarrow (R_{c;m})_{\text{mean}}, (R_{c;m})_{\text{min}}$$

$$R_{c;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;m})_{\text{mean}}}{\xi_5}, \frac{(R_{c;m})_{\text{min}}}{\xi_6} \right\} \quad \xi_5, \xi_6 - \text{coef. de correlação}$$

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_t$$

γ_t – coef. de segurança parcial para a capacidade resistente total



Secção 7 – Fundações por estacas

Capacidade resistente à tracção

- Os procedimentos são idênticos aos da capacidade resistente à compressão, tendo em atenção que neste caso a capacidade resistente total coincide com a lateral

$$R_{b;k} = 0$$

$$R_{t;d} = R_{t;k} / \gamma_{s;t}$$

$\gamma_{s;t}$ — coef. de segurança parcial para a capacidade resistente



Secção 7 – Fundações por estacas

Coeficientes parciais para as capacidades resistentes em situações persistentes ou transitórias (Anexo A)

- Estacas cravadas
- Estacas instaladas com extracção do terreno
- Estacas instaladas com trado

Valor único
para UPL: 1,4

Valores dos coeficientes para estacas instaladas com extracção do terreno (STR/GEO)

<i>Capacidade resistente</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Conjunto</i>			
		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>
<i>Na ponta</i>	γ_b	1,25	1,1	1,0	1,6
<i>Lateral (compressão)</i>	γ_s	1,0	1,1	1,0	1,3
<i>Total/combinada (compressão)</i>	γ_t	1,15	1,1	1,0	1,5
<i>Lateral (tracção)</i>	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Secção 7 – Fundações por estacas

Coeficientes parciais para as capacidades resistentes na verificação de ELU em situações acidentais

Anexo Nacional (NDP)

- *Os valores dos coeficientes parciais para as capacidades resistentes a adoptar em Portugal em verificações respeitantes a estados limites últimos em situações acidentais são os seguidamente indicados*

Estruturas ou elementos estruturais	Capacidade resistente	Tipo de estado limite	
		STR/GEO	UPL
Estacas instaladas com extracção do terreno	Na ponta	1,3	–
	Lateral (compressão)	1,15	–
	Total (compressão)	1,25	–
	Lateral (tracção)	1,3	1,2

Secção 7 – Fundações por estacas

Coefficientes de modelo – Estacas à compressão

Anexo Nacional (NDP)

- *Na determinação dos valores de cálculo das capacidades resistentes de estacas à compressão a partir de parâmetros de resistência do terreno em verificações respeitantes a estados limites últimos de rotura estrutural ou de rotura do terreno (STR/GEO) deve ser introduzido um coeficiente de modelo com o valor $\gamma_{R;d} = 1,5$. A determinação desses valores de cálculo deve ser efectuada através de:*

$$R_{c;d} = R_{b;k}/(\gamma_b \gamma_{R;d}) + R_{s;k}/(\gamma_s \gamma_{R;d})$$

Secção 7 – Fundações por estacas

Coefficientes de modelo – Estacas à tracção

Anexo Nacional (NDP)

- *Na determinação dos valores de cálculo das capacidades resistentes de estacas à tracção a partir de parâmetros de resistência do terreno em verificações respeitantes a estados limites últimos de rotura estrutural ou de rotura do terreno (STR/GEO) ou a estados limites de levantamento global (UPL) deve ser introduzido um coeficiente de modelo com o valor $\gamma_{R;d} = 1,5$. A determinação desses valores de cálculo deve ser efectuada através de:*

$$R_{t;d} = R_{t;k} / (\gamma_{s;t} \gamma_{R;d})$$

Secção 7 – Fundações por estacas

Coeficientes de correlação para ensaios de carga estáticos

Anexo A

ξ para $n =$	1	2	3	4	≥ 5
ξ_1	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
ξ_2	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00

Anexo Nacional (NDP)

- *Os valores a adoptar em Portugal dos coeficientes de correlação para a determinação de valores característicos da capacidade resistente de estacas à compressão ou à tracção a partir de resultados de ensaios de carga estática são os seguidamente indicados. Estes valores diferem dos recomendados apenas no que diz respeito ao coeficiente ξ_1 .*

ξ para $n =$	1	2	3	4	≥ 5
ξ_1	1,40	1,35	1,33	1,31	1,30
ξ_2	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00



Secção 7 – Fundações por estacas

Avaliação da capacidade resistente ao carregamento transversal

- Com base em ensaios de carga transversal de estacas
(não é normalmente necessário atingir um estado de rotura)
- Com base em ensaios do terreno e em parâmetros de resistência da estaca
(no caso de estacas longas e esbeltas o cálculo pode ser efectuado recorrendo a um modelo de viga em apoio deformável caracterizado por um módulo de reacção horizontal)



Secção 8 – Ancoragens

- Generalidades
- Estados limites
- Situações de projecto e acções
- Considerações de projecto e de construção
- Dimensionamento em relação aos estados limites últimos
- Dimensionamento em relação aos estados limites de utilização
- Ensaios de adequabilidade
- Ensaios de recepção
- Supervisão e observação

Secção 8 – Ancoragens

Generalidades

- Esta secção aplica-se a ancoragens provisórias ou definitivas utilizadas para, mediante a transmissão de uma força de tracção,
 - apoiar uma estrutura de suporte
 - assegurar a estabilidade de taludes, de escavações ou de túneis
 - resistir a forças de levantamento global em estruturas
- É aplicável aos seguintes tipos de ancoragens
 - ancoragens pré-esforçadas, constituídas por uma cabeça, um comprimento livre da armadura e um comprimento de selagem ao longo do qual se efectua a ligação ao terreno, por meio de calda
 - ancoragens passivas, constituídas por uma cabeça, um comprimento livre da armadura e um dispositivo de ligação ao terreno



Secção 8 – Ancoragens

Estados limites

- Devem ser considerados, entre outros, os seguintes estados limites
 - rotura estrutural da armadura ou da cabeça da ancoragem
 - distorção ou corrosão da cabeça da ancoragem
 - rotura no contacto entre a calda e o terreno ou entre a armadura e a calda (para ancoragens seladas por injeção de calda)
 - insuficiência de capacidade resistente do corpo passivo (para ancoragens com este dispositivo)
 - perda de tracção na ancoragem causada por fluência ou por relaxação

Secção 8 – Ancoragens

Dimensionamento em relação ao ELU de arrancamento

- Critério: $P_d \leq R_{a;d}$
- Valor de cálculo da capacidade resistente: $R_{a;d} = R_{a;k} / \gamma_a$
- *Para ancoragens seladas por injeção de calda e ancoragens com âncora helicoidal, $R_{a;k}$ deve ser determinado com base em ensaios de adequabilidade*
- *Para ancoragens desse tipo deverão ser realizados pelo menos três ensaios para cada condição distinta do terreno e da estrutura*
- *O valor característico $R_{a;k}$ deverá estar relacionado com os resultados dos ensaios através da aplicação de um coeficiente de correlação ξ_a*



Secção 8 – Ancoragens

Ancoragens pré-esforçadas – Valores dos coeficientes parciais para as capacidades resistentes em situações persistentes ou transitórias (Anexo A)

STR/GEO

<i>Capacidade resistente</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Conjunto</i>			
		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>
<i>Provisória</i>	γ_{at}	1,1	1,1	1,0	1,1
<i>Definitiva</i>	γ_{ap}	1,1	1,1	1,0	1,1

Valor único para UPL: 1,4

Secção 8 – Ancoragens

Ancoragens pré-esforçadas – Valores dos coeficientes parciais para as capacidades resistentes em situações acidentais

Anexo Nacional (NDP)

- *Os valores dos coeficientes parciais para as capacidades resistentes a adoptar em Portugal em verificações respeitantes a estados limites últimos em situações acidentais são os seguidamente indicados*

Estruturas ou elementos estruturais	Capacidade resistente	Tipo de estado limite	
		STR/GEO	UPL
Ancoragens pré-esforçadas (provisórias ou definitivas)	Arrancamento (tracção)	1,1	1,2

Secção 8 – Ancoragens

Coeficientes de correlação

Anexo Nacional (NDP)

- A determinação do valor característico da capacidade resistente ao arrancamento de ancoragens a partir de resultados de ensaios de adequabilidade deve ser efectuada utilizando o procedimento e os valores dos coeficientes de correlação estabelecidos para a determinação do valor característico da capacidade resistente de estacas à tracção a partir de resultados de ensaios de carga estática
- Admite-se contudo que, quando tal se justifique (designadamente quando, não sendo atingida a rotura por arrancamento até à carga máxima de ensaio, o valor medido da capacidade resistente das ancoragens ensaiadas seja estimado de forma conservadora), a determinação do valor característico da capacidade resistente seja efectuada considerando apenas o menor dos valores medidos nos ensaios (valor mínimo), ou seja:

$$R_{a;k} = (R_{a;m})_{\min} / \xi_2$$



Secção 8 – Ancoragens

Dimensionamento em relação ao ELU de rotura estrutural

- Critério: $R_{a;d} \leq R_{t;d}$

Ensaio de recepção

- Todas as ancoragens seladas por injeção de calda devem ser submetidas a ensaio de recepção antes da blocagem e antes de ficarem operacionais
- Os procedimentos destes ensaios devem seguir as regras fornecidas na EN 1537:1999



Secção 9 – Estruturas de suporte

- Generalidades
- Estados limites
- Acções, grandezas geométricas e situações de projecto
- Considerações de projecto e de construção
- Determinação das pressões de terras
- Pressões da água
- Dimensionamento em relação aos estados limites últimos
- Dimensionamento em relação aos estados limites de utilização



Secção 9 – Estruturas de suporte

Generalidades

- *As disposições desta secção devem ser aplicadas às estruturas que retêm terreno (compreendendo solo, rocha ou aterro de reenchimento) e água*
- Tipos de estruturas de suporte
 - muros de gravidade (de pedra ou de betão simples ou armado; com ou sem sapata saliente; com ou sem contrafortes) – o peso próprio do muro ou de massas estabilizantes de terreno tem papel relevante
 - cortinas (de aço, de betão armado ou de madeira; auto-portantes, escoradas ou ancoradas; estacas-prancha, paredes moldadas) – a resistência à flexão tem papel relevante, o peso próprio não
 - estruturas compósitas



Secção 9 – Estruturas de suporte

Estados limites

- Devem ser considerados, entre outros, os seguintes estados limites:
 - *perda de estabilidade global*
 - *rotura de elemento estruturais*
 - *rotura por levantamento hidráulico ou por erosão tubular*
 - *repasses de água ou transporte de partículas de solo sob ou através da estrutura de suporte, em quantidade excessiva*
 - *movimentos excessivos*
 - *rotura por insuficiência de capacidade resistente ao carregamento do solo subjacente, rotura por deslizamento pela base, rotura por derrubamento (muros de gravidade e estruturas compósitas)*
 - *rotura por rotação ou translação, rotura por perda de equilíbrio vertical (cortinas)*



Secção 9 – Estruturas de suporte

Valores da pressão de terras em repouso

- *Quando não se desenvolva movimento relativo entre a estrutura de suporte e o terreno, a pressão de terras deve ser calculada a partir do estado de tensão em repouso*
- *Para solos normalmente consolidados, deverá normalmente ser admitido que o terreno atrás de uma estrutura de suporte está em condições de repouso se o movimento da estrutura for inferior a $5 \times 10^{-4} h$*
- *Para uma superfície do terreno horizontal, o coeficiente de impulso em repouso deverá ser determinado por*

$$K_0 = (1 - \text{sen } \varphi') (\text{OCR})^{1/2}$$



Secção 9 – Estruturas de suporte

Valores limites (activo e passivo) da pressão de terras

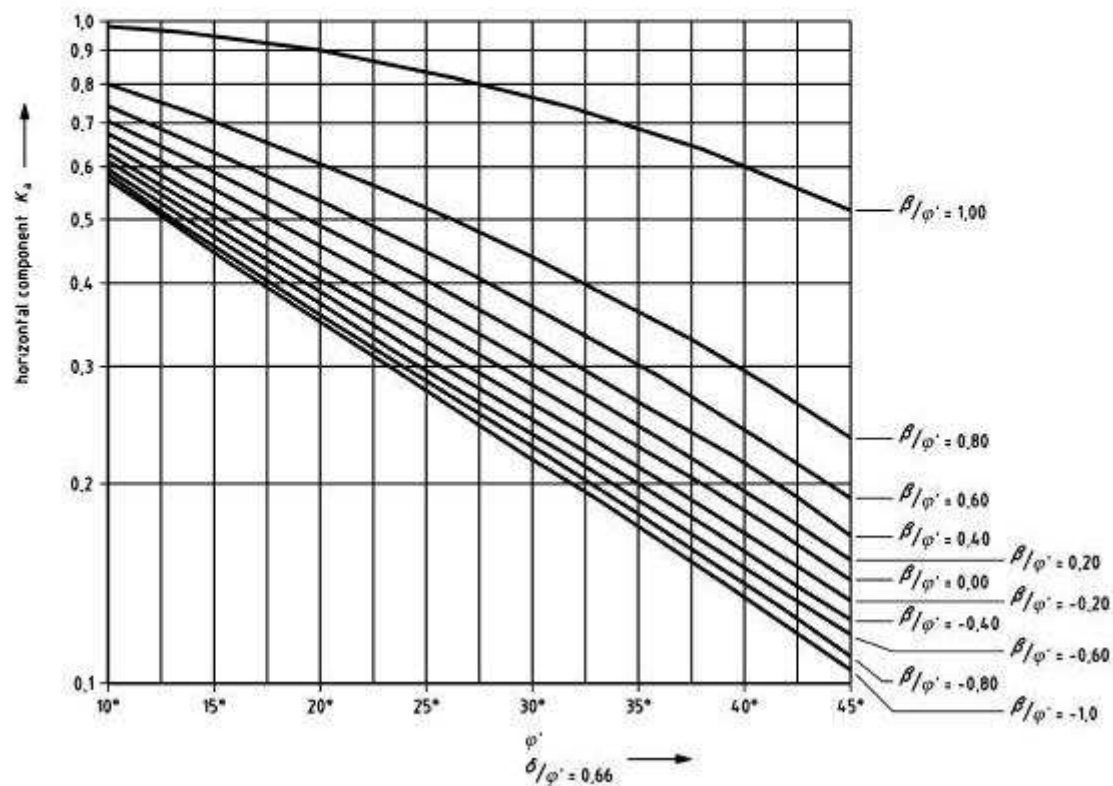
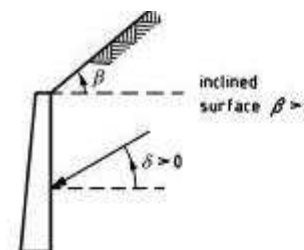
- *Na determinação dos valores limites das pressões de terras devem ser tidos em conta o movimento relativo do solo e da estrutura de suporte na rotura e a correspondente forma da superfície de rotura*
- No Anexo C são apresentados procedimentos e valores (sob forma gráfica) dos coeficientes de impulso activo e passivo para a determinação dos valores limites da pressão de terras

Valores intermédios da pressão de terras

- Ocorrem valores intermédios da pressão de terras no caso de os movimentos da estrutura de suporte não serem suficientes para mobilizar os valores limites
- No Anexo C é apresentada informação de apoio à determinação destes valores, no lado das pressões de tipo passivo

Secção 9 – Estruturas de suporte

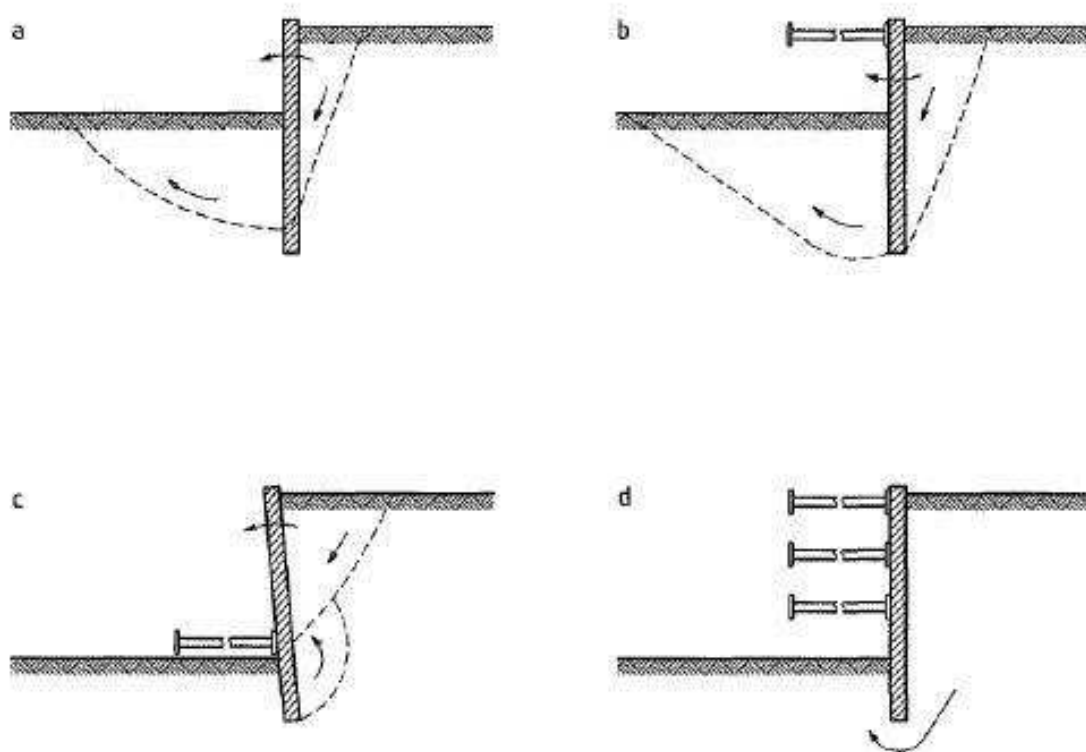
Anexo C Determinação dos coeficientes de impulso



Secção 9 – Estruturas de suporte

Rotura rotacional de cortinas

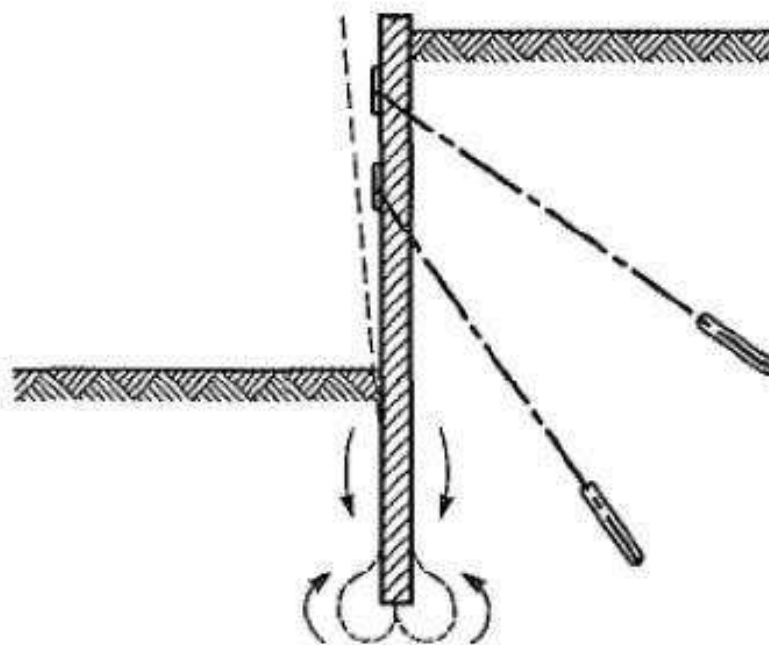
- *Deve ser demonstrado, por meio de cálculos de equilíbrio, que as cortinas têm suficiente penetração no terreno para impedir uma rotura rotacional*



Secção 9 – Estruturas de suporte

Rotura vertical de cortinas

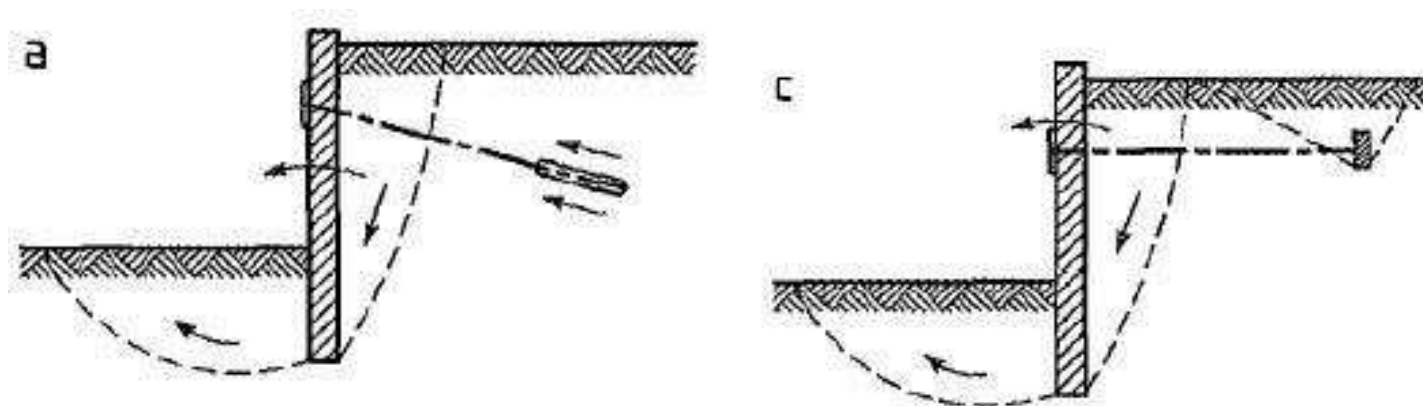
- *Deve ser demonstrado que o equilíbrio vertical pode ser assegurado utilizando os valores de cálculo das propriedades de resistência ou das capacidades resistentes do terreno e os valores de cálculo das forças verticais aplicadas à cortina*



Secção 9 – Estruturas de suporte

Rotura de cortinas por arrancamento de ancoragens

- *Deve ser demonstrado que é possível assegurar o equilíbrio sem rotura por arrancamento de ancoragens*





Secção 10 – Rotura hidráulica

- Generalidades
- Rotura por levantamento global (flutuação)
- Rotura por levantamento hidráulico
- Erosão interna
- Rotura por erosão tubular

Secção 10 – Rotura hidráulica

Generalidades

- *Na determinação de gradientes hidráulicos, de pressões na água dos poros ou de forças de percolação deve ser tido em conta o seguinte:*
 - *a variação da permeabilidade do solo no tempo e no espaço*
 - *as variações dos níveis da água e da pressão na água dos poros ao longo do tempo*
 - *qualquer modificação das condições de fronteira*

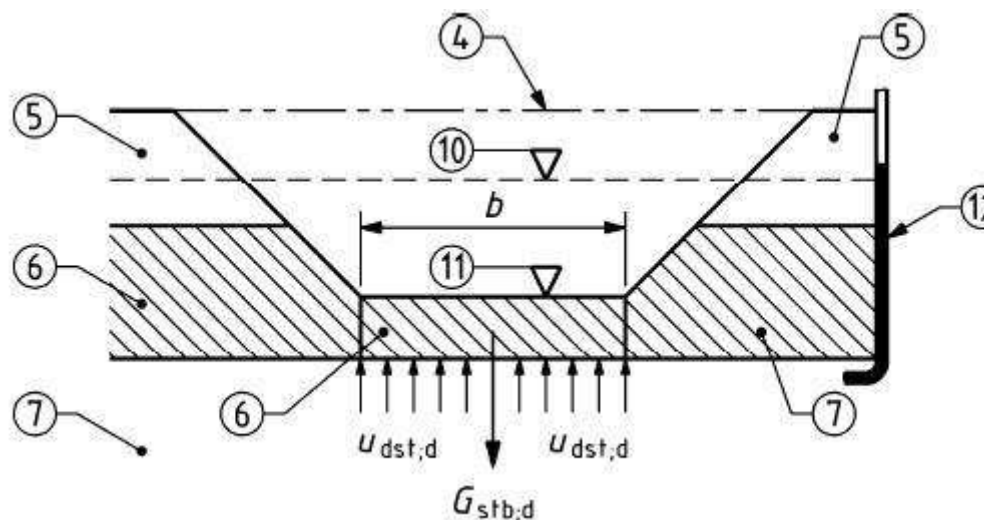
Anexo Nacional (informação complementar)

- *Para além dos aspectos referidos em 10.1(3)P, na determinação de gradientes hidráulicos, de pressões na água dos poros ou de forças de percolação tendo em vista verificações respeitantes a estados limites de levantamento hidráulico ou erosão interna (HYD) deve ser tida em conta a anisotropia de permeabilidade do terreno, caso seja relevante*

Secção 10 – Rotura hidráulica

Rotura por levantamento global (flutuação)

- *Ocorre flutuação quando a pressão na água dos poros instalada sob uma estrutura ou sob um estrato de terreno de baixa permeabilidade se torne mais elevada do que a tensão total vertical média (devida à estrutura e/ou aos estratos de terreno sobrejacentes)*



Secção 10 – Rotura hidráulica

Rotura por levantamento global (flutuação)

Anexo Nacional (NDP)

- *Sempre que, em verificações respeitantes a estados limites de levantamento global (UPL), exista escoamento sob a estrutura ou sob o estrato de terreno cuja estabilidade é verificada, deve ser introduzido um coeficiente de modelo com o valor $\gamma_{S;d} = 1,1$ na determinação dos valores de cálculo das acções verticais desestabilizantes devidas a subpressões exercidas pela água do terreno. Tal determinação deve ser efectuada através de:*

$$F_d = \gamma_{S;d} \gamma_F F_{rep}$$

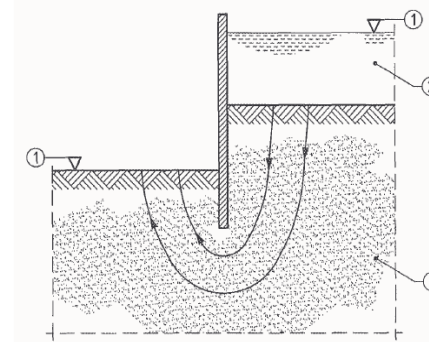
Secção 10 – Rotura hidráulica

Rotura por levantamento hidráulico

- *Ocorre rotura por levantamento hidráulico quando forças de percolação de sentido ascendente, actuando contra o peso do solo, reduzam a zero a tensão efectiva vertical. As partículas de solo são então impelidas para cima pelo fluxo de água, produzindo-se assim rotura do solo*

Anexo Nacional (informação complementar)

- *No que diz respeito ao estado limite de levantamento hidráulico, a ocorrência de estratos de solo de menor permeabilidade na zona de saída de um escoamento constitui uma condição particularmente desfavorável, uma vez que é susceptível de agravar significativamente os gradientes hidráulicos nessa zona, em comparação com os que seriam determinados mediante a hipótese de meio homogéneo. Tal condição deverá pois ser tida em conta com especial atenção*



Secção 10 – Rotura hidráulica

Erosão interna

- *A rotura por erosão interna é produzida pelo transporte de partículas de solo no interior de um estrato, na superfície de contacto entre dois estratos de solo ou na superfície de contacto entre um estrato de solo e uma estrutura*
- *Devem ser aplicados critérios de filtro para limitar o perigo de transporte de partículas por erosão interna*

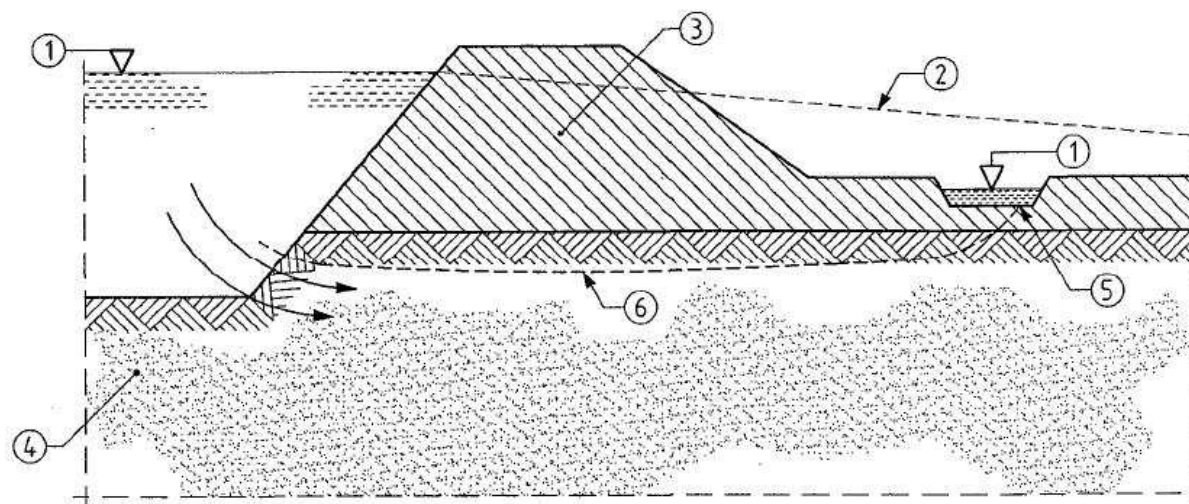
Anexo Nacional (informação complementar)

- *Os valores dos coeficientes parciais a adoptar na verificação da capacidade resistente à rotura por levantamento hidráulico destinam-se exclusivamente a assegurar a estabilidade relativamente a este modo de rotura. A inexistência de erosão interna deve ser assegurada mediante verificação independente*

Secção 10 – Rotura hidráulica

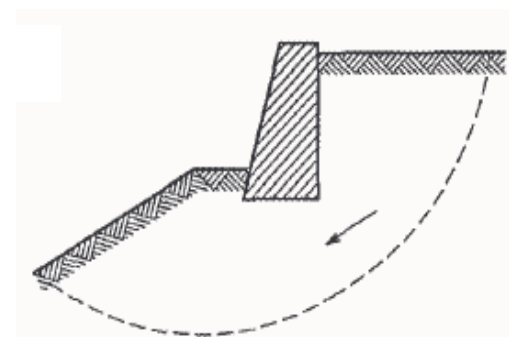
Erosão tubular (“piping”)

- A rotura por erosão tubular é uma forma particular de rotura por erosão interna, por exemplo de uma represa, em que a erosão começa à superfície e depois progride em sentido regressivo originando a formação de um túnel de escoamento em forma de tubo no interior da massa de solo, entre o solo e uma fundação ou na superfície de contacto entre um estrato de solo coesivo e um estrato de solo sem coesão



Secção 11 – Estabilidade global

- Generalidades
- Estados limites
- Acções e situações de projecto
- Considerações de projecto e de construção
- Dimensionamento em relação aos estados limites últimos
- Dimensionamento em relação aos estados limites de utilização
- Observação





Secção 11 – Estabilidade global

- *As disposições desta secção devem ser aplicadas à estabilidade global e aos movimentos do terreno, tanto natural como de aterro, em redor de fundações, de estruturas de suporte, de taludes naturais, de aterros ou de escavações*
- *No caso de o terreno, ou o material de aterro, ser relativamente homogéneo e isotrópico, deverão normalmente ser consideradas superfícies de rotura circulares. No caso de taludes em solos estratificados, com grande contraste de resistência ao corte, pode ser necessário analisar superfícies não circulares*
- *Numa análise de estabilidade de taludes deverá ser verificado o equilíbrio dos momentos e de forças verticais da massa de terreno potencialmente deslizando. Se for utilizado um método de fatias e o equilíbrio de forças horizontais não for verificado deverá ser assumido que as forças entre fatias são horizontais*



Secção 11 – Estabilidade global

ELU de rotura estrutural ou de rotura do terreno (STR/GEO)

Situações de projecto persistentes ou transitórias

Anexo Nacional (NDP)

- *Sempre que a ocorrência de estados limites de utilização nas estruturas ou nas infra-estruturas situadas num talude natural ou na sua vizinhança seja evitada através da limitação da resistência ao corte do terreno mobilizada, devem ser adoptados, na verificação da estabilidade global do talude para a Combinação 2, os seguintes valores dos coeficientes parciais para os parâmetros do terreno:*

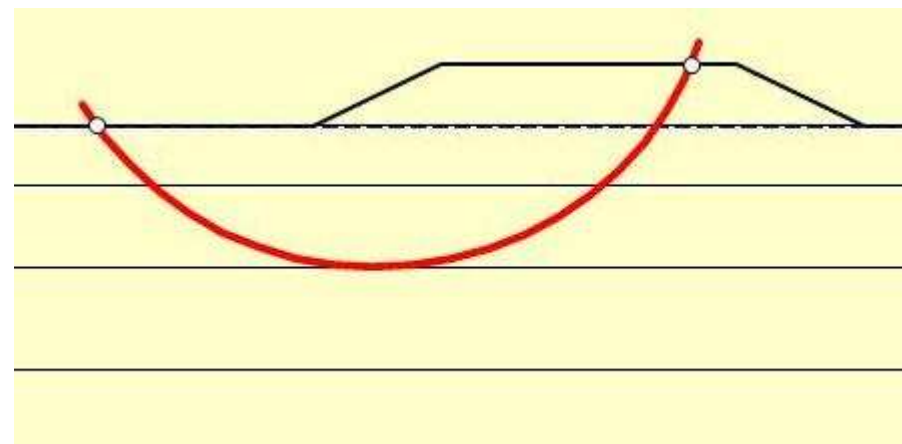
$$- \gamma_{\phi'} = 1,5$$

$$- \gamma_{c'} = 1,5$$

$$- \gamma_{cu} = 1,5$$

Secção 12 – Aterros

- Generalidades
- Estados limites
- Acções e situações de projecto
- Considerações de projecto e de construção
- Dimensionamento em relação aos estados limites últimos
- Dimensionamento em relação aos estados limites de utilização
- Supervisão e observação





Secção 12 – Aterros

- *As disposições desta secção devem ser aplicadas a aterros para pequenas barragens e para infra-estruturas*
- *Os processos construtivos de aterros sobre terrenos de baixa resistência e elevada compressibilidade devem ser especificados de forma a assegurar que a capacidade resistente não é excedida e que não ocorrem assentamentos ou movimentos excessivos durante a construção*
- *Uma vez que os aterros são muitas vezes construídos de forma faseada com diferentes condições de carregamento, deverá ser efectuada uma análise para cada uma das fases*
- *Nos casos em que as deformações sejam difíceis de prever, deverão ser considerados os métodos de pré-carga ou de recurso a aterros experimentais*



Anexo Nacional

- Parâmetros determinados a nível nacional (NDP) com prescrições em Portugal
- Utilização dos Anexos informativos (os Anexos B, C, D, E, F, G, H e J mantêm o carácter informativo)
- Informações complementares específicas

Anexo Nacional

- **Parâmetros determinados a nível nacional com prescrições em Portugal**
 - Valores dos coeficientes parciais para as acções do pré-esforço
 - Valores dos coeficientes parciais em situações acidentais
 - Estados limites UPL – Coeficiente de modelo para os efeitos das acções
 - Abordagem de cálculo e determinação de E_d e de R_d
 - Estacas à compressão – Coeficientes de correlação
 - Estacas à compressão – Coeficiente de modelo para R_d
 - Estacas à tracção – Coeficientes de correlação
 - Estacas à tracção – Coeficiente de modelo para R_d
 - Ancoragens – Determinação de R_k
 - Ancoragens – Coeficiente de modelo para E_d
 - Estados limites UPL – Contabilização de capacidades resistentes
 - Taludes naturais – Coeficientes parciais para os parâmetros do terreno

Anexo Nacional

■ Informações complementares específicas

- Orientação para a atribuição da categoria geotécnica
- Determinação dos valores de cálculo dos parâmetros geotécnicos a partir dos valores característicos
- Verificações STR/GEO em situações acidentais
- Verificações STR/GEO – Expressão geral
- Verificações STR/GEO – Determinação de E_d e de R_d
- Levantamento hidráulico – Critério a utilizar na verificação
- Verificações respeitantes ao levantamento hidráulico
- Capacidade resistente ao deslizamento em condições drenadas
- Capacidade resistente ao deslizamento em condições não drenadas
- Verificações HYD – Relevância da anisotropia de permeabilidade
- Verificações HYD – Relevância da existência de estratos de solo de menor permeabilidade na zona de saída do escoamento



Conclusão

- O EC 7 vem suprir uma antiga lacuna regulamentar em Portugal
- Facilita a articulação entre os aspectos estruturais e geotécnicos dos projectos (por via do alargamento ao projecto geotécnico da metodologia DEL/MCSP)
- Introduce um enquadramento mais racional da problemática da fiabilidade das obras geotécnicas (superioridade conceptual da metodologia DEL/MCSP)
- A racionalização introduzida poderá permitir ganhos de economia, sem redução da fiabilidade, mas apenas se forem observados os requisitos estabelecidos na norma acerca dos estudos de caracterização geotécnica
- O aproveitamento do novo enquadramento metodológico, mas mantendo práticas deficientes (em quantidade e em qualidade) no que diz respeito à caracterização geotécnica, poderia redundar em prejuízo da fiabilidade
- As exaustivas listas de verificação relativas a situações de projecto e a estados/modos limites possíveis constituem uma ferramenta útil para os projectistas