



LISBOA RESILIENTE AOS SISMOS

## CICLO DE FORMAÇÃO

Lições Professor João Appleton

Alexandre Pinto / SPG, JETsj

26 outubro '22

Reforço sísmico de fundações  
de alvenaria

Organização:



Com o apoio de:



ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS



ORDEM DOS  
ENGENHEIROS  
TÉCNICOS



SOCIETATE  
PORTUGUESA DE  
ENGENHARIA  
SISMICA

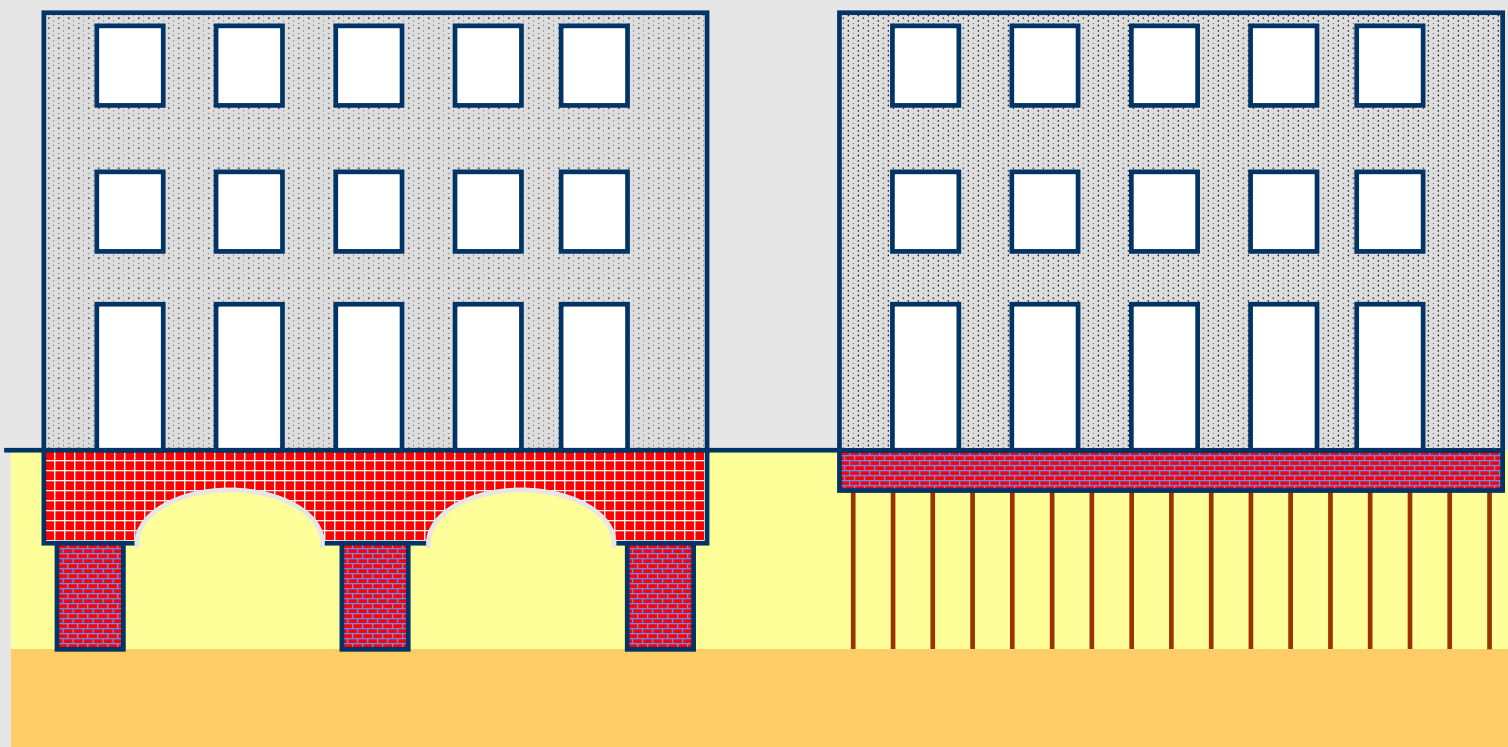


Sociedade  
Portuguesa  
de Geotecnia

1. TIPOS DE FUNDAÇÕES (09:30-10:00)
2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:00-10:30)
3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:30-11:00)
4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (11:30-13:00)
5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (14:30-16:00)
6. EXEMPLOS DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (16:30-17:15)
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS (17:15-17:30)

# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

## TIPOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS



Solução de fundações por arcos apoiados em pegões

Solução de fundações por lintéis sobre estacas de madeira

# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

## □ O EFEITO DE ARCO NAS ESTRUTURAS DE ALVENARIA



Ponte Vale Verzasca, Suíça

# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

- TIPOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

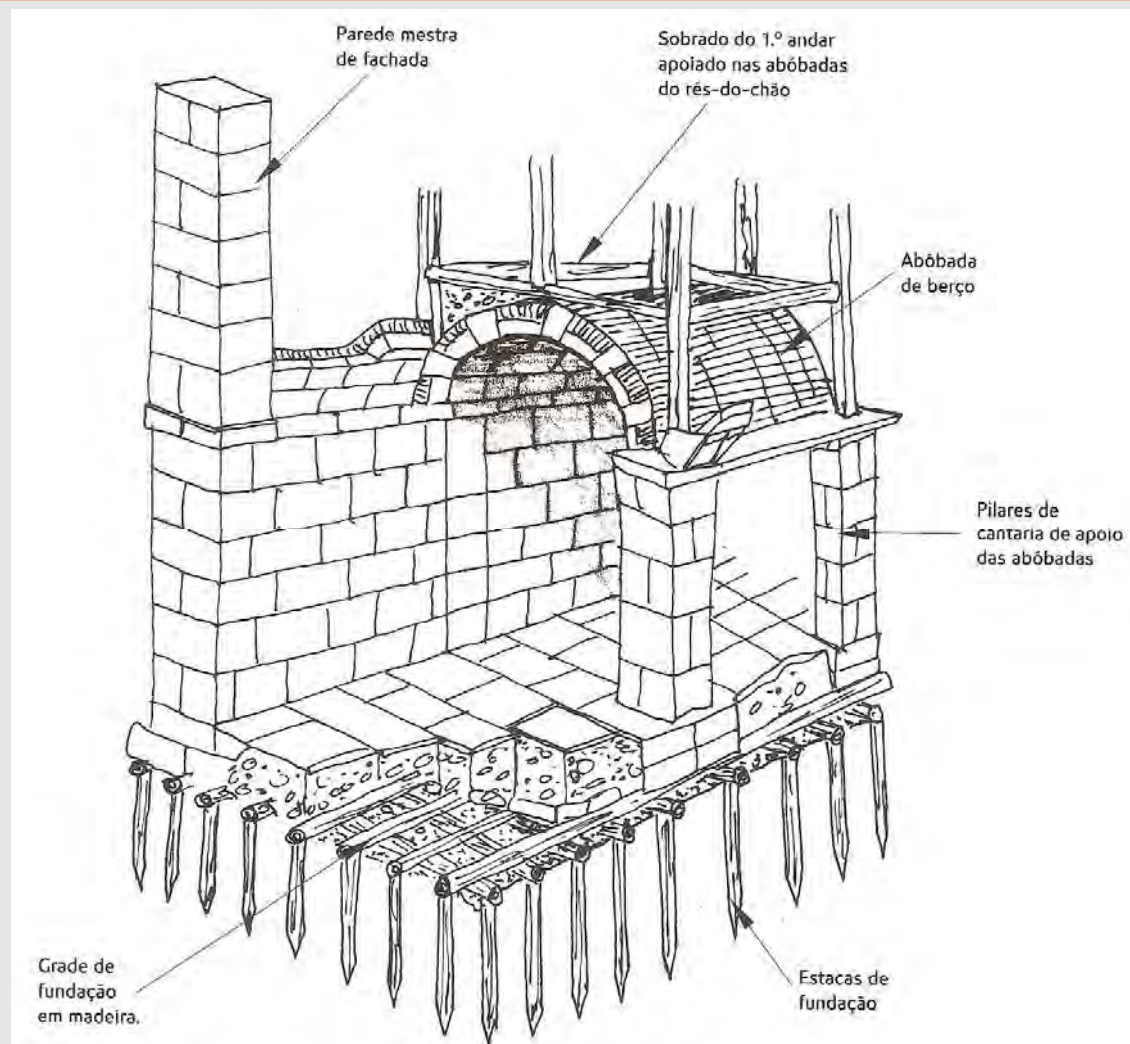
## TIPOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

## TIPOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

## TIPOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS: BAIXA POMBALINA

*“...faziam mesmo parte do sistema que desde o século XVIII suporta os edifícios da Baixa lisboeta. Feitas de pinho, as estacas (na vertical, como se vê na foto) e as traves e longarinas (na horizontal) formam uma espécie de grelha que constitui o tão falado sistema de estacaria - que para se conservar em boas condições até aos dias de hoje precisou apenas da água do rio...”*

Artur Rocha (Arqueólogo, JN, 2015/10/16)





# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

- ❑ TIPOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS  
HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS:  
BAIXA POMBALINA



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

- TIPOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS  
HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS:  
BAIXA POMBALINA



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

## PERFIL GEOLÓGICO DA BAIXA POMBALINA



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES


## ❑ TIPOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS: BAIXA POMBALINA

- ❖ Manuel da Maia
- ❖ Carlos Mardel
- ❖ Eugénio dos Santos



# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES



**Nascimento** julho ou agosto de 1677  
Lisboa,  Portugal

**Morte** 17 de setembro de  
1768 (91 anos)  
Lisboa,  Portugal

**Ocupação** Arquitecto e engenheiro

Assinatura



**Károly Mardell**

**Nascimento** 1695  
Bratislava

**Morte** 8 de setembro de 1763  
Lisboa

**Cidadania** Portugal, Reino da Hungria

**Ocupação** oficial, engenheiro, arquiteto

**Obras destacadas** Aqueduto das Águas Livres,  
Reservatório da Mãe d'Água  
das Amoreiras, Palácio do  
Marquês de Pombal

Assinatura




*Retrato de Eugénio dos Santos de Carvalho*  
Autor não identificado, séc. XVIII, Associação  
dos Arqueólogos Portugueses

**Nome completo** Eugénio dos Santos e  
Carvalho

**Nascimento** março de 1711  
Prazeres, Aljubarrota

**Morte** 25 de agosto de  
1760 (49 anos)  
Mercês, Lisboa

**Nacionalidade**  portuguesa

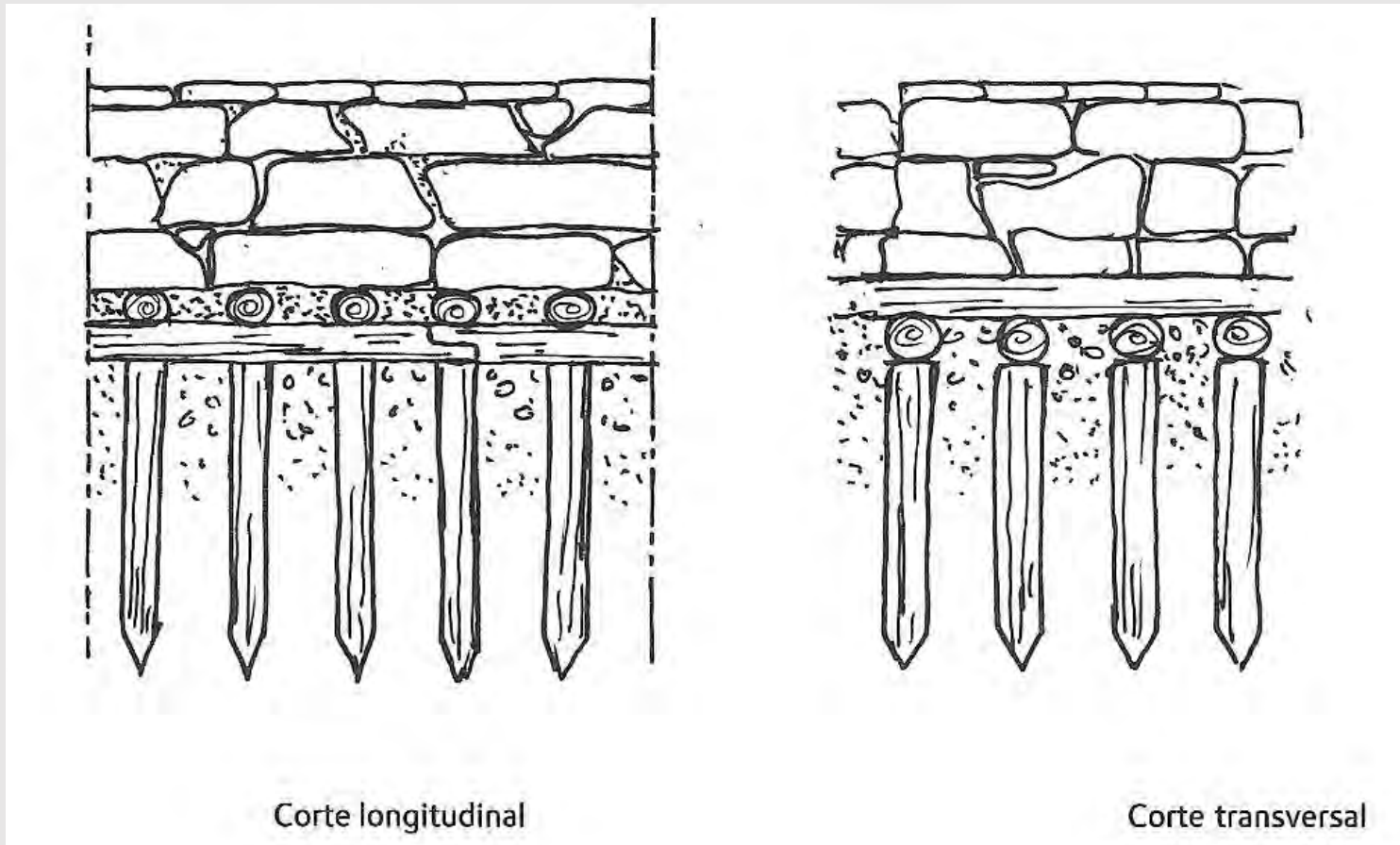
**Ocupação** Arquiteto

**Obras notáveis** Baixa Pombalina

Assinatura

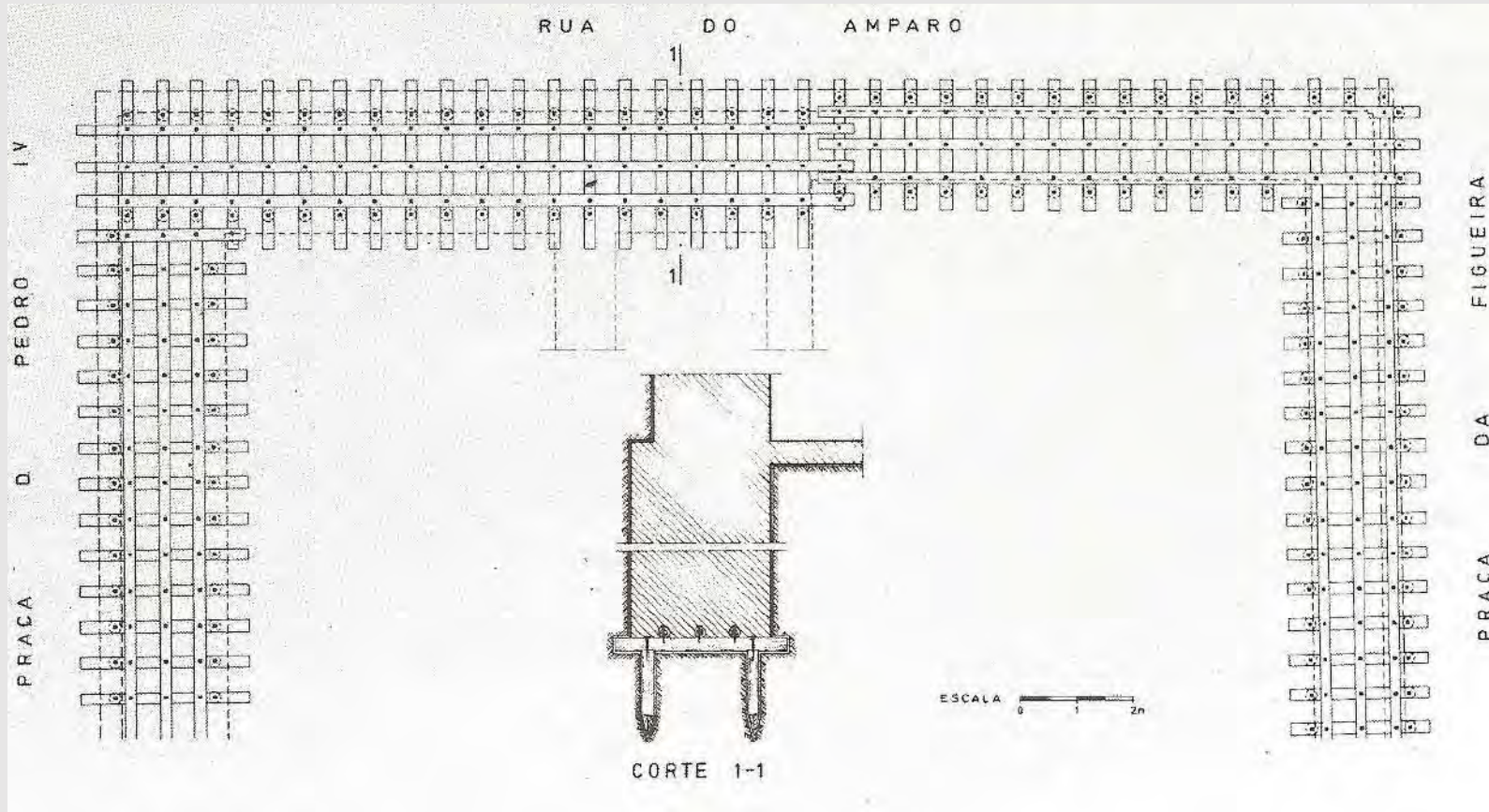
# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

## TIPOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS



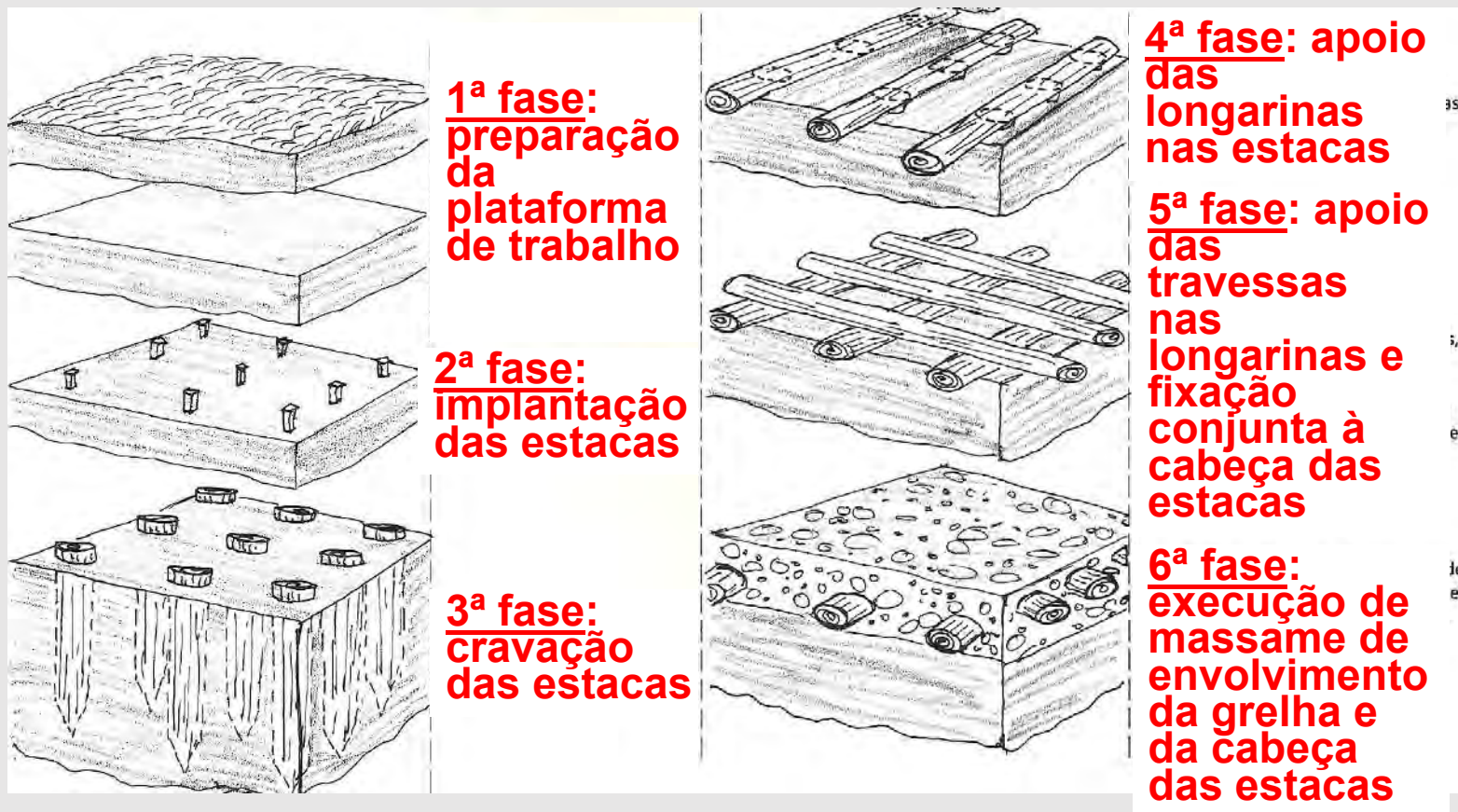
# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

## TIPOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS



# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

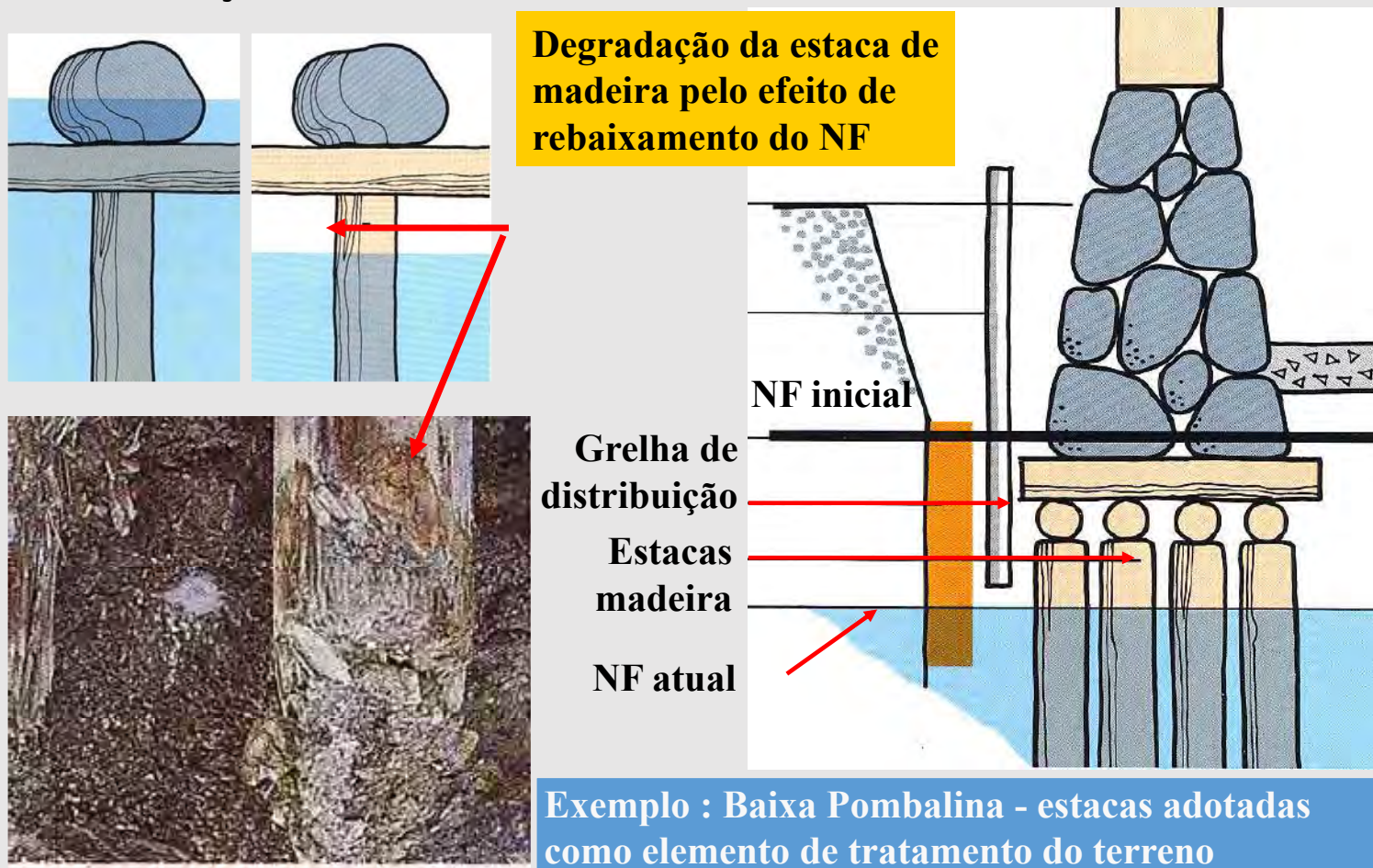
## TIPOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS





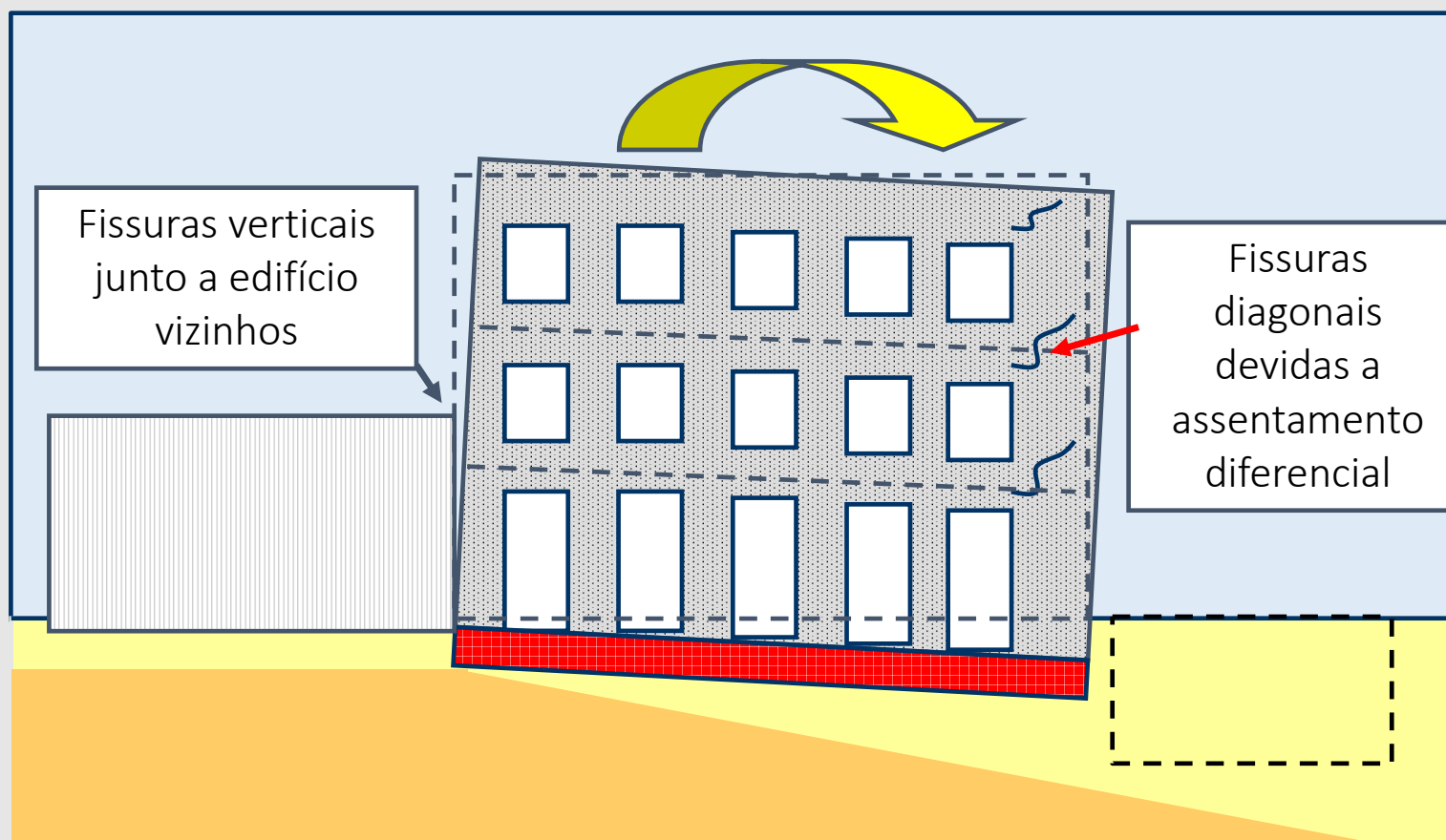
# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

## TIPOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS



# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

## PRINCIPAIS TIPOS DE PATOLOGIAS EM FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS



# 1. TIPOS DE FUNDAÇÕES

## CAUSAS DE PATOLOGIAS EM FUNDAÇÕES QUE PODEM CONDICIONAR O COMPORTAMENTO SÍSMICO



**Roturas em condutas**



**Escavações**



**Deficiente concepção**



**Fundação em aterros**



**Vibrações**



**Heterog. geológica**

1. TIPOS DE FUNDAÇÕES (09:30-10:00)
2. **PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:00-10:30)**
3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:30-11:00)
4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (11:30-13:00)
5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (14:30-16:00)
6. EXEMPLOS DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (16:00-17:15)
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS (17:15-17:30)

## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA E DAS FUNDAÇÕES A REFORÇAR

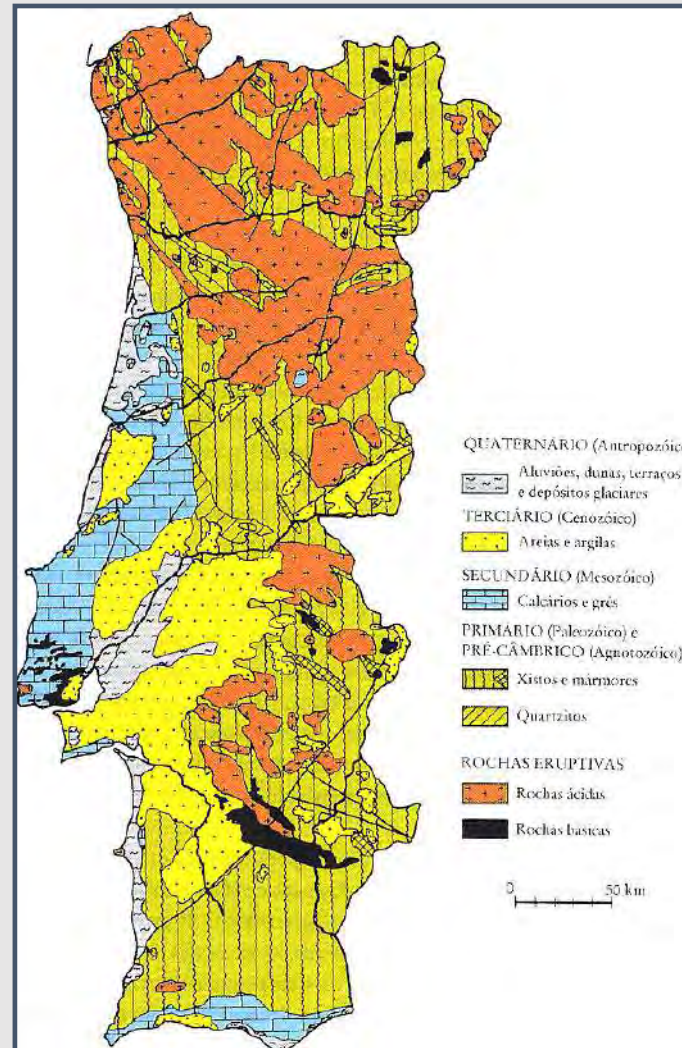
- ❖ Caracterização geométrica (poços de prospeção)
- ❖ Caracterização da resistência e da deformabilidade (retirada de carotes para ensaios UCS)



## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA

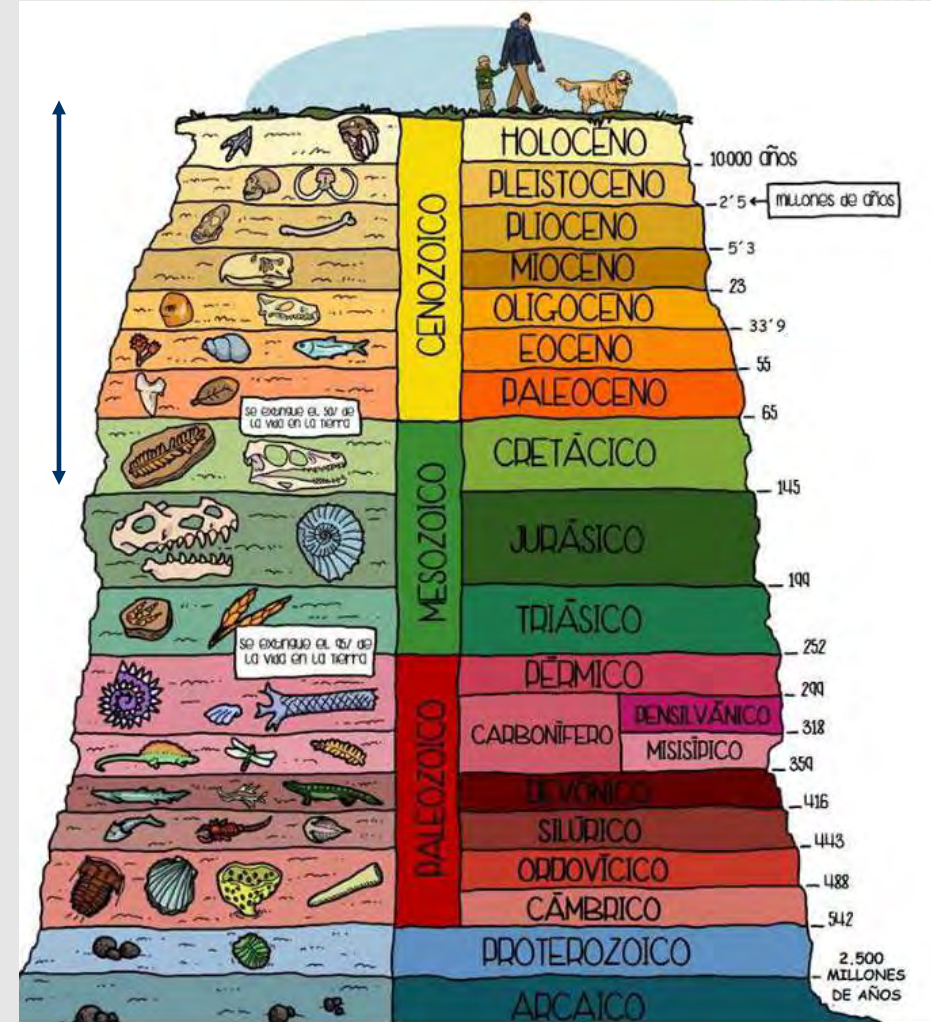
- ❖ Heterogeneidade geológica e geotécnica
- ❖ Importância da caracterização geológica e geotécnica na definição da solução de reforço de fundações
- ❖ Importância da caracterização das condições de fundação originais



## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA

Lisbon geology  
affecting  
underground  
structures



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA E GEOTÉCNICA – O CASO DE LISBOA



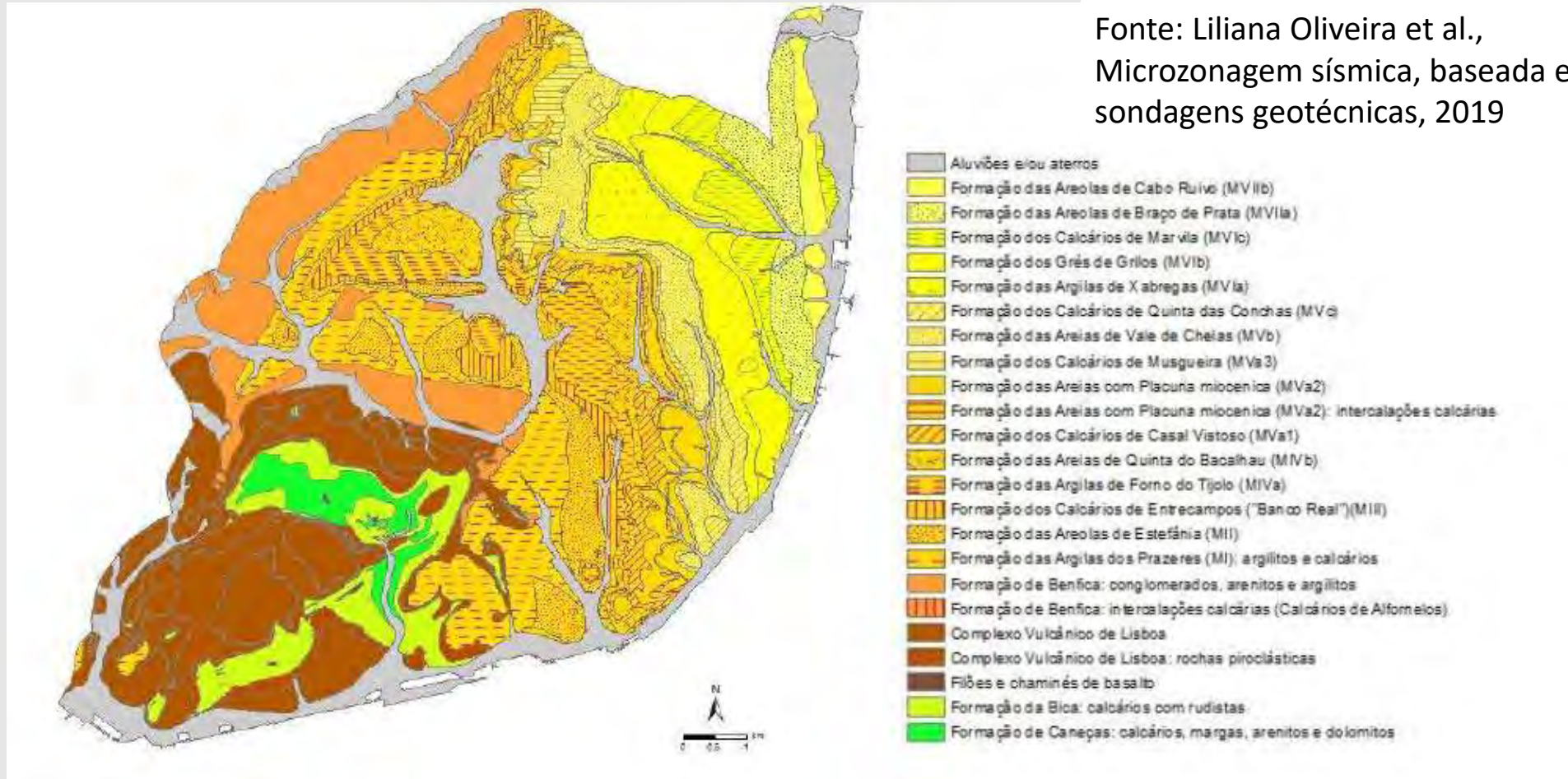
Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022



## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

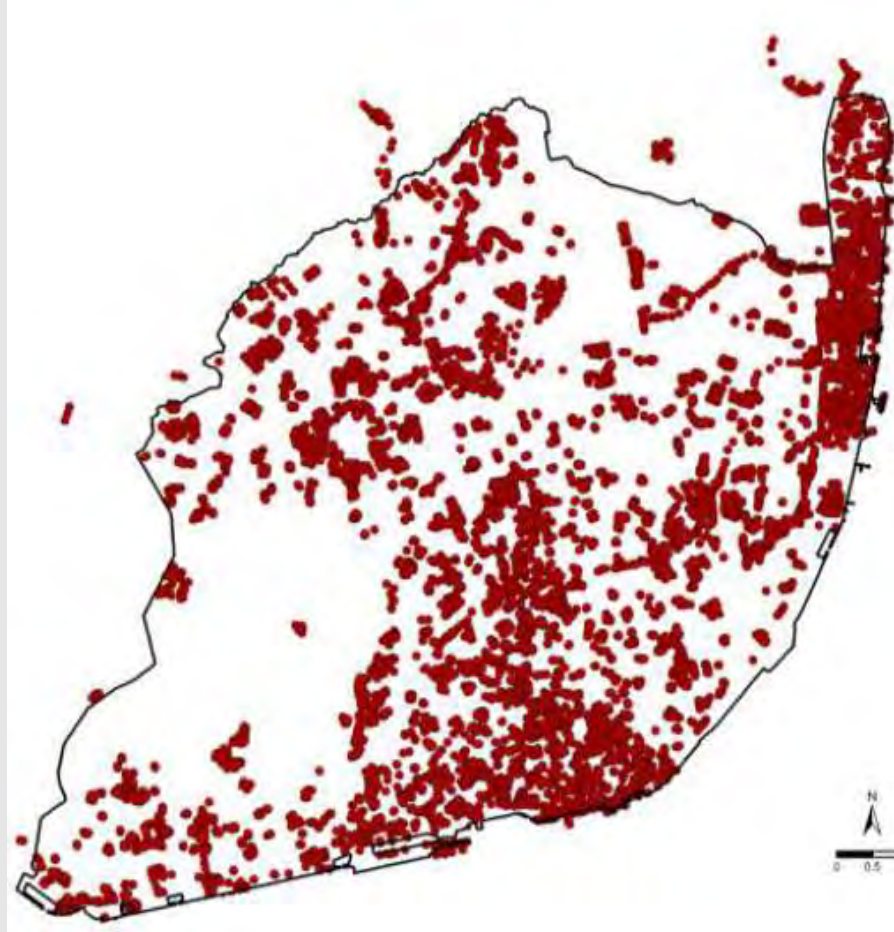
### □ CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, HIDROGEOLOGICA E GEOTÉCNICA – O CASO DE LISBOA

Fonte: Liliana Oliveira et al.,  
Microzonagem sísmica, baseada em  
sondagens geotécnicas, 2019



## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA E GEOTÉCNICA – O CASO DE LISBOA, BASE DE DADOS



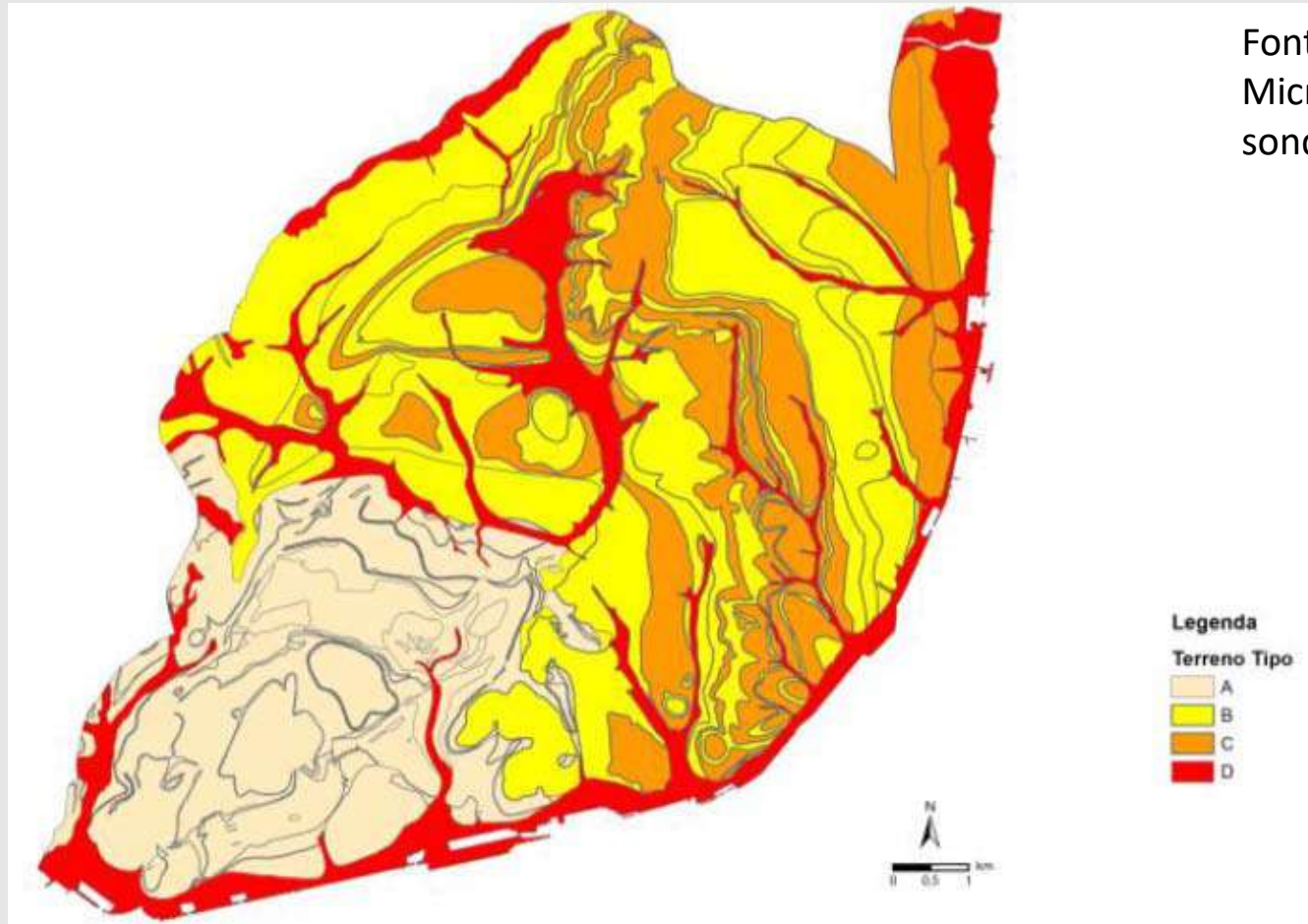
Fonte: Liliana Oliveira et al.,  
Microzonagem sísmica, baseada em  
sondagens geotécnicas, 2019

#### Legenda

- Sondagens
- Limite do concelho

## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA E GEOTÉCNICA – O CASO DE LISBOA, EC8

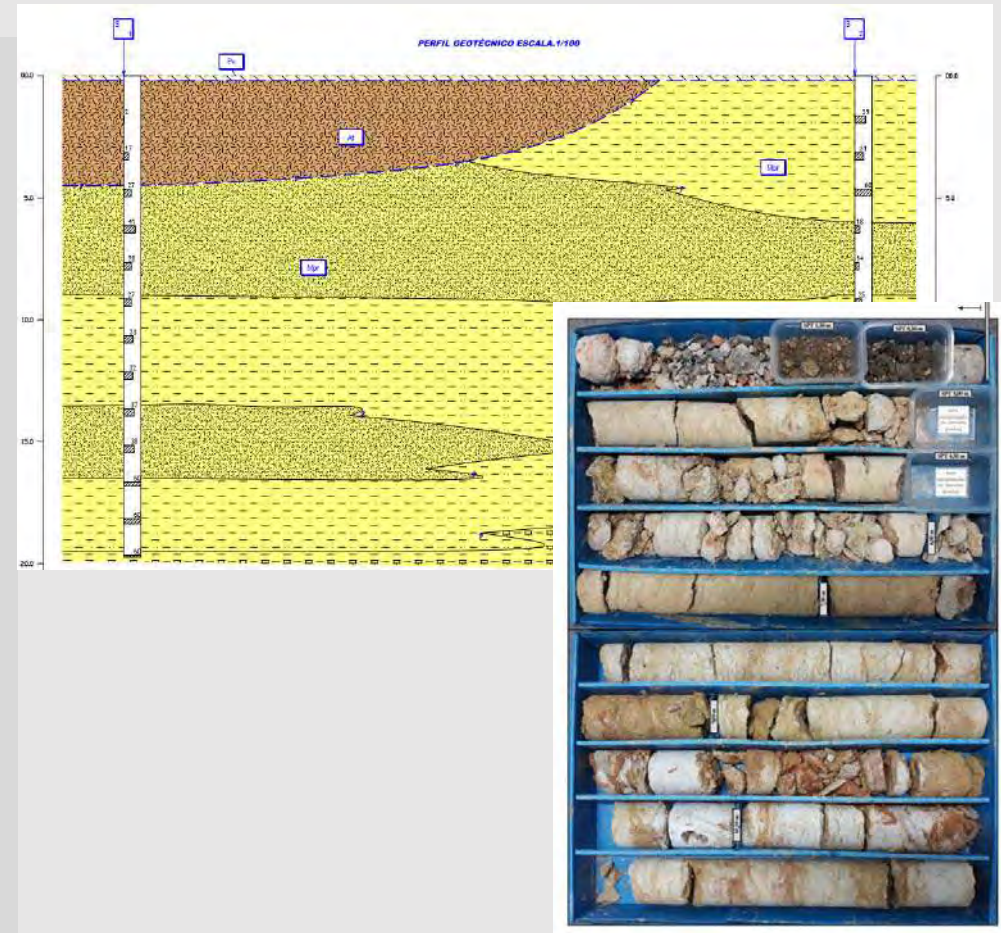


Fonte: Liliana Oliveira et al.,  
Microzonagem sísmica, baseada em  
sondagens geotécnicas, 2019

## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA COM QUALIDADE

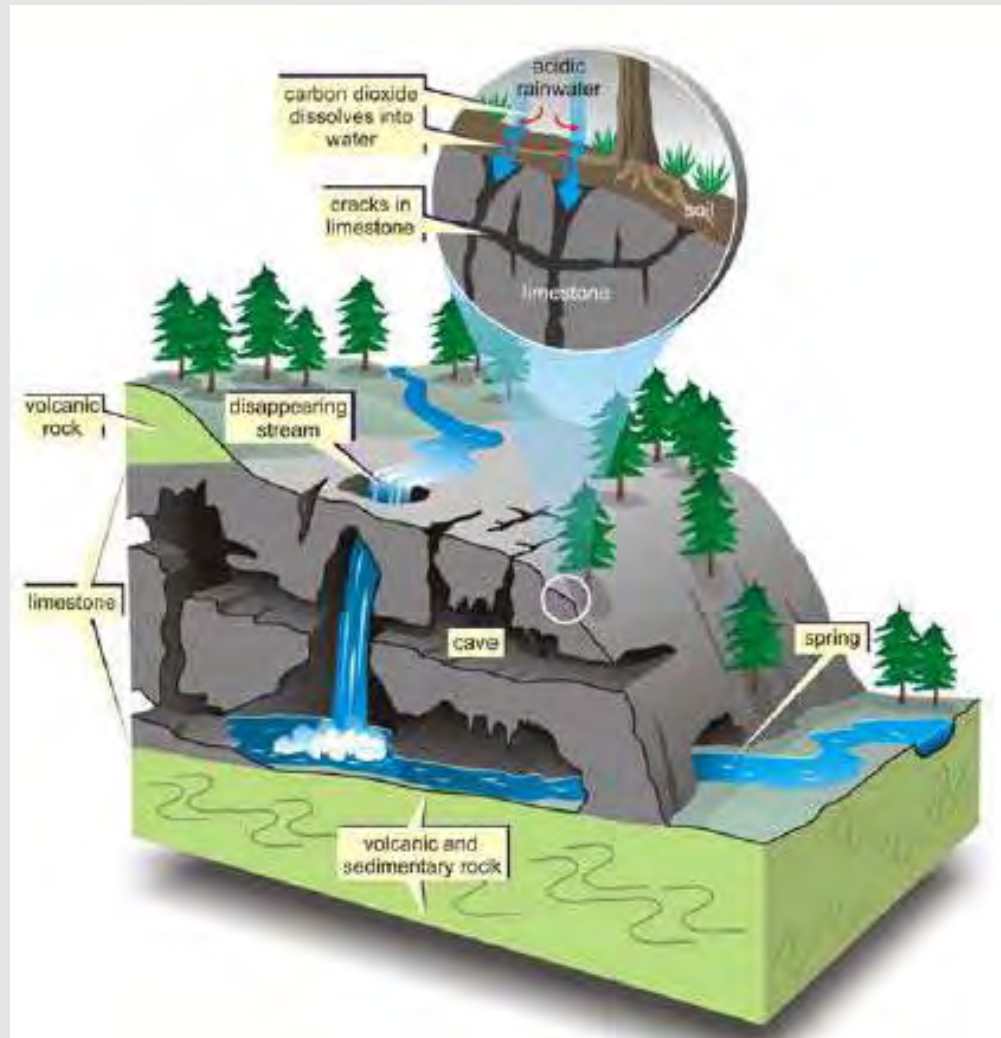
- ❖ Estudo geológico e geotécnico com perfis geológicos interpretativos
- ❖ Caracterização dos terrenos em termos de resistência e de deformabilidade, incluindo zonamento geotécnico
- ❖ Avaliar as consequências da proximidade a encostas ou linhas de água
- ❖ Sismicidade



## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ CARACTERIZAÇÃO

GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA  
COM QUALIDADE



- ❖ Cenário geológico e geotécnico
- ❖ Modelo geológico e geotécnico: parâmetros de resistência e de deformabilidade
- ❖ Agressividade química da água e do terreno
- ❖ Singularidades geológicas (ex: cavernas)
- ❖ Sismicidade

## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ACESSIBILIDADE E DE OPERAÇÃO



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ CARACTERIZAÇÃO CONDIÇÕES DE ACESSIBILIDADE E DE OPERAÇÃO



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- CARACTERIZAÇÃO CONDIÇÕES DE ACESSIBILIDADE E DE OPERAÇÃO: VERSATILIDADE DOS EQUIPAMENTOS



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022



## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ CARACTERIZAÇÃO CONDIÇÕES DE ACESSIBILIDADE E DE OPERAÇÃO: PÉ DIREITO REDUZIDO



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

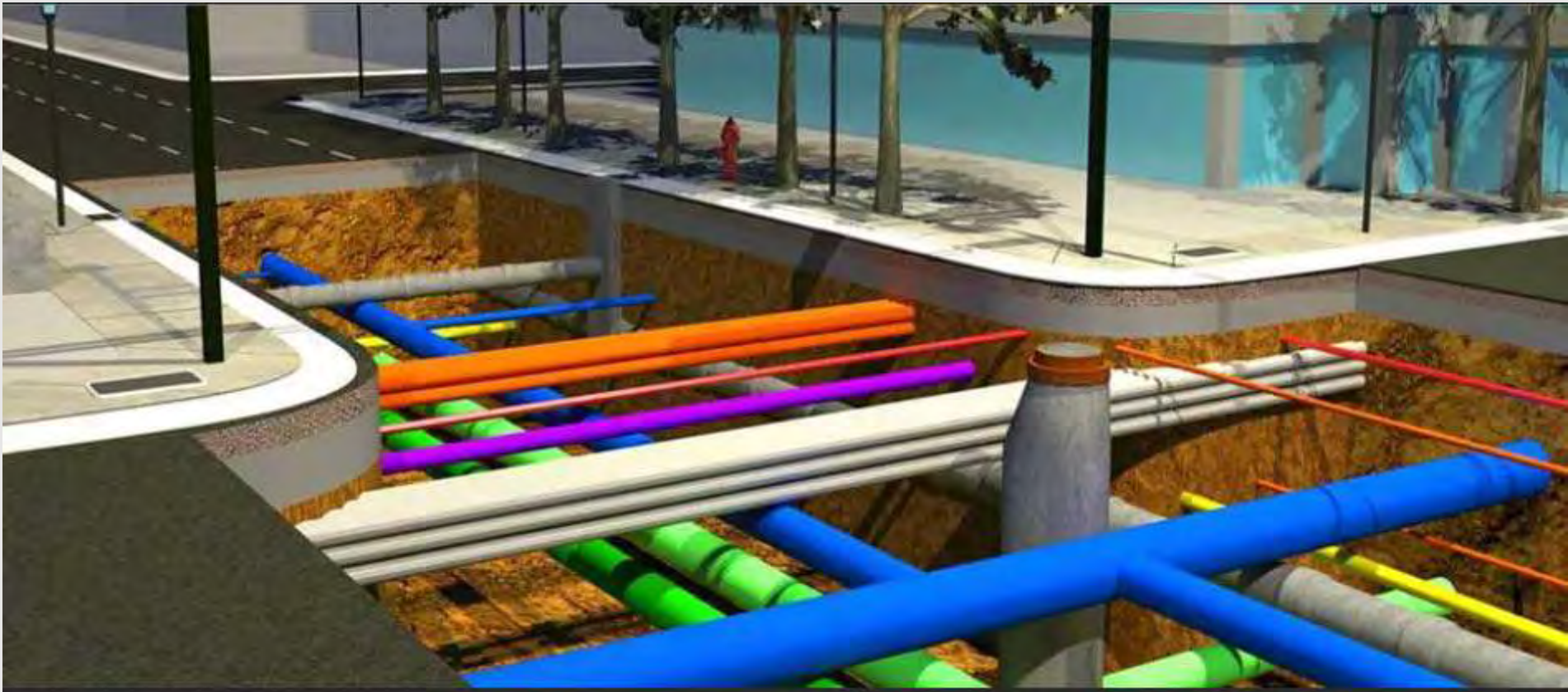
- CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE VIZINHANÇA: OCUPAÇÃO DE VIA PÚBLICA



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE VIZINHANÇA: SERVIÇOS ENTERRADOS



## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE VIZINHANÇA: SERVIÇOS ENTERRADOS

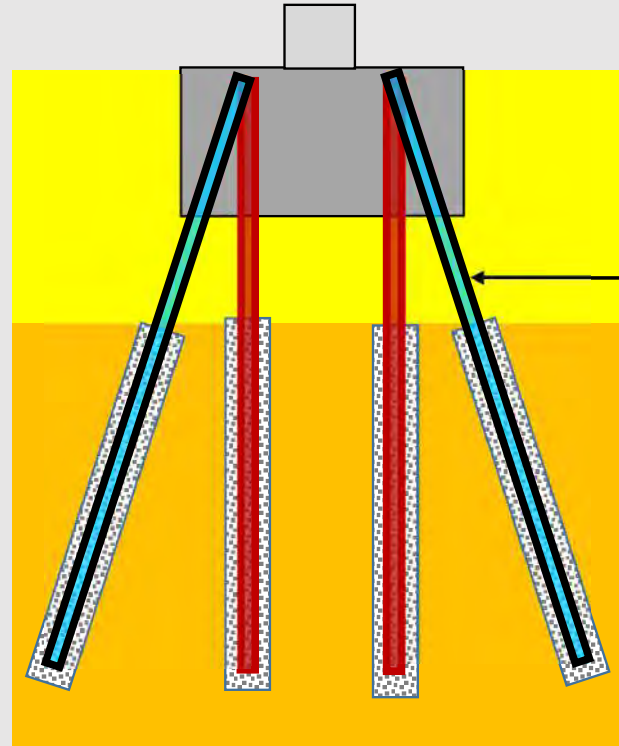


Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

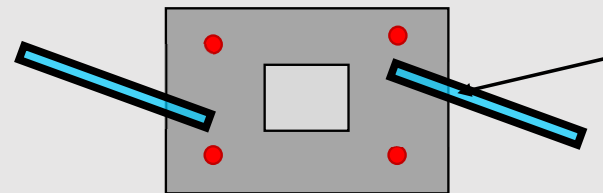
- CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE AÇÕES QUE DETERMINAM A NECESSIDADE (PRESENTE E FUTURA) DE REFORÇO DAS FUNDAÇÕES

Alçado



Microestacas de reforço a executar em 2ª fase, se necessário

Planta



Microestacas de reforço a executar em 2ª fase, se necessário, com trajetórias compatíveis

1. TIPOS DE FUNDAÇÕES (09:30-10:00)
2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:00-10:30)
3. **CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:30-11:00)**
4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (11:30-13:00)
5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (14:30-16:00)
6. EXEMPLOS DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (16:30-17:15)
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS (17:15-17:30)

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ QUANDO É NECESSÁRIO REFORÇAR

- ❖ Agravamento do estado de conservação / integridade com implicações na capacidade de carga das fundações
- ❖ Agravamento de solicitações regulamentares
- ❖ Modificação das condições de utilização da estrutura
- ❖ Modificação das condições de fundação
- ❖ Modificação da arquitetura do edifício, em particular a execução de pisos enterrados



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ OBJETIVOS DO REFORÇO

- ❖ Melhorar ductilidade
- ❖ Melhorar comportamento dinâmico
- ❖ Diminuir deformabilidade
- ❖ Aumentar resistência



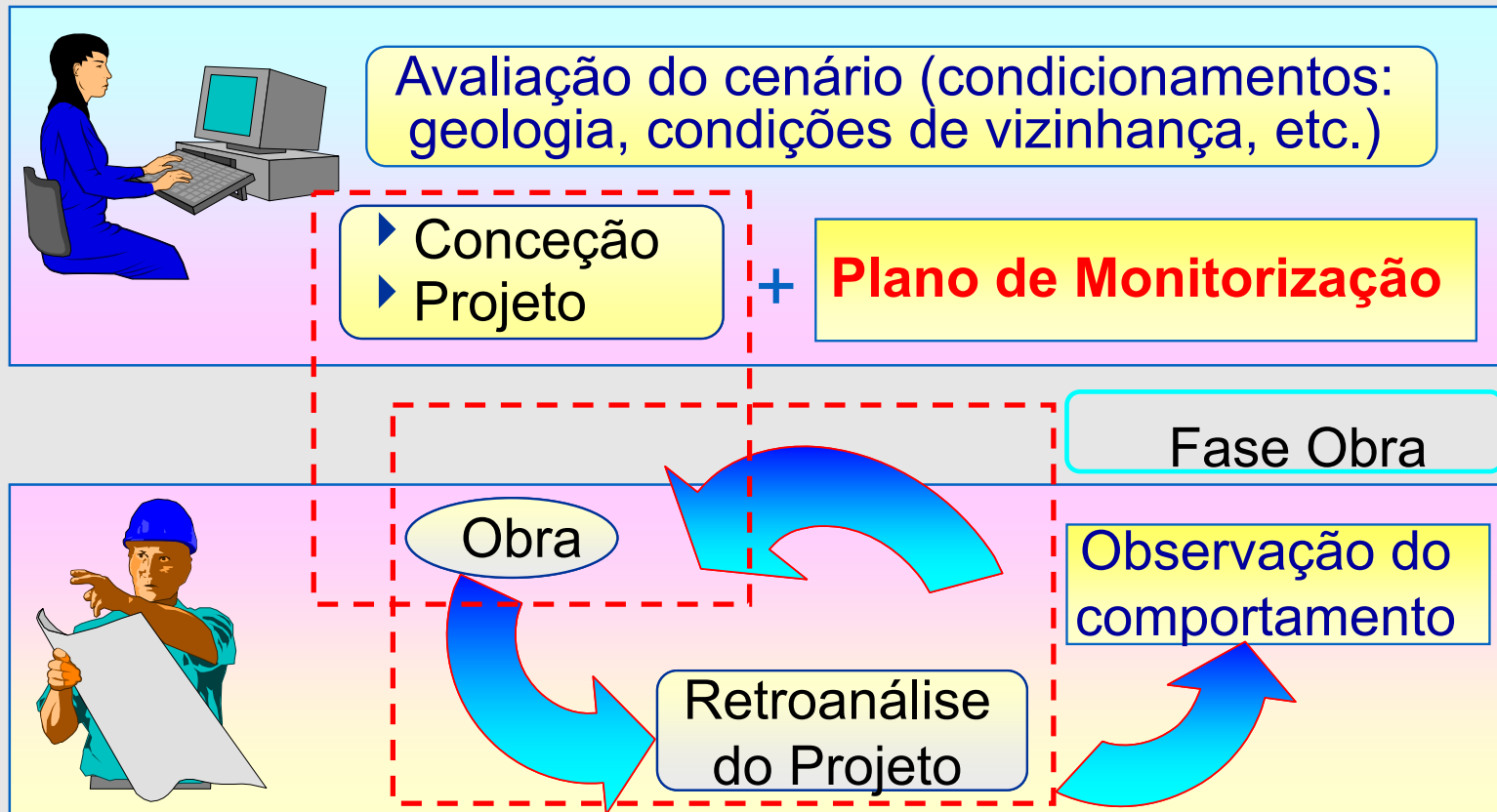
Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

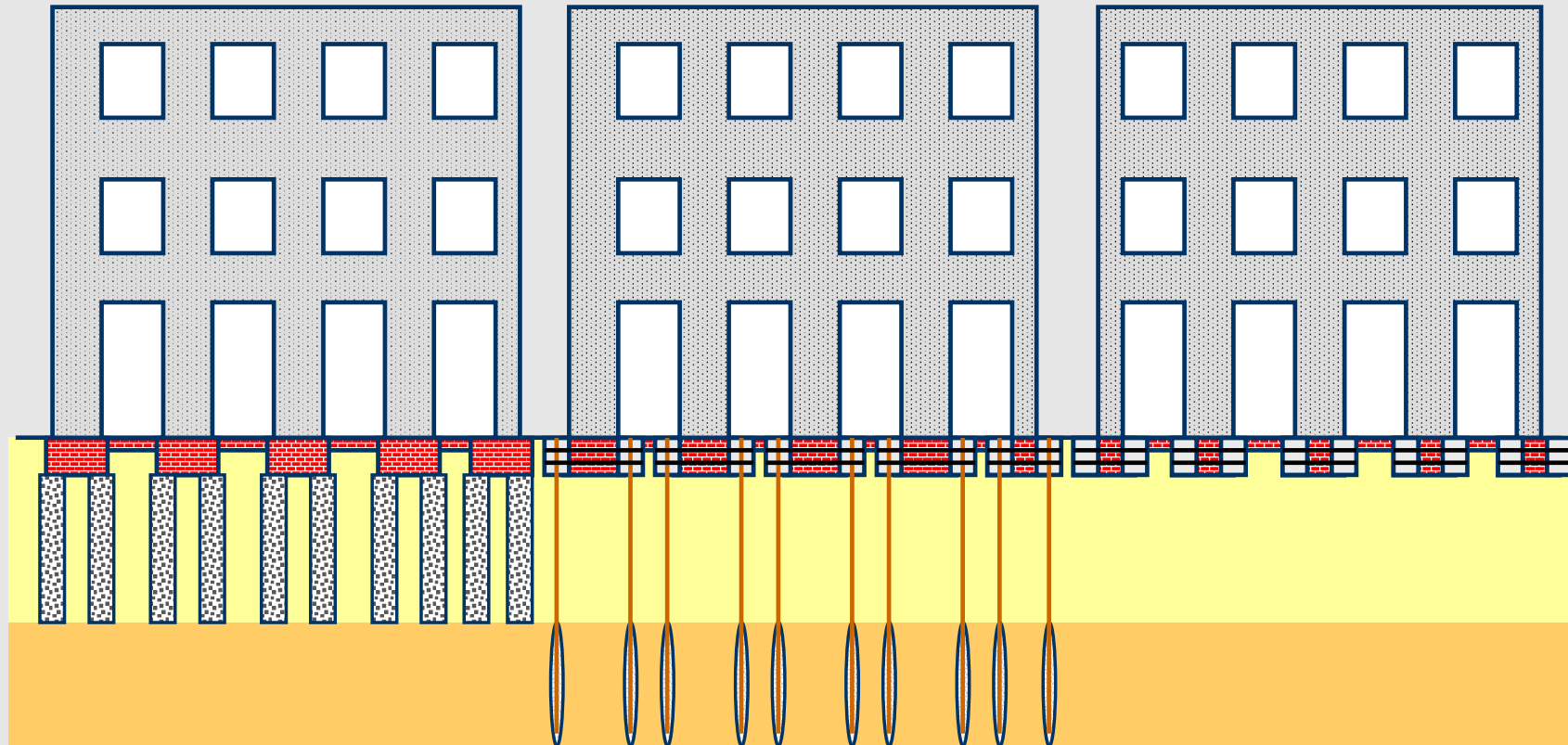
#### PROCESSO DINÂMICO E ITERATIVO

#### Fase Pré-Obra



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ☐ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS EM TERRENOS BRANDOS



**Incremento da capacidade resistente por tratamento do terreno**

**Incremento da capacidade resistente por microestacas**

**Incremento da capacidade resistente por alargamento das sapatas**

Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ☐ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS - DEFINIÇÕES

❖ MICROESTACAS: DIÂMETRO INFERIOR A 300MM (EN 14199: 2015)

❖ MICROESTACAS: FURAÇÃO COM EXTRAÇÃO DE TERRENO

❖ MICROESTACAS: CRAVADAS SEM EXTRAÇÃO DE TERRENO

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS

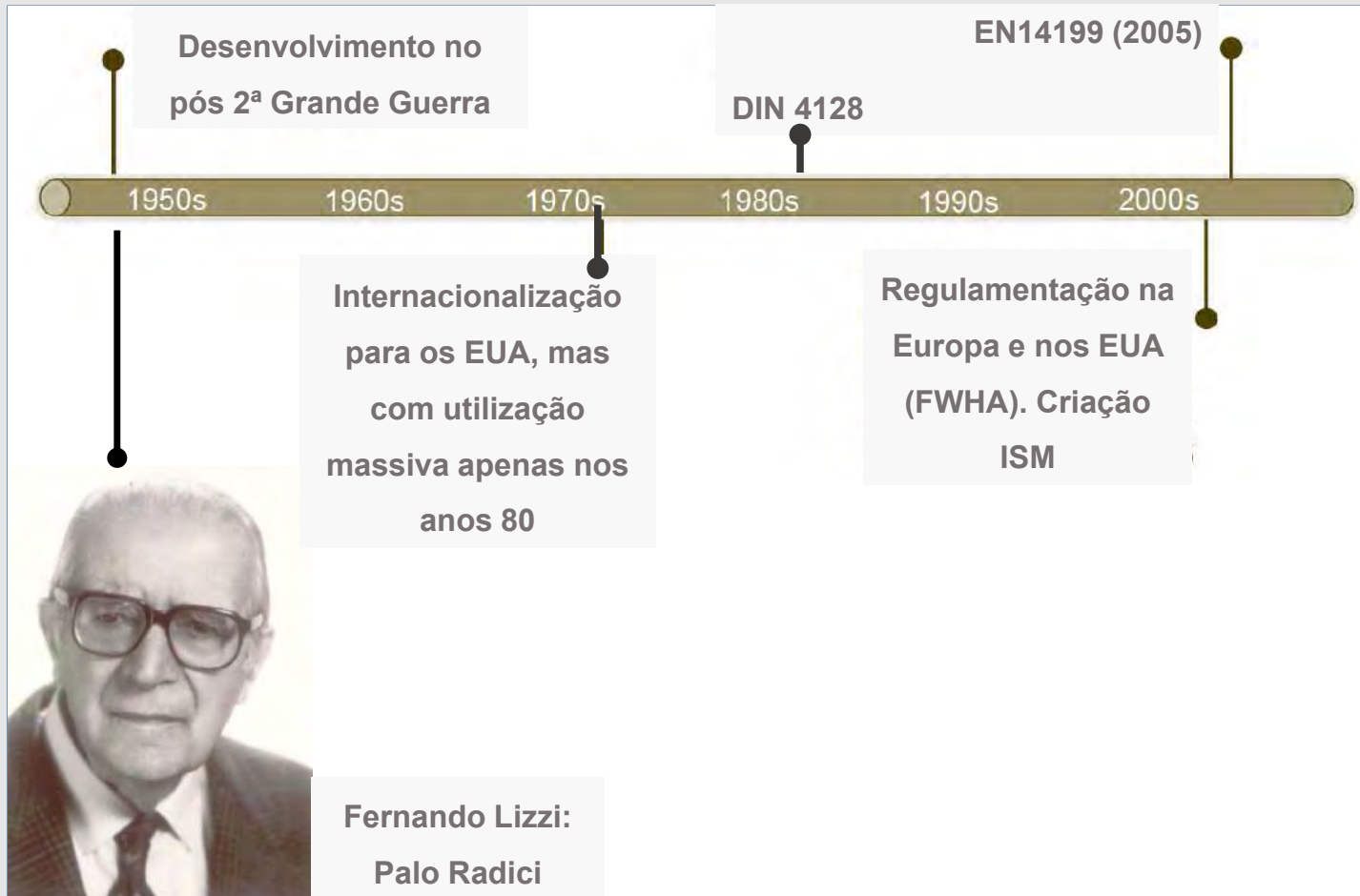
##### ❖ MICROESTACAS: DIÂMETRO INFERIOR A 300MM (EN 14199: 2015)

- ✓ Sempre que as condições geológicas e geotécnicas sejam desfavoráveis
- ✓ Sempre que seja necessário transmitir esforços de tração
- ✓ Sempre que exista necessidade de recalçamento



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ☐ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS – EVOLUÇÃO NOS ÚLTIMOS 70 ANOS



Fonte: ISM

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: F. LIZZI - O PAI DAS MICROESTCAS MODERNAS



**Dr.Eng. Fernando Lizzi**

**2.01.1914 – 28.08.2003**

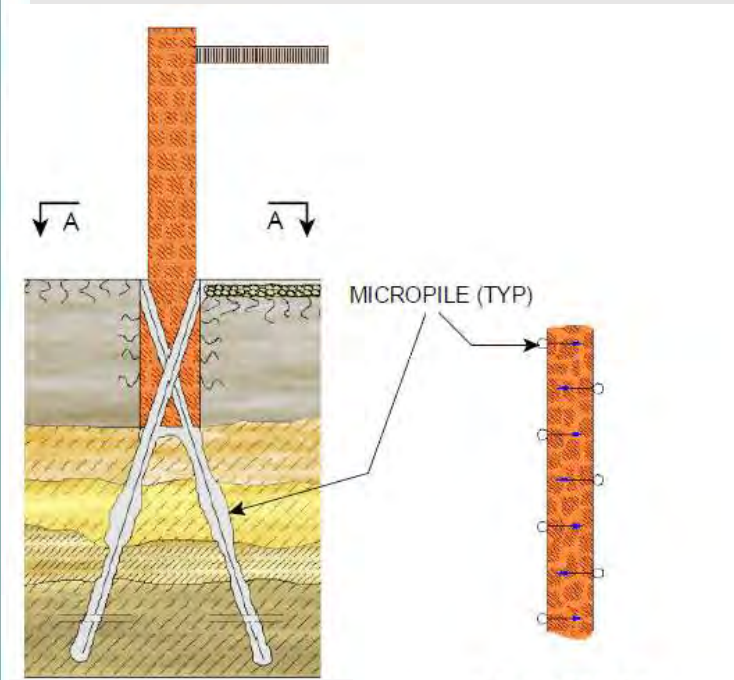
*From age 4 to 18 in Napoli/ Italy, then military academy in Torino to become lieutenant at 22 , posted to Tripoly/ Lybia, wounded at age 28, studies civil engineering as POW in Afghanistan, returns 1946 to Napoli and gets his diploma with summa cum laude.*

*1947 becomes Technical Director of the newly founded contractor Fondedile where he develops the root pile technology for the restoration of damaged monuments and buildings. He conceives the consolidation with Reticulated Root Piles. He exports his ideas to many countries and becomes "father of the micropiles"*

**Fonte: ISM**

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: F. LIZZI - O PAI DAS MICROESTCAS MODERNAS



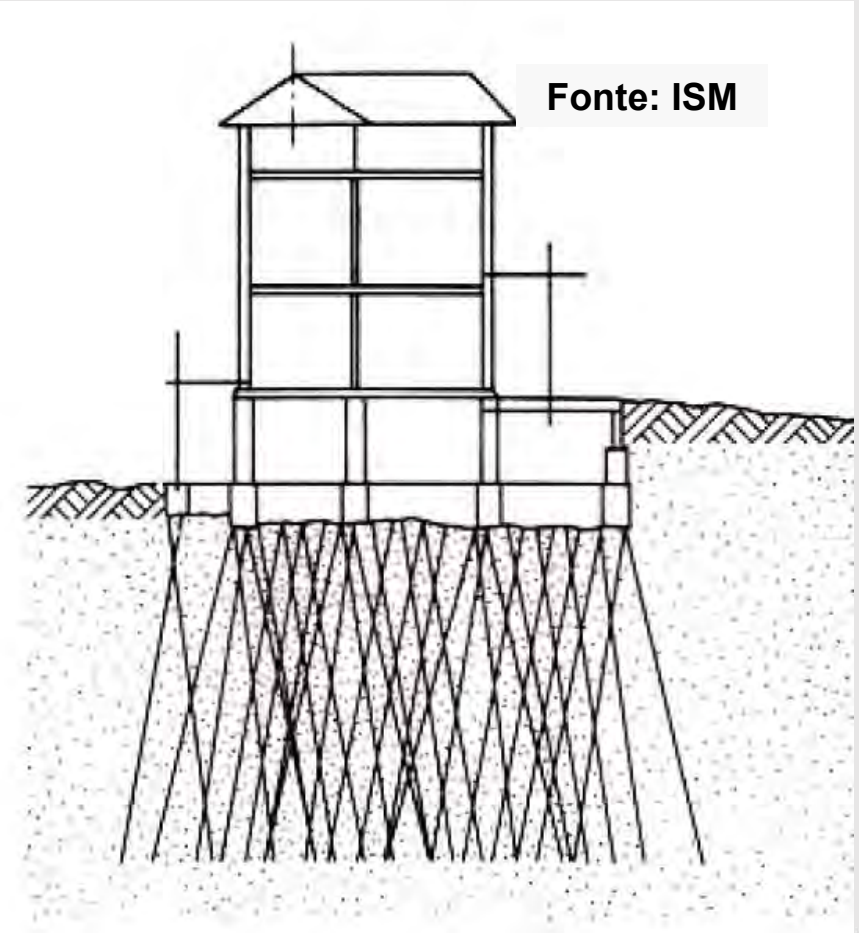
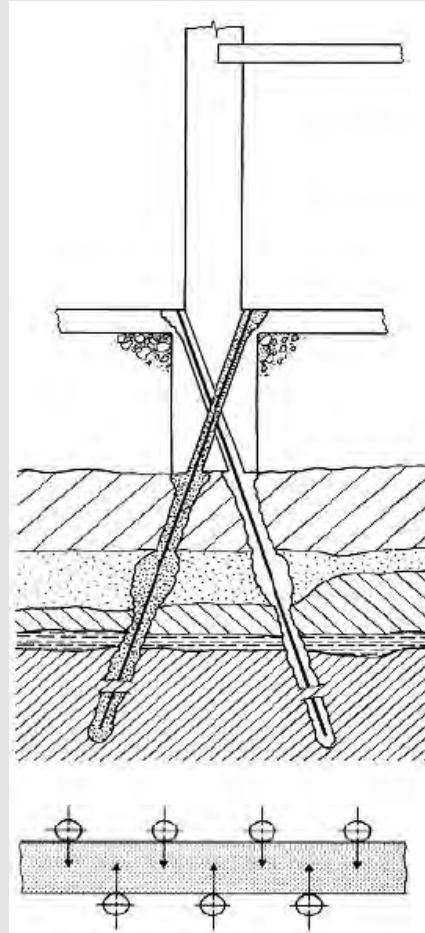
Seção transversal tipo

Planta: corte A-A

Fonte: ISM

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES:  
MICROESTACAS PALO  
RADICE: REFORÇO  
ESTRUTURAL E  
GEOTÉCNICO

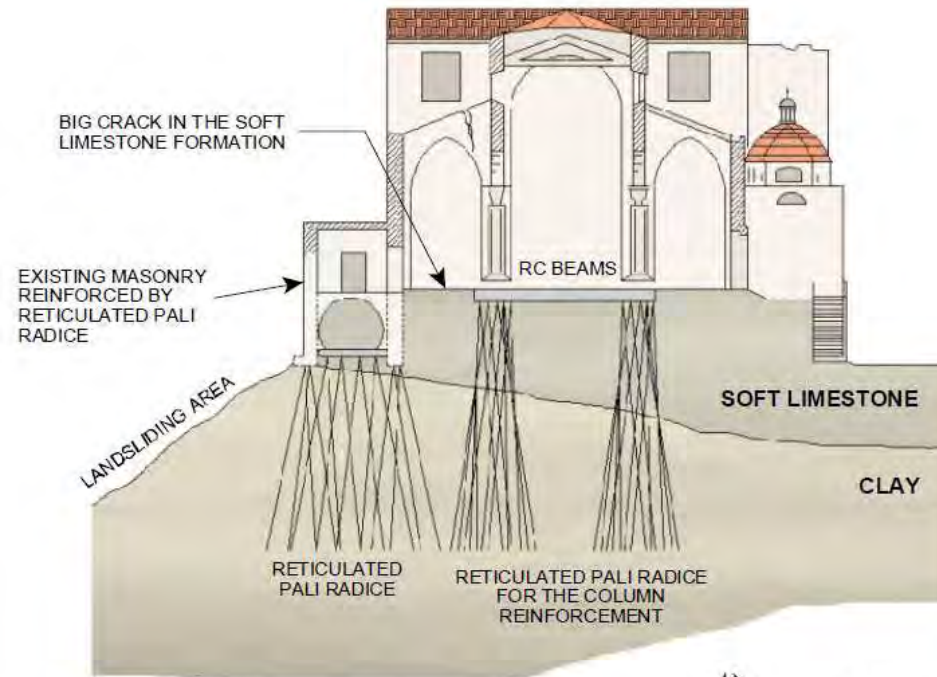


Fonte: ISM

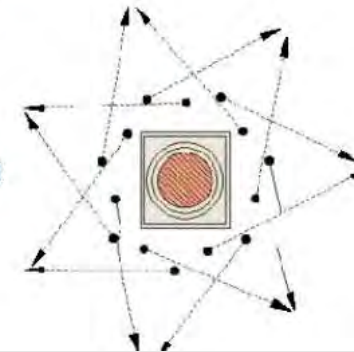


### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES:  
MICROESTACAS PALO  
RADICE: REFORÇO ESTRUTURAL E GEOTÉCNICO



Planta de reforço de fundações de um pilar



Seção transversal tipo

Fonte: ISM

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS PALO RADICE – ORIGENS E FILOSOFIA

- ❖ As primeiras aplicações surgiram da necessidade de reabilitação do edificado italiano com elevado valor histórico e patrimonial, muito degradado pela 2ª Grande Guerra, fundado sobre dispositivos geológicos desfavoráveis e a ainda a ação sismos.
- ❖ Combinava preocupações culturais com a abordagem técnica, tendo as suas intervenções sido orientadas pelo máximo respeito pela conceção e pela execução das soluções originais

Fonte: ISM

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS PALO RADICE – ORIGENS E FILOSOFIA

- ❖ Primeiro não danificar a estrutura original (“Primum non nocere”).
- ❖ Manter o equilíbrio original
- ❖ Reforçar a estrutura e o solo
- ❖ Preservar a estrutura e a arquitetura original
- ❖ Gerir o objetivo de reabilitação da estrutura, incluindo o tratamento / reforço do terreno, determinando assim uma visão pioneira da interação solo - estrutura

Fonte: ISM

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES:  
MICROESTACAS PALO  
RADICE – ORIGENS E FILOSOFIA

Fonte: ISM



A. Rodin  
the Thinker

<http://www.dfi.org/ISM/2007.asp>

#### Lizzi's Farewell for IWM 2002 in Venice

„As for myself I am now only at the window, very far from the forefront. Therefore the only comment I can supply is some reflections to our younger colleagues:

In order to deal with any matter it is essential to deeply know the way already covered by others... that is the State-of-the-Art... In Theory and Practice.

Ignorance does not pay. Beyond what has been already done there is probably something better to do.

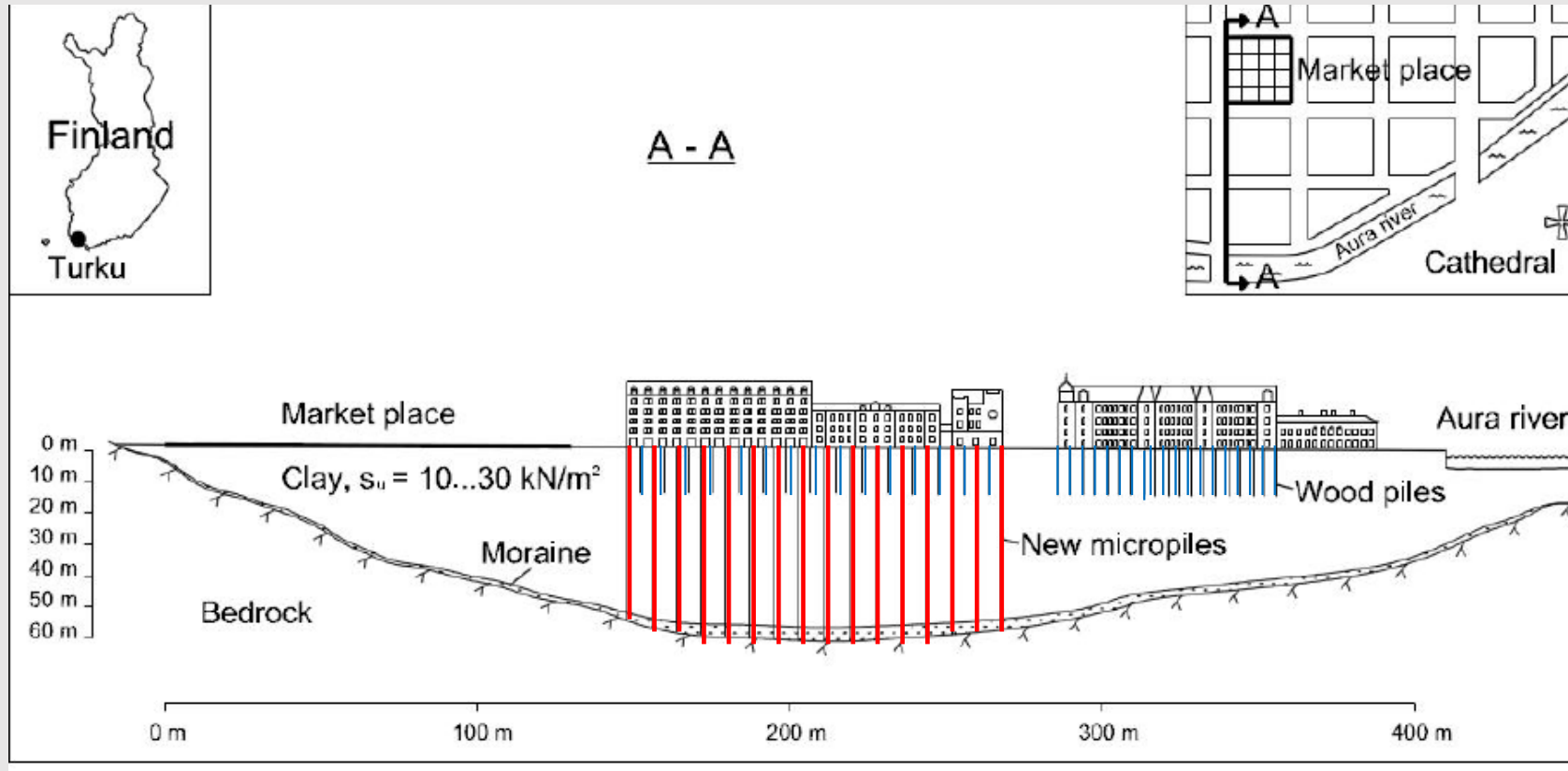
This is based on the knowledge, but sometimes is stimulated by phantasy, by the imagination...”

**„IMAGINATION IS BETTER THAN KNOWLEDGE“**

*says Einstein*

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS – TRATAMENTO OU FUNDAÇÃO?



Fonte: ISM

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

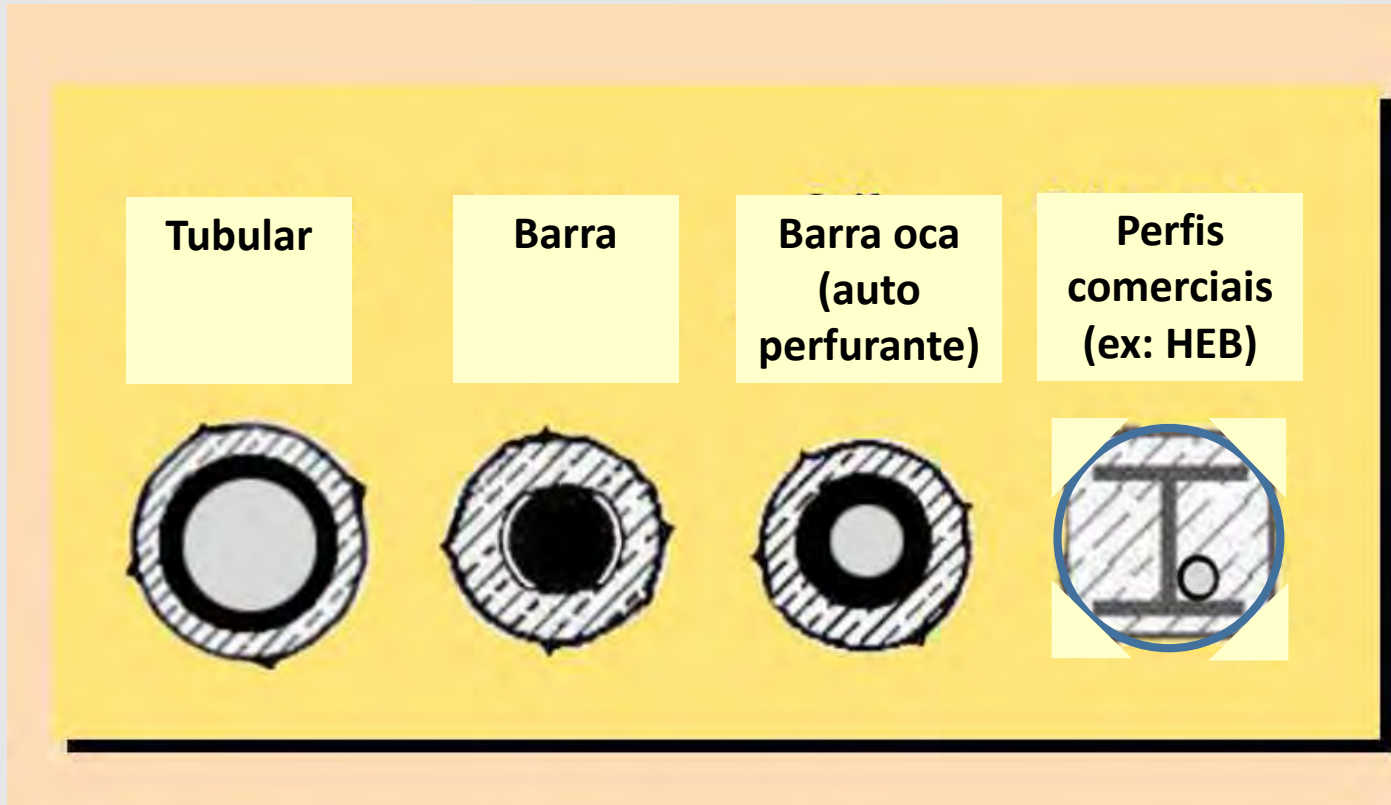
#### ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS – CONCEITO DE TRATAMENTO



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

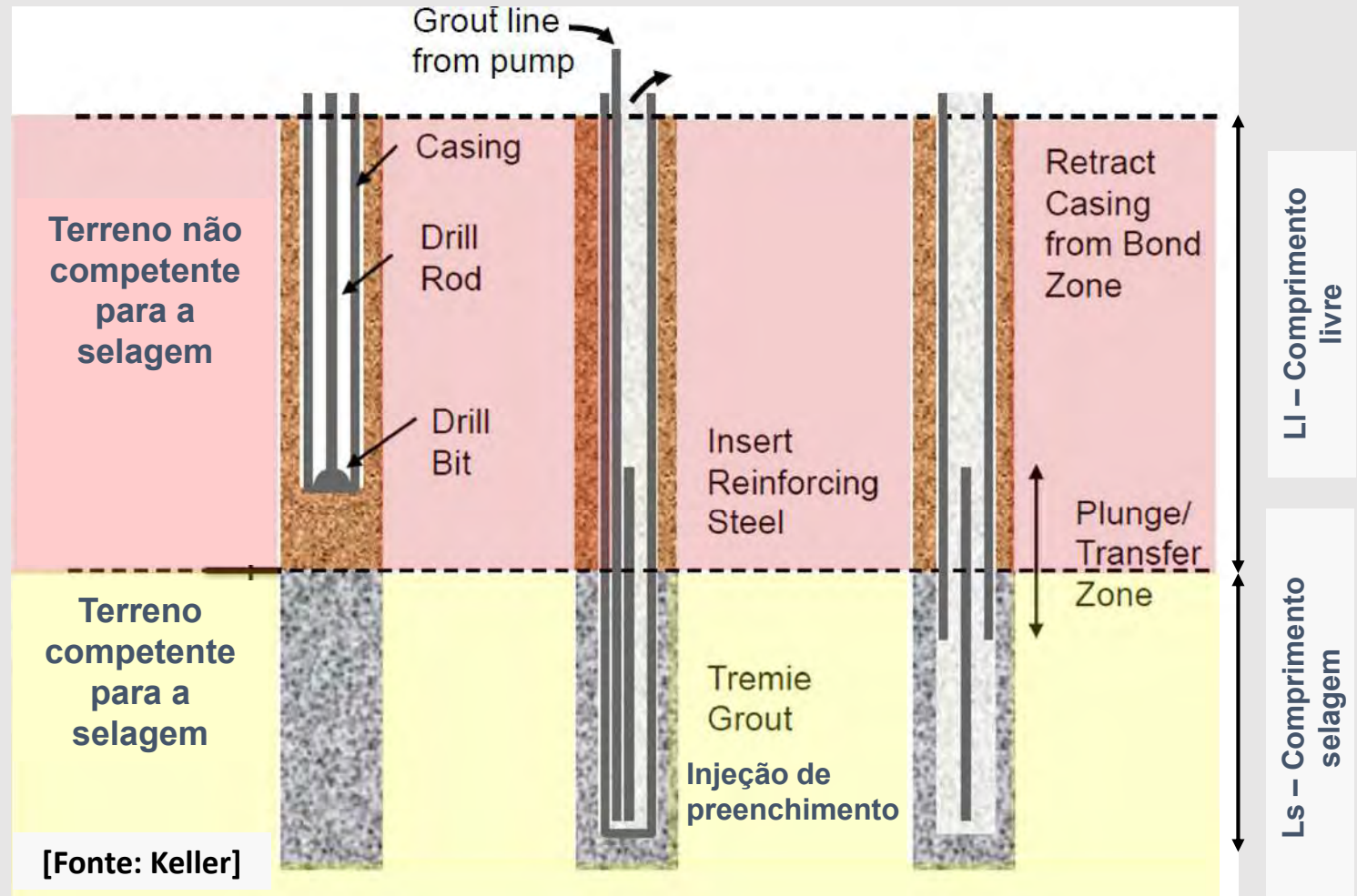
#### □ PRINCIPAIS TIPOS DE ARMADURAS DE MICROESTACAS



[ Fonte: ISM ]

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ☐ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS





### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

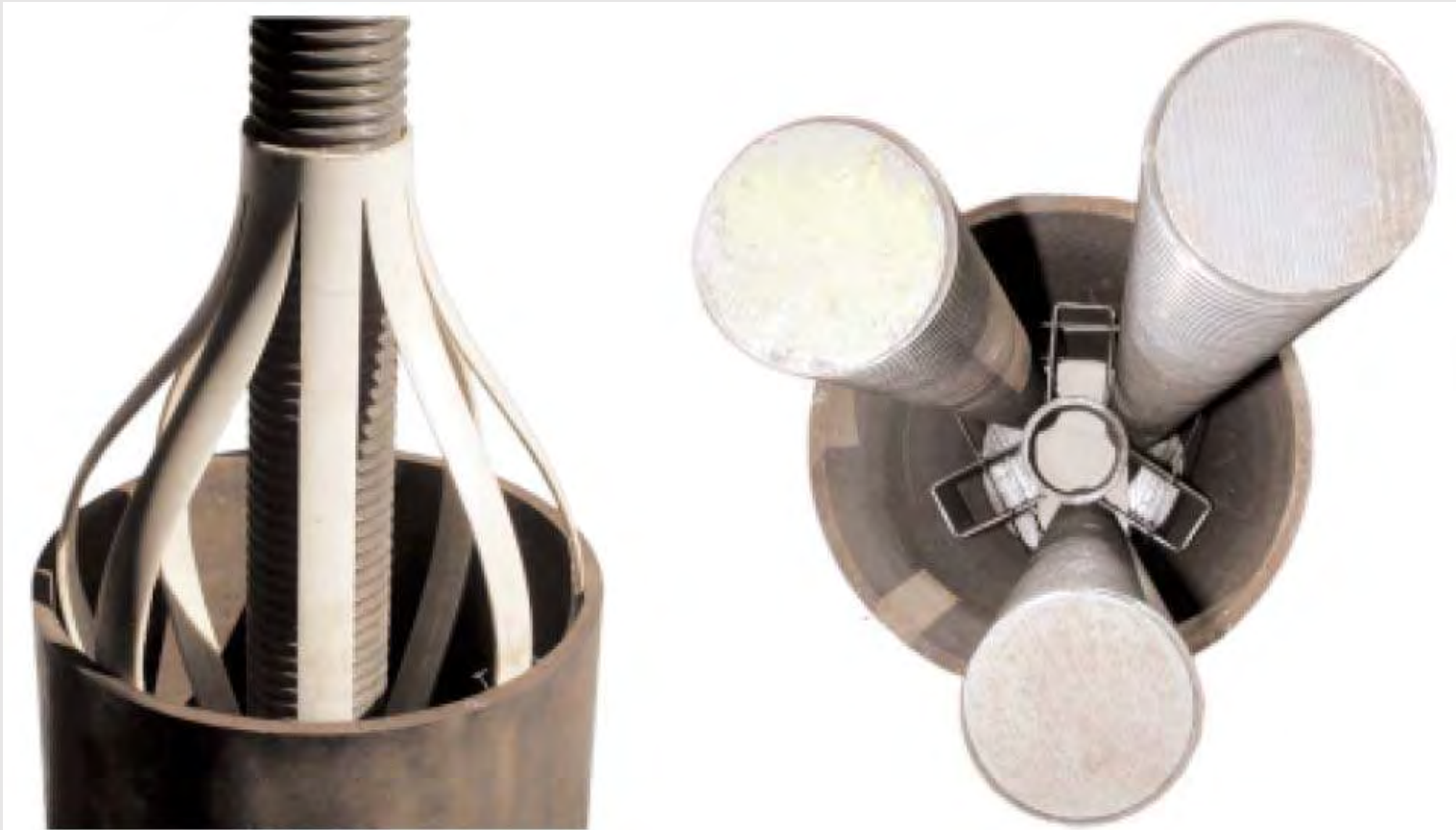
#### ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS EM VARÃO



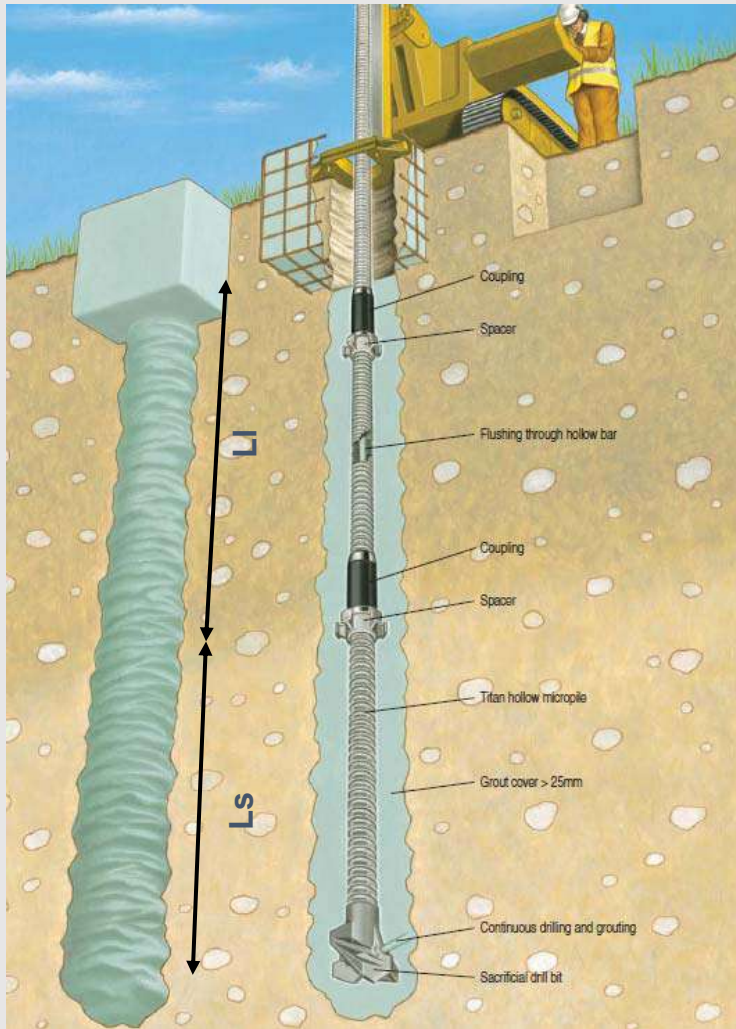
Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS EM VARÃO



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES



Revestimento no comprimento livre (ex: bainha PEAD)



Barra oca

Conector

Centralizador



Ponteira (bit)



- ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS AUTO PERFURANTES (VARÃO OCO)

Fonte: Titan

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS COM SEÇÃO TUBULAR



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS COM SEÇÃO TUBULAR – INDÚSTRIA PETROLÍFERA

#### ACCIAI API 5A/5AC/5AX PER TUBI PER TRIVELLAZIONI (O.C.T.G.)

#### ANALISI CHIMICA DI COLATA E CARATTERISTICHE MECCANICHE

Acciaio	Analisi chimica di colata					Caratteristiche meccaniche				
Sigla	Elemento - %					Note	Carico di rottura R min. Kgf/mm <sup>2</sup>	Carico di snervamento R <sub>s</sub> Kgf/mm <sup>2</sup>	Allungamento A 2" (50,8 mm) min. <sup>(1)</sup> %	Note
Norma	C max.	Mn max.	P max.	S max.	Si max.					
H 40 API 5A	—	—	0,040	0,060	—		42,2	28,1 ÷ 56,2	29,5	
J 55 API 5A	—	—	0,040	0,060	—		52,7	38,7 ÷ 56,2	24,0	
K 55 API 5A	—	—	0,040	0,060	—		66,8	38,7 ÷ 56,2	19,5	
N 80 API 5A	—	—	0,040	0,060	—		70,3	56,2 ÷ 77,3	18,5	

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS COM SEÇÃO TUBULAR – IMPORTÂNCIA DAS UNIÕES



União macho - fêmea



União exterior

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS COM SEÇÃO TUBULAR



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PRINCIPAIS TIPOS DE ARMADURAS DE MICROESTACAS: TUBULARES (N80)

OUTSIDE DIAMETER	THICKNESS	SECTION MODULUS cm <sup>3</sup>	MOMENT OF INERTIA cm <sup>4</sup>	STEEL SECTION cm.sq	WEIGHT kgs/m	ADM. LOAD COMPRESSION Tn
43	3	3,52	7,58	3,77	3	19,8
48	4	5,62	13,48	5,53	5	29,1
60,3	3,2	7,78	23,46	5,74	5	30,2
60,3	6	12,66	38,16	10,23	8	53,8
73	6	19,56	71,40	12,62	11	66,4
73	6,5	20,75	75,74	13,57	12	71,4
73	7	21,88	79,88	14,51	12	76,3
73	8	23,98	87,54	16,33	13	85,8
73	8,5	24,95	91,08	17,22	14	90,5
73	9	25,87	94,43	18,09	15	95,1
73	10	27,57	100,62	19,78	16	104,0
88,9	3	16,81	74,73	8,09	7	42,5
88,9	6	30,34	134,87	15,62	13	82,1
88,9	6,5	32,31	143,62	16,82	14	88,4
88,9	7	34,20	152,04	18,00	14	94,6
88,9	7,5	36,02	160,12	19,17	16	100,8
88,9	8	37,77	167,88	20,32	16	106,8
88,9	8,5	39,44	175,33	21,46	17	112,8
88,9	9	41,05	182,47	22,58	19	118,7
88,9	9,5	42,59	189,32	23,69	19	124,5
88,9	10	44,07	195,88	24,77	20	130,2
88,9	12	49,36	219,41	28,98	23	152,3
101,6	6	40,66	206,57	18,01	15	94,7
101,6	7	46,04	233,87	20,79	17	109,3
101,6	7,5	48,59	246,84	22,16	18	116,5
101,6	8	51,06	259,37	23,51	19	123,6
101,6	9	55,74	283,14	26,17	21	137,6
101,6	10	60,09	305,26	28,76	23	151,2
101,6	12,5	69,66	353,87	34,97	28	183,8
114,3	7	59,64	340,86	23,58	19	124,0
114,3	8	66,37	379,30	26,70	21	140,4
114,3	9	72,70	415,46	29,76	24	156,4
114,3	10	78,64	449,43	32,75	26	172,2
127	8	83,71	531,53	29,89	25	157,1
127	9	91,93	583,78	33,35	28	175,3
127	10	99,72	633,23	36,74	29	193,1
127	12	114,04	724,13	43,33	35	227,8

[Fonte: Grupo Comercial de Sondos]



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PRINCIPAIS TIPOS DE ARMADURAS DE MICROESTACAS: TUBULARES (N80)

OUTSIDE DIAMETER	THICKNESS	SECTION MODULUS cm <sup>3</sup>	MOMENT OF INERTIA cm <sup>4</sup>	STEEL SECTION cm.sq	WEIGHT kgs/m	ADM. LOAD COMPRESSION Tn
139,7	7	92,17	643,81	29,17	23	153,3
139,7	7,5	97,68	682,32	31,13	25	163,7
139,7	8	103,07	719,92	33,08	26	173,9
139,7	9	113,45	792,43	36,94	31	194,2
139,7	10	123,33	861,46	40,73	33	214,1
139,7	11	132,73	927,11	44,45	36	233,7
139,7	12	141,66	989,49	48,12	38	253,0
139,7	12,5	145,95	1 019,49	49,93	40	262,5
152,4	6	97,14	740,19	27,58	22	145,0
152,4	9	137,24	1 045,77	40,52	35	213,0
152,4	10	149,47	1 138,95	44,71	36	235,1
168,3	7	137,28	1 155,20	35,45	28	186,4
168,3	9	170,24	1 432,56	45,02	36	236,7
168,3	10	185,76	1 563,19	49,71	40	261,3
168,3	11	200,67	1 688,64	54,33	43	285,6
168,3	16	266,55	2 242,98	76,52	61	402,2
177,8	9	191,66	1 703,85	47,70	38	250,8
177,8	9,5	200,58	1 783,19	50,20	40	263,9
177,8	10	209,34	1 861,04	52,69	42	277,0
177,8	11	226,36	2 012,36	57,61	46	302,9
177,8	12,5	250,69	2 228,66	64,88	51	341,1
193,7	6,3	168,22	1 629,22	37,07	30	194,9
193,7	12	293,01	2 837,76	68,46	54	359,9
203	6	177,55	1 802,16	37,11	30	195,1
203	9	254,66	2 584,76	54,82	44	288,2
203	12	324,61	3 294,82	71,97	57	378,3
219	6	208,00	2 277,58	40,13	32	211,0
219	8	269,77	2 953,93	53,00	42	278,6
219	9	299,31	3 277,46	59,35	47	312,0
219	10	327,99	3 591,46	65,63	52	345,0
219	11	355,81	3 896,15	71,84	57	377,7

[Fonte: Grupo Comercial de Sondos]

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PRINCIPAIS TIPOS DE ARMADURAS DE MICROESTACAS: TUBULARES (N80)

##### CSTM80<sup>®</sup> PIPE TECHNICAL SPECIFICATIONS

- N80-type steel with yield strength >552 MPa and tensile strength >689 MPa.
- Outside diameter tolerance  $\pm 1\%$ .
- Thickness tolerance  $\pm 12.5\%$ .

##### STANDARD EN 10219

Hollow profiles for welded construction, cold-formed with non-alloy and fine-grain steel

NAME	STANDARD	MIN YIELD STRENGTH (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa) NOMINAL	MIN ELONGATION (%)
		Nominal thickness < 16 mm	Thickness > 3 < 40 mm	Nominal thickness < 40 mm
<b>S235</b>	EN 10219	235	360-510	24 <sup>a</sup>
<b>S275</b>	EN 10219	275	410-560	20 <sup>a</sup>
<b>S355</b>	EN 10219	355	470-630	20 <sup>a</sup>
<b>S460</b>	EN 10219	460	530-720	17
<b>S550</b>	EN 10305-3/EN 10219	550	600-760	14 <sup>a</sup>
<b>N80</b>	API 5 CT	552	689	18

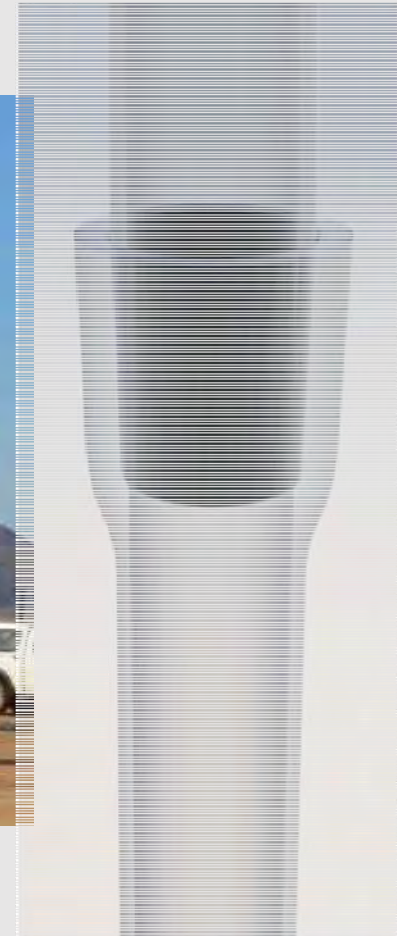
<sup>a</sup> Minimum elongation is halved for profile sizes D/T < 15



[Fonte: Grupo Comercial de Sondeos]

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS CRAVADAS EM FFD

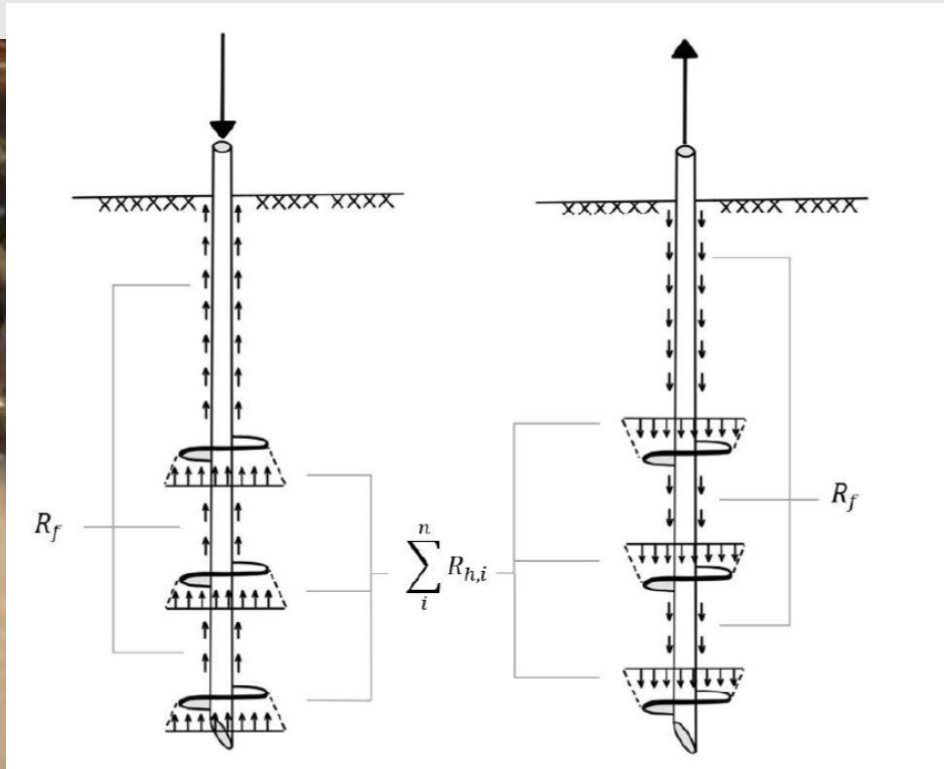


❖ Importância do sistema de encaixe entre tubos

Fonte: TRM

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES: MICROESTACAS HELICÓIDAS



Fonte: Raquel Carvalho

❖ Instalação simples e resistência é mobilizada sobretudo pelas hélices

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

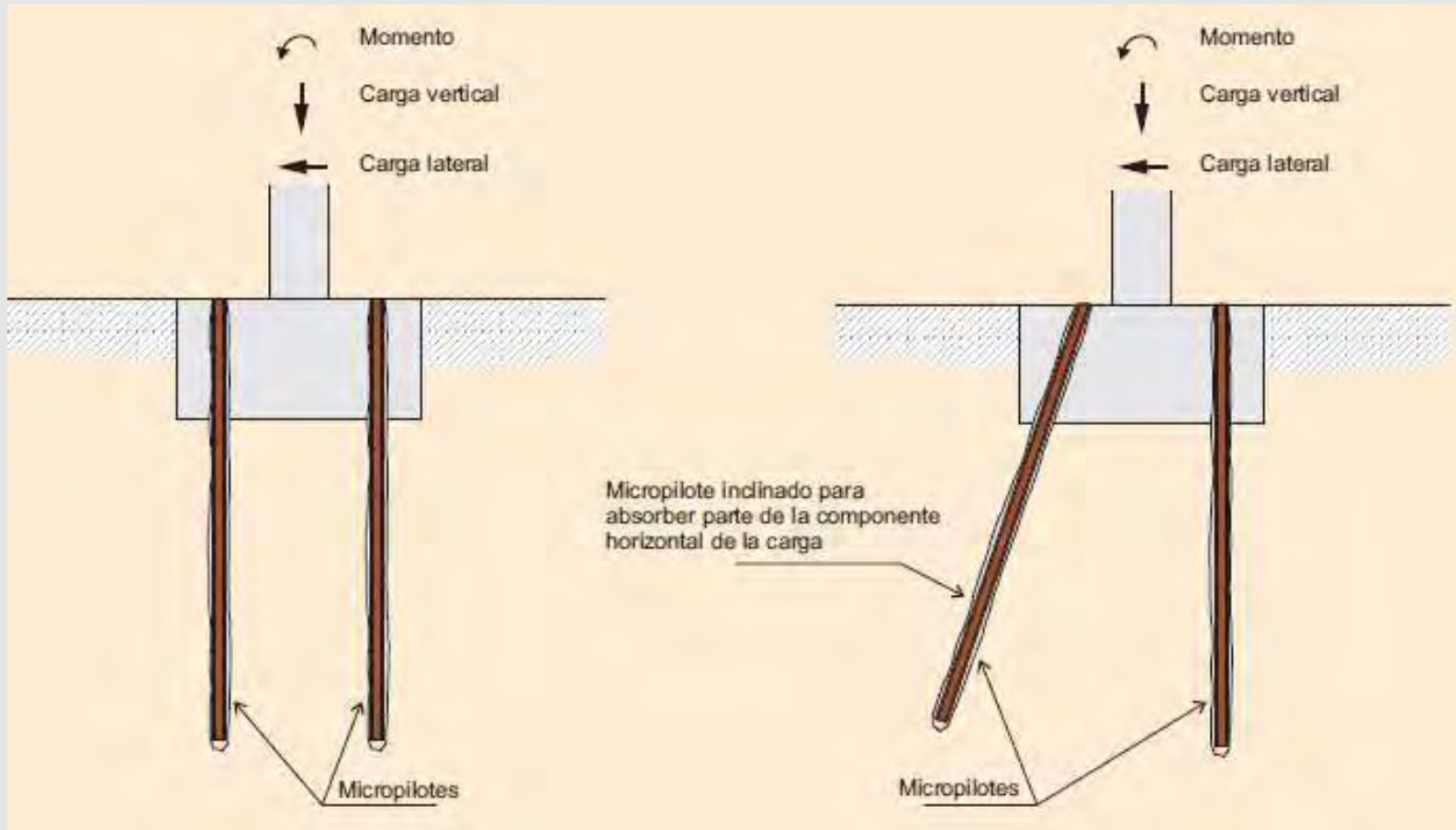
#### ❑ PROJETO DE MICROESTACAS: DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL, EC3 (FUNÇÃO DAS CARGAS E DO COMPRIMENTO NÃO CONFINADO)

- ❖ Esforços a acomodar: de preferência axiais, incluindo eventual atrito negativo
- ❖ Distância a obstáculos e conseqüentes excentricidades
- ❖ Estimativa de deformações, incluindo eventual fluência
- ❖ Comprimento não confinado: escavação por recalçamento ou solos muito moles
- ❖ Ligação ao maciço de encabeçamento



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

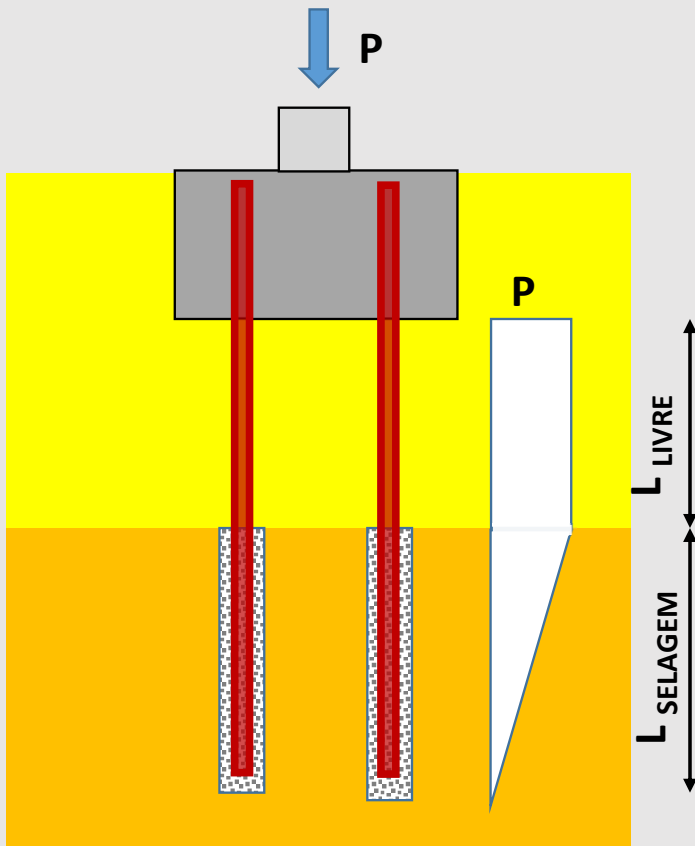
#### PROJETO DE MICROESTACAS: DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL, EC3 (FUNÇÃO DAS CARGAS E DO COMPRIMENTO NÃO CONFINADO)



Fonte: Norma Espanhola

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE MICROESTACAS: DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL ENCURTAMENTO ELÁSTICO



$$\Delta = P \times L / (E \times A)$$

- ❖ Para microestacas em solos:  $L = L \text{ livre} + 0,5 \times L \text{ selagem}$
- ❖ Para microestacas em maciços rochosos:  $L = L \text{ livre}$
- ❖ Rigidez axial (EA) em compressão: aço + calda de cimento
- ❖ Rigidez axial (EA) em tração: aço + calda de cimento (se calda não fissurar)



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ PROJETO DE MICROESTACAS: ENCURVADURA (EN 14199:2005)  
(FUNÇÃO DAS CARGAS, DA ALTURA DA ESCAVAÇÃO E DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS)

#### 7.11 Special requirements for micropiles installed through very weak soils

**7.11.1** In very weak soils it can be necessary to provide a sacrificial lining or permanent casing to contain the fresh grout, mortar or concrete.

**7.11.2** For micropiles installed through soil layers with characteristic undrained shear strength of less than **10kPa**, a check for buckling is required taking into account the geometrical construction tolerances.

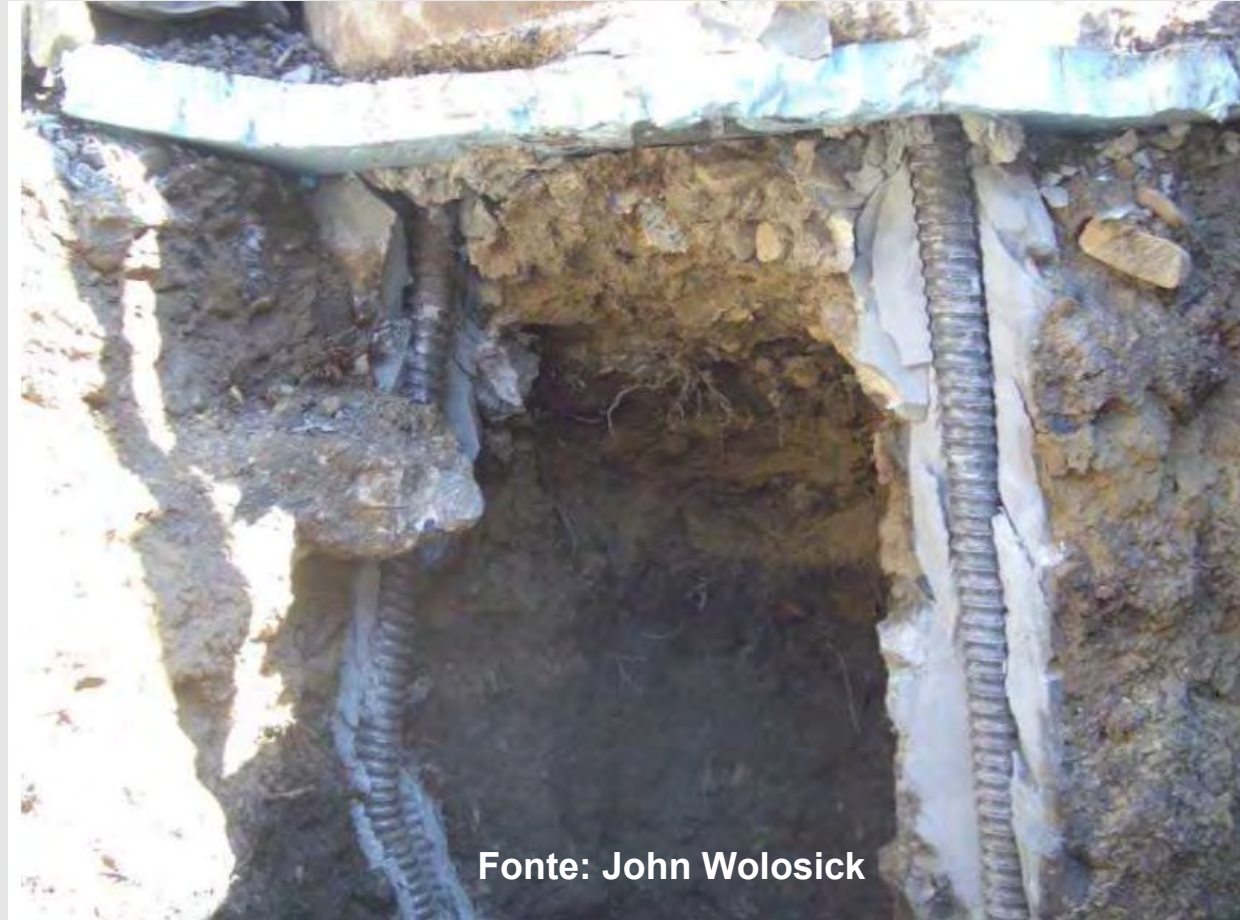




### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ PROJETO DE MICROESTACAS: ENCURVADURA (EN 14199:2005)

(FUNÇÃO DAS CARGAS, DA ALTURA DA ESCAVAÇÃO E DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS)

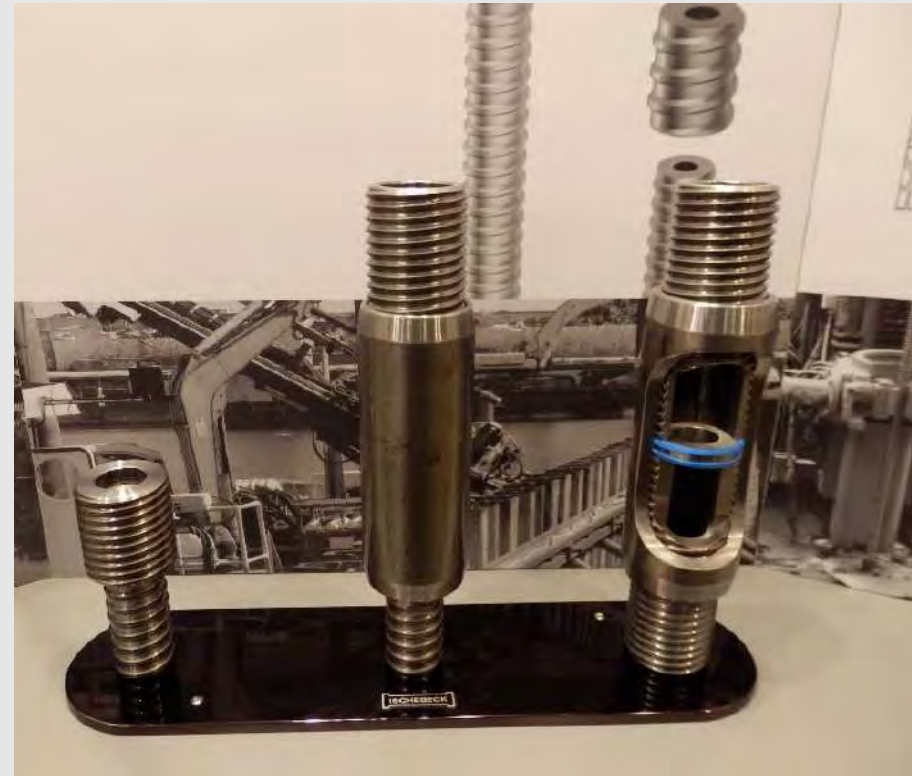
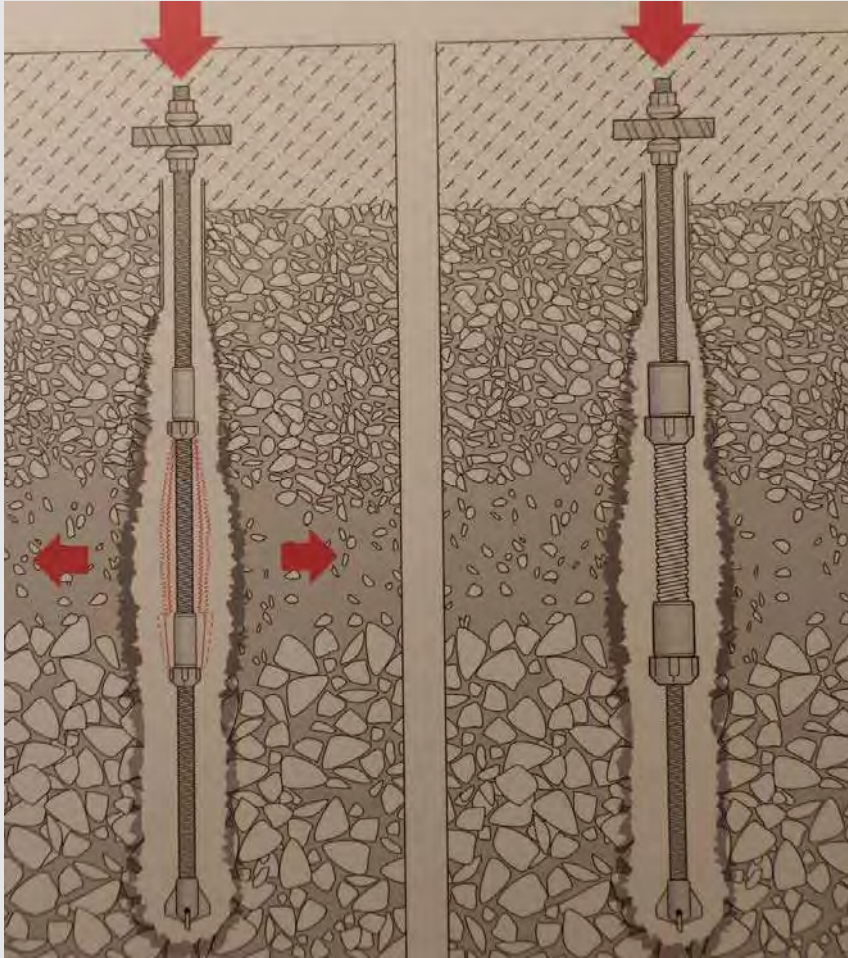


Fonte: John Wolosick

Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE MICROESTACAS: ENCURVADURA – POSSIBILIDADE DE TROÇOS COM MAIOR RAIOS DE GIRAÇÃO



Fonte: Titan

Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

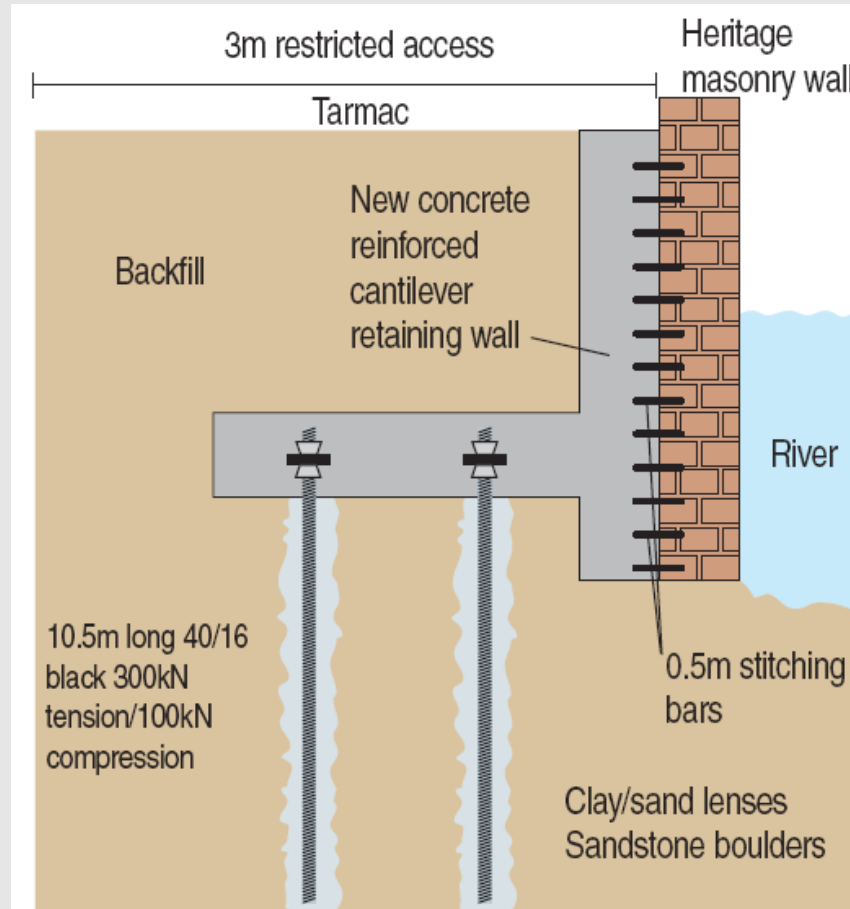
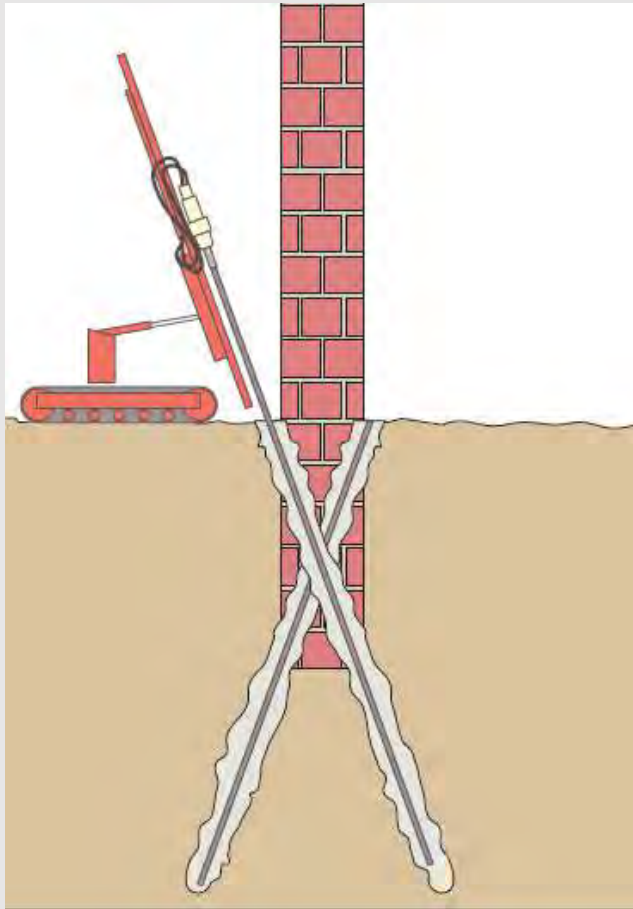
### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE MICROESTACAS: ENCURVADURA – IMPORTÂNCIA DAS UNIÕES EXTERIORES



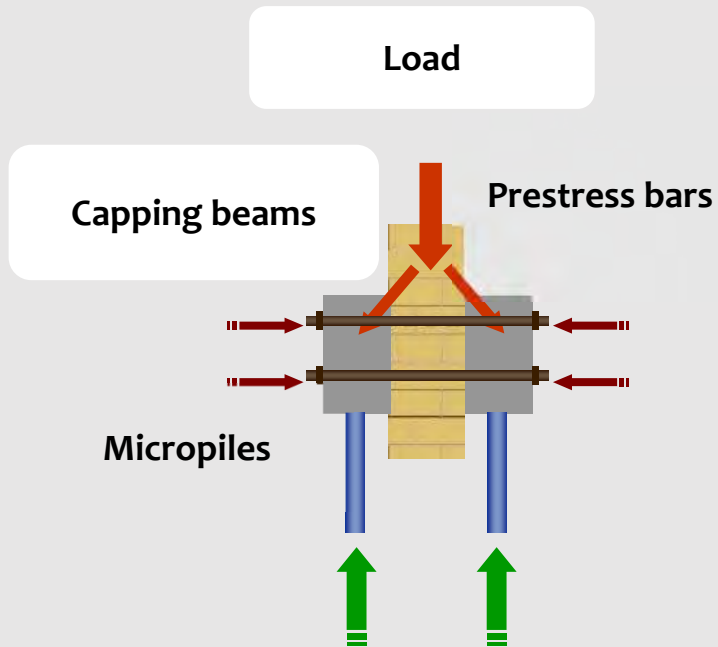
### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE MICROESTACAS: TRANSMISSÃO DE CARGA ÀS MICROESTACAS



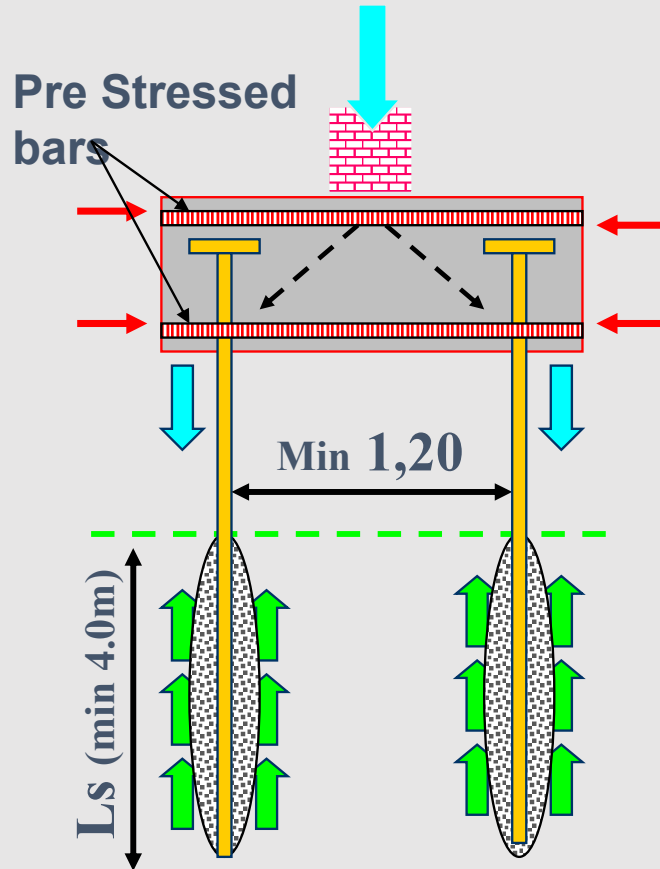
### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE MICROESTACAS: TRANSMISSÃO DE CARGA ÀS MICROESTACAS – SOLUÇÃO CENTRADA



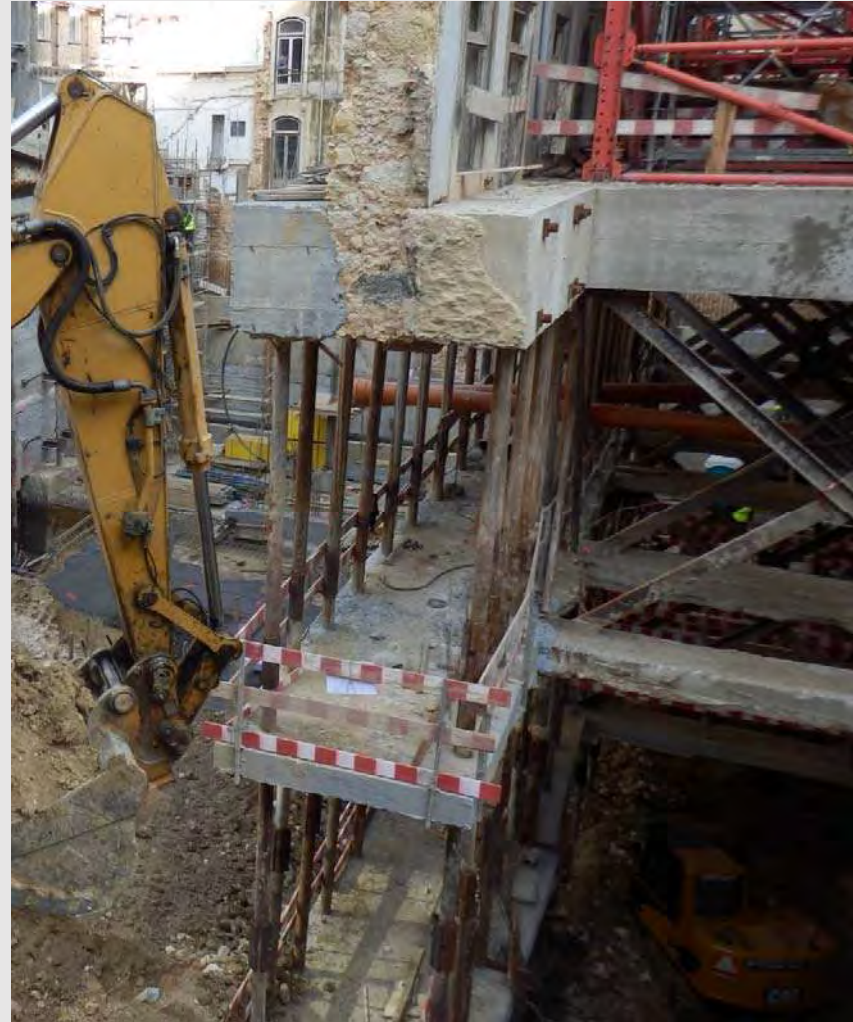
### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE MICROESTACAS: TRANSMISSÃO DE CARGA ÀS MICROESTACAS – SOLUÇÃO CENTRADA



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

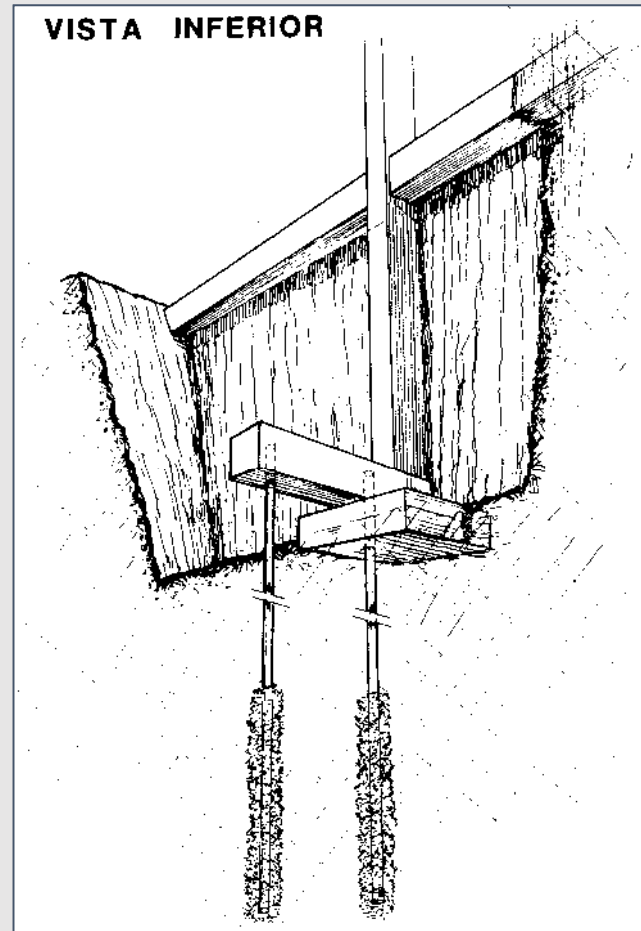
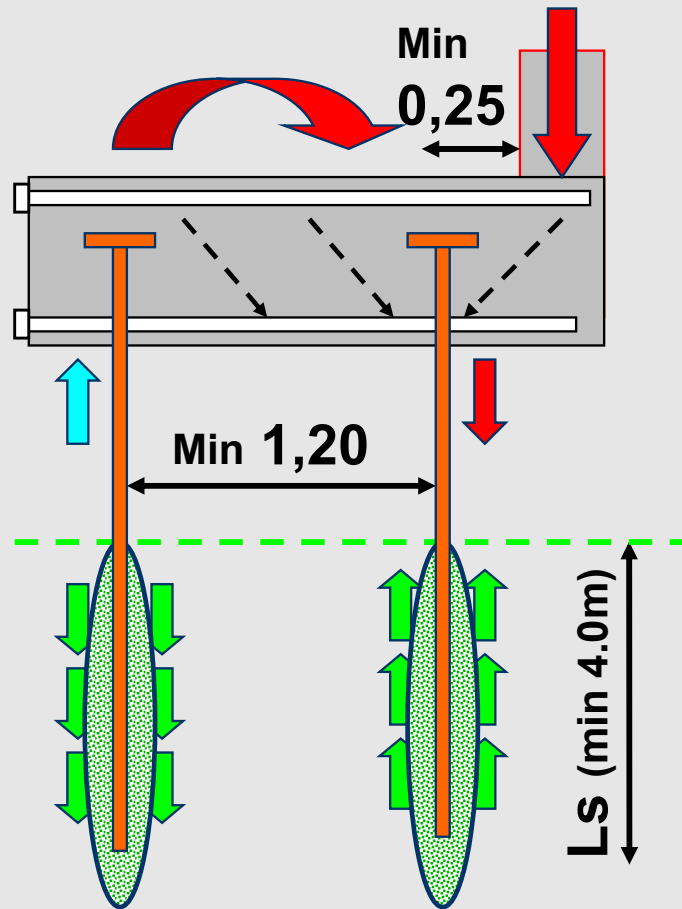
- ❑ PROJETO DE MICROESTACAS:  
TRANSMISSÃO DE CARGA ÀS  
MICROESTACAS – SOLUÇÃO CENTRADA



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE MICROESTACAS: TRANSMISSÃO DE CARGA ÀS MICROESTACAS – SOLUÇÃO EXCÊNTRICA





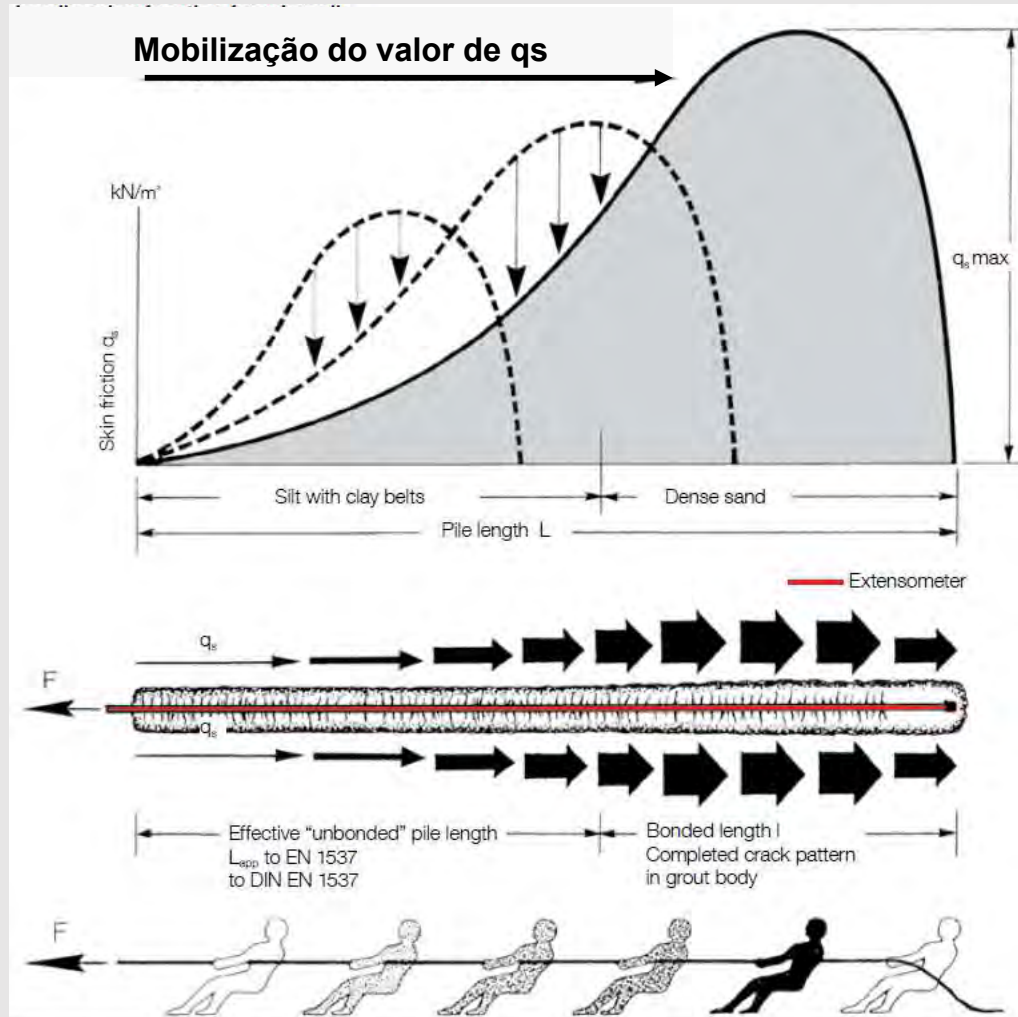
### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- PROJETO DE MICROESTACAS: TRANSMISSÃO DE CARGA ÀS MICROESTACAS – SOLUÇÃO EXCÊNTRICA



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

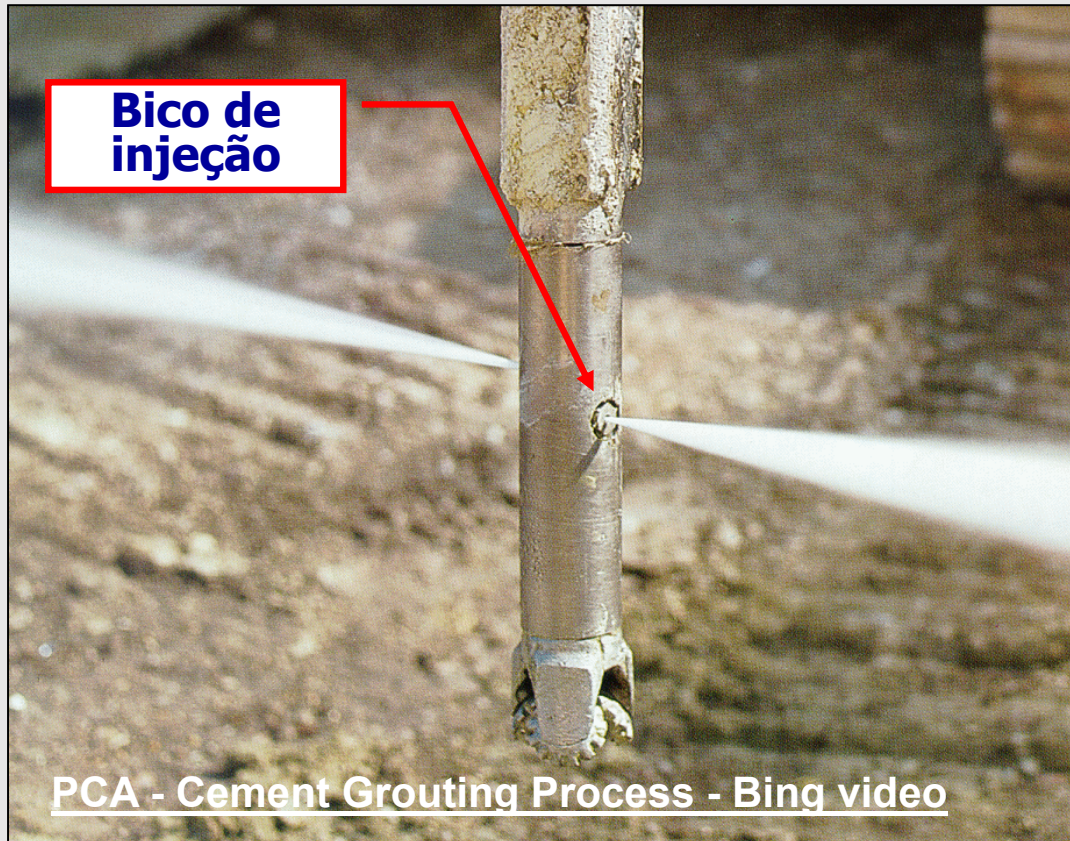
#### PROJETO DE MICROESTACAS: COMPRIMENTO DE SELAGEM



Fonte: Titan

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

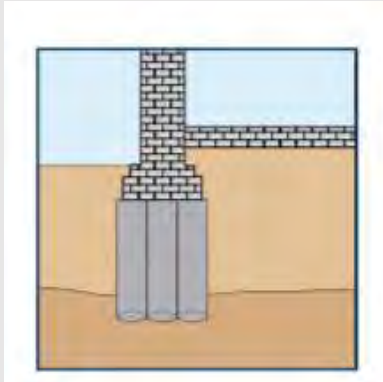
#### PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

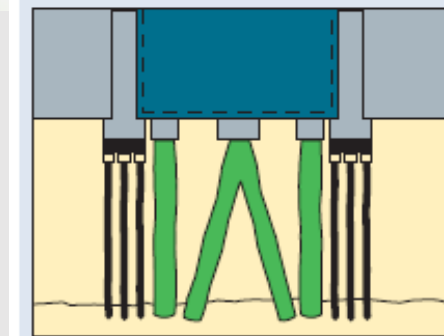
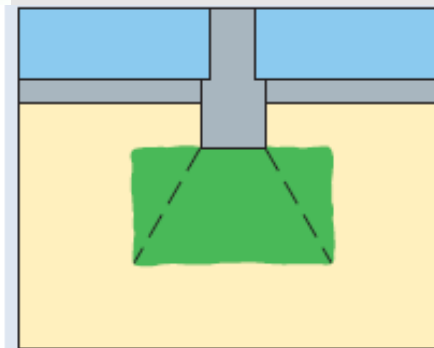
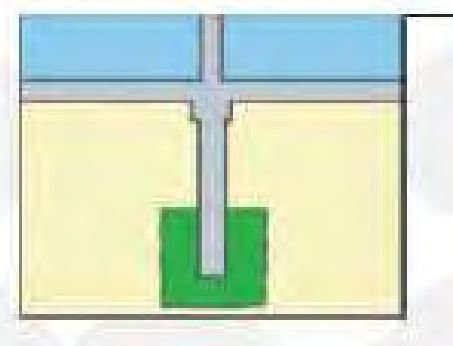
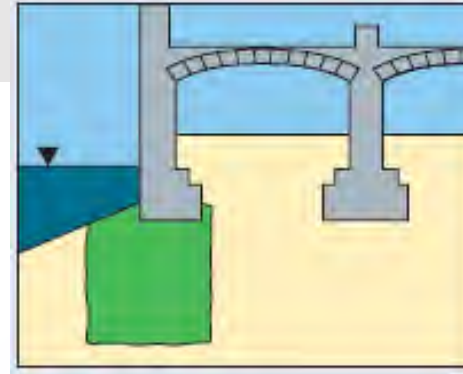
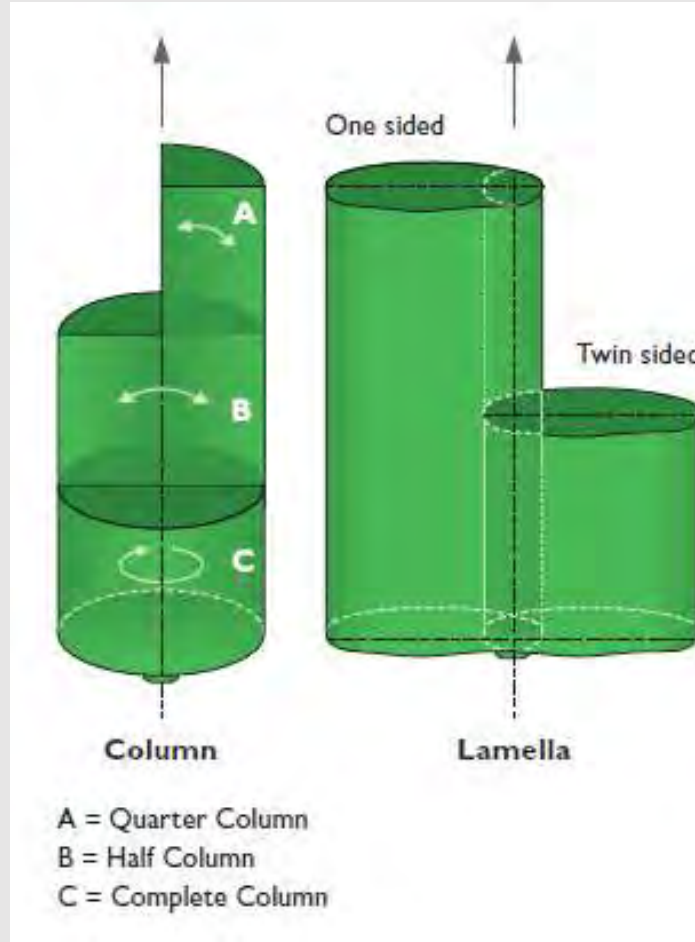
#### PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING

Jet grout columns can be placed under existing foundations to reduce settlements or increase the load carrying capacity of the soils by using the soil cement to transfer loads to a more competent layer.



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

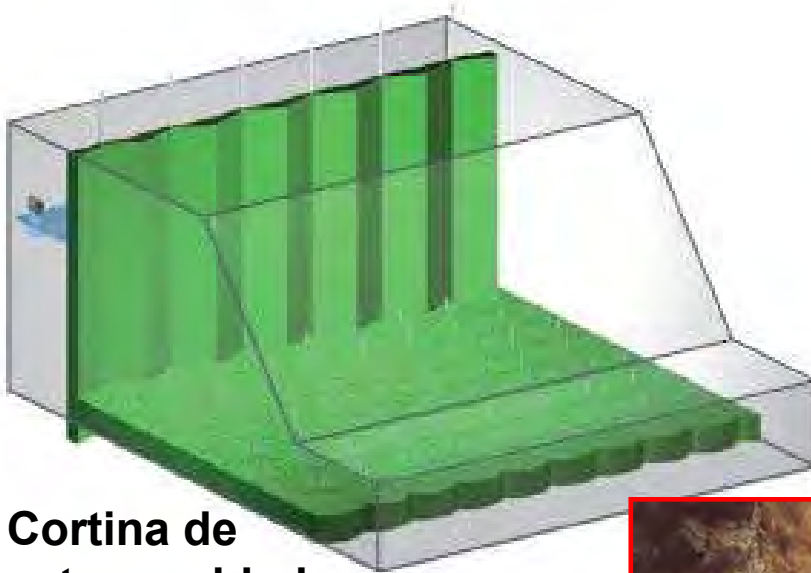
#### PROJETO DE CORPOS DE JET GROUTING



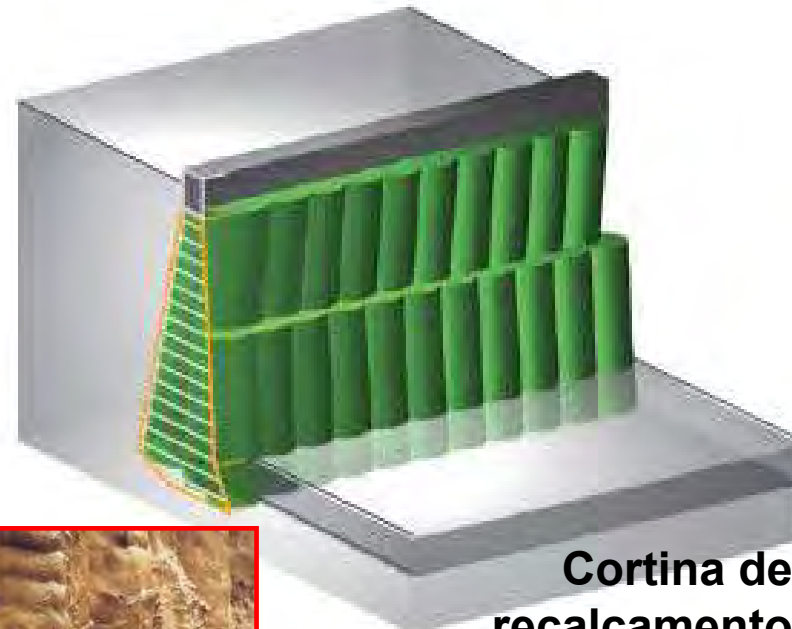
Fonte: Keller

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE CORPOS DE JET GROUTING



**Cortina de estanqueidade**



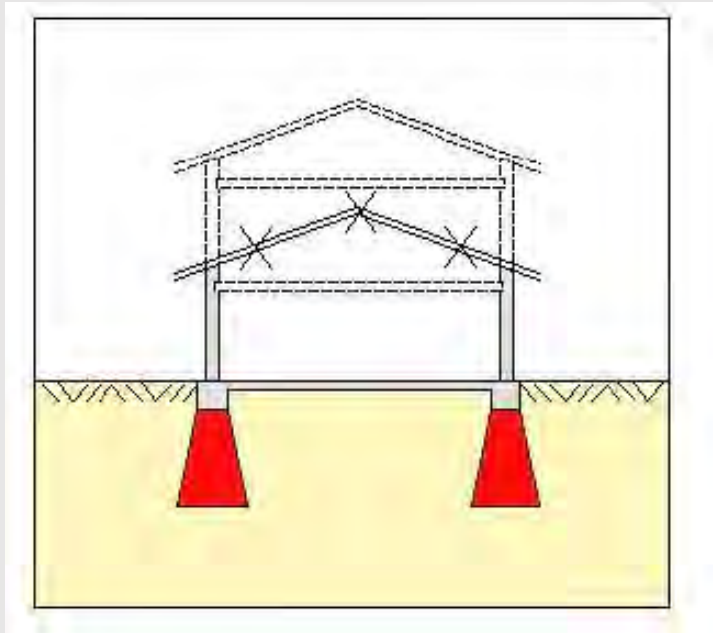
**Cortina de recalçamento**



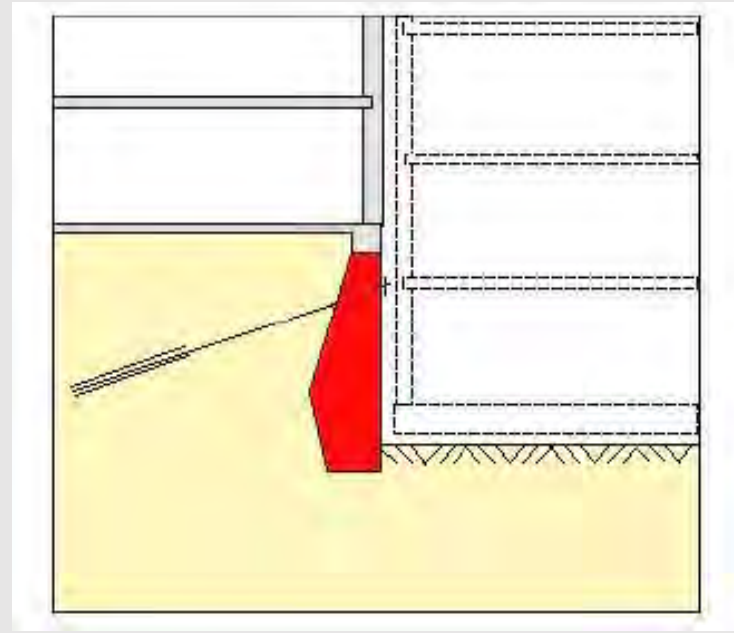
Fonte: Keller

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### REFORÇO DE FUNDAÇÕES COM COLUNAS DE JET GROUTING



Recalçamento e reforço de fundações



Recalçamento e de fundações e contenção de terrenos

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- REFORÇO DE FUNDAÇÕES COM COLUNAS DE JET GROUTING: POSSIBILIDADE DE TRATAMENTO DE PAREDES PERIFÉRICAS E LAJE DE FUNDO

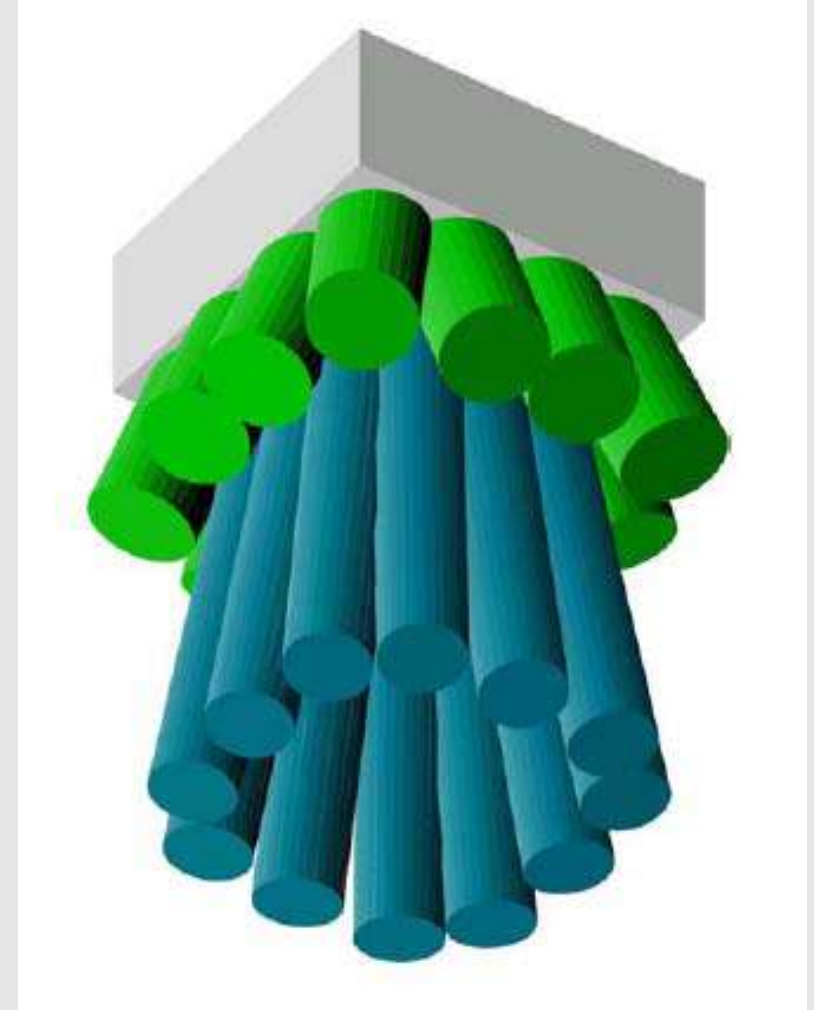


Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- REFORÇO DE FUNDAÇÕES  
COM COLUNAS DE JET  
GROUTING:  
RECALÇAMENTO DIRETO



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

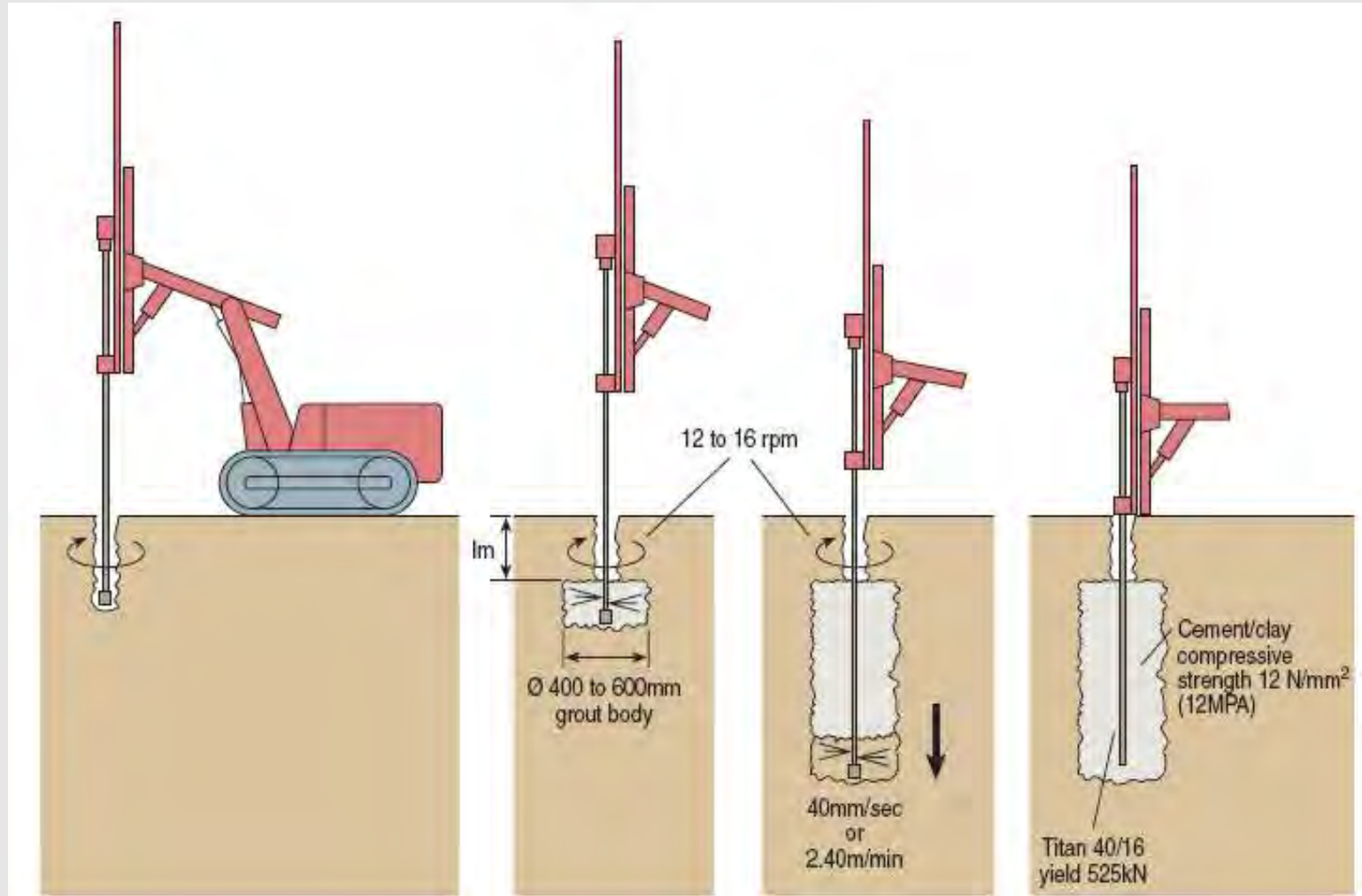
- REFORÇO DE FUNDAÇÕES COM COLUNAS DE JET GROUTING:  
RECALÇAMENTO DIRETO



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

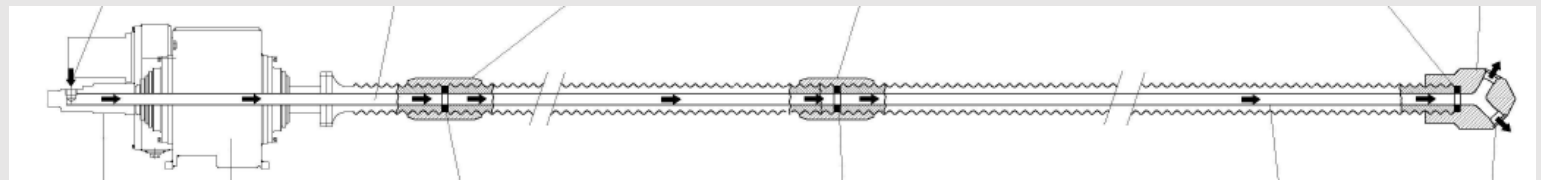
#### PROJETO DE COLUNAS DE MINI JET GROUTING



Fonte: Titan

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE COLUNAS DE MINI JET GROUTING

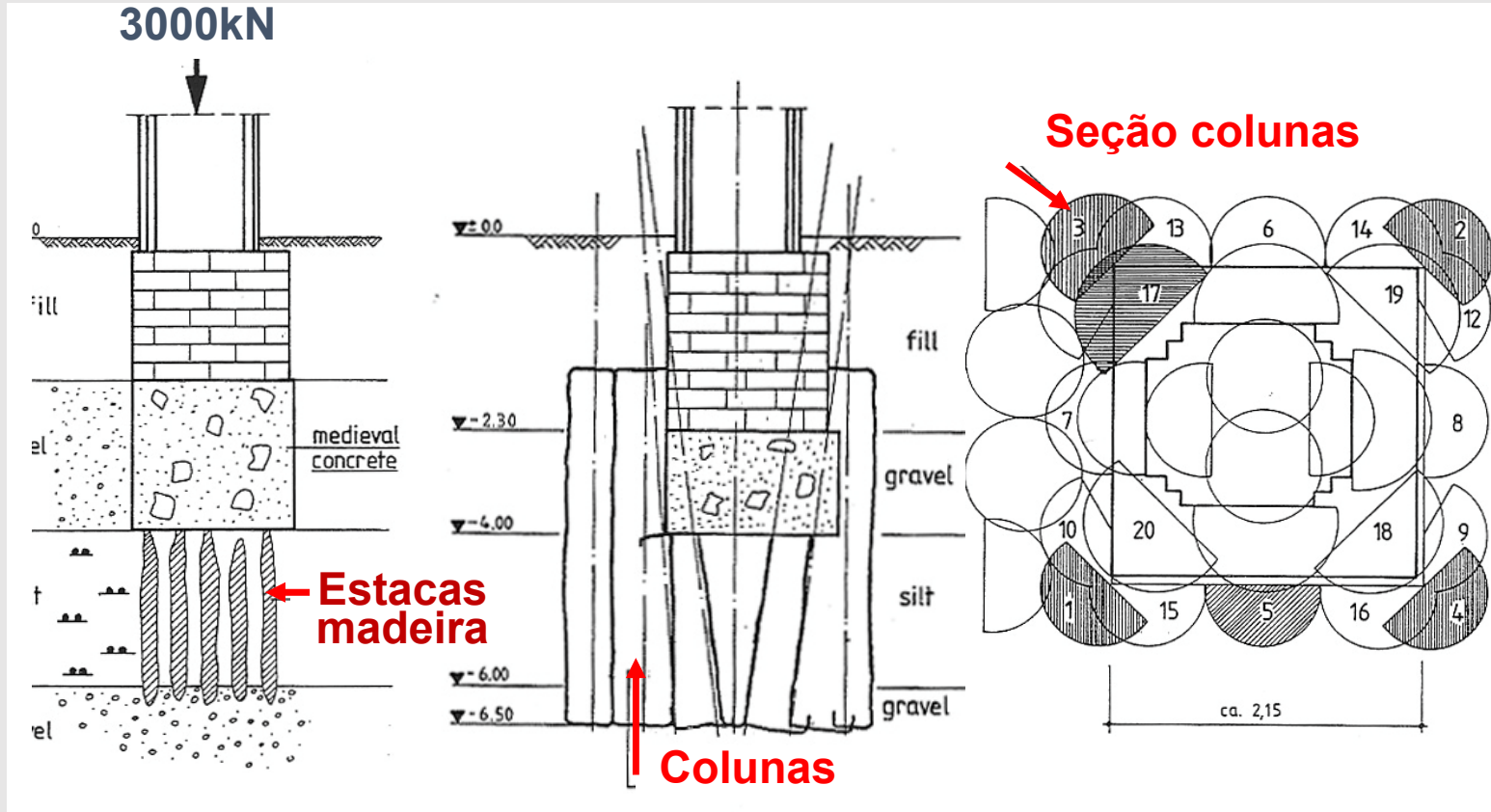


Fonte: TecSoil- miniJet

Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

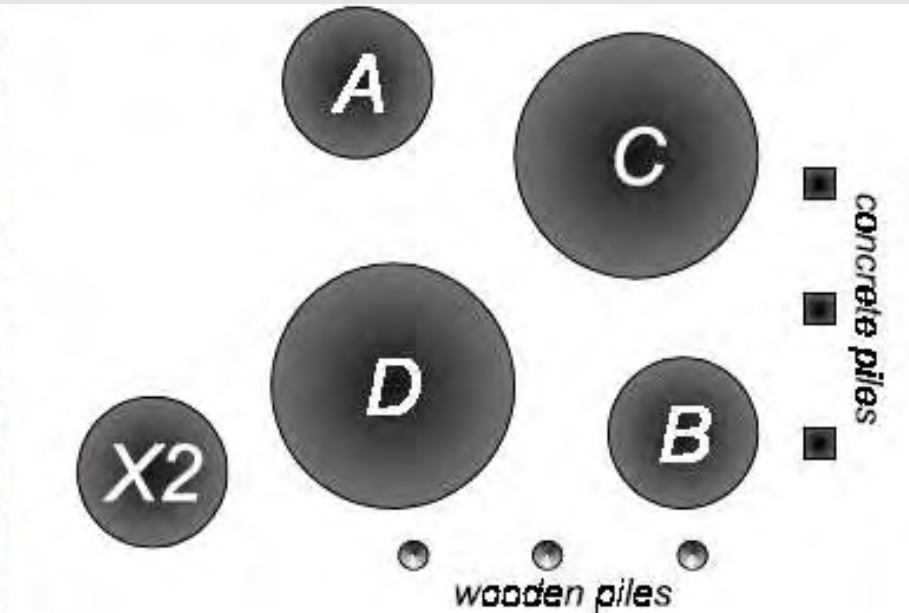
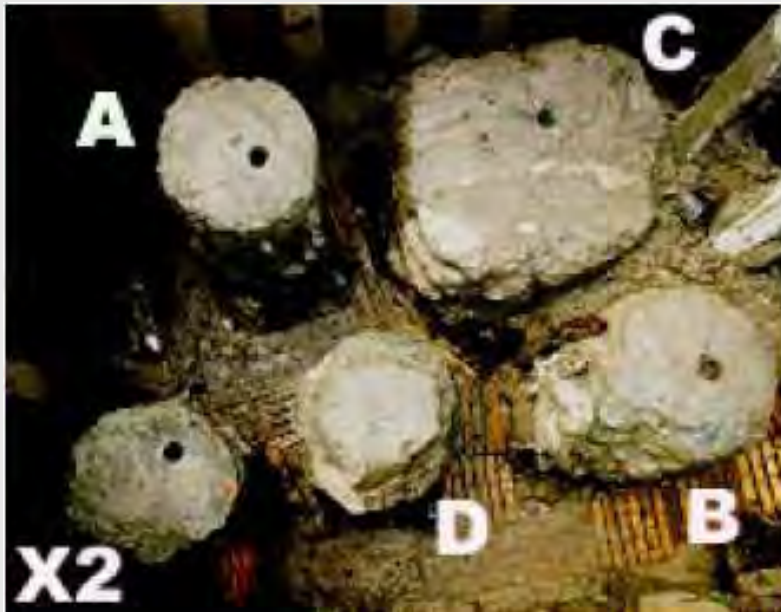
#### REFORÇO DE FUNDAÇÕES COM COLUNAS DE JET GROUTING: RECALÇAMENTO DIRETO



[SNCF Réseau : retour sur les travaux de jet grouting du RER C - Bing video](#)

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### REFORÇO DE FUNDAÇÕES COM COLUNAS DE JET GROUTING: COMPATIBILIDADE COM FUNDAÇÕES ORIGINAIS



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### REFORÇO DE FUNDAÇÕES COM COLUNAS DE JET GROUTING: RECALÇAMENTO POR CONFINAMENTO



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING

Principais condições que justificam o tratamento do solo com soluções de jet grouting:

- ❖ Ser excessivamente permeável e, portanto, inadequado para impedir indesejáveis circulações da água subterrânea
- ❖ Dispor de uma resistência insuficiente para suportar uma alteração do respetivo estado de tensões, por incremento (capacidade de carga) ou por alívio (escavação)



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING



Facilidade de desagregação

Dificuldade de desagregação

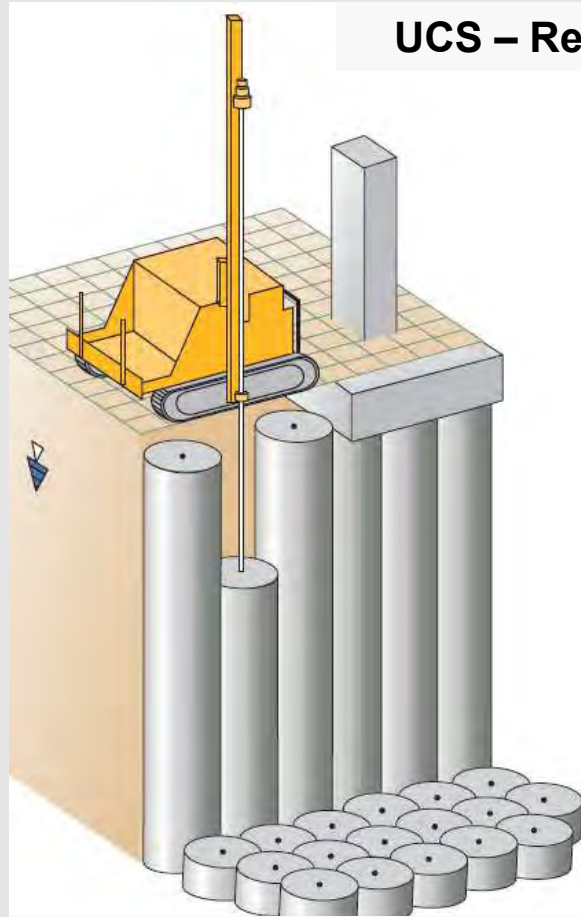
- Cobbly Soils
- Gravelly Soils
- Clean Sands
- Loose Silty Sands
- Peats and Organic Silts
- Dense Silty Sands
- Loose Clayey Sands
- Low Plasticity Silts
- Dense Clayey Sands
- Low Plasticity Clays (soft)
- High Plasticity Silts
- Low Plasticity Clays (stiff)
- High Plasticity Clays

Areias, seixos e cascalhos

Argilas muito plásticas

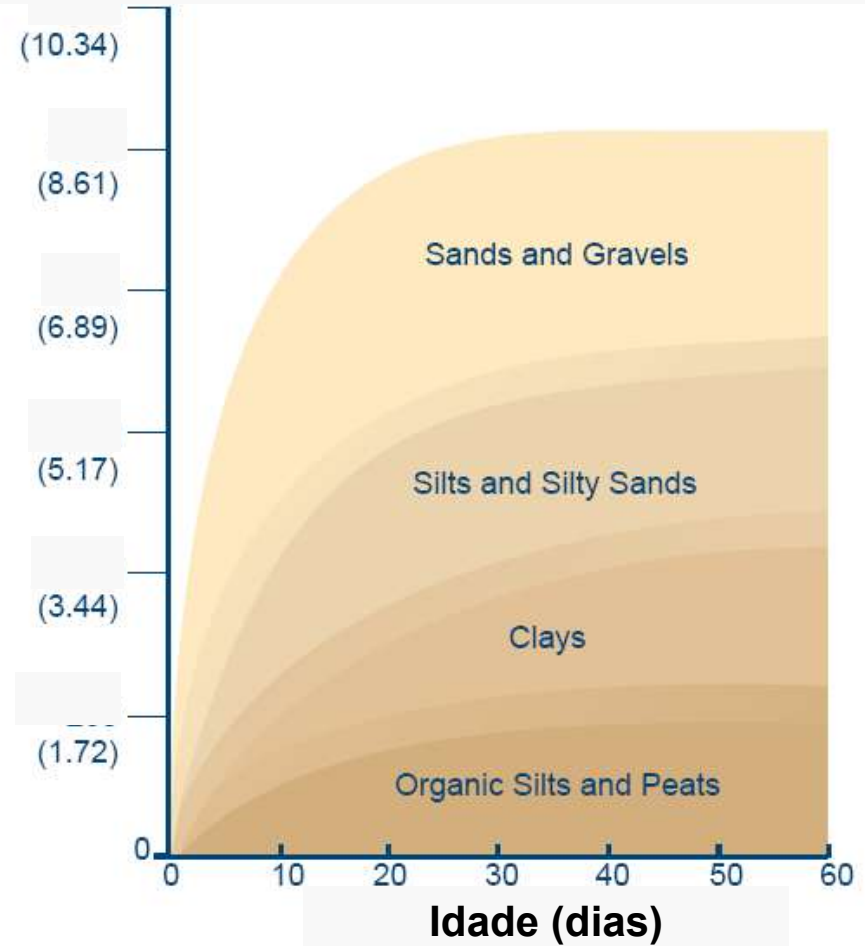
### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING



Fonte: Keller

#### UCS – Resistência à compressão não confinada [MPa]



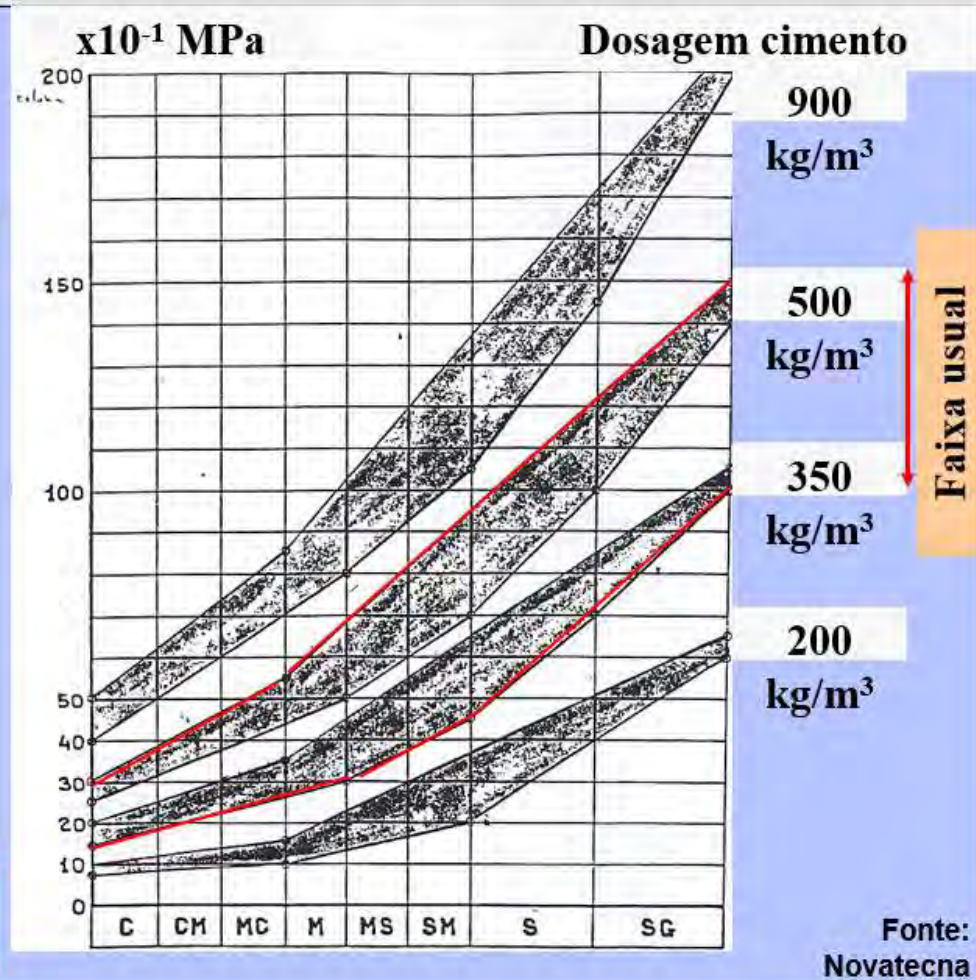
### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING

Jet Grouting -  
Tecnologia:  
Características  
Mecânicas

C – Argila  
CM – Argila  
siltosa  
MC – Silte  
argiloso  
M – Silte  
MS – Silte  
arenoso  
SM – Areia  
siltosa  
S – Areia  
SG – Seixo

Gráfico  
indicativo



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING

- ❖ Realização de corpos sólidos e pouco permeáveis a partir do solo natural, pré-existente no local
- ❖ Elevada energia cinética que provoca o corte e a desagregação prévia da estrutura do solo natural
- ❖ Mistura íntima do solo natural com a calda até uma distância do bico injetor em que a referida energia é praticamente dissipada pela resistência passiva que o solo opõe ao efeito difusor do jacto
- ❖ Formação do novo material, solo cimentado, dotado de muito maior resistência mecânica e tão pouco permeável como o betão

NÃO CONFUNDIR  
COLUNA DE JET  
GROUTING COM ESTACA  
DE BETÃO



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING: ONDE NÃO APLICAR

- ❖ Solos orgânicos de alta acidez ( $\text{ph} < 5$ )
- ❖ Solos argilosos muito compactos ou rochas
- ❖ Solos de granulometria elevada, sem finos, especialmente quando saturados
- ❖ Solos muito heterogêneos, com grandes descontinuidades e vazios, principalmente com fluxo de água intersticial, que pode impedir a estabilização da calda de cimento

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING: EFEITOS NO INTERIOR DO SOLO TRATADO

- ❖ Desagregação da estrutura existente do solo
- ❖ Alta turbulência no interior desse volume
- ❖ Adensamento hidráulico (ótima ocupação dos vazios pré-existentes entre as partículas do solo)
- ❖ Intima mistura das partículas do solo desagregado com a calda de cimento, dando lugar à formação de um novo material – solo cimentado – que depois de produzida a presa resultará dotado de características mecânicas e hidráulicas bastante superiores às do solo pré-existente
- ❖ Incorporação na coluna durante a sua formação de camadas de material rochoso ou pedregoso
- ❖ Superfície de contorno da coluna executada bem definida e em geral muito rugosa

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING: EFEITOS NO INTERIOR DO SOLO TRATADO

- ❖ Inexistência de transferência de pressões para o terreno exterior ao raio de ação do jato
- ❖ Ausência de fracturação hidráulica do terreno
- ❖ Efeito de parede: continuidade em colunas contíguas
- ❖ Consolidação secundária em argilas produzido por efeito térmico durante a presa do cimento

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING: EFEITOS INDESEJÁVEIS – RISCO DE EMPOLAMENTO DO TERRENO

- ❖ Assegurar a continuidade do regime hidráulico de livre saída do refluxo
  - a) Caudal bombeado (evitar altos caudais)
  - b) Seção de retorno (espaço anelar)
  - c) Viscosidade do fluido
- ❖ Furos de alívio
- ❖ Importância da instrumentação e da observação



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### ❑ PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING: EFEITOS INDESEJÁVEIS – RISCO DE ASSENTAMENTO DO TERRENO

- ❖ Adequada sequência de execução
- ❖ Importância da instrumentação e da observação

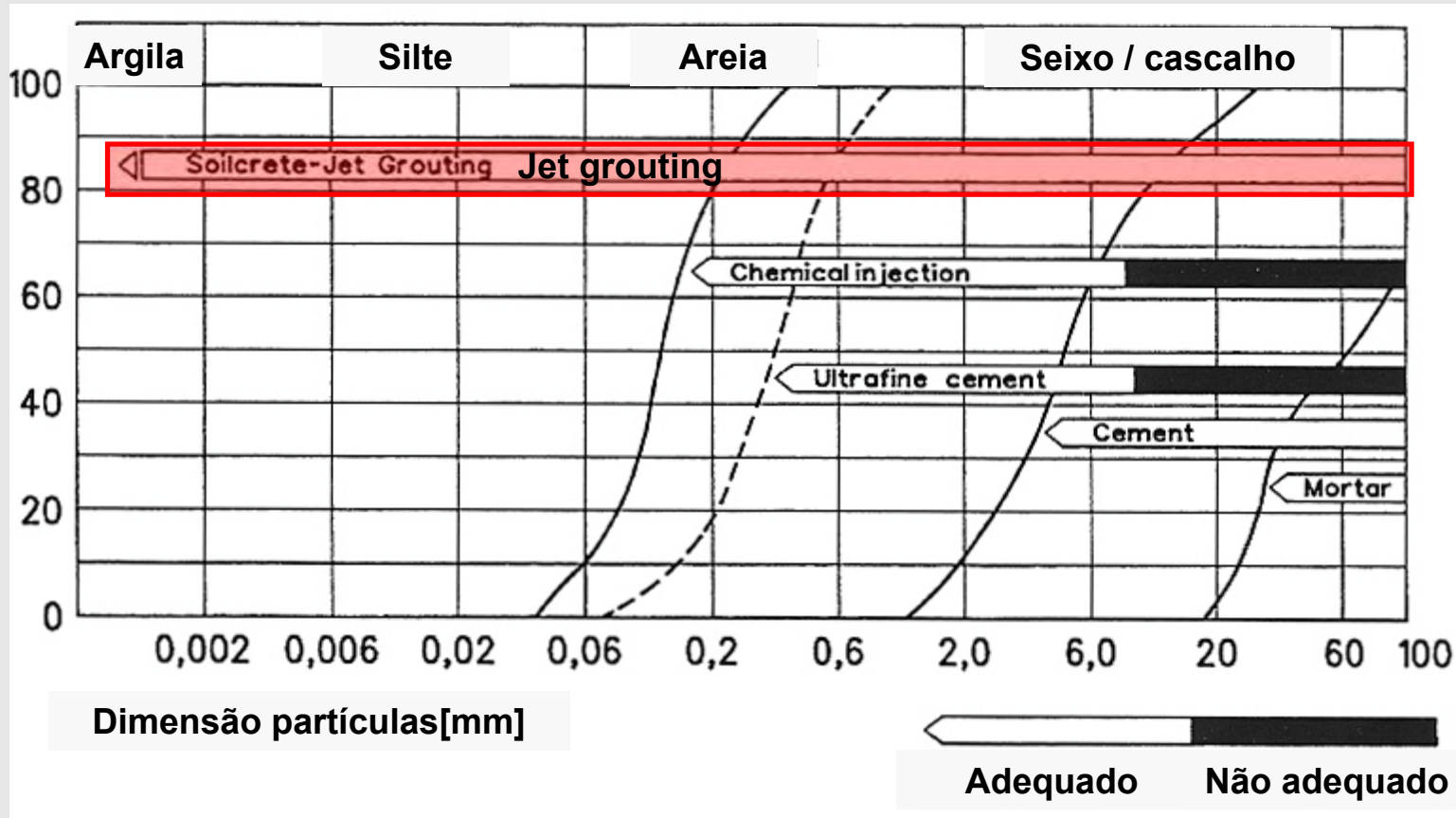
#### ❑ PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING: EFEITOS INDESEJÁVEIS – AGRESSIVIDADE QUÍMICA DO TERRENO

- ❖ Seleção do tipo e dosagem de cimento



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

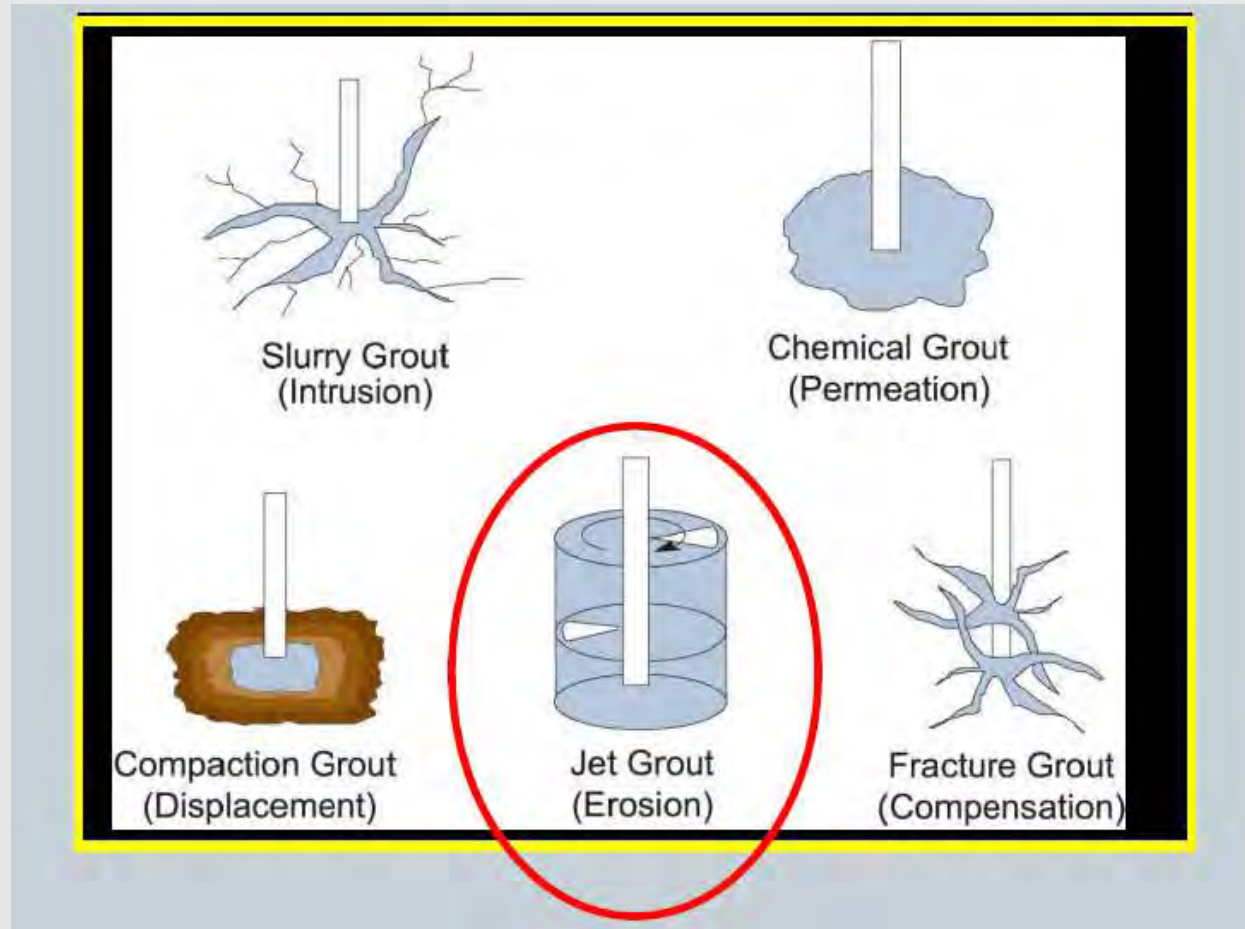
#### PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING E DE INJEÇÕES



Fonte: Keller

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING E DE INJEÇÕES



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### REFORÇO DE FUNDAÇÕES COM INJEÇÕES



**Reforço por preenchimento dos vazios de solos submetidos a cargas moderadas através de injeção de resinas hidroexpansivas, à base de poliuretano**

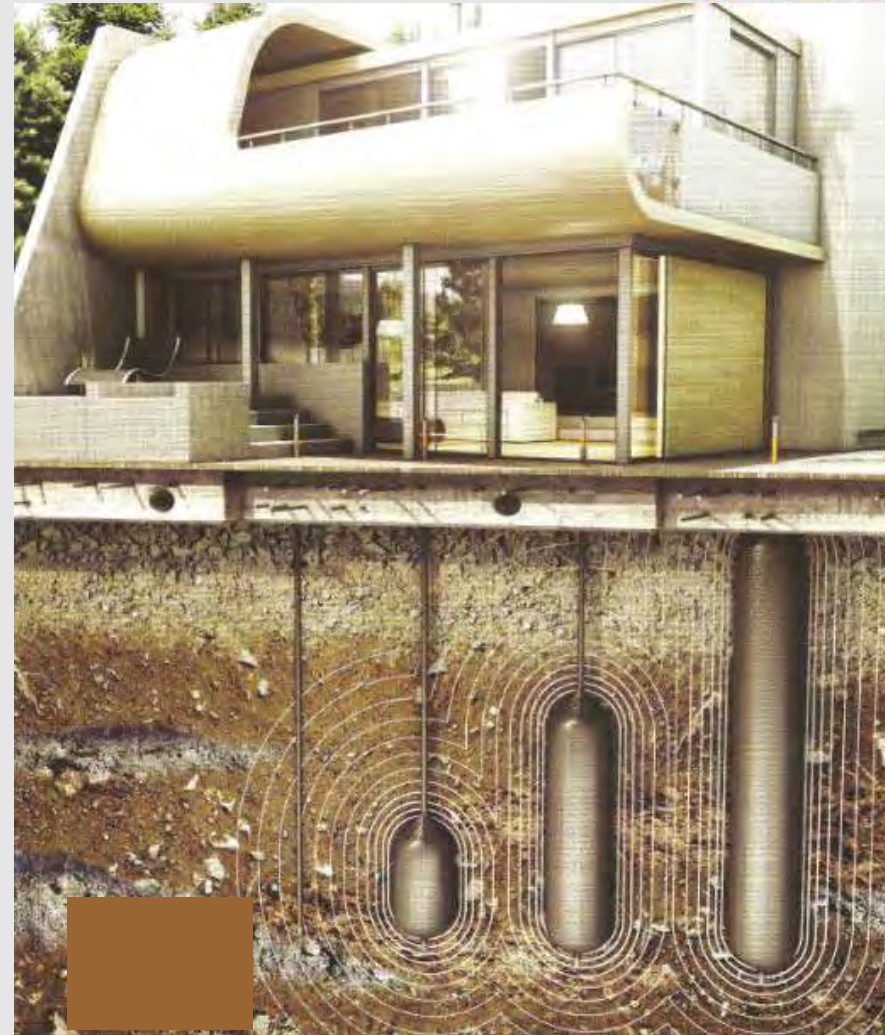
Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### REFORÇO DE FUNDAÇÕES COM INJEÇÕES DE COLUNAS ENCAMISADAS DE POLÍMEROS DE ALTA RESISTÊNCIA

- ❖ Diâmetro de furação:  
300mm
- ❖ Resistência à compressão  
até 6MPa
- ❖ Resistência pontual de 100  
a 150kN

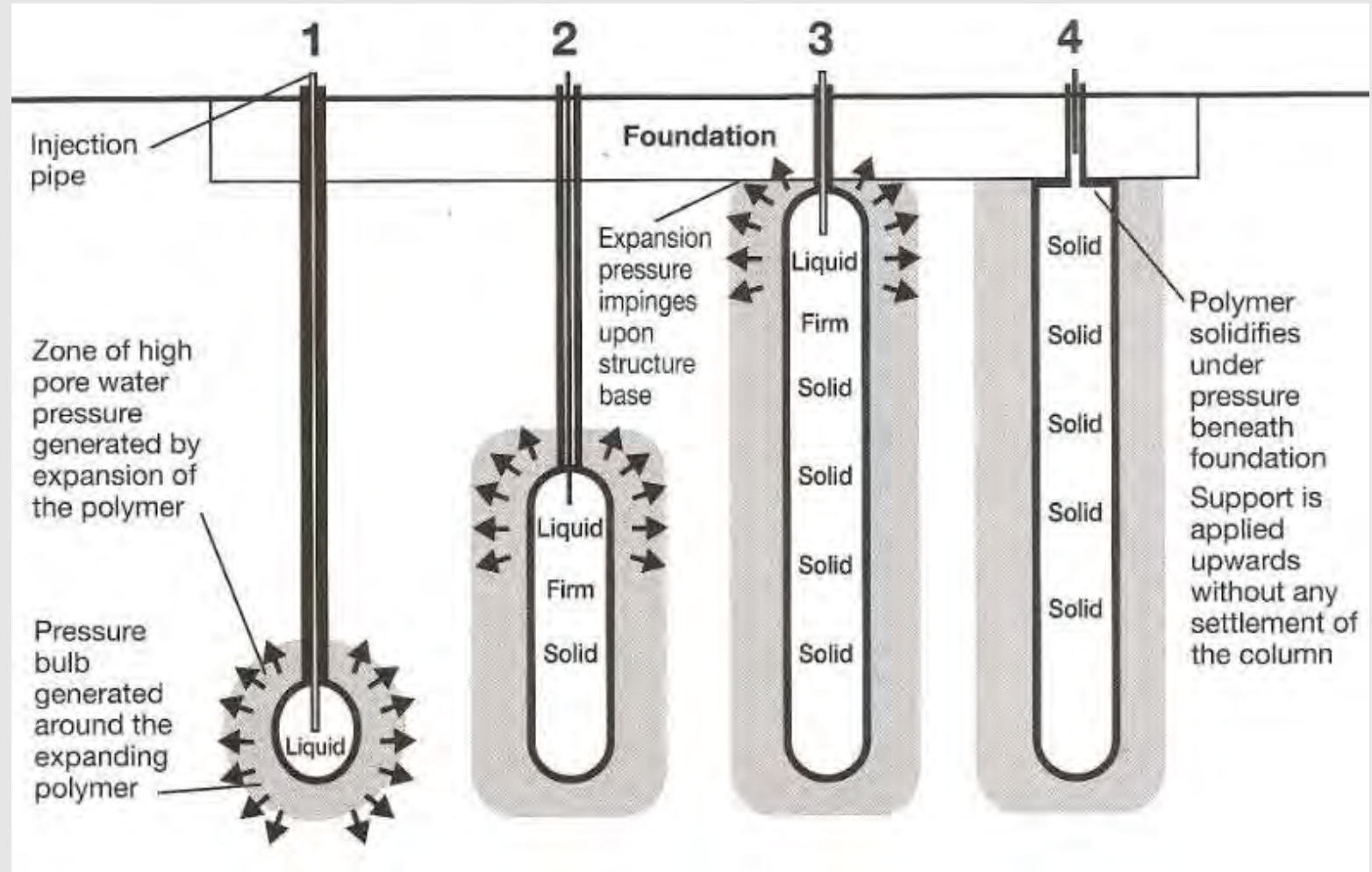
[URETEK Slab Lift and  
Foundation Repair - Bing  
video](#)



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

#### REFORÇO DE FUNDAÇÕES COM INJEÇÕES DE COLUNAS ENCAMISADAS DE POLÍMEROS DE ALTA RESISTÊNCIA



### 3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- REFORÇO DE FUNDAÇÕES COM INJEÇÕES DE COLUNAS ENCAMISADAS DE POLÍMEROS DE ALTA RESISTÊNCIA



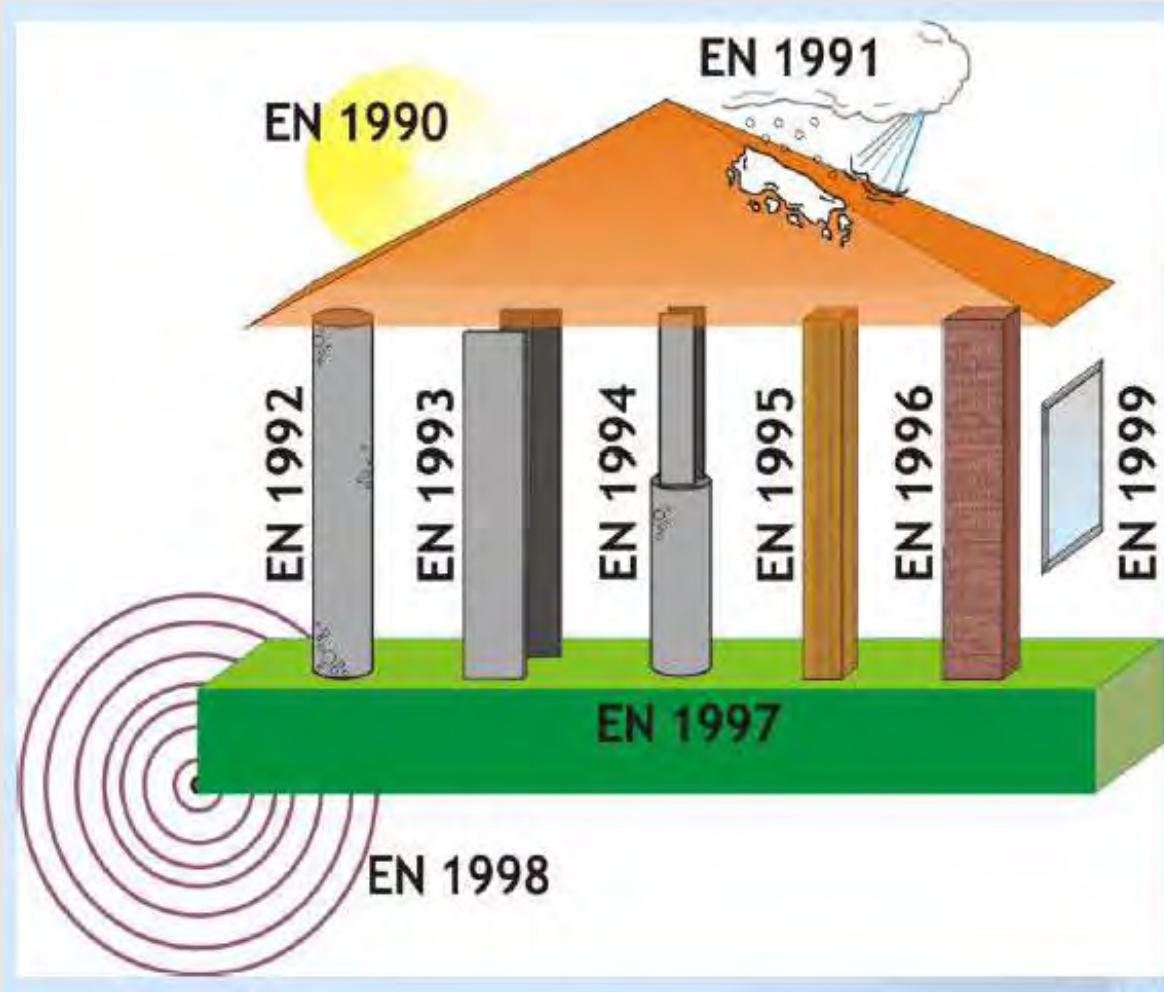
Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

1. TIPOS DE FUNDAÇÕES (09:30-10:00)
2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:00-10:30)
3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:30-11:00)
4. **DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (11:30-13:00)**
5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (14:30-16:00)
6. EXEMPLOS DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (16:30-17:15)
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS (17:15-17:30)



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### COMPATIBILIZAÇÃO COM EUROCÓDIGOS



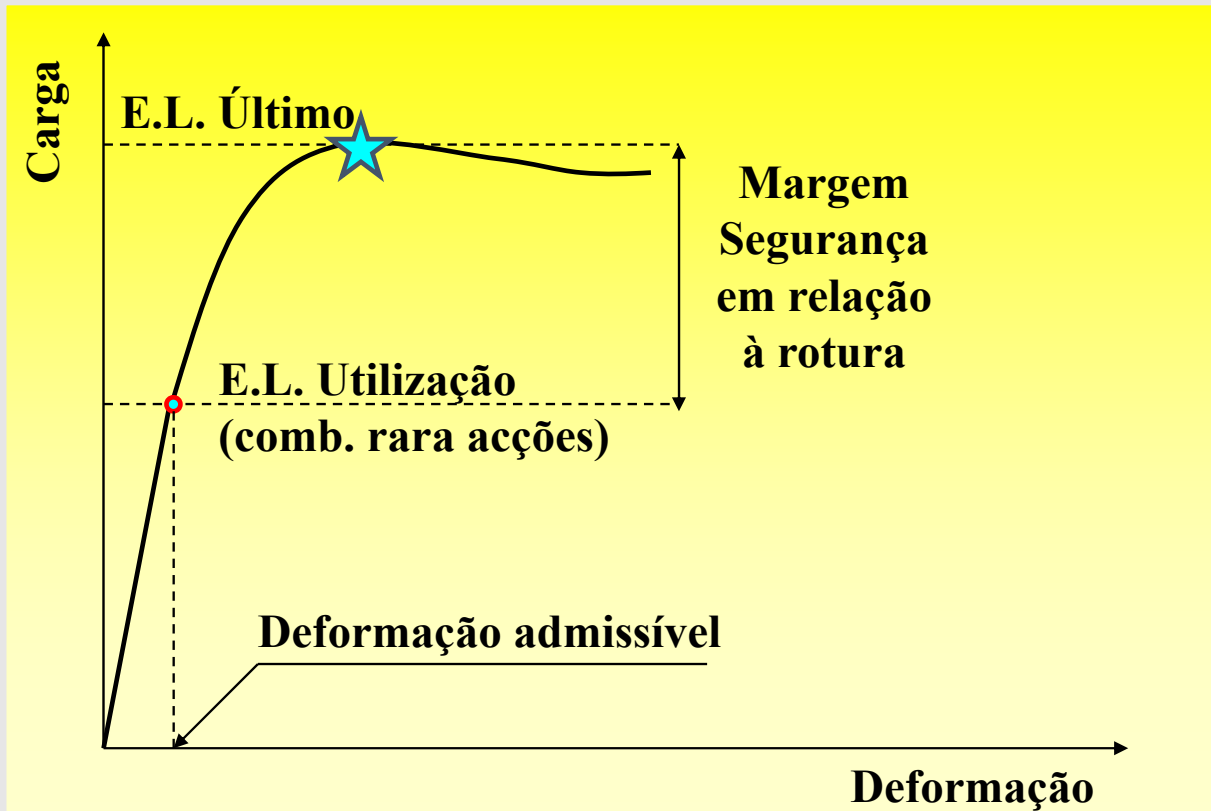
## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ FUNDAÇÕES – VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA AOS ESTADOS LIMITE ÚLTIMOS

- ❖ Estados limite de perda de equilíbrio: derrubamento - EQU
- ❖ Estados limite de perda de resistência geotécnica: cargas verticais e deslizamento – GEO (AC1 – C2)
- ❖ Estados limite de resistência estrutural: flexão, corte e punçoamento – STR (AC1 – C1)
- ❖ Estado limite de utilização: deformações horizontais e verticais (valores a disponibilizar pelo fornecedor)

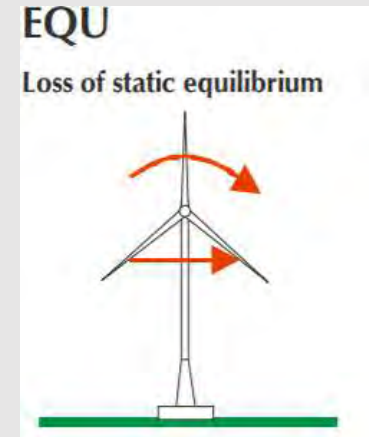
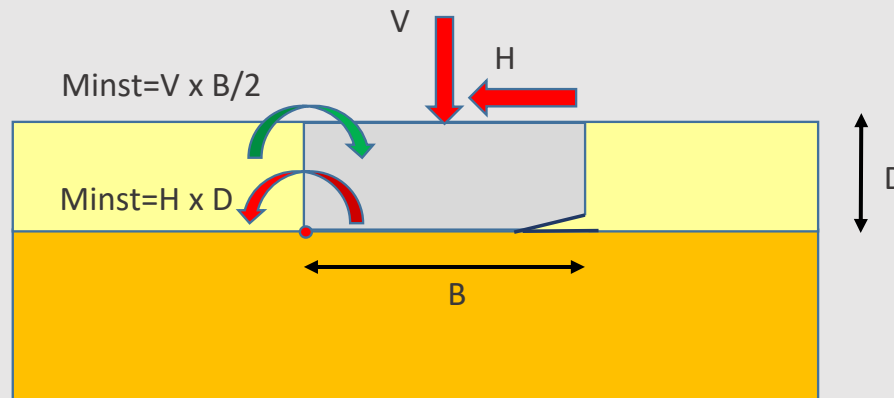
## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### CONCEITO DE ESTADOS LIMITE



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ FUNDAÇÃO DIRETA: EC7, DERRUBAMENTO (EQU)



Verificação da segurança ao derrubamento:  $M_{st} > M_{inst}$



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ FUNDAÇÃO DIRETA: EC7, CARREGAMENTO VERTICAL E CONDIÇÕES DRENADAS (GEO, AC1 – C2)

$$q'_r = \underbrace{c' N_c s_c i_c}_{\text{Termo coesão}} + \underbrace{\frac{1}{2} \gamma' B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma}_{\text{Termo superfície}} + \underbrace{q' N_q s_q i_q}_{\text{Termo profundidade}}$$

$B' = (B - 2e)$  – Largura efetiva da sapata na direção B,  $e = M / V$

$N_c, N_\gamma$  e  $N_q$  – Fatores de capacidade de carga ( $\phi'$ , terreno sob sapata)

$s_c, s_\gamma$  e  $s_q$  – Fatores de geometria em planta da sapata ( $B', L'$ )

$i_c, i_\gamma$  e  $i_q$  – Fatores de inclinação (cargas com componente horizontal)

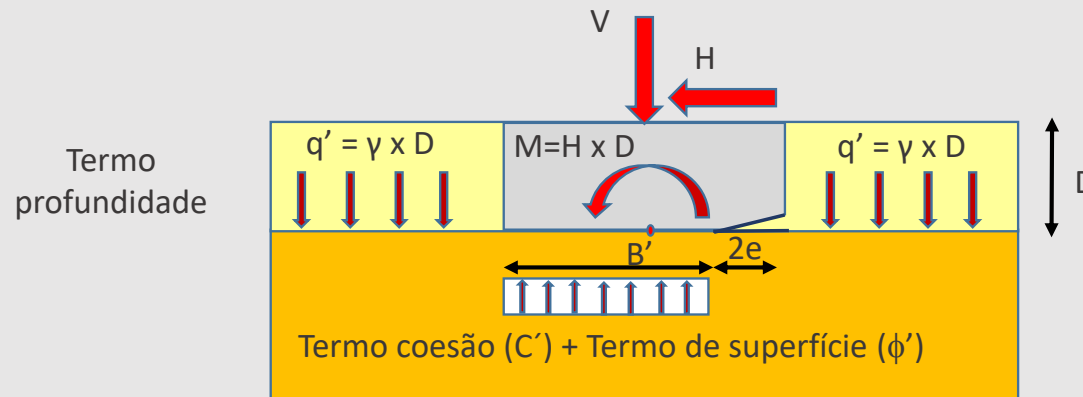
$q' = \gamma \times D$  – Tensão efetiva no terreno à cota da base da sapata

**Verificação da segurança ao carregamento vertical:  $q'_{Rd} > q'_{sd} = V_{sd} / A'$**

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ FUNDAÇÃO DIRETA: EC7, CARREGAMENTO VERTICAL EM CONDIÇÕES DRENADAS (GEO, AC1 – C2)

$$q'_R = \underbrace{c' N_c s_c i_c}_{\text{Termo coesão}} + \underbrace{\frac{1}{2} \gamma' B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma}_{\text{Termo superfície}} + \underbrace{q' N_q s_q i_q}_{\text{Termo profundidade}}$$



Verificação da segurança ao carregamento vertical:  $q'_{Rd} > q'_{sd} = V_{sd} / A'$

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ FUNDAÇÃO DIRETA: EC7, CARREGAMENTO VERTICAL EM CONDIÇÕES NÃO DRENADAS (GEO, AC1 – C2)

$$q_r = (2 + \pi)c_u s_c i_c + q$$

Termo coesão                      Termo profundidade

$s_c$  – Fatores de geometria em planta da sapata ( $B'$ ,  $L'$ )

$i_c$  – Fatores de inclinação (cargas com componente horizontal)

$q = \gamma \times D$  – Tensão total no terreno à cota da base da sapata

**Verificação da segurança ao carregamento vertical:  $q_{Rd} > q_{sd} = V_{sd} / A'$**

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ FUNDAÇÃO DIRETA: EC7, CARREGAMENTO VERTICAL EM CONDIÇÕES NÃO DRENADAS (GEO, AC1 – C2)

$$q_r = (2 + \pi)c_u s_c i_c + q$$

Termo coesão

Termo profundidade

Termo de superfície é nulo, pois  $\phi_u=0$

Termo profundidade

$q = \gamma \times D$

$M = H \times D$

$B'$

$2e$

Termo coesão ( $C_u$ )

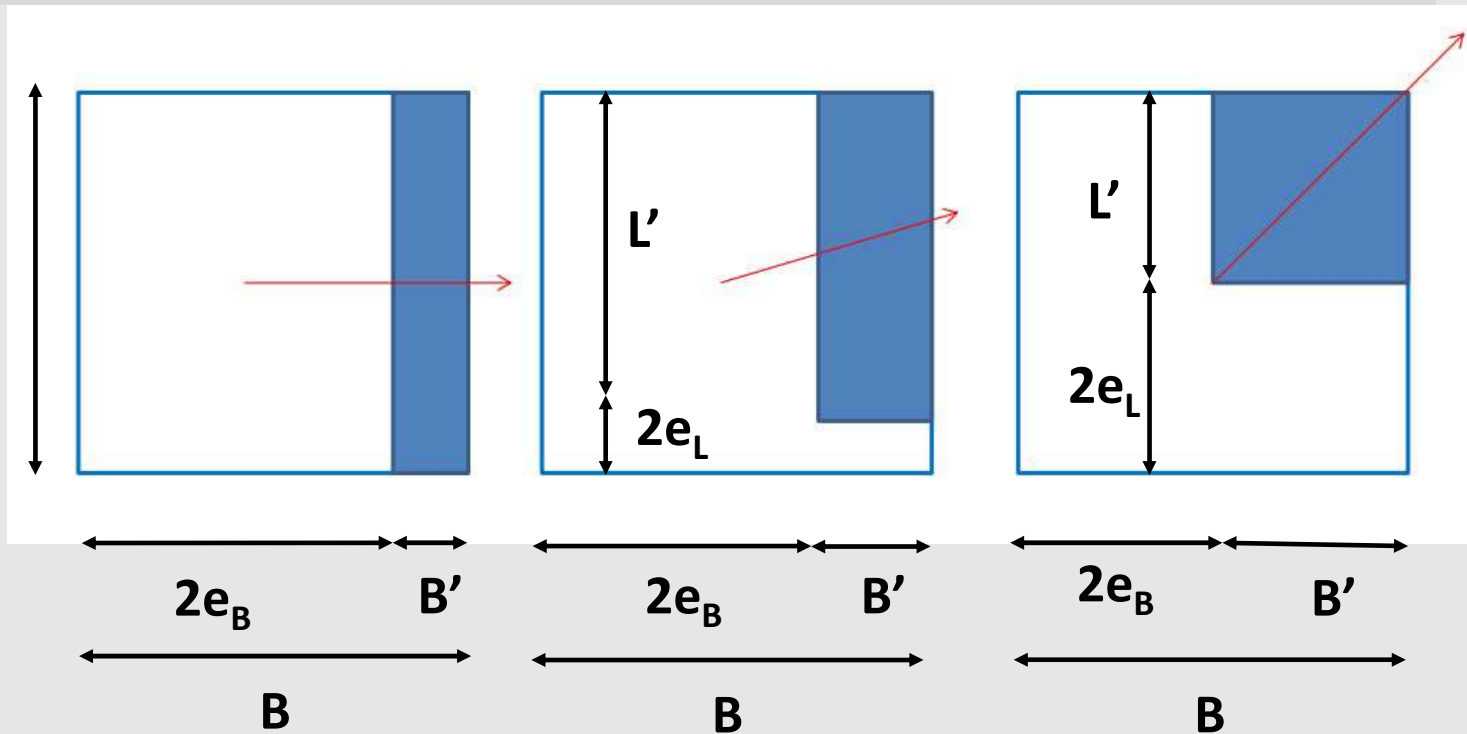
Verificação da segurança ao carregamento vertical:  $q_{Rd} > q_{sd} = V_{sd} / A'$



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

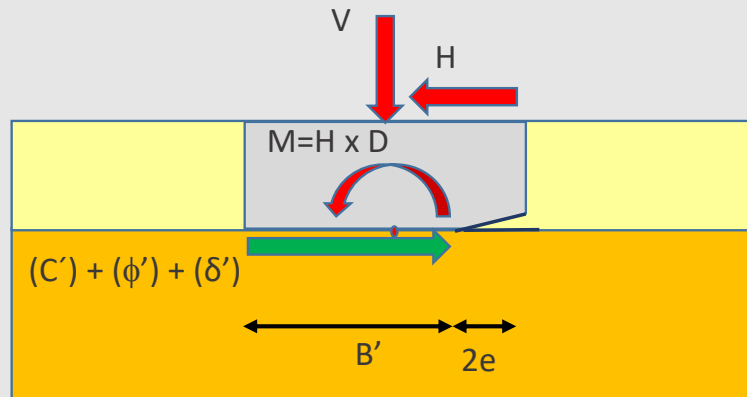
### ❑ FUNDAÇÃO DIRETA

- ❖ Área efetiva de contacto fundação - solo ( $A' = B' \times L'$ ) depende da orientação da carga / lança



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ FUNDAÇÃO DIRETA: EC7, DESLIZAMENTO EM CONDIÇÕES DRENADAS (GEO, AC1 – C2)

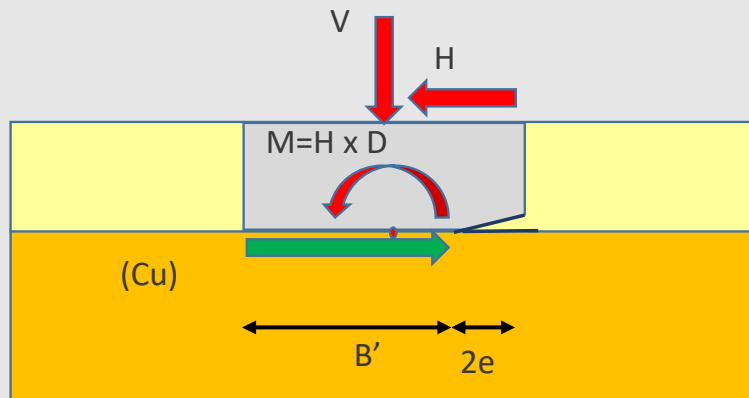


Verificação da segurança ao deslizamento:  $H'_{Rd} = V_{sd} \times \tan \delta_d + C'_d \times B' > H_{sd}$



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ FUNDAÇÃO DIRETA: EC7, DESLIZAMENTO EM CONDIÇÕES NÃO DRENADAS (GEO, AC1 – C2)



Verificação da segurança ao deslizamento:  $H_{Rd} = C_{ud} \times B' > H_{sd}$



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ EC7: COEFICIENTES PARCIAIS DE SEGURANÇA

- Em Portugal usa-se a abordagem de cálculo 1 (AC1)
- AC1 tem duas combinações para serem verificadas:
  - Combinação 1 (STR) ou **AC1-C1**  
“A1” + “M1” + “R1”
  - Combinação 2 (GEO) ou **AC1-C2**  
“A2” + “M2” + “R1”

nota: A1/A2 são os fatores de ações  
M1/M2 são os fatores de materiais  
e R1 são os fatores de resistência

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ EC7: COEFICIENTES PARCIAIS DE SEGURANÇA PARA E. L. ÚLTIMOS

Estados limites últimos

Coeficientes parciais ( $\gamma$ ) para as **ações** ( $\gamma_F$ ) ou **efeitos das ações** ( $\gamma_E$ )

$\gamma_G$ – acções permanentes $\gamma_Q$ – acções variáveis	EC0/EC7			EC7	
	EQU	STR/GEO		UPL	HYD
		A1	A2		
$\gamma_G$ (desfavorável)	1,10	1,35	1,00	1,00	1,35
$\gamma_G$ (favorável)	0,90	1,00	1,00	0,90	0,90
$\gamma_Q$ (desfavorável)	1,50	1,50	1,30	1,50	1,50
$\gamma_Q$ (favorável)	0	0	0	---	---

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### EC7: COEFICIENTES PARCIAIS DE SEGURANÇA PARA E. L. ÚLTIMOS

Estados limites últimos

Coeficientes parciais (M) para as **propriedades dos materiais** ( $\gamma_M$ )

A_ "+" M_ "+" R_	EQU	STR/GEO		UPL	HYD
		M1	M2		
$\gamma_{\phi'}$	1,25	1,00	1,25	1,25	---
$\gamma_{c'}$	1,25	1,00	1,25	1,25	---
$\gamma_{cu}$	1,40	1,00	1,40	1,40	---
$\gamma_{qu}$	1,40	1,00	1,40	---	---
$\gamma_{\gamma}$	1,00	1,00	1,00	1,00	---

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ EC7: COEFICIENTES PARCIAIS DE SEGURANÇA PARA E. L. ÚLTIMOS

Estados limites últimos

Coeficientes parciais (R) para a **capacidade resistente**  $\gamma_R$

Fundações superficiais:

Coeficiente	R1	R2	R3
$\gamma_{R,e}$	1,00	1,40	1,00

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ FUNDAÇÕES – VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA AOS ESTADOS LIMITE DE UTILIZAÇÃO

- ❖ Estado limite de utilização: deformações horizontais e verticais
- ❖ Estimar deformações e comparar com valores limite indicados pelo Fornecedor
- ❖ Incrementar o fator de segurança ao estados limite de perda de resistência geotécnica, como forma indireta de assegurar um bom desempenho em estado limite de utilização



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ EC7: COEFICIENTES PARCIAIS DE SEGURANÇA PARA ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO

#### Estados limites de utilização (ELUt)

Deve ser verificada a desigualdade aplicando coeficientes parciais unitários:

$$E_d \leq C_d$$

$C_d$  = valor limite de cálculo do efeito de uma ação

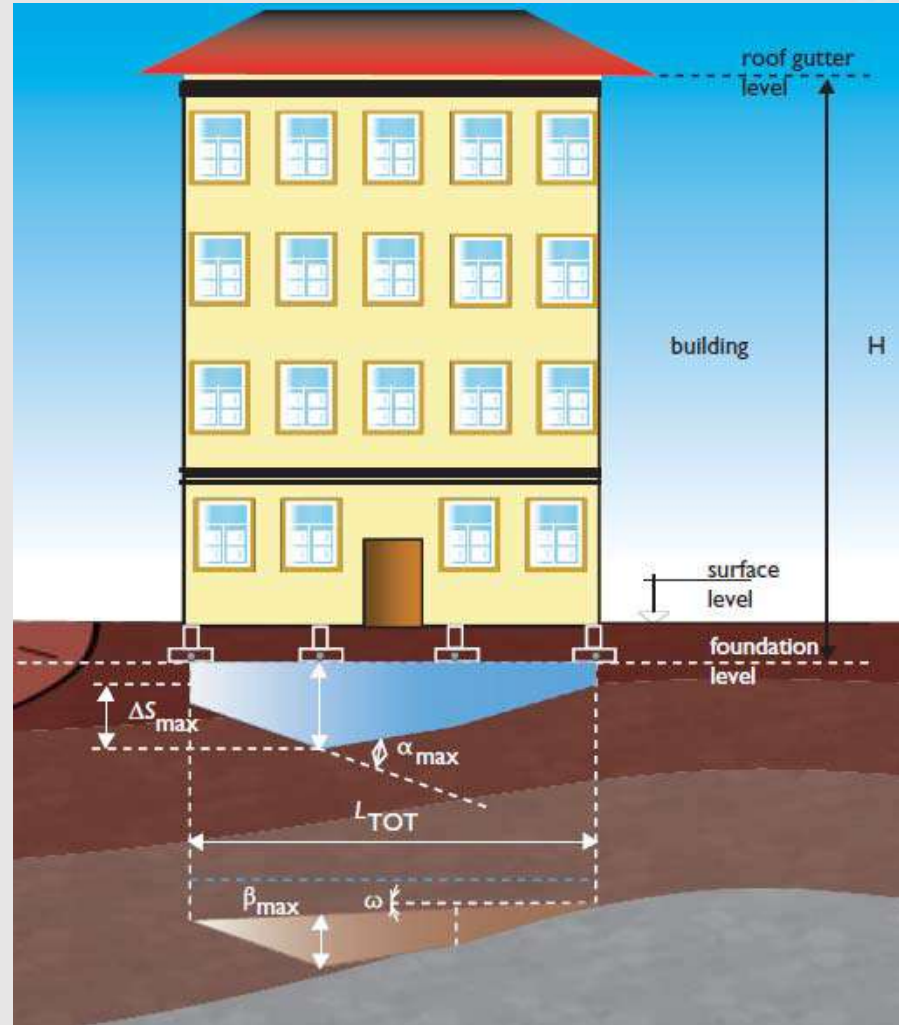
**Exemplo:** Valores limite para os movimentos da fundação

No projeto de fundações devem ser estabelecidos valores limite para os movimentos em geral, e em particular para os movimentos diferenciais, que podem provocar estados limites na estrutura fundada.

No caso das gruas estes valores deverão ser disponibilizados pelo Fornecedor

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### CRITÉRIOS DE DANOS: RANKIN (1988)



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ CRITÉRIOS DE DANOS: RANKIN (1988)

Category of risk of damage	Degree of severity	Description of typical damage	Control parameters	
			$\beta_{\max}$	$S_{\max}$ [mm]
1 Aesthetic	Negligible	Superficial damage unlikely.	$<1/500$	$<10$
2 Aesthetic	Slight	Possible superficial damage which is unlikely to have structural significance.	$1/500-1/200$	$10-50$
3 Functional	Moderate	Expected superficial damage to buildings and expected damage to rigid pipelines.	$1/200-1/50$	$50-75$
4 Service-ability and structural	High	Expected structural damage to buildings and damage to rigid pipelines; possible damage to other pipelines.	$>1/50$	$>75$

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ MICROESTCAS: IMPORTÂNCIA DA REGULAMENTAÇÃO

Year of issue	Country	Designation	Type	Organisation
1983	Germany	DIN 4128	Standard	DIN
1987	Great Britain	Specification for the Constr. of Minipiles	Recommendation	Fed. of Piling Specialists
1992	France	DTU 13.2, chapt.7	Standard	AFNOR
2001	USA	Guide for Drafting a Spec. for.....Micropiles for Struct. Support	Guideline	Deep Foundation Institute
2004	Europe	EN 14199 Execution of special geotechnical works – Micropiles	European Standard	CEN
2001	Europa	ONR 22567 - Norma austríaca para microestacas cravadas		ON Regel

The four-volume *FHWA State of Practice* document (FHWA Publication Nos. [FHWA-RD-96-016](#) to [FHWA-RD-96-019](#) "Drilled and Grouted Micropiles: States of Practice Review") was published in 1997, and is perceived to have had a major influence on the development and growth of micropiling in the U.S. and Canada. The micropiling market was recorded as doubling in size in the 5 years after the publication of the report. Many elements of the *FHWA State of Practice* have also found their way into the BSEN14199 micropiling standard.

[Fonte: ISM]

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

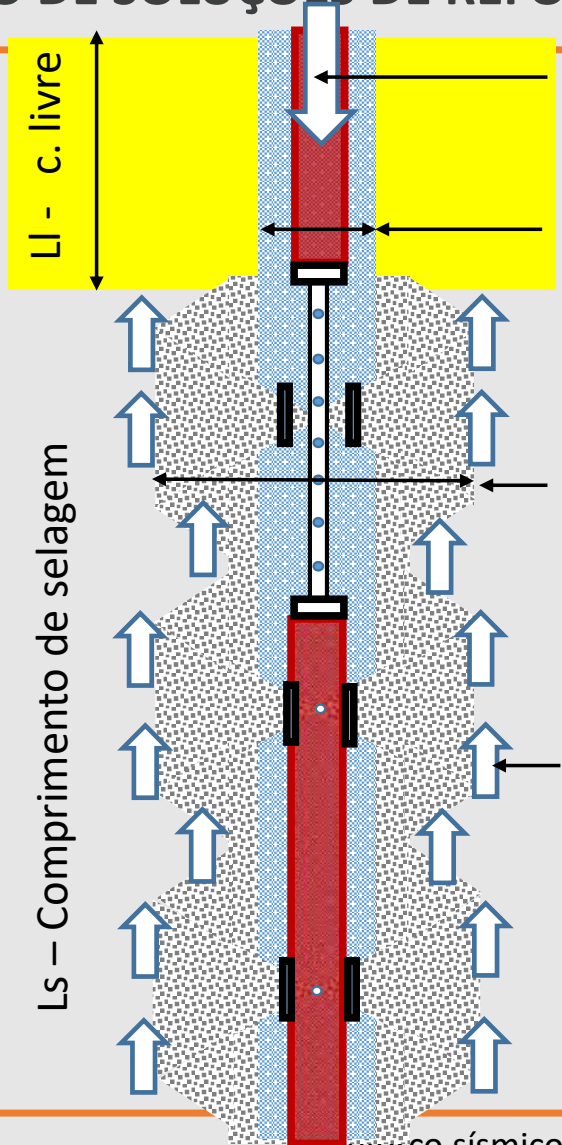
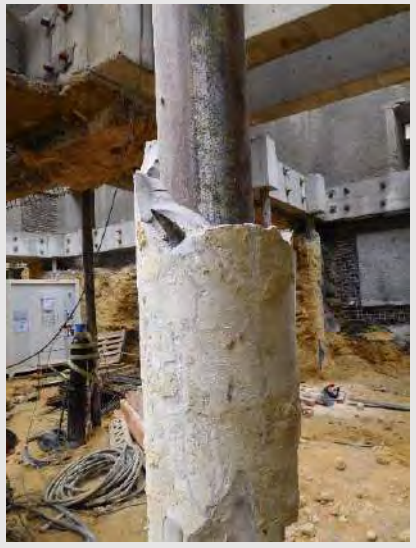
### ❑ PROJETO DE MICROESTACAS: DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO (FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS E SELAGEM: BUSTAMANTE E DOIX)

#### Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés

Michel BUSTAMANTE  
Docteur-Ingénieur ENPC  
Bernard DOIX  
Technicien  
Section des fondations  
Laboratoire central des Ponts et Chaussées

**Bull liaison labo P. et Ch. 140 – nov-déc 1985 – Réf. 3047**

# 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES



N – Carga axial x coeficiente de segurança (SF)

φ - Diâmetro furação

a x φ - Diâmetro do bolbo de selagem afetado por coeficiente de expansão (a-função das condições geológicas e do sistema de injeção)

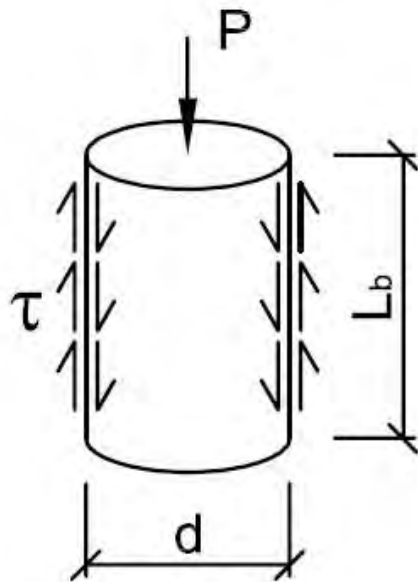
qs – Atrito lateral unitário, função das condições geológicas e do Sistema de injeção

$$L_s = \frac{SF \times N}{(a \times \phi \times q_s)}$$

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE MICROESTACAS: DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO

(FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS E SELAGEM: MÉTODO DE BUSTAMANTE)



$$L_b = \frac{P}{(\pi \times \tau \times d \times \gamma_p)}$$

$L_b$  : comprimento de selagem

P: carga axial de dimensionamento

d: diâmetro final do bolbo de selagem

$\tau$ : tensão tangencial unitária (qs)

$\gamma_p$ : coeficiente de segurança

Quando a carga P não é majorada,  $\gamma_p$ :

= 2,0 (tração provisória)

= 2,2 (tração permanente)

= 1,8 (compressão provisória)

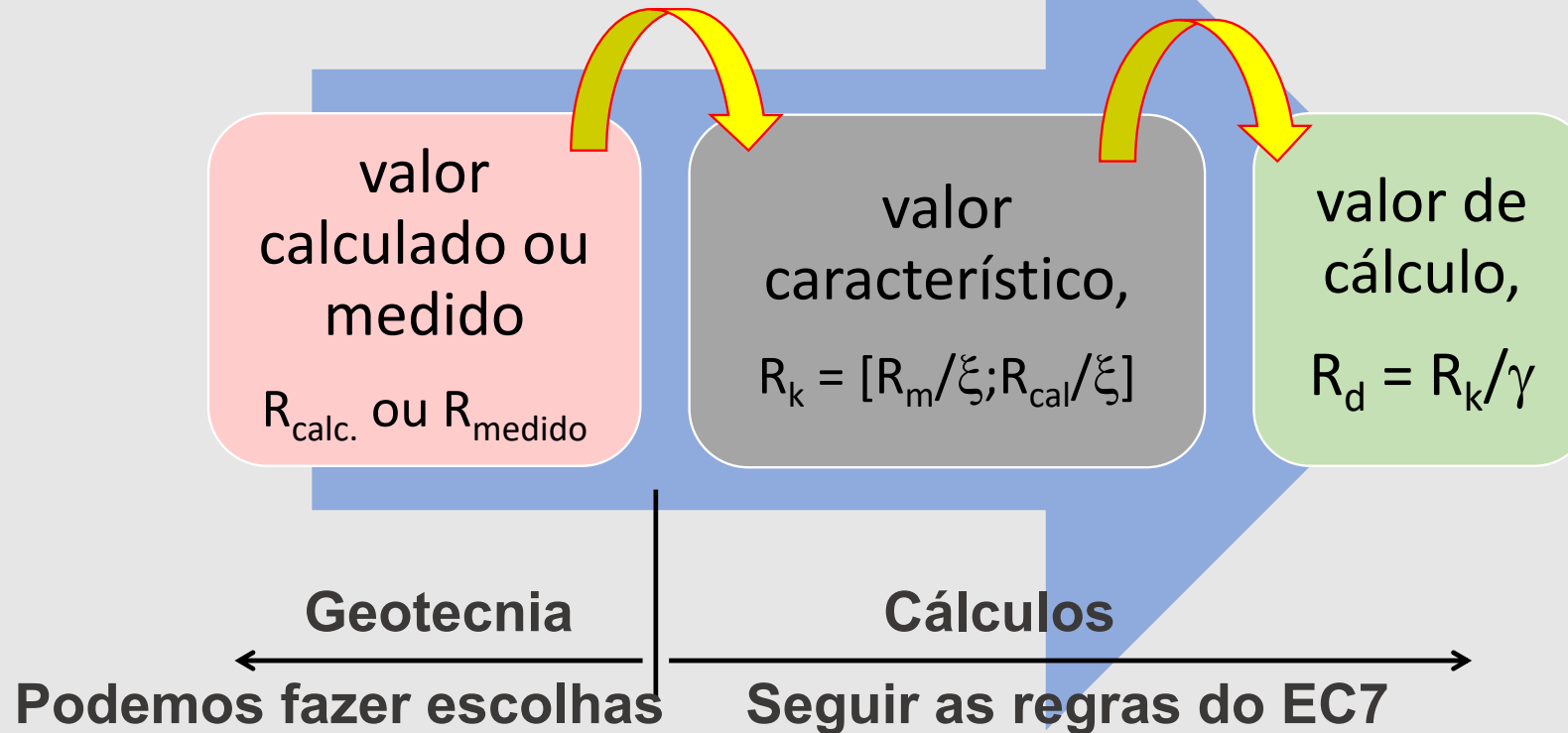
= 2,0 (compressão permanente)

Fonte: Bustamente e Doix

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE MICROESTACAS: DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO EC7

ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU) - Procedimento de verificação:

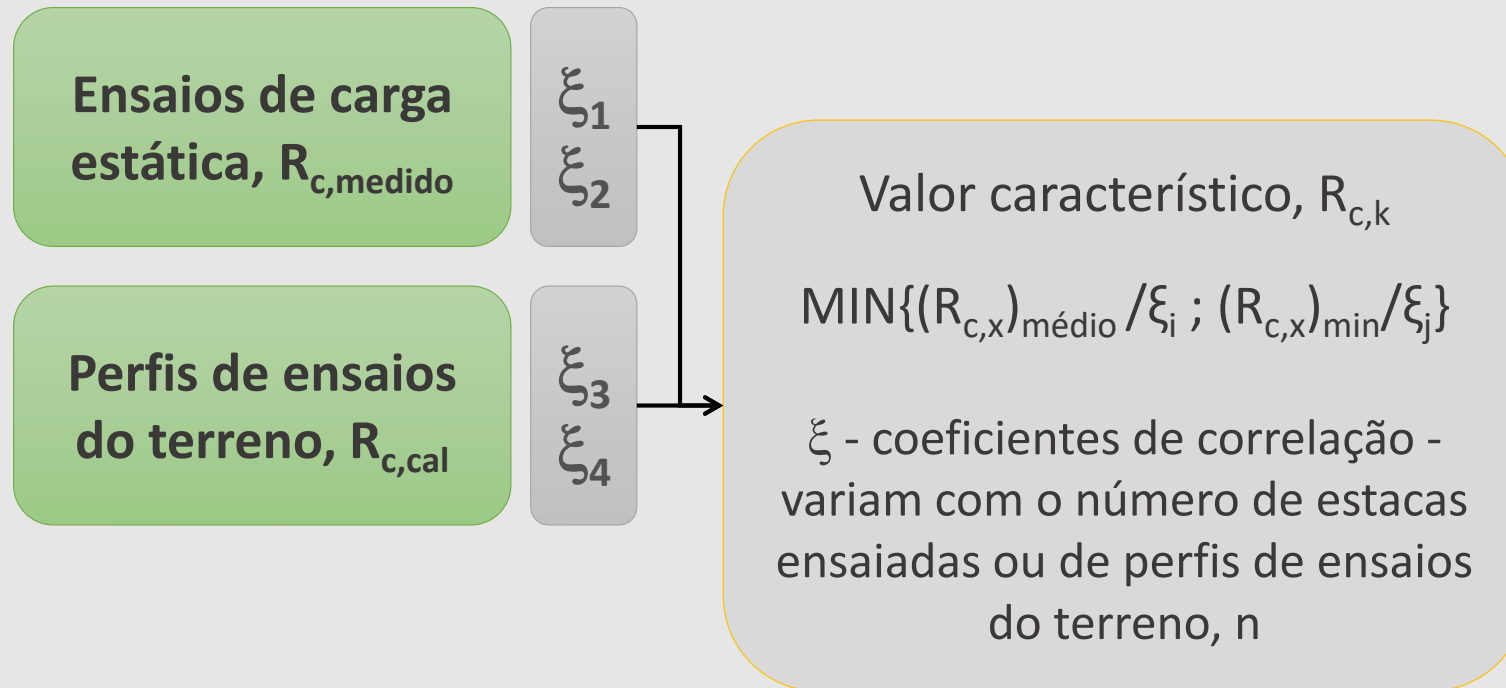




## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE MICROESTACAS: DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO EC7

#### Valor característico da resistência



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- PROJETO DE MICROESTACAS: DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO EC7,  
COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO,  $\xi$

Quadro A.9. Coeficientes de correlação  $\xi$  para determinar valores característicos a partir de ensaios de carga estáticos em estacas (n – número de estacas ensaiadas)

$\xi$ para n =	1	2	3	4	>5
$\xi_1$	1,40	1,35	1,20	1,10	1,00
$\xi_2$	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00

Bustamante?

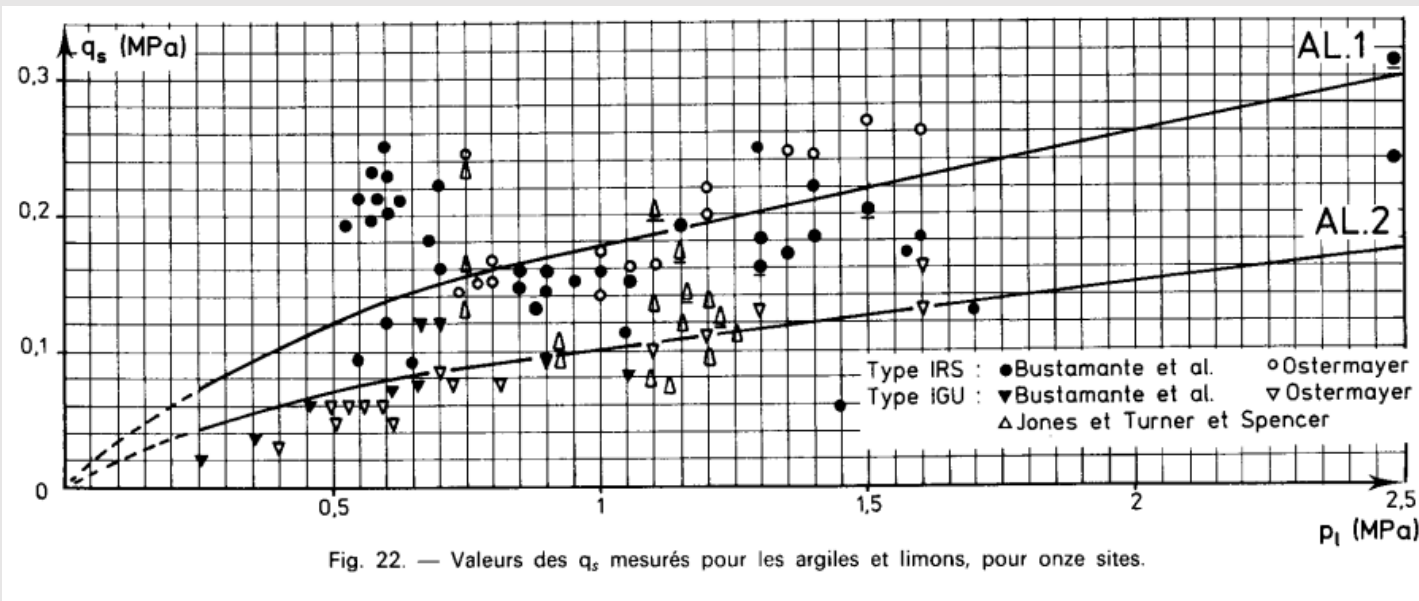
Quadro A.10. Coeficientes de correlação  $\xi$  para determinar valores característicos a partir de resultados de ensaios de campo (n – número de perfis de ensaio)

$\xi$ para n =	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_3$	1,40	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25
$\xi_4$	1,40	1,27	1,23	1,20	1,15	1,12	1,08

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE MICROESTACAS: DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO EC7

IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO DO VALOR DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO:  $\xi$



Valores propostos por Bustamante com base em vários ensaios de carga podem influenciar o valor dos coeficientes de correlação

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE

### EC7: AC1 – C2, GEO (A2 + M2 + R4)

### MICROESTACAS:

### DIMENSIONAMENTO

### GEOTÉCNICO EC7

Quadro A.6. Coeficientes de segurança parciais para a resistência de estacas cravadas ( $\gamma_R$ )

Resistência	Símbolo	R1	R2	R3	R4
Ponta	$\gamma_b$	1,0	1,1	1,0	1,3
Lateral (compressão)	$\gamma_s$	1,0	1,1	1,0	1,3
Total/combinada (compressão)	$\gamma_t$	1,0	1,1	1,0	1,3
Lateral em tracção	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Quadro A.7. Coeficientes de segurança parciais para a resistência de estacas moldadas ( $\gamma_R$ )

Resistência	Símbolo	R1	R2	R3	R4
Ponta	$\gamma_b$	1,25	1,1	1,0	1,6
Lateral (compressão)	$\gamma_s$	1,0	1,1	1,0	1,3
Total/combinada (compressão)	$\gamma_t$	1,15	1,1	1,0	1,5
Lateral em tracção	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Quadro A.8. Coeficientes de segurança parciais para a resistência de estacas executadas com trado contínuo oco - CFA ( $\gamma_R$ )

Resistência	Símbolo	R1	R2	R3	R4
Ponta	$\gamma_b$	1,1	1,1	1,0	1,45
Lateral (compressão)	$\gamma_s$	1,0	1,1	1,0	1,3
Total/combinada (compressão)	$\gamma_t$	1,1	1,1	1,0	1,4
Lateral em tracção	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Por coincidência (?) os valores são sempre iguais

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE MICROESTACAS: DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO EC7

EC7: AC1 – C2, GEO (A2 + M2 + R4)

$$L_{sd} = \frac{\gamma_F \times N}{(a \times \phi \times q_{sd})}$$

$\gamma_G$ – acções permanentes	
$\gamma_Q$ – acções variáveis	A2
$\gamma_G$ (desfavorável)	1,00
$\gamma_G$ (favorável)	1,00
$\gamma_Q$ (desfavorável)	1,30
$\gamma_Q$ (favorável)	0

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE MICROESTACAS: DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO EC7

(FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS E SELAGEM: MÉTODO DE BUSTAMANTE)

$$L_{sd} = \frac{\gamma_F \times N}{(a \times \phi \times q_{s,d})}$$

EC7: AC1 – C2, GEO (A2 + M2 + R4)

TRAÇÃO: FS máx. entre 2,24 a 2,91,  $\xi=1,4$

TRAÇÃO: FS min. entre 1,60 a 2,08,  $\xi=1,0$

$$L_{sd} = \frac{1,0 \text{ ou } 1,3 \times N}{(a \times \phi \times q_s / (1,4 \times 1,6))}$$

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

$$q_{st,d} = q_s / (\xi \times \gamma_{s,t})$$

COMPRESSÃO: FS máx. entre 1,82 a 2,37,  $\xi=1,4$

COMPRESSÃO: FS min. entre 1,30 a 1,69,  $\xi=1,0$

$$L_{sd} = \frac{1,0 \text{ ou } 1,3 \times N}{(a \times \phi \times q_s / (1,4 \times 1,3))}$$

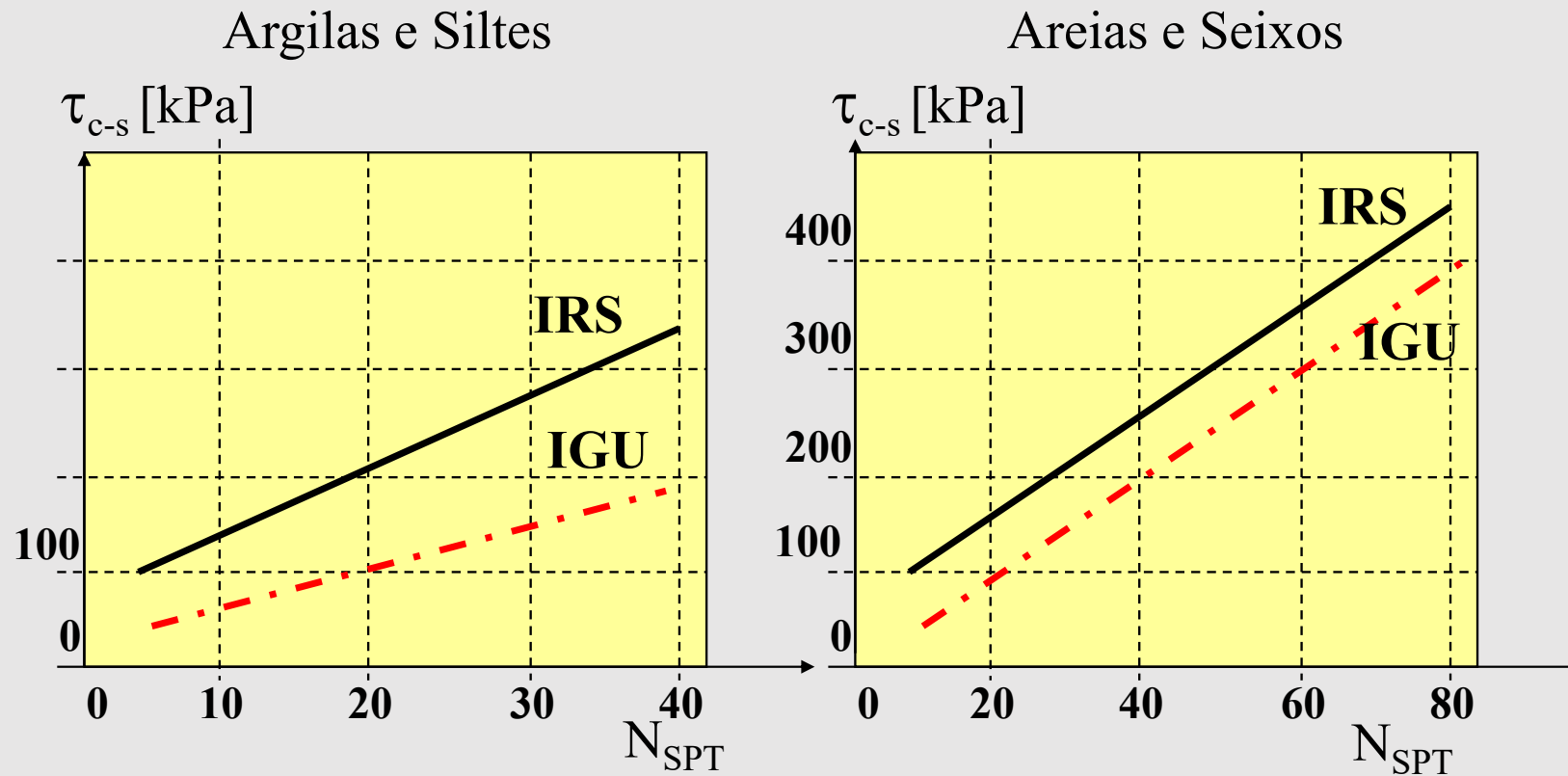
$$R_{c,d} = \frac{R_{s,k}}{\gamma_s}$$

$$q_{sc,d} = q_s / (\xi \times \gamma_s)$$

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE MICROESTACAS: MÉTODO DE BUSTAMANTE E DOIX

Atrito lateral unitário  $q_s$  (tensão tangencial calda / solo  $\tau_{c-s}$ ): ábacos orientativos

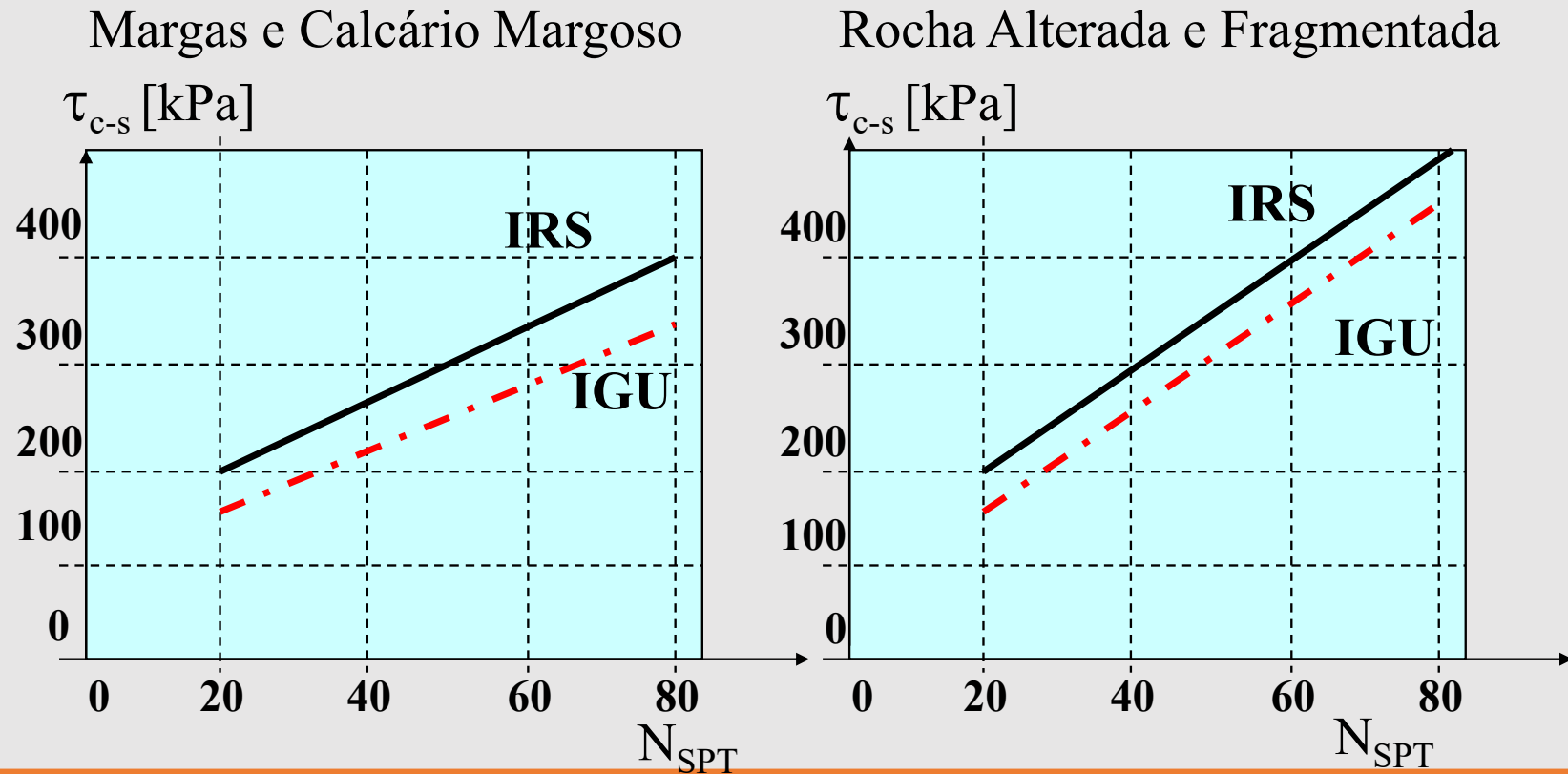


Fonte: adaptado de Bustamante e Doix

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE MICROESTACAS: MÉTODO DE BUSTAMANTE E DOIX

Atrito lateral unitário  $q_s$  (tensão tangencial calda / solo  $\tau_{c-s}$ ): ábacos orientativos



Fonte: adaptado de  
Bustamante e Doix



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ PROJETO DE MICROESTACAS: MÉTODO DE BUSTAMANTE E DOIX

Coeficiente de expansão  $\alpha$  (microestacas, ancoragens)

Terreno	Injecção IRS - $\alpha$	Injecção IGU - $\alpha$
Seixo	1,8	1,3 a 1,4
Seixo arenoso	1,6 a 1,8	1,2 a 1,4
Areia com seixo	1,5 a 1,6	1,2 a 1,3
Areia	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2
Silte	1,4 a 1,6	1,1 a 1,2
Argila	1,8 a 2,0	1,2
Marga	1,8	1,1 a 1,2
Calcário margoso	1,8	1,1 a 1,2
Grés alterado ou fragmentado	1,8	1,1 a 1,2
Rocha alterada ou fragmentada	1,2	1,1

Fonte: Bustamante e Doix

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ PROJETO DE MICROESTACAS AUTO PERFURANTES

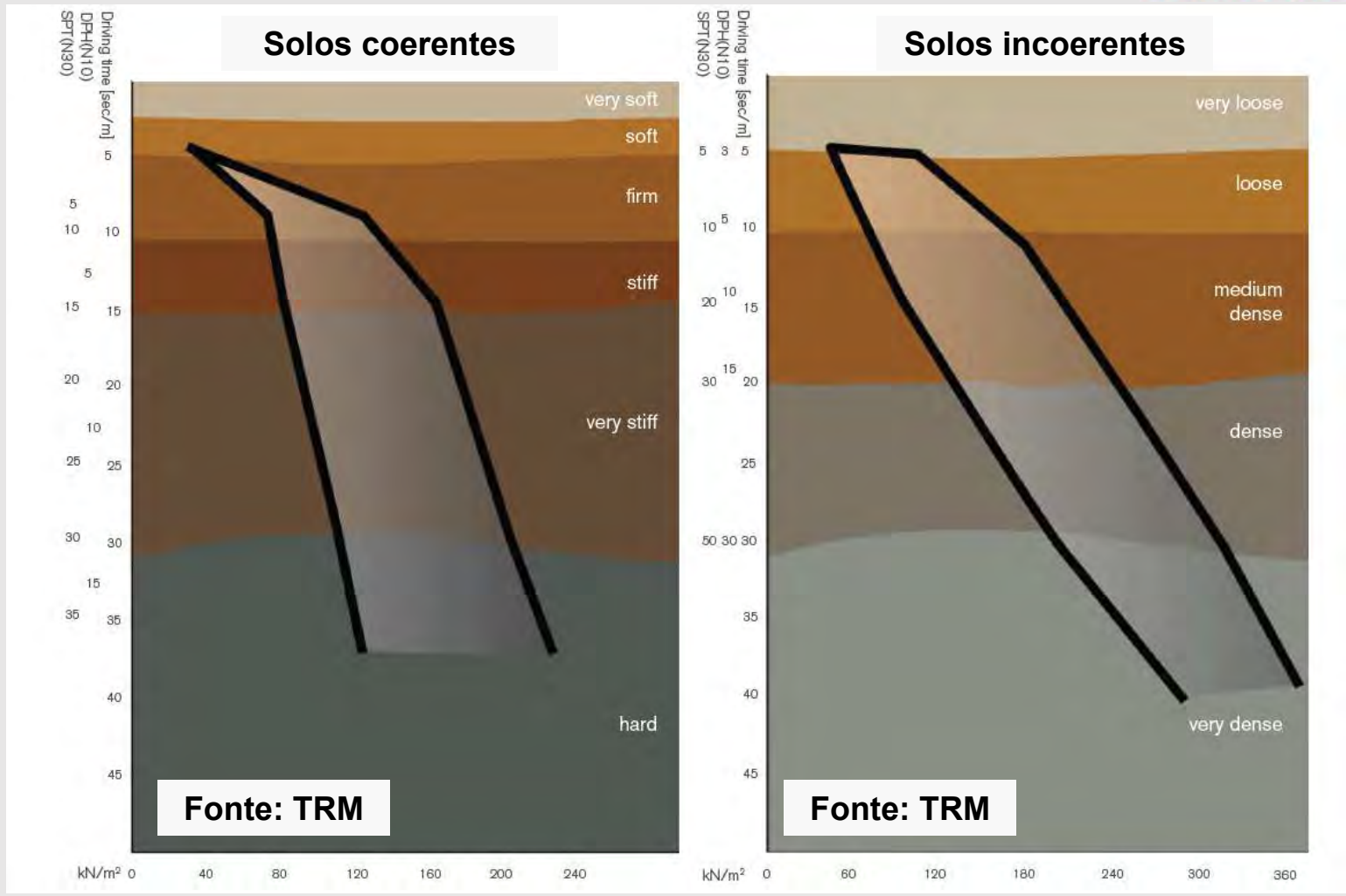
Soil / Rock Type	Empirical Bond Stress Value [ $\tau$ ]	
	N/mm <sup>2</sup> [MPa]	PSI
Cohesive Soil	0.10	15
Sand	0.15	20
Gravel	0.20	30
Weathered Marl, Chalk, Soft Shales	0.15 - 0.80	30 - 120
Soft Limestone, Slates, Hard Shales, Sandstone	0.80 - 1.70	120 - 250
Dolomite Limestone	1.40 - 2.10	200 - 300
Granite, Basalt	1.70 - 3.10	250 - 450

SAS thread-bar has a relative rib area of 0.075 to 0.080, which exceeds that of standard thread-bars. For cement grout strength in excess of 40 N/mm<sup>2</sup> a bond stress of  $\tau_{\omega} = 5$  N/mm<sup>2</sup> for the serviceability limit state can be assumed between SAS thread-bar and surrounding cement grout.

**Fonte: SAS**

# 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

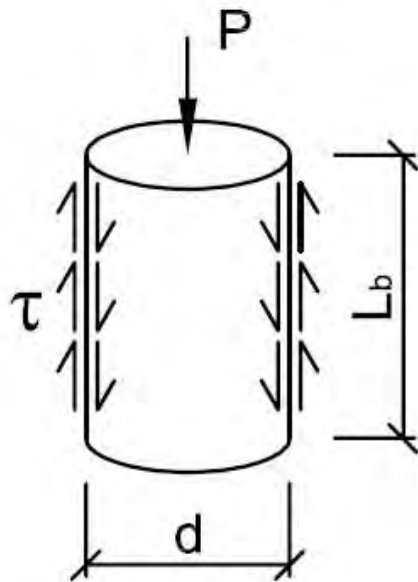
## PROJETO DE MICROESTACAS CRAVADAS EM FFD



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING: DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO

(FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS E SELAGEM: MÉTODO DE BUSTAMANTE)



$$L_b = P / (\pi \times \tau \times d \times \gamma_p)$$

$L_b$  : comprimento da coluna

P: carga axial de dimensionamento

d: diâmetro da coluna

$\tau$ : tensão tangencial unitária ( $q_s$ )

$\gamma_p$ : coeficiente de segurança

Quando a carga P não é majorada,  $\gamma_p$ :

= 2,0 (tração provisória)

= 2,2 (tração permanente)

= 1,8 (compressão provisória)

= 2,0 (compressão permanente)

Fonte: Bustamente e Doix

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING: DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO EC7  
(FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS E SELAGEM: MÉTODO DE BUSTAMANTE)

$$L_{sd} = \frac{\gamma_F \times N}{(a \times \phi \times q_{s,d})}$$

EC7: AC1 – C2, GEO (A2 + M2 + R4)

TRAÇÃO: FS máx. entre 2,24 a 2,91,  $\xi=1,4$

TRAÇÃO: FS min. entre 1,60 a 2,08,  $\xi=1,0$

$$L_{sd} = \frac{1,0 \text{ ou } 1,3 \times N}{(a \times \phi \times q_s / (1,4 \times 1,6))}$$

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

$$q_{st,d} = q_s / (\xi \times \gamma_{s,t})$$

COMPRESSÃO: FS máx. entre 1,82 a 2,37,  $\xi=1,4$

COMPRESSÃO: FS min. entre 1,30 a 1,69,  $\xi=1,0$

$$L_{sd} = \frac{1,0 \text{ ou } 1,3 \times N}{(a \times \phi \times q_s / (1,4 \times 1,3))}$$

$$R_{c,d} = \frac{R_{s,k}}{\gamma_s}$$

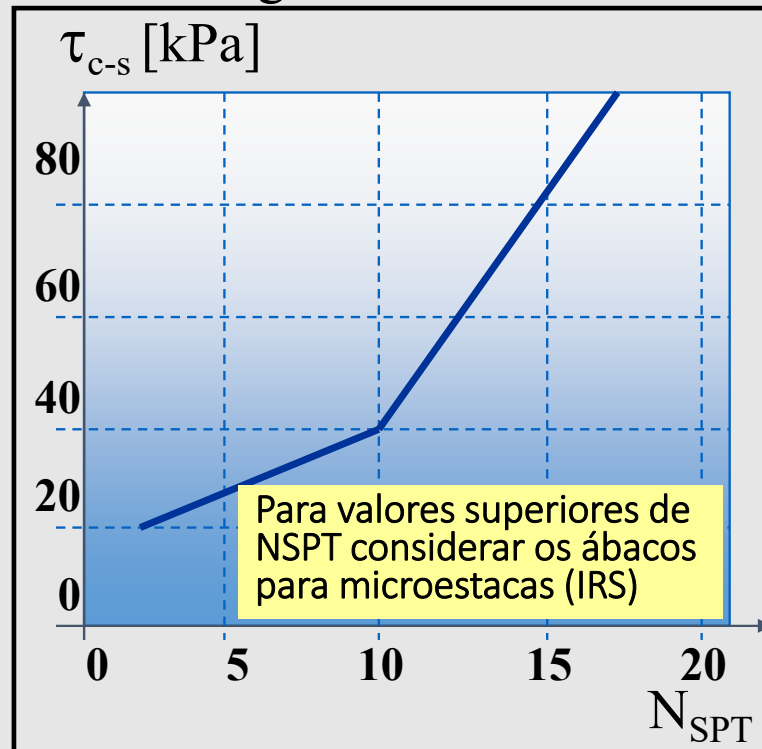
$$q_{sc,d} = q_s / (\xi \times \gamma_s)$$

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

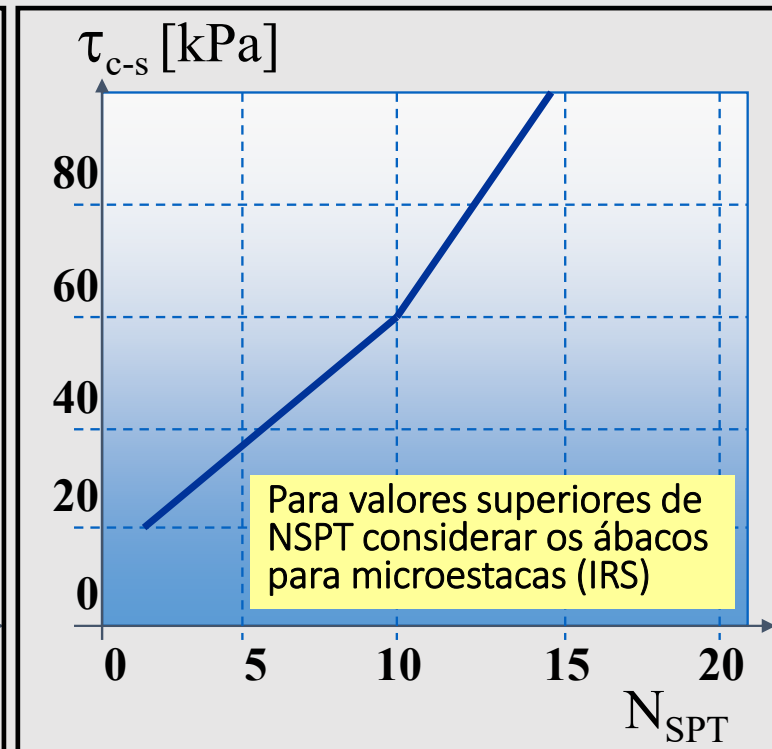
### PROJETO DE COLUNAS DE JET GROUTING: MÉTODO DE BUSTAMANTE E DOIX

Atrito lateral unitário  $q_s$  (tensão tangencial coluna / solo  $\tau_{c-s}$ ): ábacos orientativos

Argilas e Siltes



Areias e Seixos



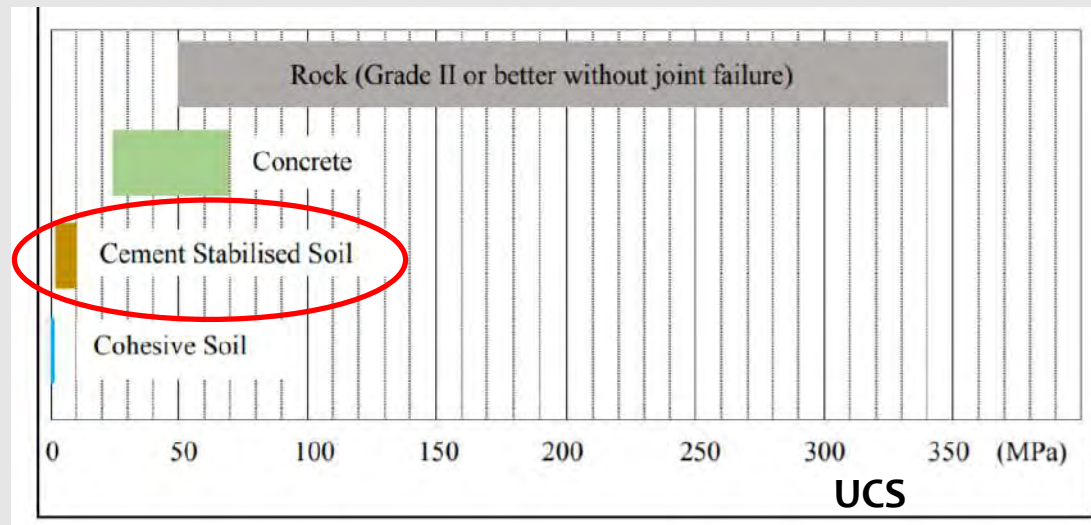
Fonte: adaptado de Bustamante e Doix

No caso do jet grouting, considerar  $a = 1,0$

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE CORPOS DE JET GROUTING

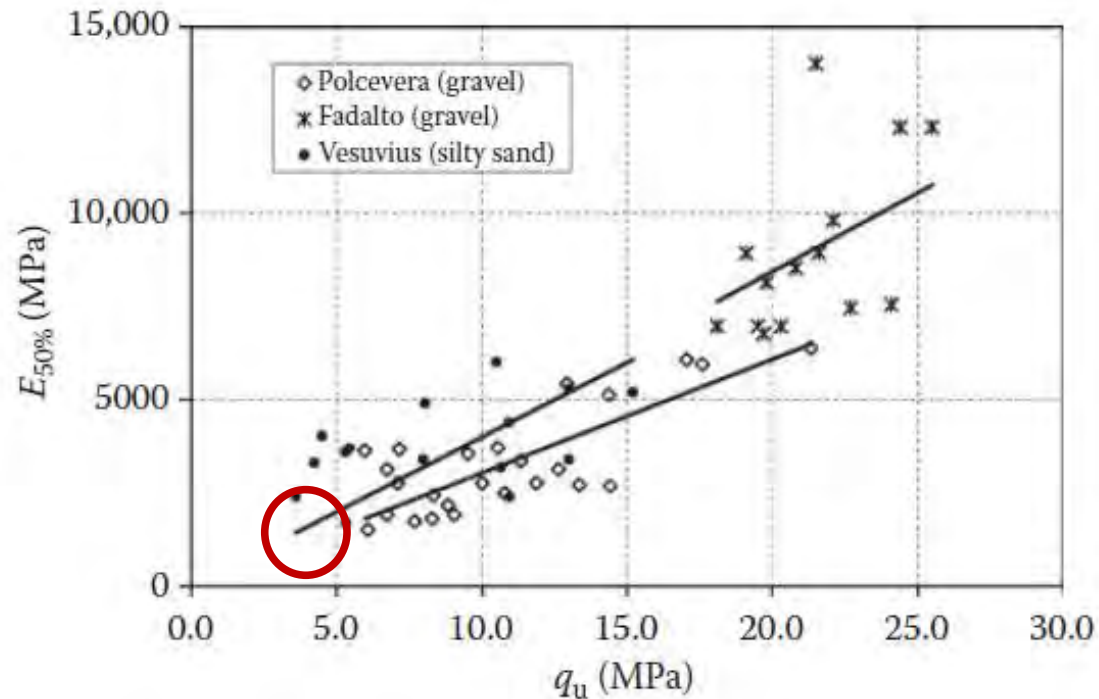
Jet grouting's can accommodate moderate compression stress, in general ranging from 2 to 4MPa (service values) . Shear and tension stress are about 10 to 15% of the compression stresses. Young modulus in general ranges from 0,5 to 1GPa



Jet grouting is not concrete, but either a ground improvement technology. If necessary columns can be reinforced with steel profiles in order to increase the shear and tension resistance.

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE CORPOS DE JET GROUTING



Young modulus versus uniaxial compression strength of jet-grouted material from different case studies. (Modified from Modoni, G. and J. Bzówka, *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 138(12): pp. 1442–1454, 2012.)



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ PROJETO DE CORPOS DE JET GROUTING PARA REFORÇO DE FUNDAÇÕES

Table 4.6 Typical values of the mean diameter of jet grouting columns

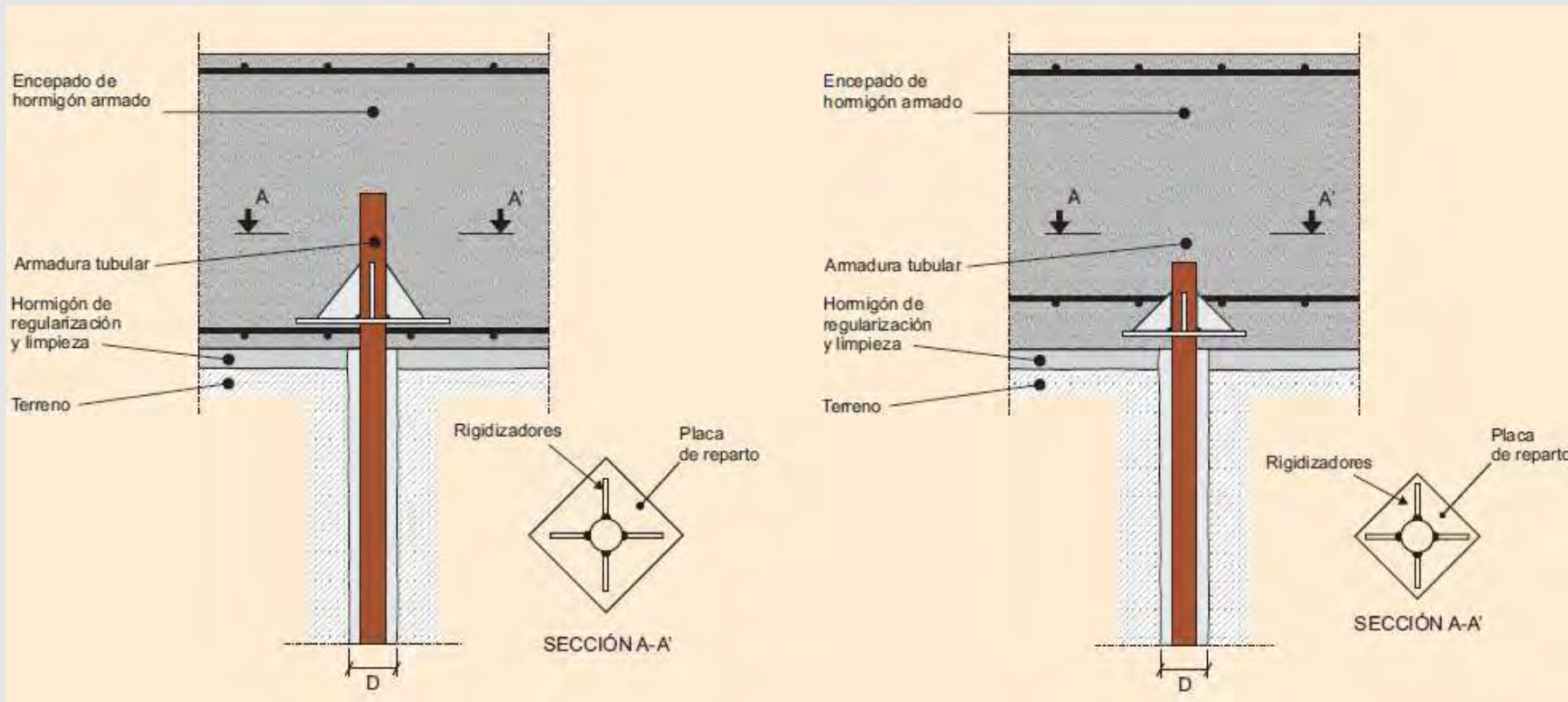
Treatment system	Mean diameter of columns (m)			
	Moderately stiff clay	Soft silt and clay	Silty sand	Sand and/or gravel
Single fluid	NR*	0.4–0.8	0.6–1.0	0.6–1.2
Double fluid	0.5–1.0	0.6–1.3	1.0–2.0	1.2–2.5
Triple fluid	0.8–1.5	1.0–1.8	1.2–2.5	1.5–3.0

Source: AGI, *Jet Grouting Guidelines*: Associazione Geotecnica Italiana [in Italian], 69 pp., 2012.

\*NR, not recommended.

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

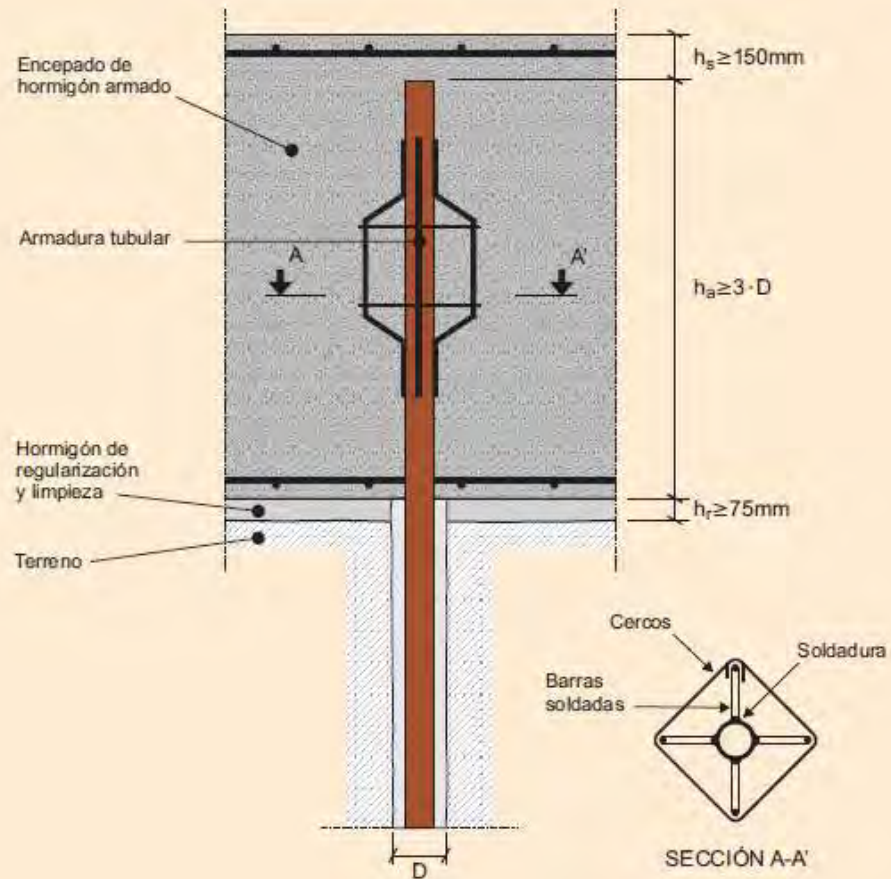
### PROJETO DE MICROESTACAS: LIGAÇÃO AO MACIÇO DE ENCABEÇAMENTO (FUNÇÃO DOS ESFORÇOS A TRANSMITIR - COMPRESSÃO)



[Fonte: Norma Espanhola]

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

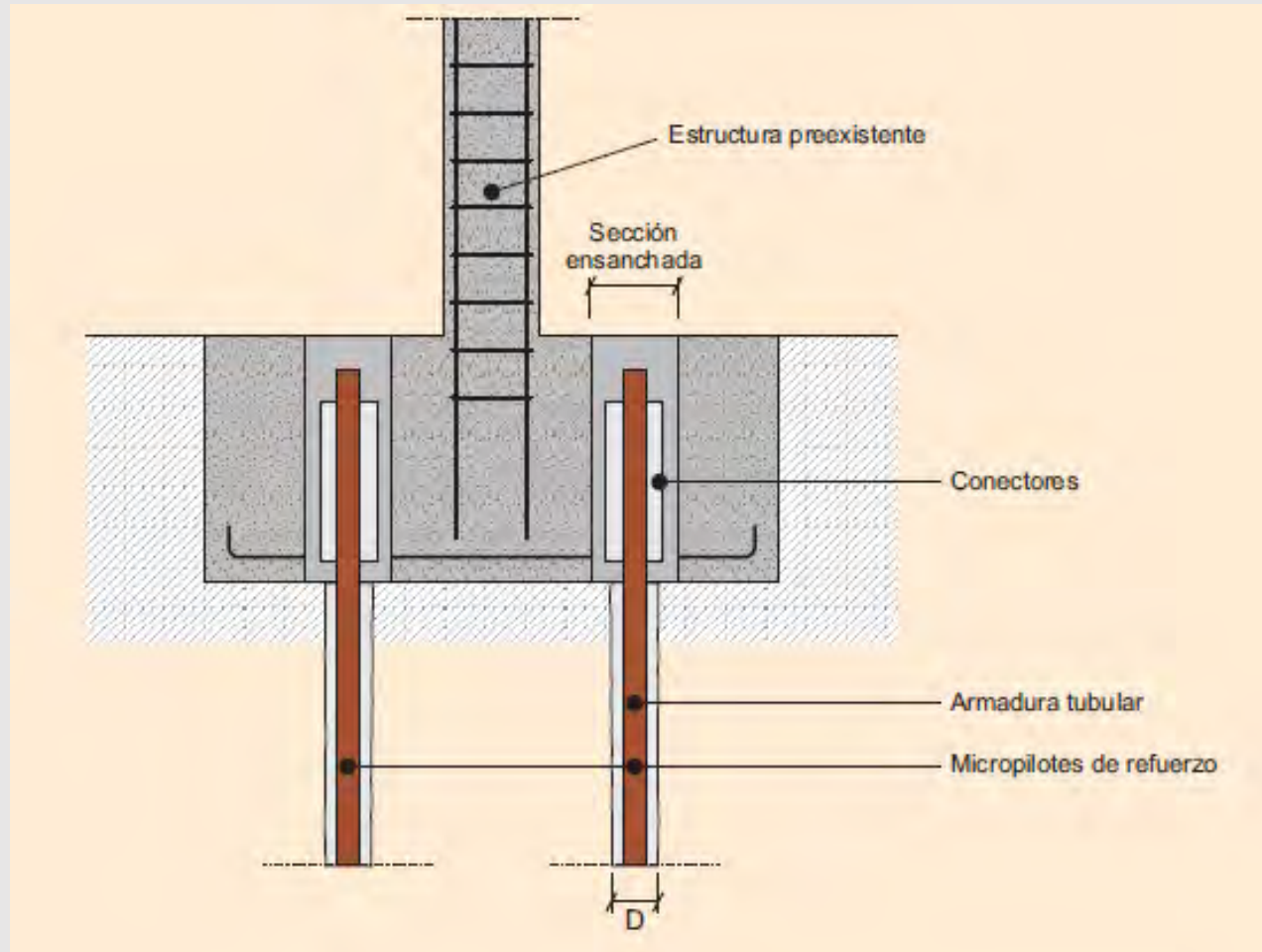
### PROJETO DE MICROESTACAS: LIGAÇÃO AO MACIÇO DE ENCABEÇAMENTO (FUNÇÃO DOS ESFORÇOS A TRANSMITIR: TRAÇÃO E COMPRESSÃO)



[Fonte: Norma Espanhola]

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### PROJETO DE MICROESTACAS: LIGAÇÃO À FUNDAÇÃO PRÉ - EXISTENTE



[Fonte: Norma Espanhola]

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ PROJETO DE MICROESTACAS – DURABILIDADE: PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO

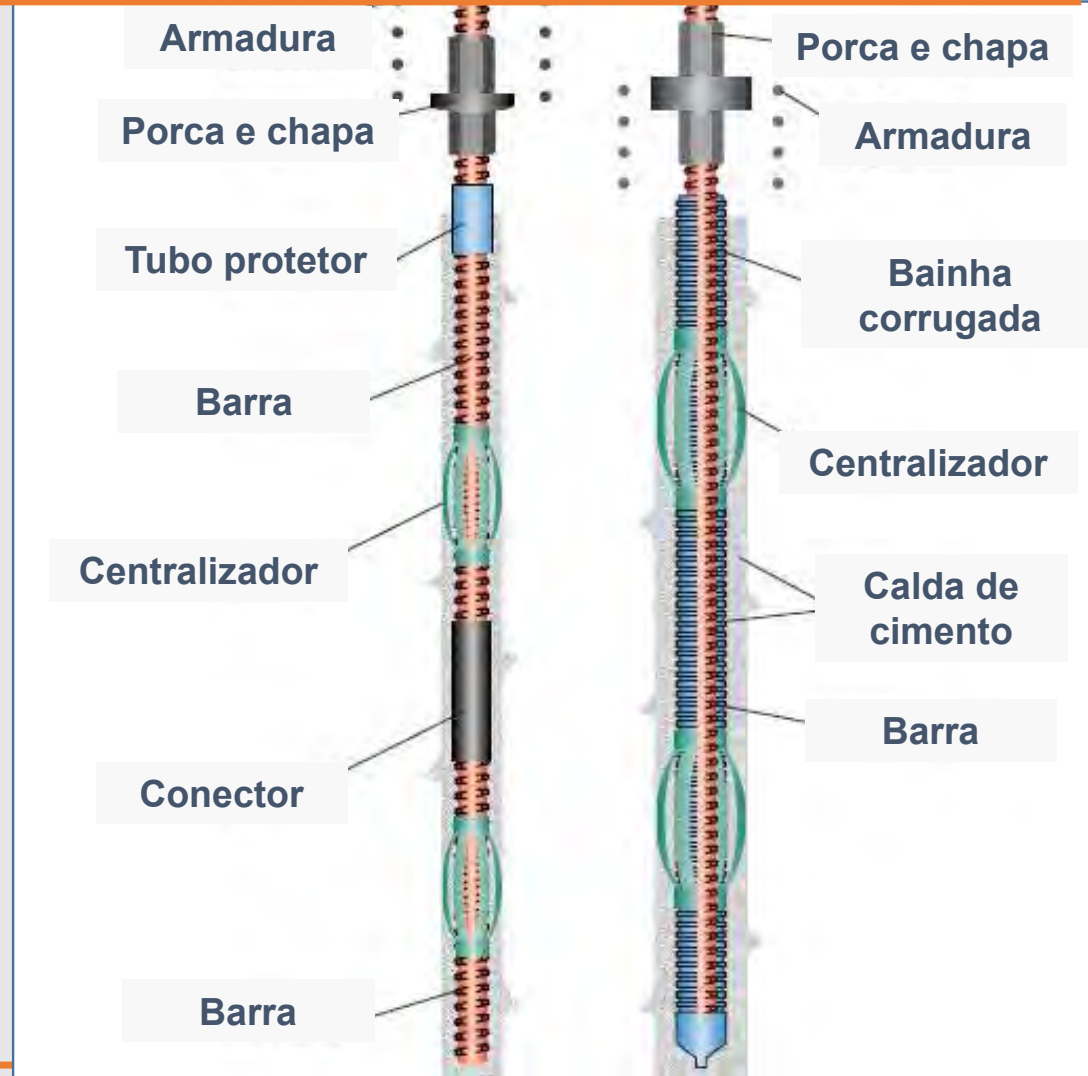


Fonte: ISM, SAS



## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- PROJETO DE MICROESTACAS – DURABILIDADE: PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ PROJETO DE MICROESTACAS – DURABILIDADE: PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO (EN 14199)

**7.6.1** A proteção contra a corrosão de elementos de aço colocados numa microestaca deve ter em conta:

- ❖ a agressividade do meio (águas subterrâneas, solo, correntes elétricas parasitas, etc.);
- ❖ o tipo de microestaca;
- ❖ o tipo de carga ( tração ou compressão),
- ❖ o tipo de aço;
- ❖ o período de vida para que deve ser projetada.

**7.6.2** A proteção contra a corrosão deve consistir:

- ❖ numa eficiente cobertura de calda, argamassa ou betão apropriados ou;
- ❖ numa espessura sacrificial de aço para a corrosão ou;
- ❖ em precauções específicas.
- ❖ na utilização de cimento especial;
- ❖ na utilização de um adequado tipo de aço;
- ❖ no uso de colunas de revestimento permanente ou de encamisamentos;
- ❖ no uso de revestimento de superfícies.

## 4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ PROJETO MICROESTACAS – DURABILIDADE: PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO / ESPESSURA SACRIFÍCIO

Loss of steel thickness (mm) due to corrosion for piles and sheet piles  
in soils, with or without groundwater (= Table 4–1 of EN 1993–5)

Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years
Undisturbed natural soils (sand, silt, clay, schist, ...)	<b>0,00</b>	<b>0,30</b>	<b>0,60</b>	<b>0,90</b>	<b>1,20</b>
Polluted natural soils and industrial grounds	<b>0,15</b>	<b>0,75</b>	<b>1,50</b>	<b>2,25</b>	<b>3,00</b>
Aggressive natural soils (swamp, marsh, peat, ...)	<b>0,20</b>	<b>1,00</b>	<b>1,75</b>	<b>2,50</b>	<b>3,25</b>
Non-compacted and non-aggressive fills (clay, schist, sand, silt, ...)	<b>0,18</b>	<b>0,70</b>	<b>1,20</b>	<b>1,70</b>	<b>2,20</b>
Non-compacted and aggressive fills (ashes, slag, ...)	<b>0,50</b>	<b>2,00</b>	<b>3,25</b>	<b>4,50</b>	<b>5,75</b>

NOTE 1 The values given are only for guidance. Local conditions should be considered and suitable values taking into account local conditions should be given in the national annex.

NOTE 2 Corrosion rates in compacted fills are lower than those in non-compacted ones, In compacted fills the figures in the table should be divided by two.

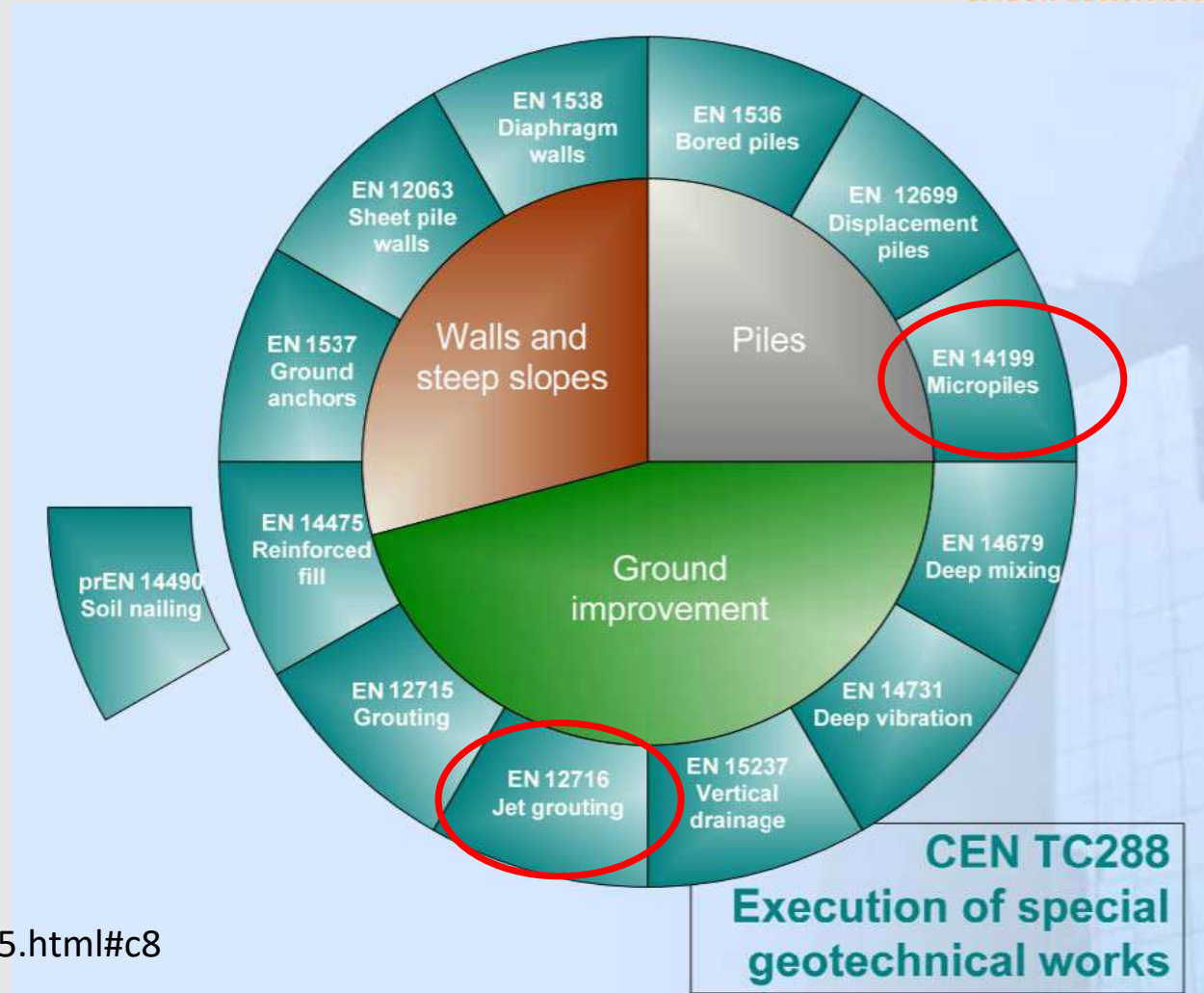
NOTE 3 The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.



1. TIPOS DE FUNDAÇÕES (09:30-10:00)
2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:00-10:30)
3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:30-11:00)
4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (11:30-13:00)
5. **EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (14:30-16:00)**
6. EXEMPLOS DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (16:30-17:15)
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS (17:15-17:30)

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ■ EURONORMAS DE GEOTECNIA



<https://geotechnicaldesign.info/en14199-2005.html#c8>

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ EURONORMAS DE GEOTECNIA

# Norma Portuguesa

NP  
EN 14199  
2016

**Execução de obras geotécnicas especiais**

**Microestacas**

Exécution des travaux géotechniques spéciaux

Micropieux

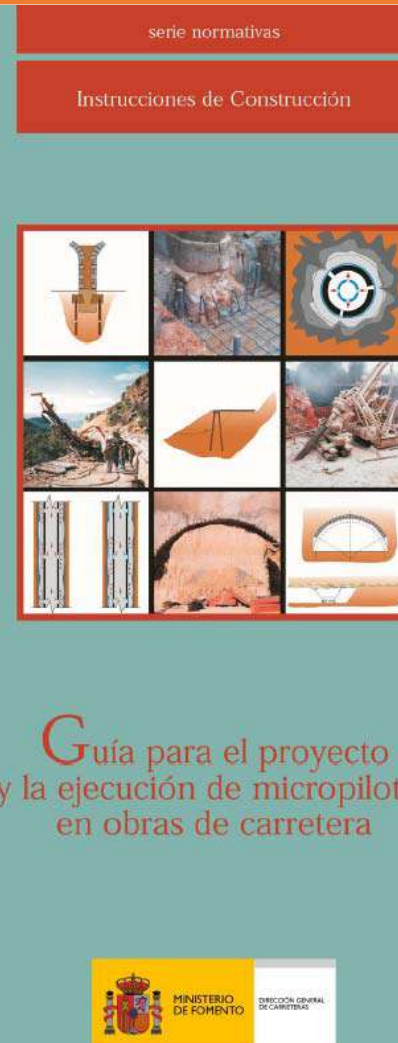
Execution of special geotechnical works

Micropiles

**Microestacas perfuradas com  
diâmetro inferior a 300 mm**

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ EURNORMAS DE GEOTECNIA:  
NORMA ESPANHOLA (2005)



Microestacas perforadas com  
diâmetro inferior a 300 mm

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- EURONORMAS DE GEOTECNIA:  
NORMA AUSTRIACA (2001)

ICS 93.020

**ONREGEL**

**ONR 22567**

**Piles of ductile iron cast  
Dimensions, installation and quality assurance**


Pfähle aus duktilem Gusseisen  
Abmessungen, Einbau und Gütesicherung

Pilotis de fonte ductiles  
Dimensions, installation, maîtrise de qualité

**Microestacas cravadas em FFD  
(com deslocamento do terreno)**

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- BASE DE DADOS
- EVOLUÇÃO
- TECNOLÓGICA DAS
- MICROESTACAS



The screenshot shows the homepage of the International Society for Micropiles (ISM). The header features the ISM logo and the text "International Society for Micropiles" and "An international forum for research, development, design and construction of micropiles." Below the header is a navigation menu with links for "About ISM", "Membership", "Workshops", "News", "Publications", "Resources", "Document Library", and "Contact Us". The main content area is titled "About ISM" and contains three paragraphs of text describing the society's mission and goals. To the right of the main content are three call-to-action buttons: "join" (Become an ISM Member), "download" (Free download: Proceedings of the 13th International Workshop on Micropiles - 2017, Vancouver, BC, Canada), and "learn" (Learn more about the DFI-ADSC Joint Micropile Committee).

**ISM** International Society for Micropiles  
An international forum for research, development, design and construction of micropiles.

About ISM | Membership | Workshops | News | Publications | Resources | Document Library | Contact Us

### About ISM

The International Society for Micropiles (ISM) is a consortium of international representatives involved in the design, construction, research/development and instruction/promotion of micropile technology.

ISM provides an international forum for debate, advice, problem-solving and support to micropile specialists and nonspecialists throughout the world. Members of the Society can actively seek advice and experience from other members within this international group.

ISM aims to be respected internationally as the preeminent center of knowledge for the development, advancement and promotion of micropile technology.

Learn more about ISM:

- ISM Background and Evolution
- Co-operating Organizations
- ISM Leadership
- Steering Committee
- Memorial to Dr. Fernando Lizzi

**join**  
Become an ISM Member

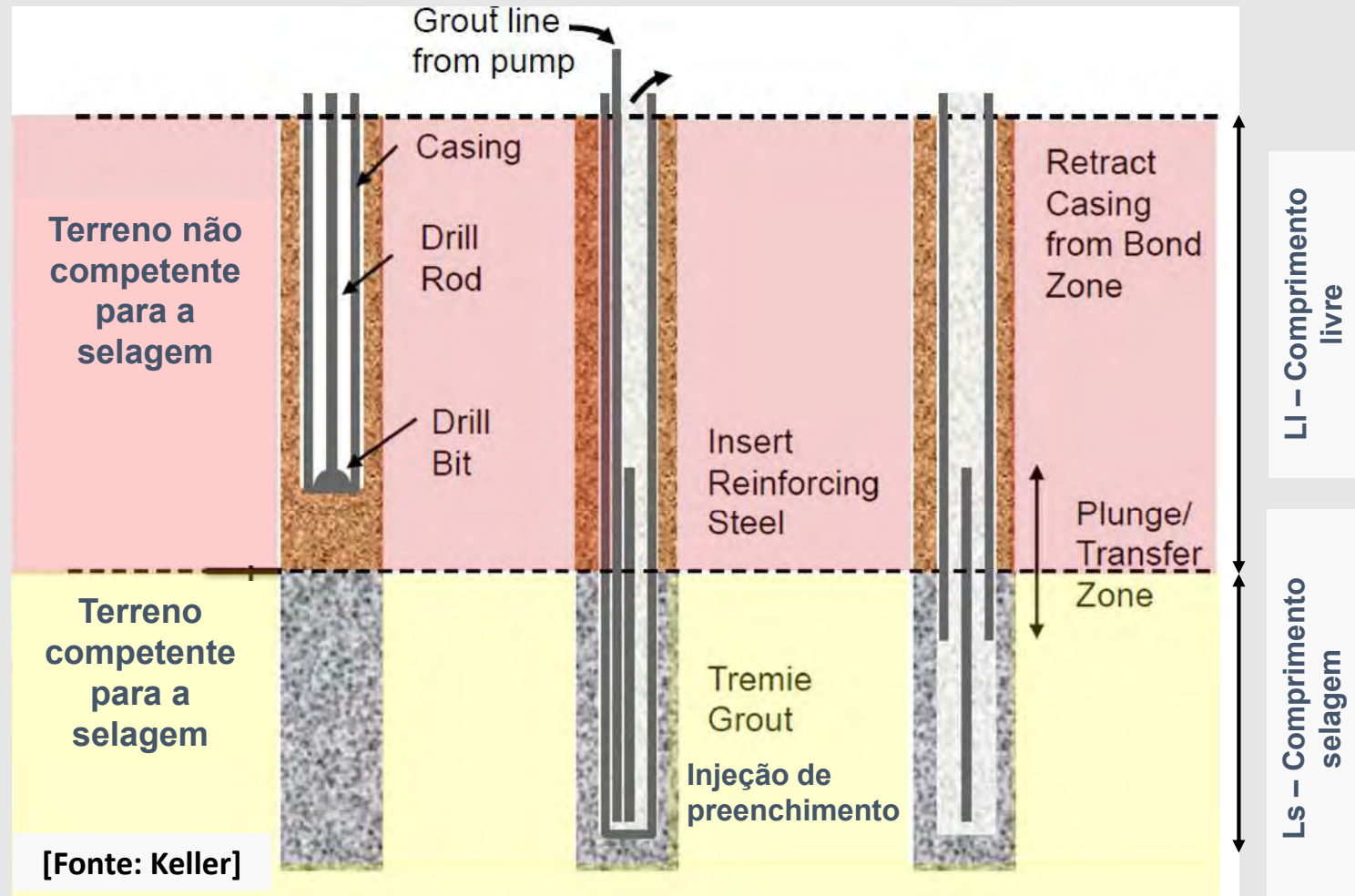
**download**  
Free download:  
Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Workshop on Micropiles - 2017, Vancouver, BC, Canada

**learn**  
Learn more about the DFI-ADSC Joint Micropile Committee

<http://www.ismicropiles.org/about.asp>

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ FURAÇÃO PARA A INSTALAÇÃO DAS MICROESTACAS



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ INJEÇÃO MICROESTACAS:  
1º PREENCHIMENTO + 2º  
SELAGEM

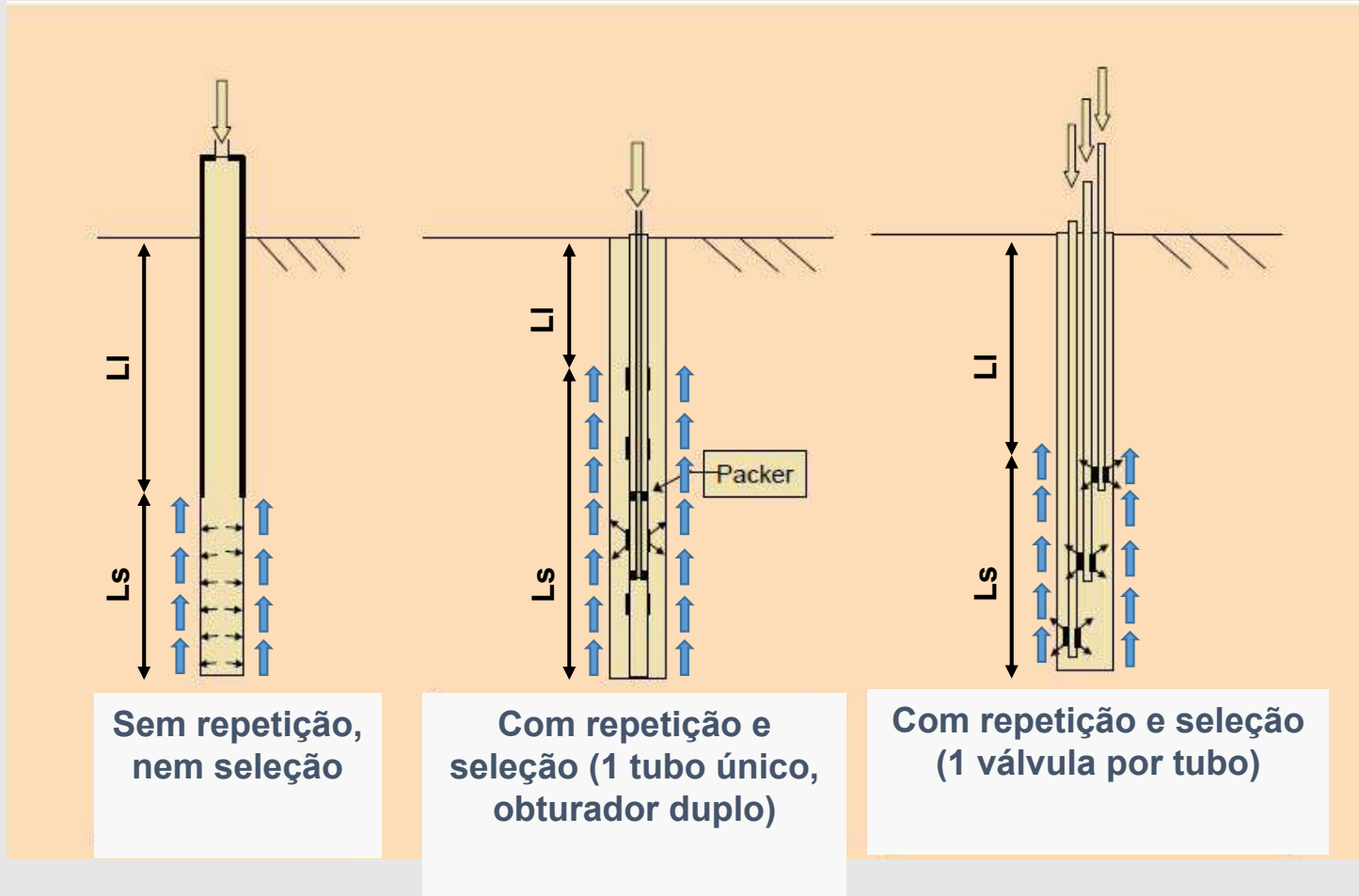


Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

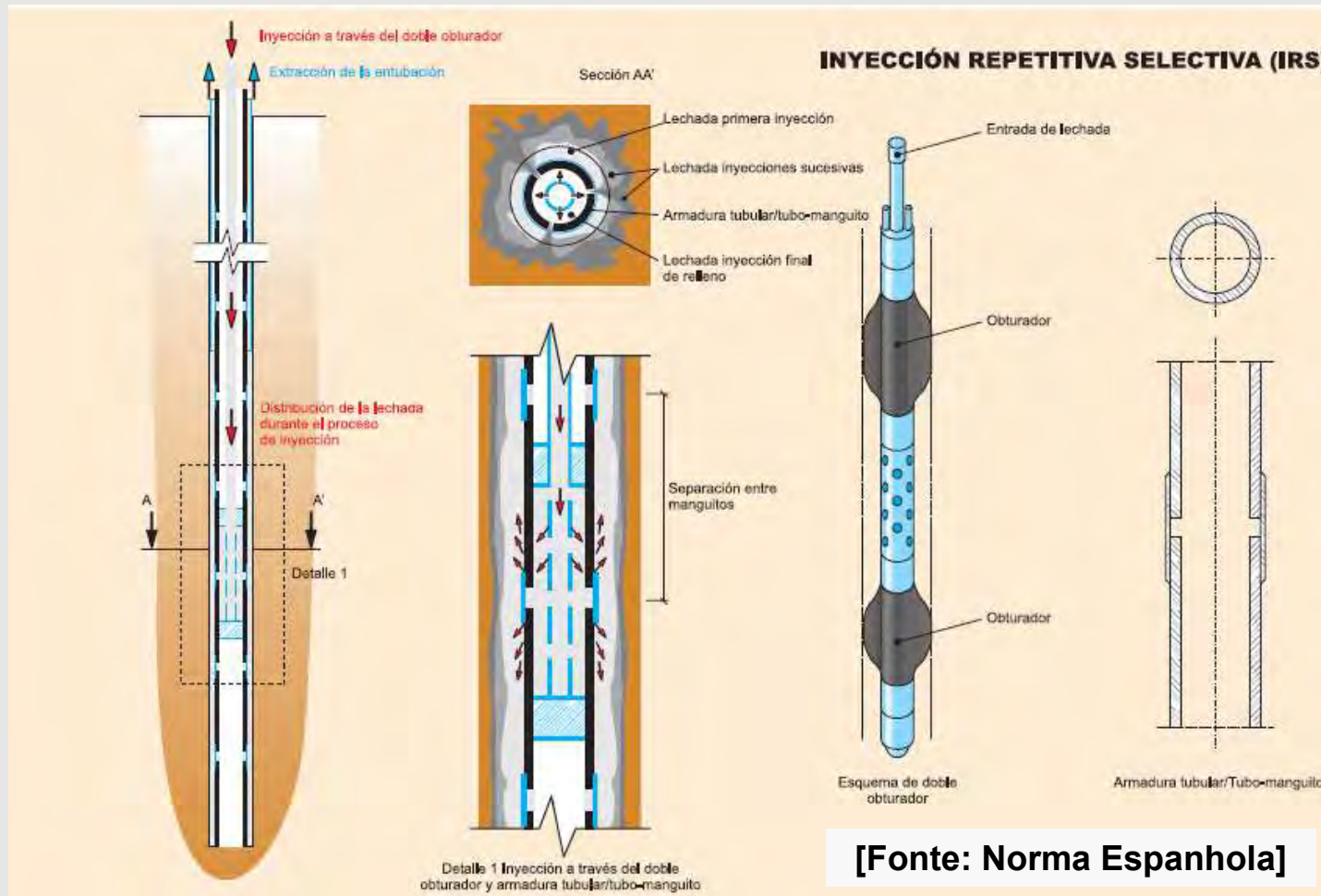
### INJEÇÃO DE MICROESTACAS: POSSIBILIDADE DE REPETIÇÃO E DE SELEÇÃO



[Fonte: ISM]

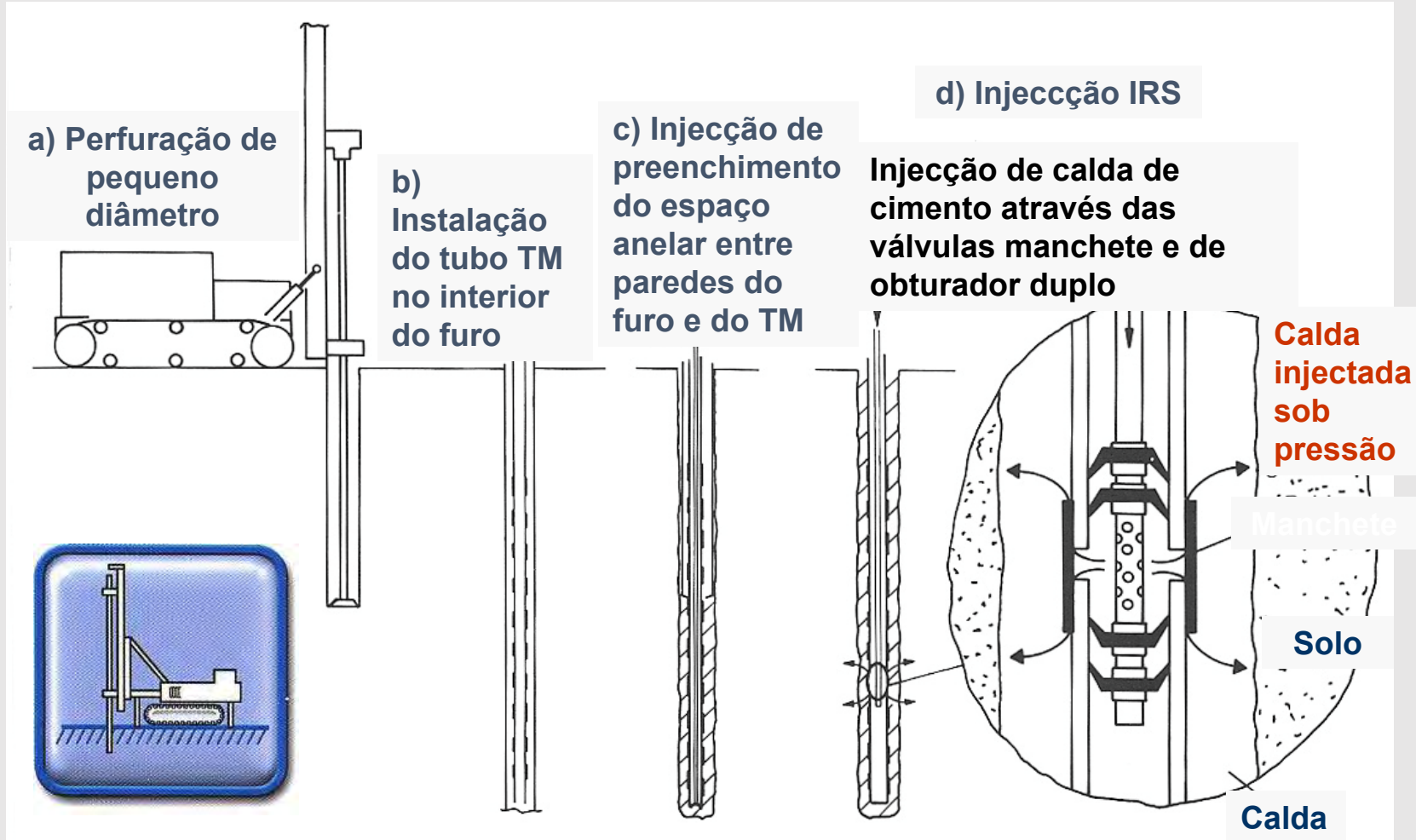
# 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

## ❑ TÉCNICAS DE INJEÇÃO: IRS



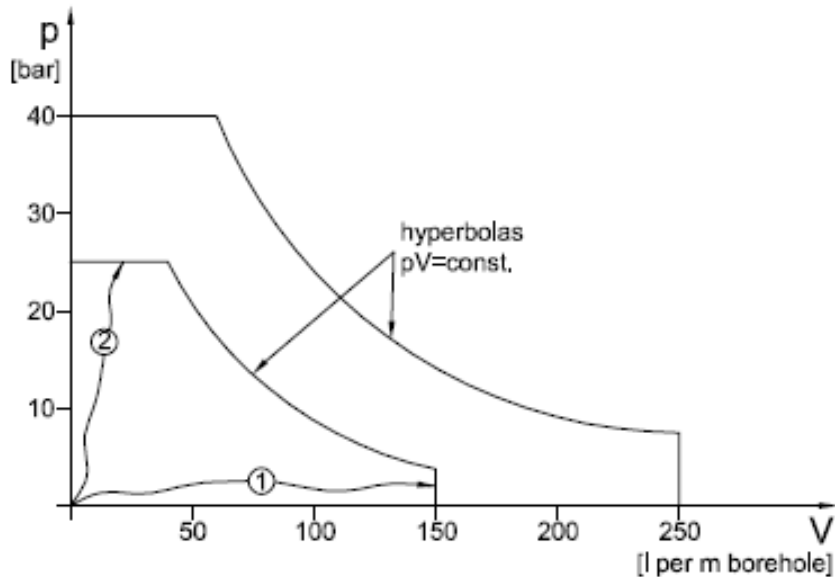
## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### EXECUÇÃO DE MICROESTACAS: INJEÇÃO IRS COM TUBO MV

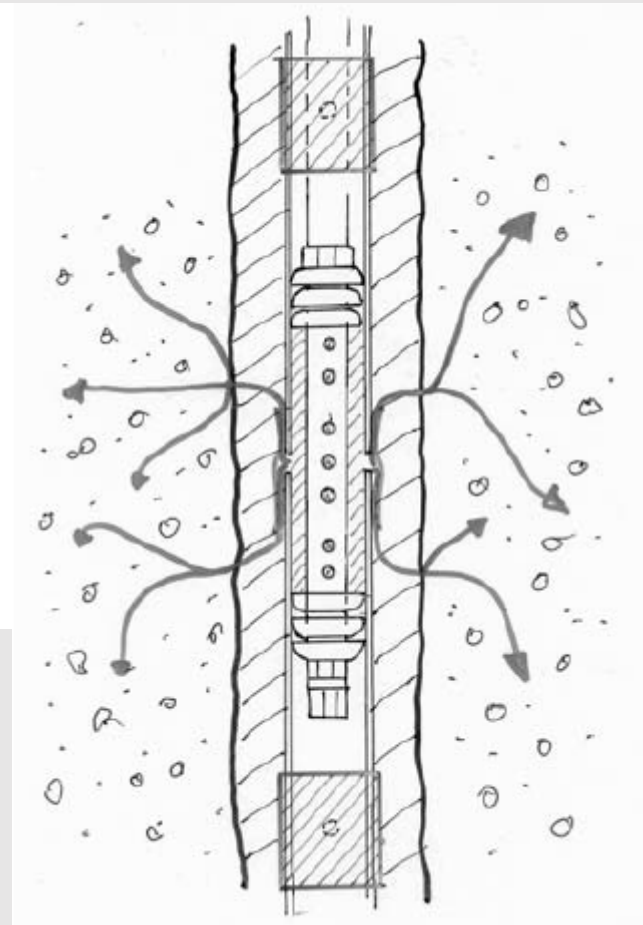


## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### EXECUÇÃO DE MICROESTACAS: INJEÇÃO IRS COM TUBO MV



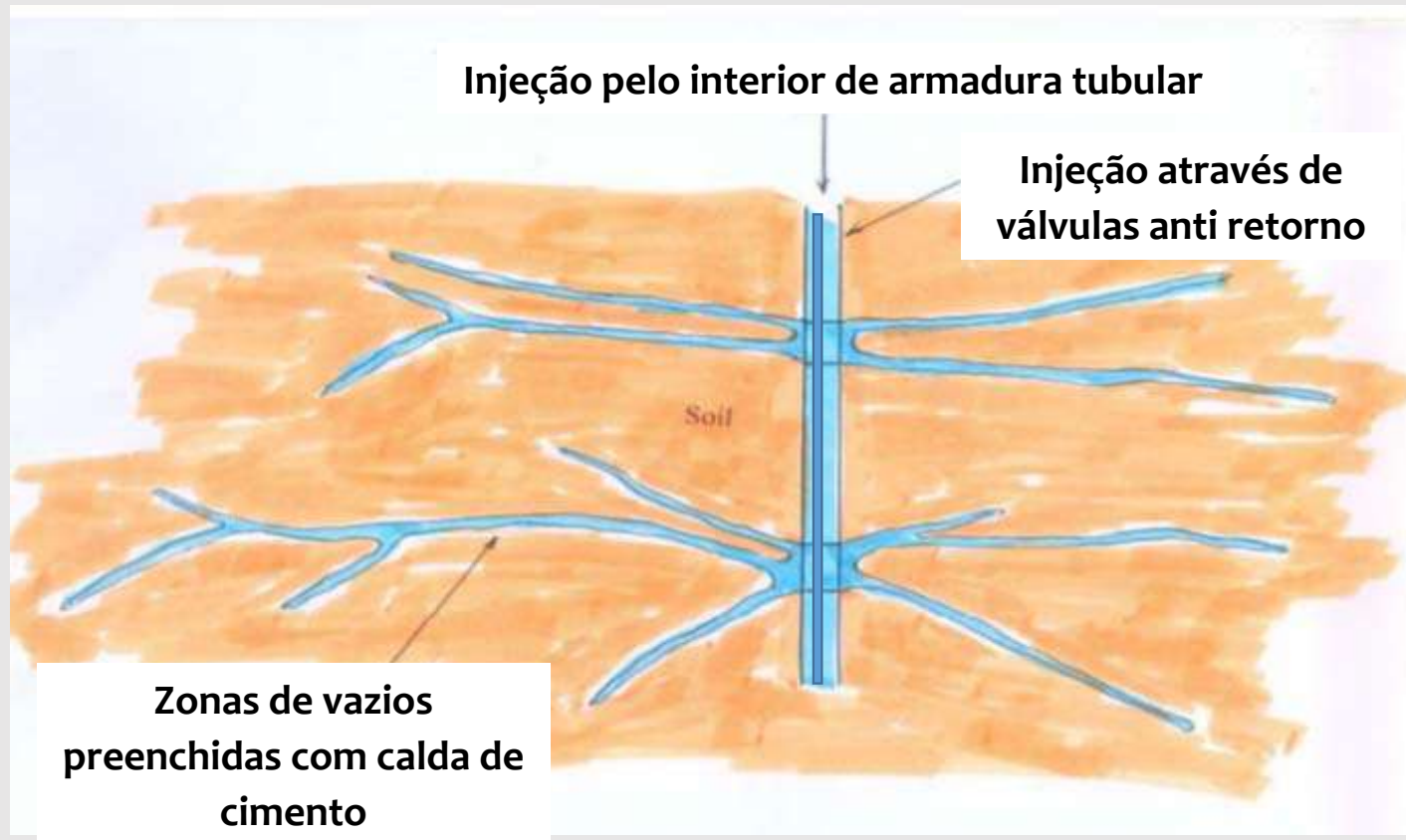
**Método de GIN**  
(trajetória 1 para terreno muito fissurado e trajetória 2 para terreno pouco fissurado)



**Obturador duplo e válvulas anti retorno (manchetes)**

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

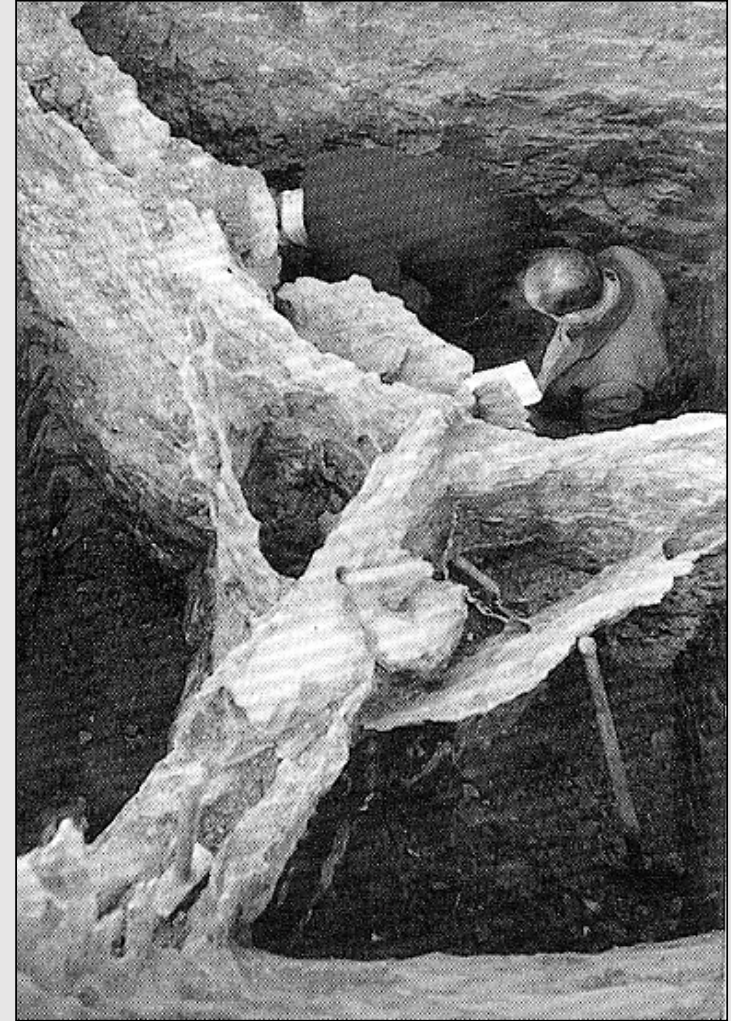
### ❑ SISTEMA IRS – EFEITO SECUNDÁRIO DE TRATAMENTO DO TERRENO



[Fonte: ISM]

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ SISTEMA IRS – EFEITO SECUNDÁRIO DE TRATAMENTO DO TERRENO



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ EXECUÇÃO DE MICROESTACAS: ASPETOS CONTRUTIVOS – SISTEMA IRS PERMITE MAIOR ALARGAMENTO DO BOLBO



Injeção de  
preenchimento

1ª injeção de selagem

2ª injeção de selagem

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ EXECUÇÃO DE MICROESTACAS: PROTEÇÃO DA CALDA DE CIMENTO



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ EXECUÇÃO DE MICROESTACAS: ASPETOS CONTRUTIVOS - VÁLVULAS



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### □ EXECUÇÃO DE MICROESTACAS: ASPETOS CONTRUTIVOS - UNIÕES



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ EXECUÇÃO DE MICROESTACAS: ASPETOS CONTRUTIVOS – UNIÕES EXTERIORES



Secionamento do tubo metálico pela união interior

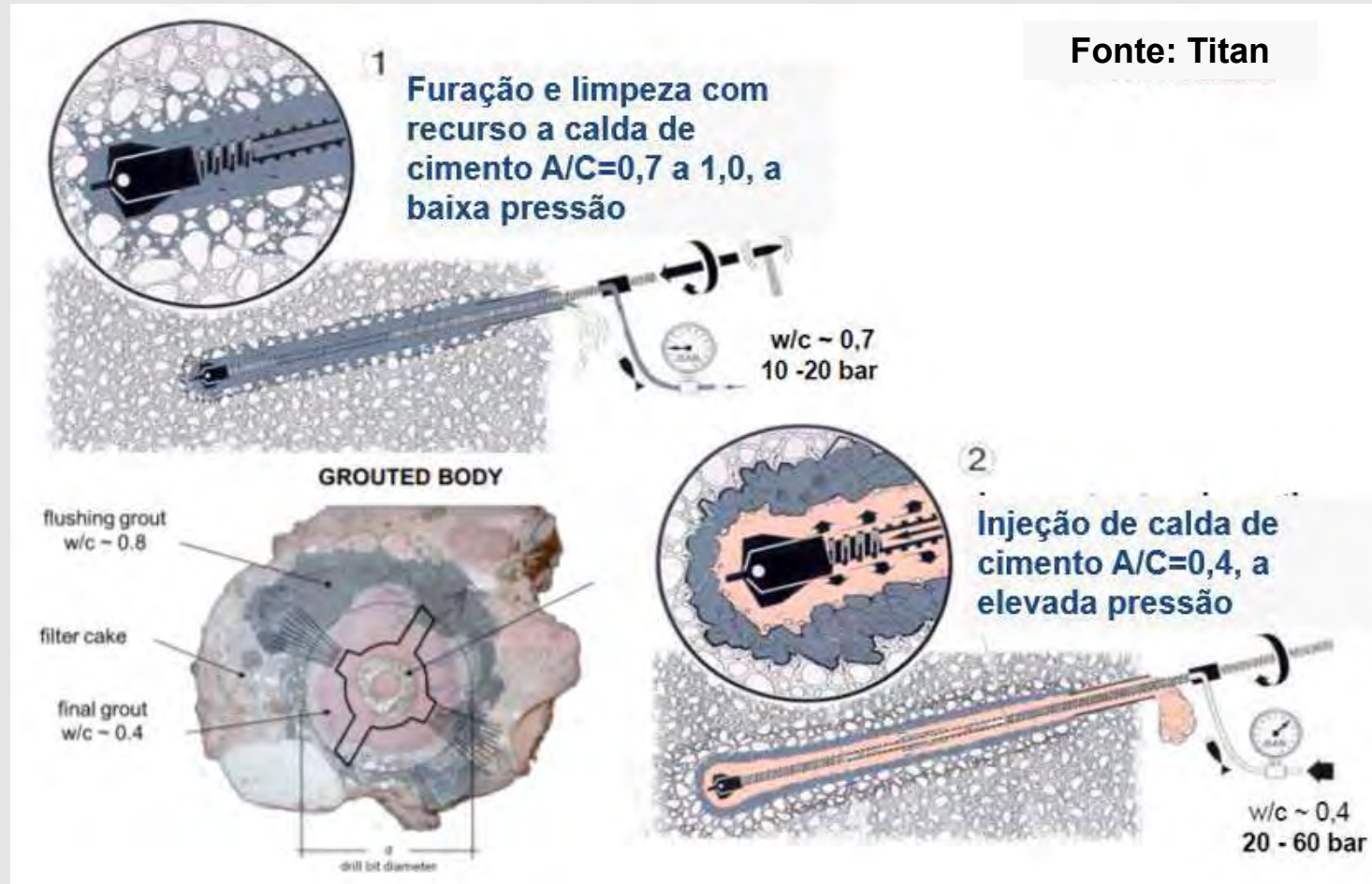
## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- EXECUÇÃO DE MICROESTACAS: INJEÇÃO ATRAVÉS DO SISTEMA AUTOPERFORANTE



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### EXECUÇÃO DE MICROESTACAS: INJEÇÃO ATRAVÉS DO SISTEMA AUTOPERFURANTE



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ EXECUÇÃO DE MICROESTACAS  
CRAVADAS: VIA SÊCA OU VIA  
HÚMIDA



Fonte: Bauer

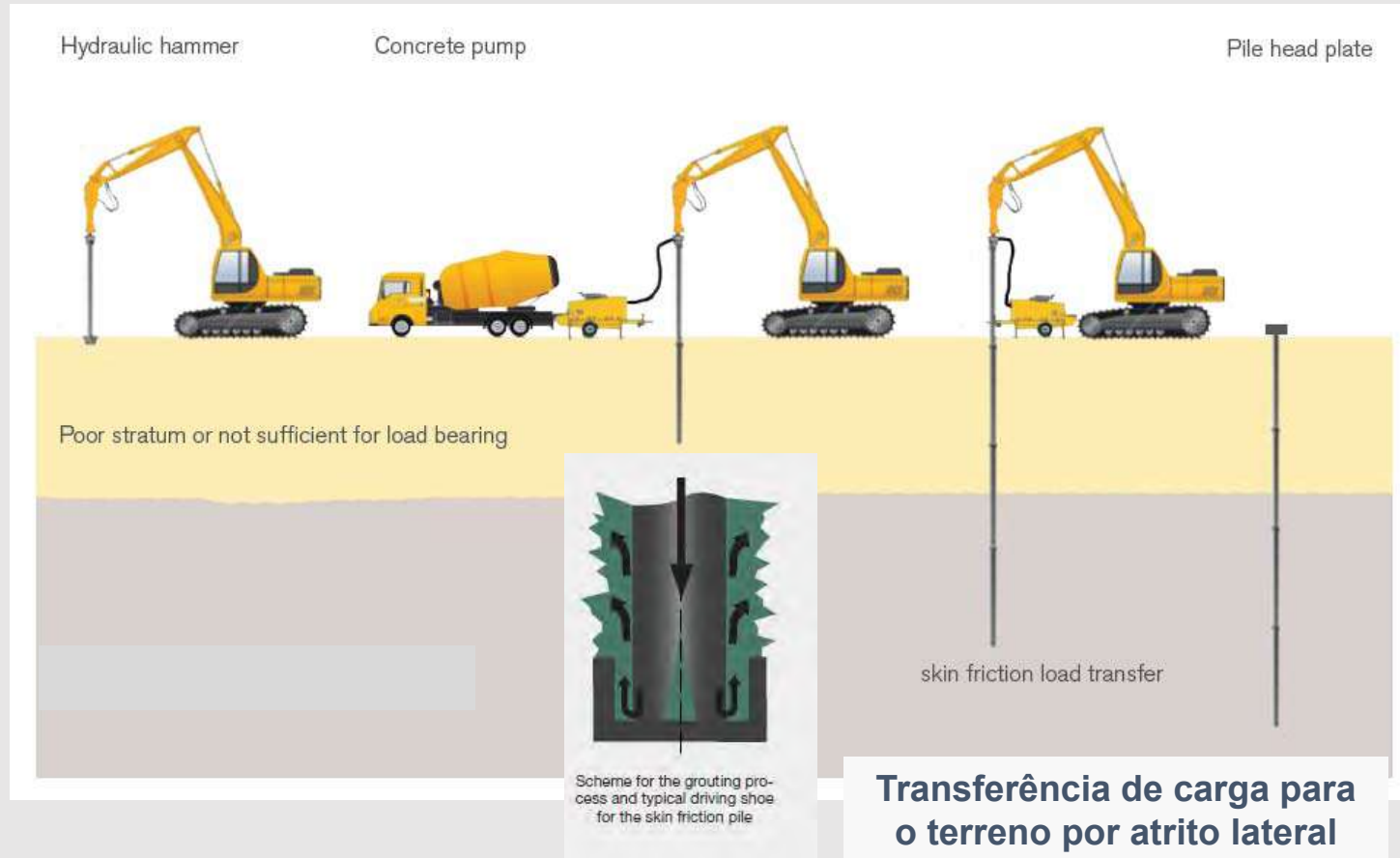
Via húmida:  
flutuante

Via seca:  
ponta

Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### EXECUÇÃO DE MICROESTACAS CRAVADAS: VIA HÚMIDA



Fonte: TRM

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### EXECUÇÃO DE MICROESTACAS CRAVADAS: VIA SÊCA



Fonte: TRM



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

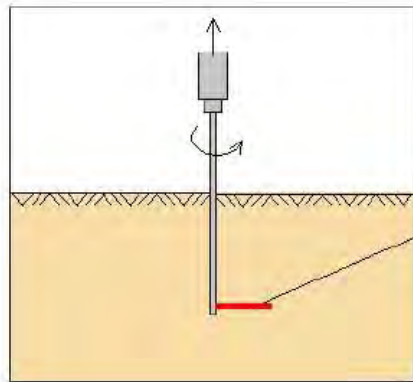
- ❑ IMPORTÂNCIA DE ENSAIOS E VERIFICAÇÕES DE GEOMETRIA, RESISTÊNCIA E DEFORMABILIDADE DAS SOLUÇÕES DE FUNDAÇÕES



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

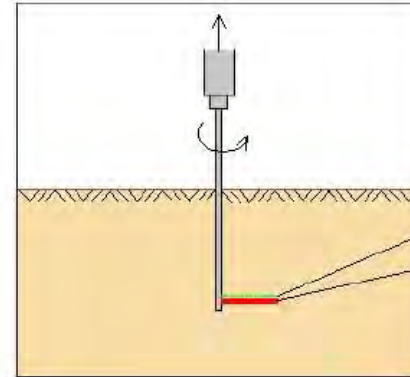
## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET GROUTING: TÉCNICAS



**Calda cimento,  
100 a 600bar**

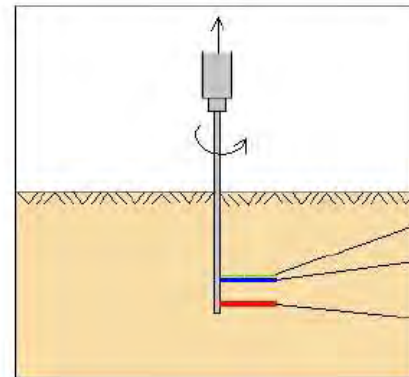
**Jet tipo 1 – simples**



**Ar comprimido,  
5 a 6bar**  
**Calda cimento,  
100 a 600bar**

**Jet tipo 2 – duplo**

**Jet tipo 3 – triplo**



**Ar comprimido (assistência)**  
**Água sob pressão, 100 a 600bar**  
**Calda cimento, 3 a 10bar**

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET GROUTING: PARÂMETROS DE EXECUÇÃO

#### ▶ Parâmetros:

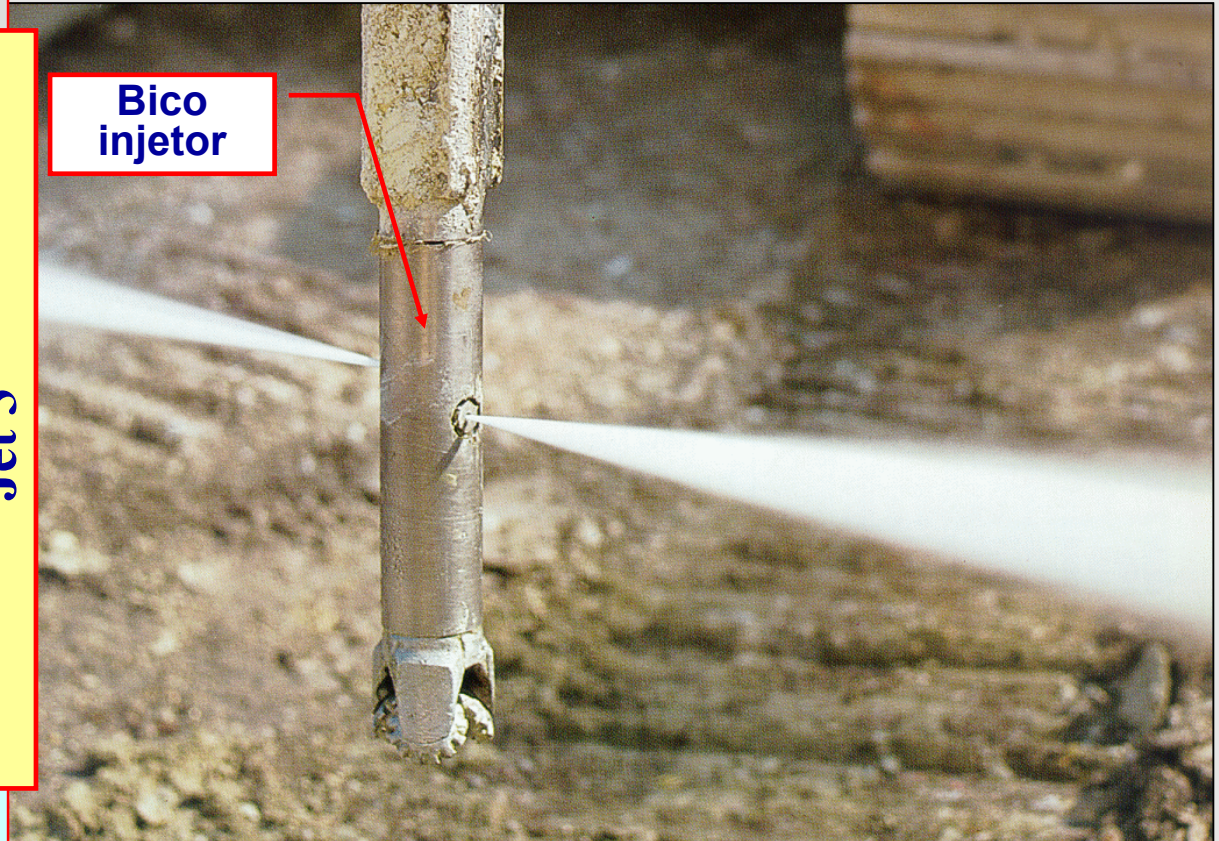
- ✓ pressão e caudal do cimento
- ✓ número e diâmetro dos bicos de injeção
- ✓ relação A/C
- ✓ velocidade de subida e rotação da vara
- ✓ pressão e caudal do ar comprimido
- ✓ pressão e caudal da água
- ✓ número e diâmetro dos bicos de injeção de água
- 

Jet 1

Jet 2

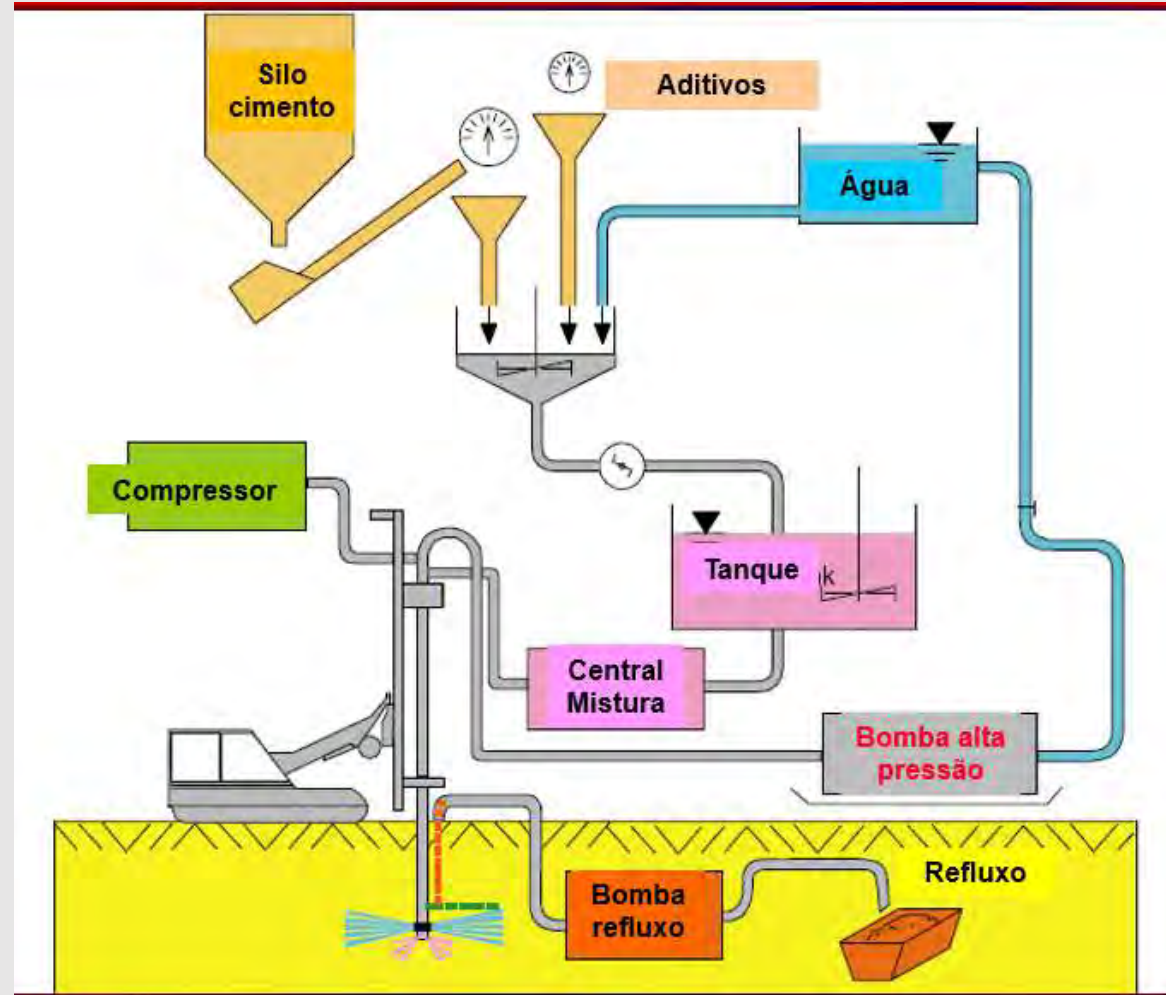
Jet 3

Bico injetor



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET GROUTING: ESTALEIRO



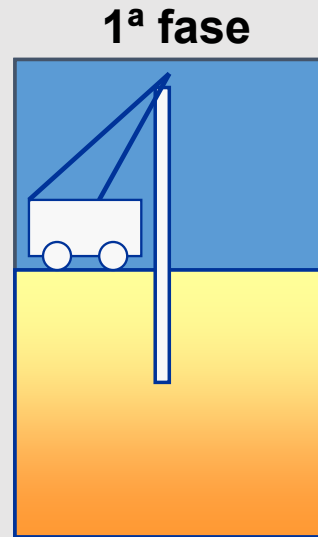
Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

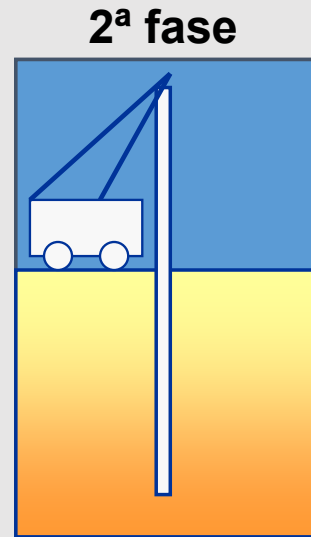
### EXECUÇÃO DE COLUNAS

#### DE JET GROUTING TIPO 1:

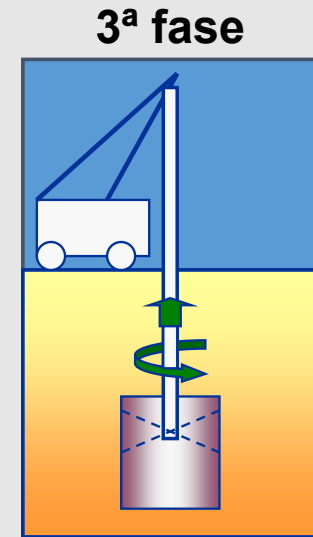
#### FASEAMENTO



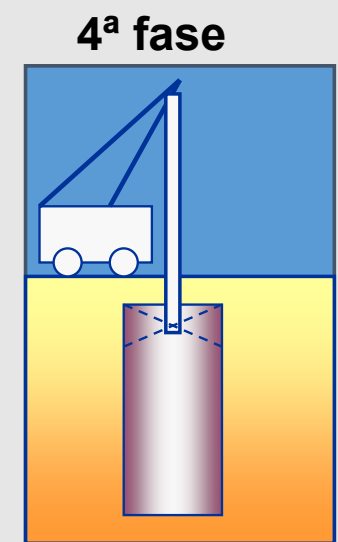
Perfuração destrutiva com vara de pequeno diâmetro



Final da perfuração quando esta atingir a cota da base da coluna



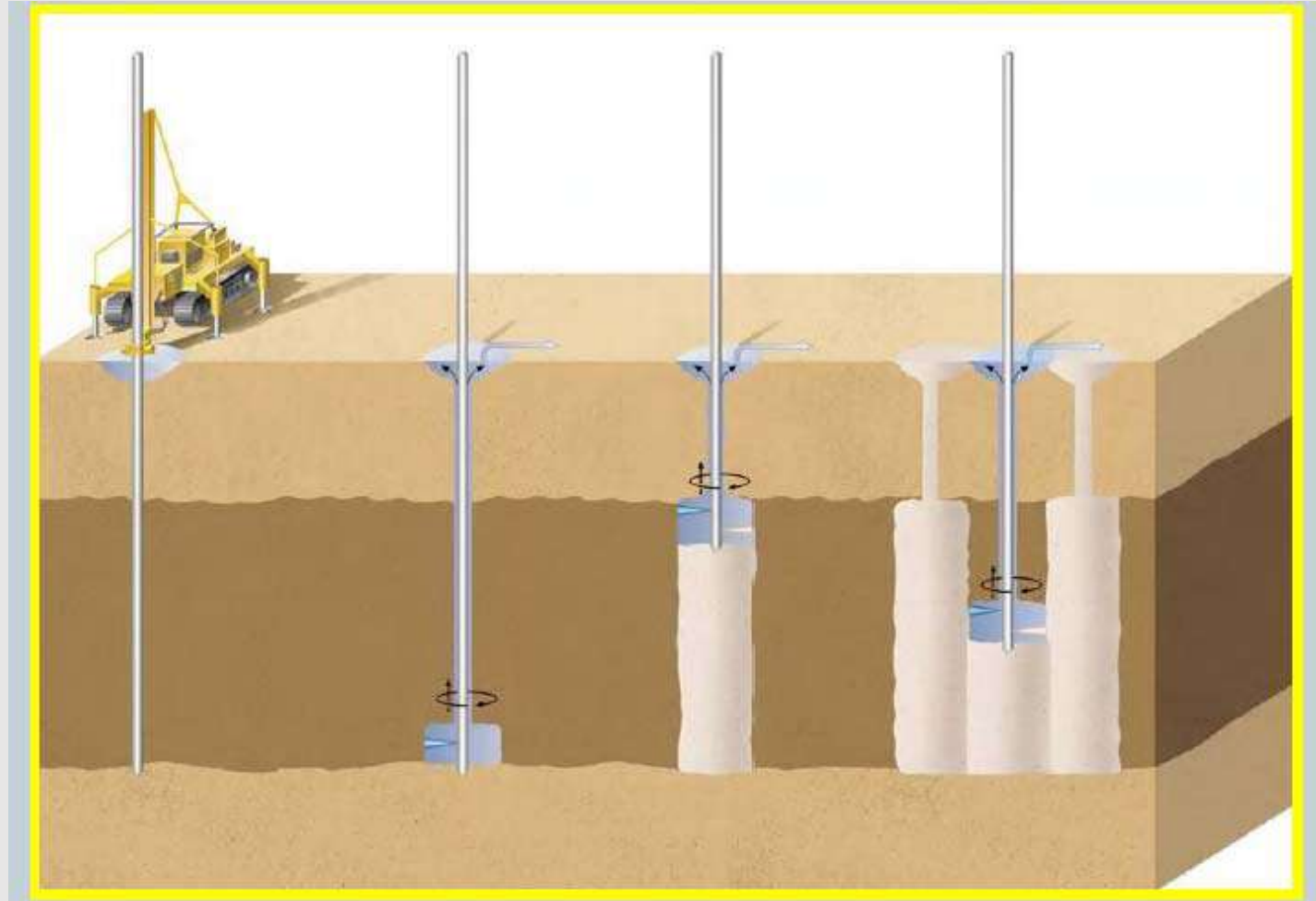
Subida da vara com injeção de calda a alta pressão, acompanhada de movimento de rotação à velocidade pré-definida



Final da injeção quando o bico injetor atingir a cota correspondente ao coroamento da coluna

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- EXECUÇÃO DE CORTINA  
DE COLUNAS DE JET  
GROUTING: FASEAMENTO



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

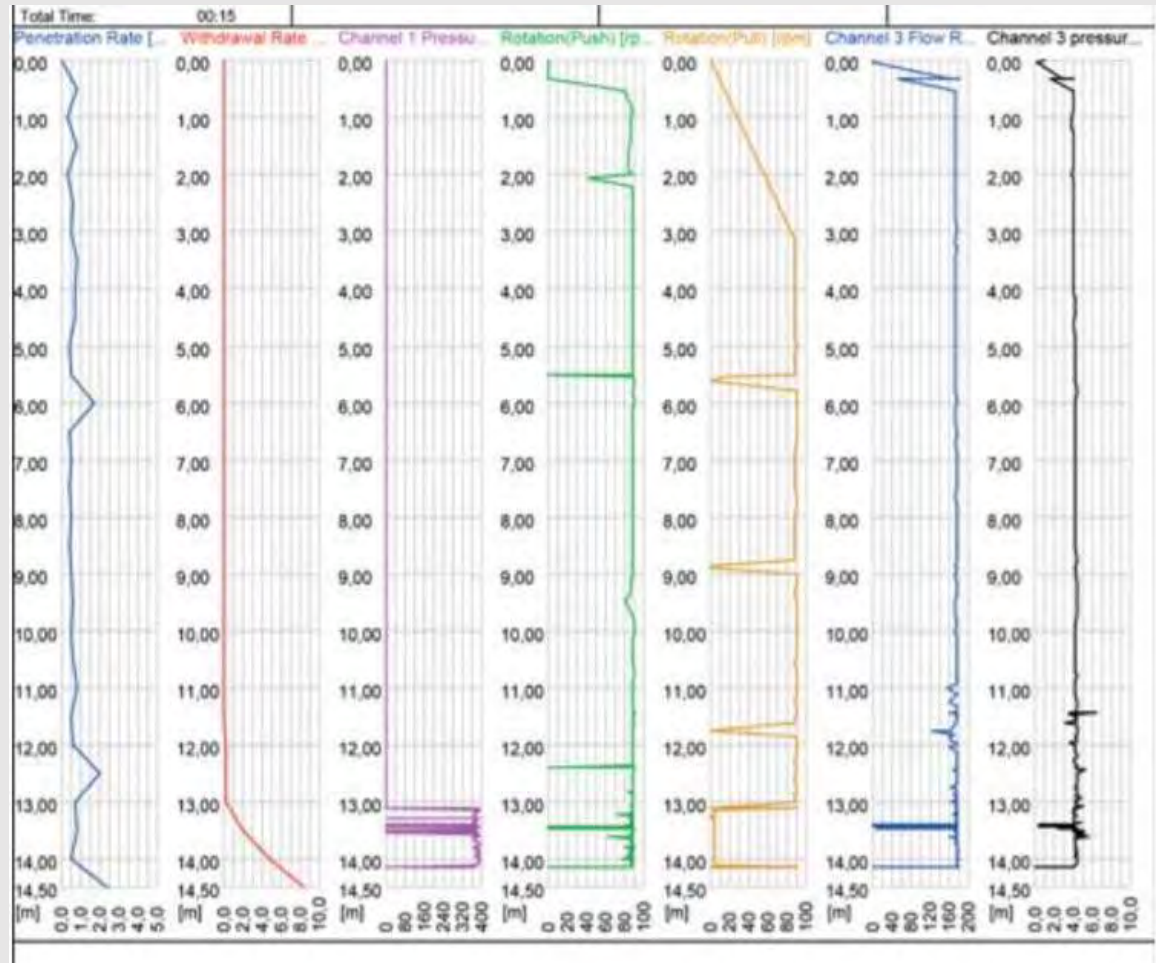
### EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET GROUTING: REGISTO DOS PARÂMETROS DE EXECUÇÃO



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET GROUTING: REGISTO DOS PARÂMETROS DE EXECUÇÃO



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET GROUTING: ASPETOS A CONSIDERAR NA OBRA

#### 1. Campanha de Prospeção Geotécnica

➤ Perfil geológico (SPT, nível água, etc.)

➤ Caracterização química do solo

➤ Caracterização física do solo

-Granulometria, peso específico, limites

-Permeabilidade

-Coesão

#### 2. Projecto de execução

➤ Geometria

➤ Dimensão ( $\varnothing$ , comp.)

➤ Características resistentes, dosagem e tipo cimento

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET GROUTING: ASPETOS A CONSIDERAR NA OBRA

#### 3. Determinação dos parâmetros executivos

- Método de Jet Grouting (jet1, jet2, jet3)
- Parâmetros executivos: (pressão, caudal,  $\phi$  do bico, tempo, etc.)
- Determinação das características mecânicas

#### 4. Testes Preliminares

- Amostra de solo misturada com cimento na proporção estudada e determinação das suas características mecânicas.



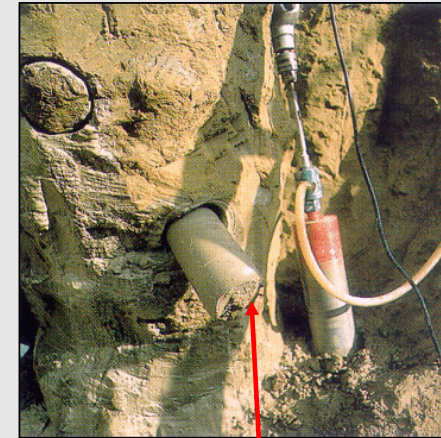
Colunas teste

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET GROUTING: ASPETOS A CONSIDERAR NA OBRA

#### 5. Campo de Provas

- Aferição dos parâmetros de conceção:
  - Diâmetro, forma, homogeneidade
  - Características mecânicas
  - Ensaio laboratório sobre carotes e/ou refluxo
  - Ensaio de carga



Recolha de  
carotes

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ EXECUÇÃO DE CORPOS DE JET GROUTING: ASPETOS A CONSIDERAR NA OBRA – CAMPO DE PROVAS



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET

GROUTING: ASPETOS A CONSIDERAR

NA OBRA – CAMPO DE PROVAS



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET GROUTING: ASPETOS A CONSIDERAR NA OBRA – CAMPO DE PROVAS



Bico de injeção



Colunas teste

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET GROUTING: ASPETOS A CONSIDERAR NA OBRA

#### 6. Controlo de execução

- Na calda de cimento
  - Densidade
  - Viscosidade aparente
  - Resistência à compressão simples uniaxial não confinada
- No refluxo
  - Densidade
  - Resistência à compressão simples uniaxial não confinada
- Em carotes (cuidados especiais na execução, pois trata-se de material de rotura frágil)

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET GROUTING: ASPETOS A CONSIDERAR NA OBRA – CONTROLO DE EXECUÇÃO

- Daily report forms -- procedures of treatment
- Data acquisition systems record all jet parameters
- Sampling of waste materials -- conservative relative assessment of in situ characteristics
- Core samples





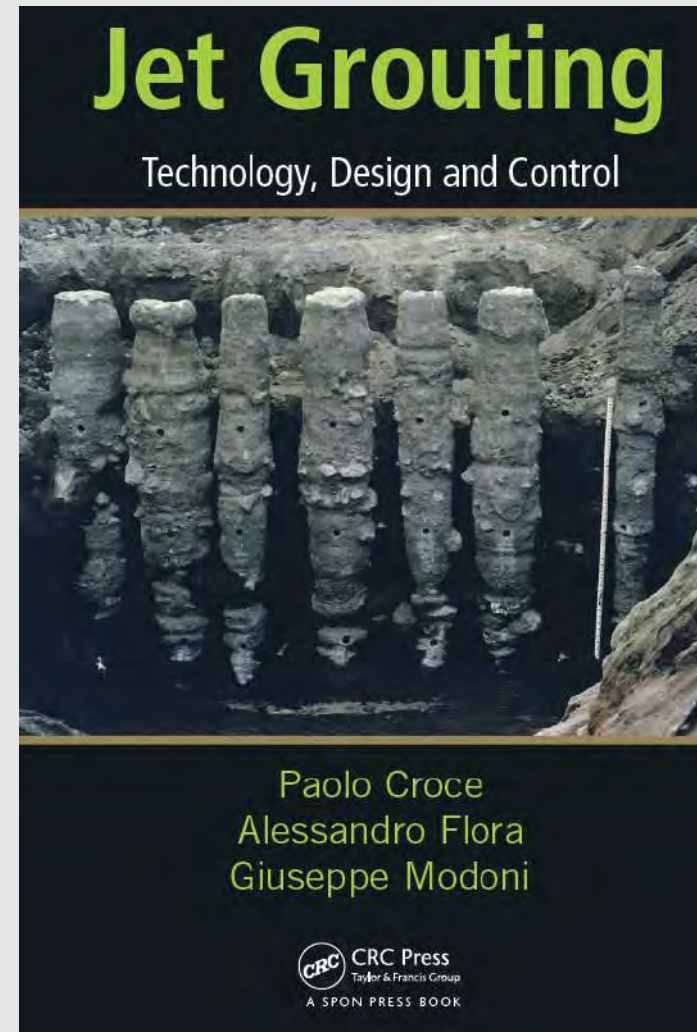
## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

- ❑ EXECUÇÃO DE COLUNAS DE JET GROUTING: ASPETOS A CONSIDERAR NA OBRA – CONTROLO DE EXECUÇÃO POR CAROTAGEM INTEGRAL



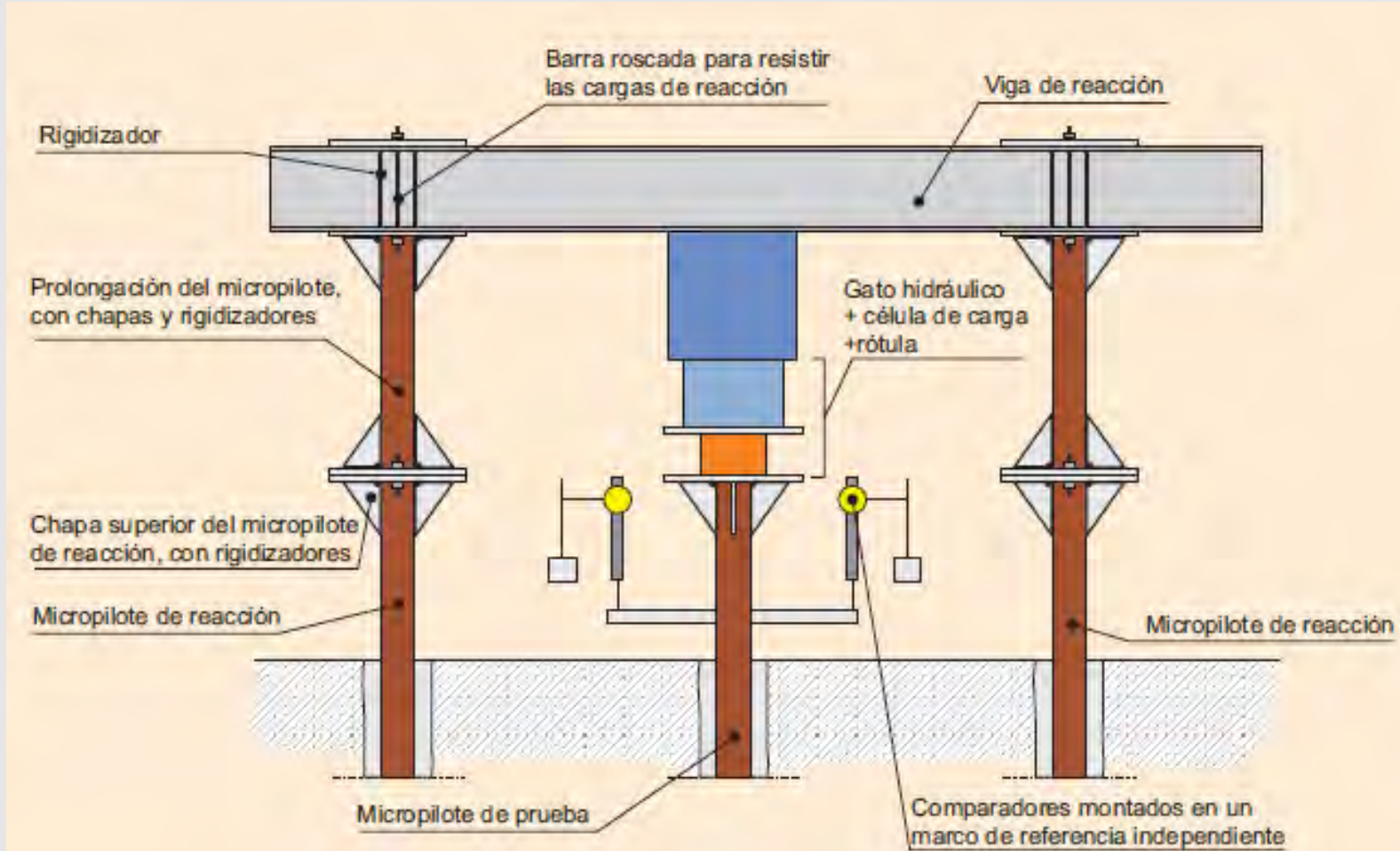
## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ▣ JET GROUTING: BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA



## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ IMPORTÂNCIA DOS ENSAIOS DE CARGA NA VERIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CONCEÇÃO E DE EXECUÇÃO



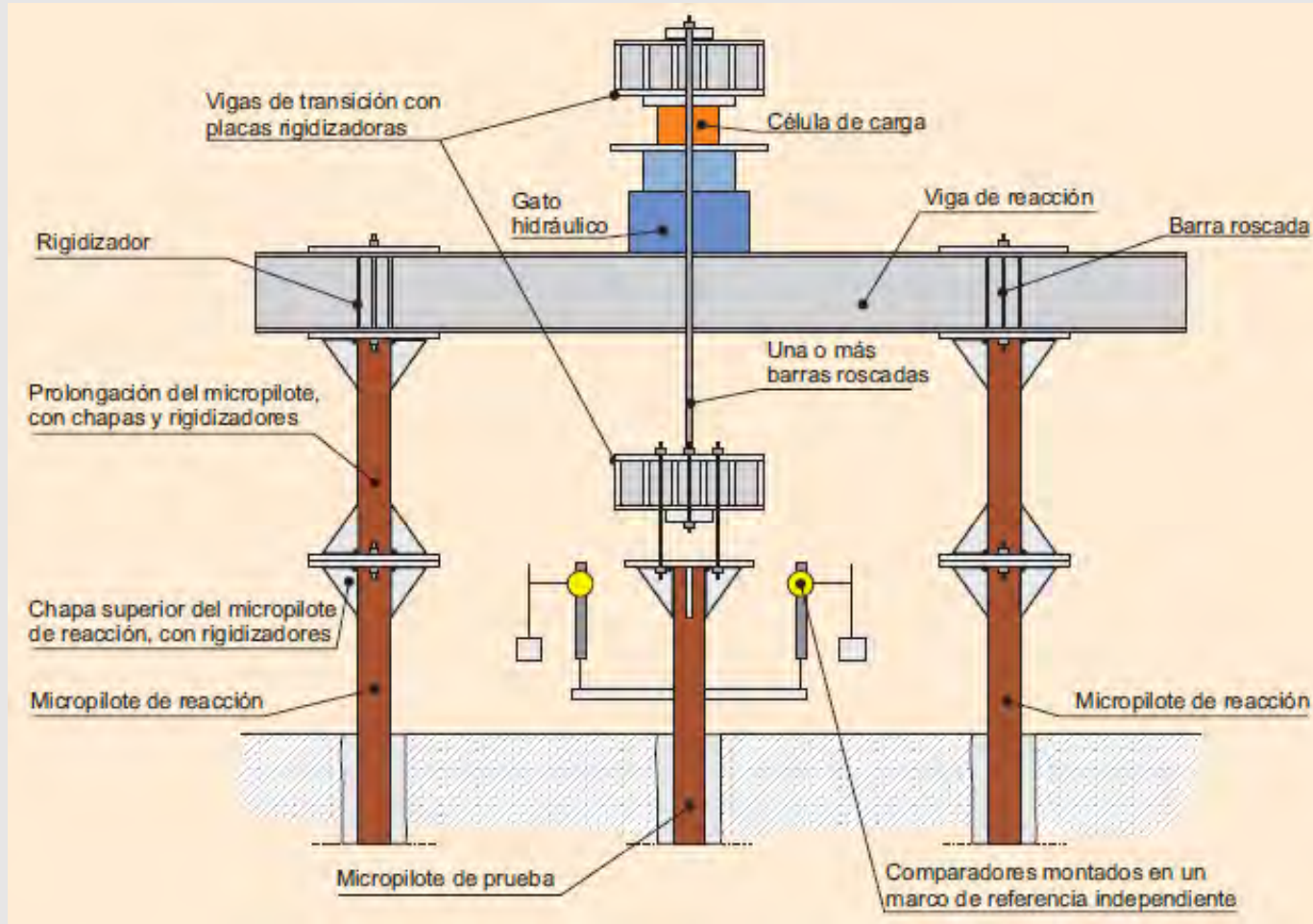
❖ Compressão

Fonte: Norma Espanhola

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ IMPORTÂNCIA DOS ENSAIOS DE CARGA NA VERIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CONCEÇÃO E DE EXECUÇÃO

❖ Tração



Fonte: Norma Espanhola

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ IMPORTÂNCIA DOS ENSAIOS DE CARGA NA VERIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CONCEÇÃO E DE EXECUÇÃO

- ❖ Ferramenta fundamental no controlo de qualidade e de execução
- ❖ Calibração dos pressupostos de conceção e projeto
- ❖ Confirmação dos procedimentos e processos construtivos
- ❖ Possibilidade de otimização da solução
- ❖ Melhor conhecimento, presente e futuro, do desempenho das soluções



1. TIPOS DE FUNDAÇÕES (09:30-10:00)
2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:00-10:30)
3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:30-11:00)
4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (11:30-13:00)
5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (14:30-16:00)
6. **EXEMPLOS DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (16:30-17:15)**
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS (17:15-17:30)

## 6. EXEMPLOS DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

---

1. TIPOS DE FUNDAÇÕES (09:30-10:00)
2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS ÀS SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:00-10:30)
3. CONCEÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (10:30-11:00)
4. DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (11:30-13:00)
5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (14:30-16:00)
6. EXEMPLOS DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES (16:30-17:15)
7. **CONSIDERAÇÕES FINAIS (17:15-17:30)**



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### Fase de preparação / estudo

- ▶ Necessidade de uma rigorosa interpretação dos cenários geológico - geotécnico antes da definição dos critérios de conceção e de execução da grua, em particular das fundações



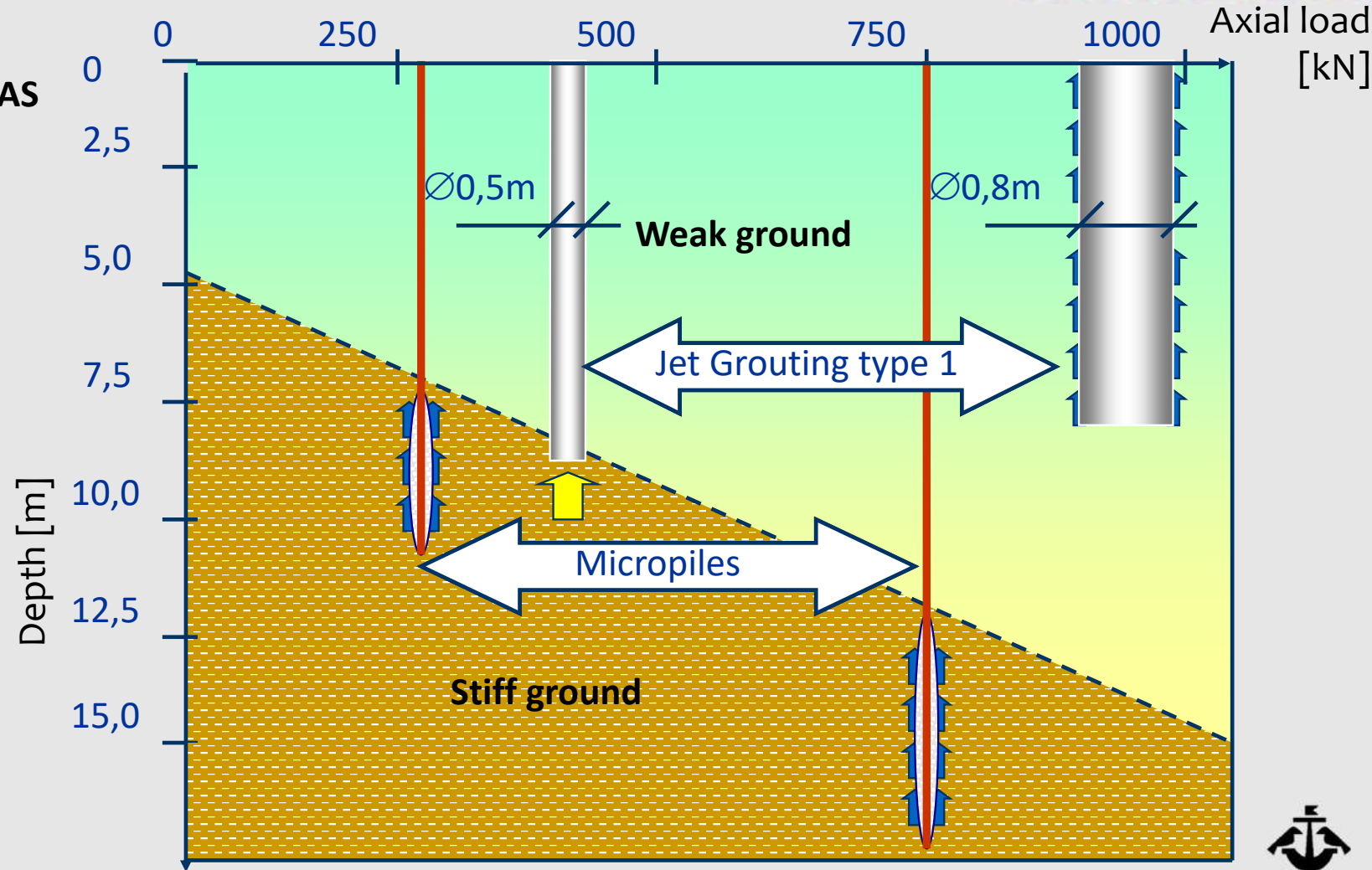
### Fase de execução

- ▶ Importância do Plano de Instrumentação e Observação como ferramenta de controlo e gestão do risco, permitindo a validação em tempo útil dos critérios de conceção e de execução

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### CONSIDERAÇÕES FINAIS:

MICROESTCAS OU COLUNAS  
DE JET GROUTING?



Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022

## 5. EXECUÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

### ❑ CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ❑ Reflexões sobre o futuro mais próximo do reforço sustentável de estruturas de alvenaria, em particular nas respetivas fundações:

- ❖ Importância de melhorar a formação em geotecnia a todos os níveis (conhecimento / antecipação do comportamento do solo)
- ❖ Importância de ser mais bem explorado o conceito de interação solo – estrutura, devidamente enquadrado com a sismicidade
- ❖ Importância da integração nas soluções de reabilitação da verificação da necessidade de reforço de fundações, quer para ações dinâmicas, quer para ações estáticas



OBRIGADO PELA PARTICIPAÇÃO!

apinto@jetsj.com

Reforço sísmico de fundações de alvenaria, Lisboa 26 de Outubro de 2022