



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**Escola de Minas – DECIV**  
**Patologia das Construções**



# **Patologia das Fundações**



# O que são?

---

São elementos estruturais cuja função é a transferência de cargas da estrutura para a camada resistente de solo

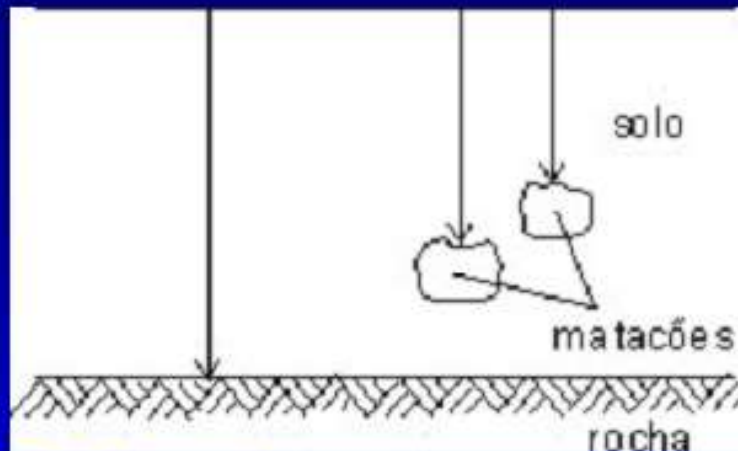


São as **raízes** do edifício

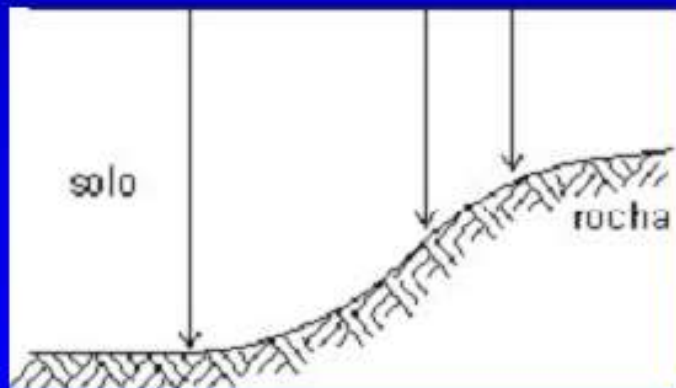
## ETAPAS IMPORTANTES:

- Determinar o número de furos de sondagem, bem como a sua localização;
- Analisar um perfil de sondagem;
- Saber escolher a fundação ideal para uma determinada edificação;
- Especificar corretamente o tipo de impermeabilização a ser utilizada em alicerce;
- Especificar o tipo de dreno e a sua localização.

# Ocorrências singulares - OCORRÊNCIA DE BLOCOS



**Perfil real**



**Perfil adotado  
(interpretação errada)**



## OCORRÊNCIA DE BLOCOS (cont.)



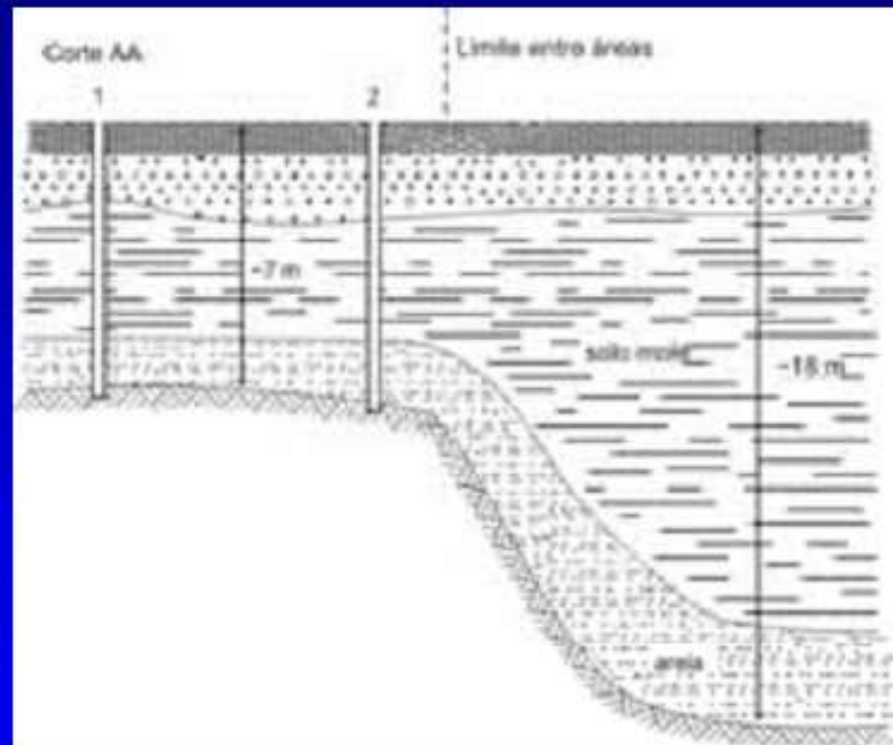
**Bloco**



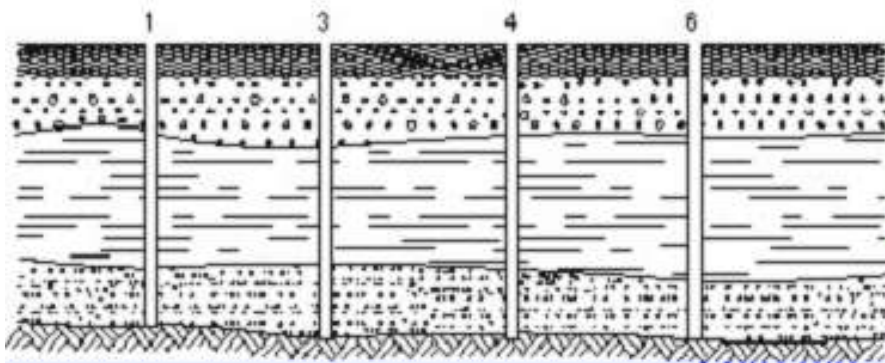
# Causas de patologias em fundações

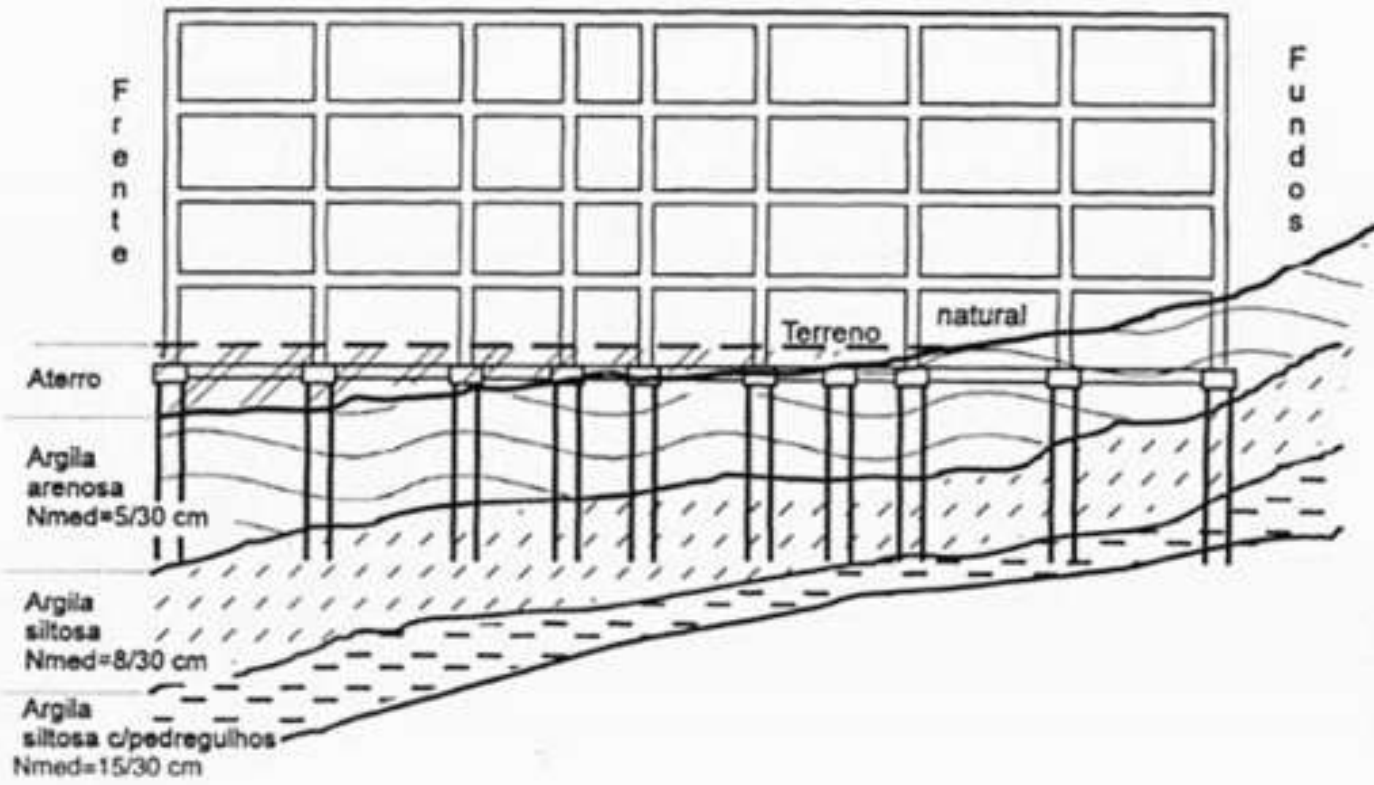
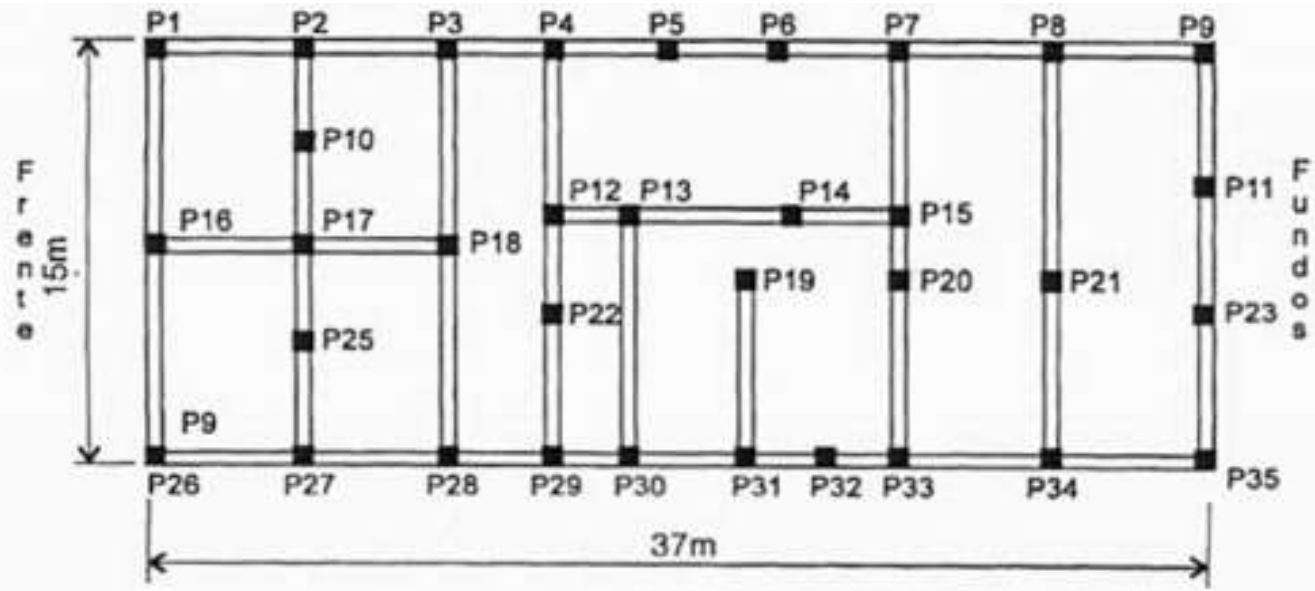
- Ausência ou falhas nas investigações dos solos:
  - Número insuficiente de sondagens;
  - Erro de localização;
  - Procedimentos fraudulentos;
  - Influência da vegetação;
  - Presença de matações.

# INVESTIGAÇÃO INSUFICIENTE



Corte BB



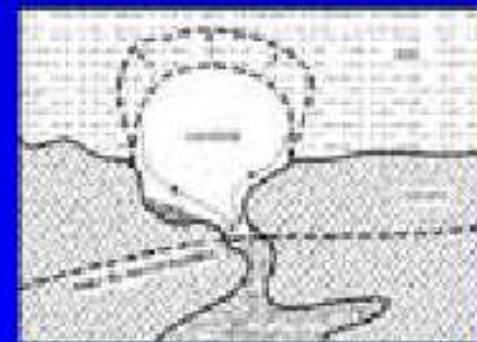
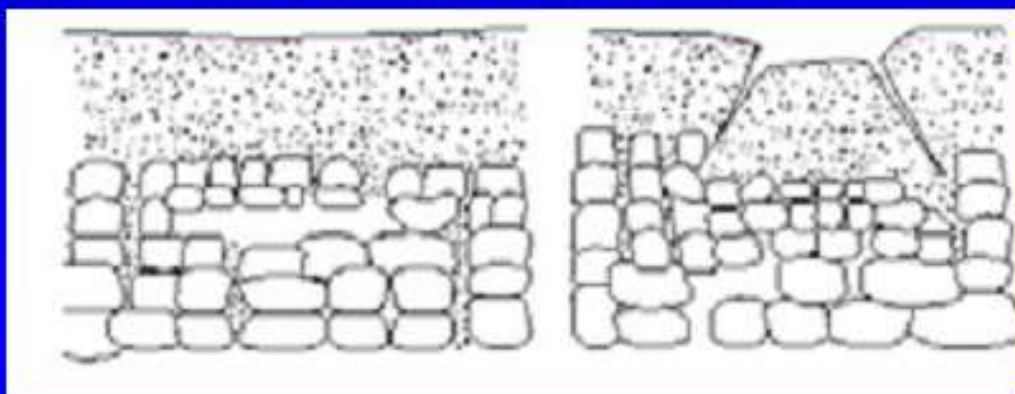




## Ocorrências singulares - ZONAS CÁRSICAS

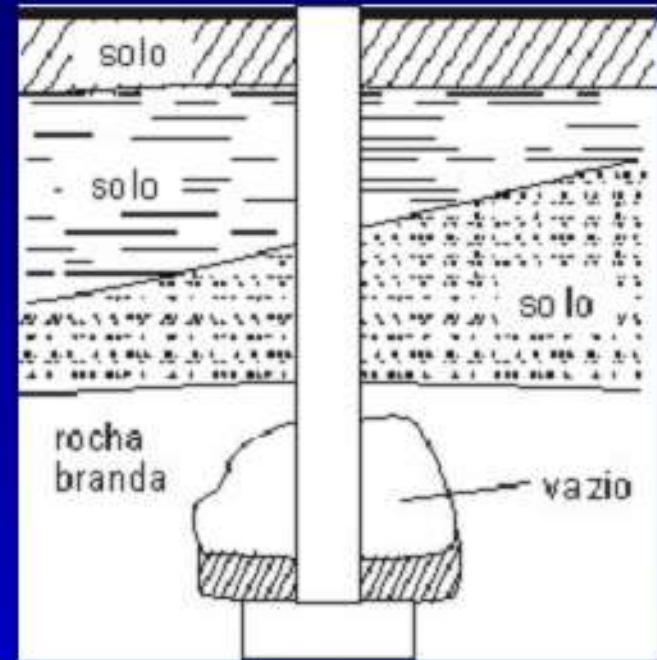
Rochas compostas de carbonatos de cálcio e magnésio - rochas calcáreas ou dolomíticas, são mais de 10% das rochas expostas na superfície da terra (Sowers, 1975).

Distinguem-se das demais rochas por terem solubilidade em água (carbonatos são solubilizados em águas levemente ácidas – a acidez normalmente deve-se à existência de dióxido de carbono dissolvido na água), produzindo grandes porosidades e cavidades



# Ocorrências singulares

## - ZONAS DE MINERAÇÃO



# Causas de patologias em fundações

- Problemas envolvendo o comportamento do solo:
  - Adoção de perfil de projeto otimista;
  - Existência de aterro assimétrico;
  - Falta de travamento em duas direções no topo das estacas;
  - Não observação da flambagem das estacas muito esbeltas, dependendo das cargas nominais da superestrutura.

# Causas de patologias em fundações

- Problemas envolvendo o desconhecimento do comportamento real das fundações:
  - Adoção de sistemas de fundações diferentes;
  - Recalques diferenciais;
  - Adoção de fundações profundas para solos compactados assentes a camada compressível;
  - Elementos de fundação como reforço.

# Causas de patologias em fundações

- Problemas envolvendo a estrutura de fundação:
  - Erro na determinação das cargas atuantes na fundação;
  - Erros no dimensionamento de vigas de equilíbrio, etc;
  - Armaduras densas;
  - Armaduras das estacas tracionadas calculadas sem verificar a fissuração.

# Causas de patologias em fundações

- Problemas envolvendo as especificações construtivas:
  - Cota de assentamento;
  - Tipos e características do solo;
  - Tensões admissíveis adotados;
  - Características do concreto;
  - Recobrimento da armadura.

# Causas de patologias em fundações

- **Execuções-falha:**
  - **Envolvendo o elemento estrutural da fundação:**
    - **Adensamento deficiente e vibração inadequada do concreto;**
    - **Estrangulamento de seção de pilares enterrados;**
    - **Junta de dilatação mal executada.**

# Causas de patologias em fundações

- **Execuções-falha:**
  - **Problemas genéricos:**
    - **Erros de locação;**
    - **Falta de limpeza da cabeça de estaca para vinculação ao bloco;**
    - **Flexão dos elementos cravados.**



# **Causas de patologias em fundações**

**Eventos pós-conclusão da fundação:**

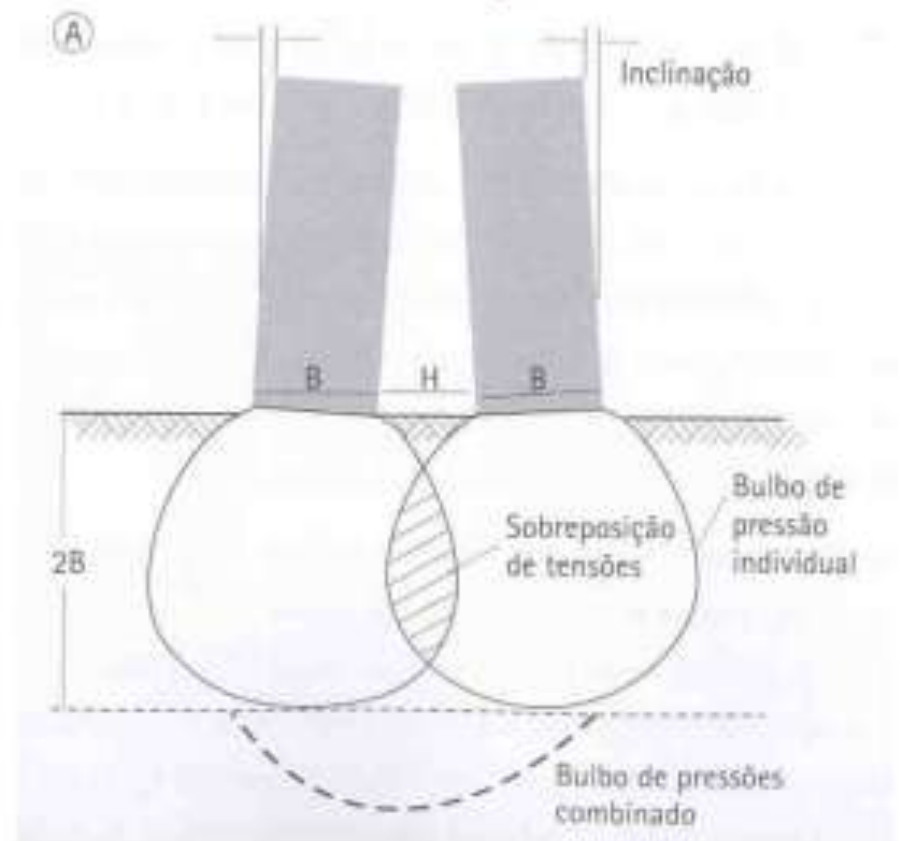
- a. Carregamento próprio da superestrutura;**
- b. Movimento da massa do solo;**
- c. Vibrações ou choques.**

# Situações práticas

## Comportamento Aparente



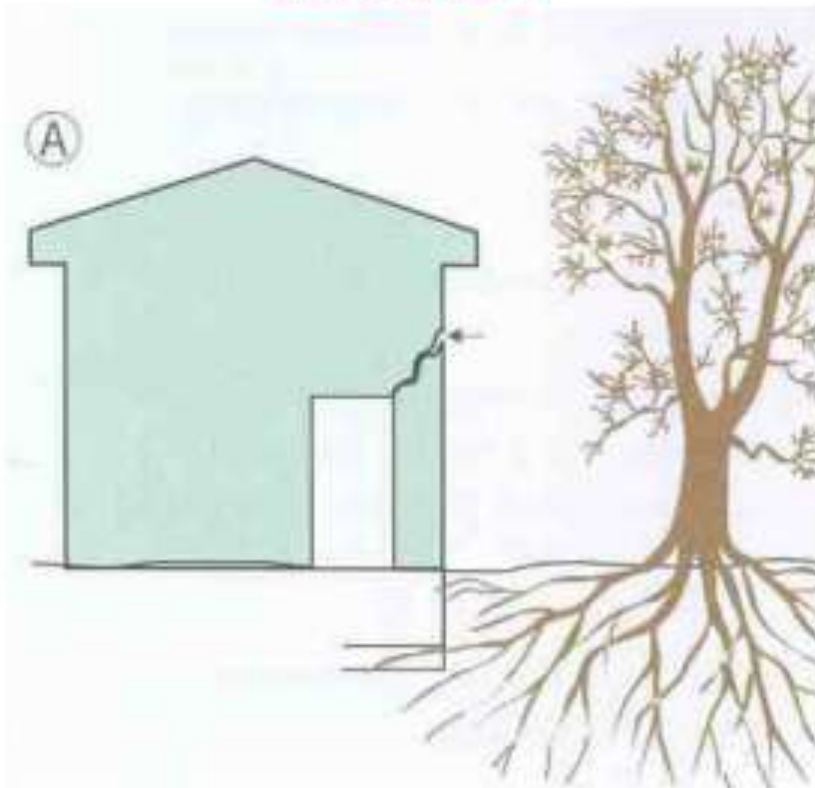
## Comportamento da fundação



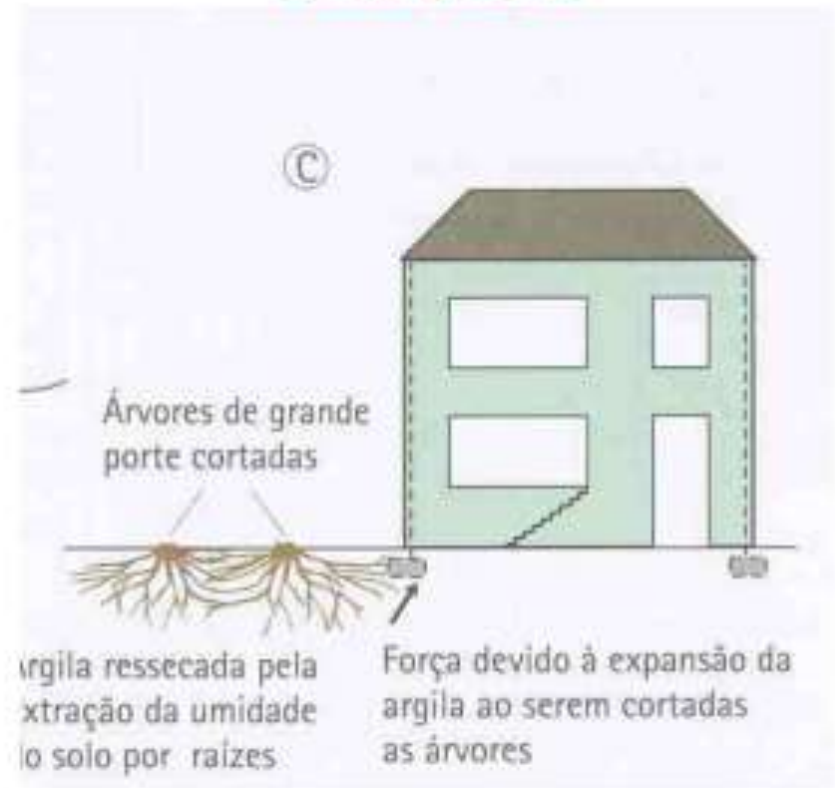
# Situações práticas

## Problemas devidos a vegetação em contato com as fundações

Situação 1

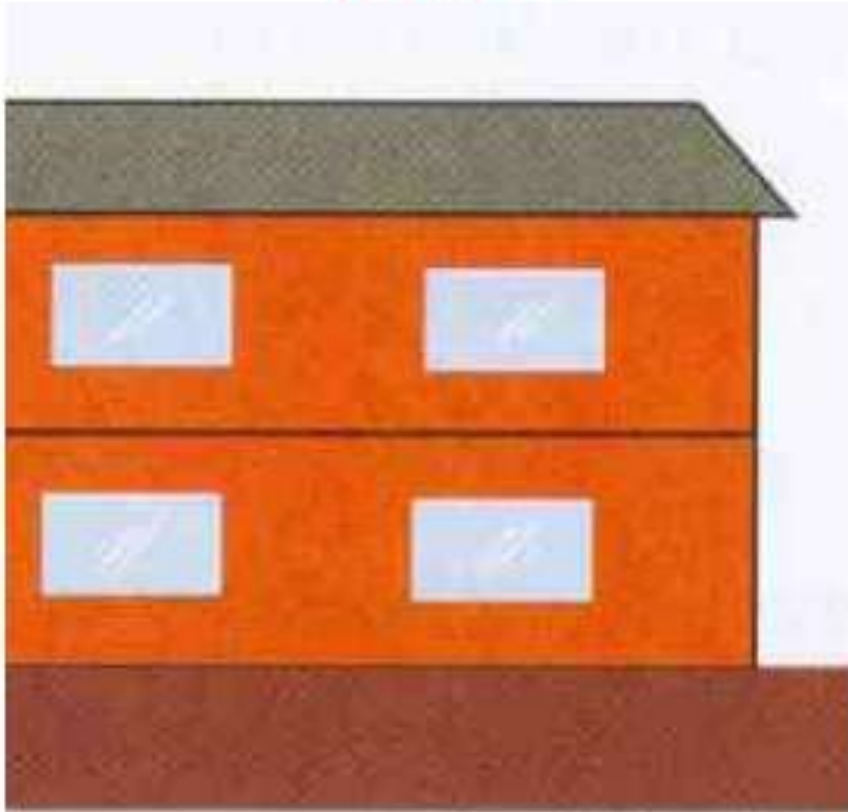


Situação 2



# Situações práticas

Teórico



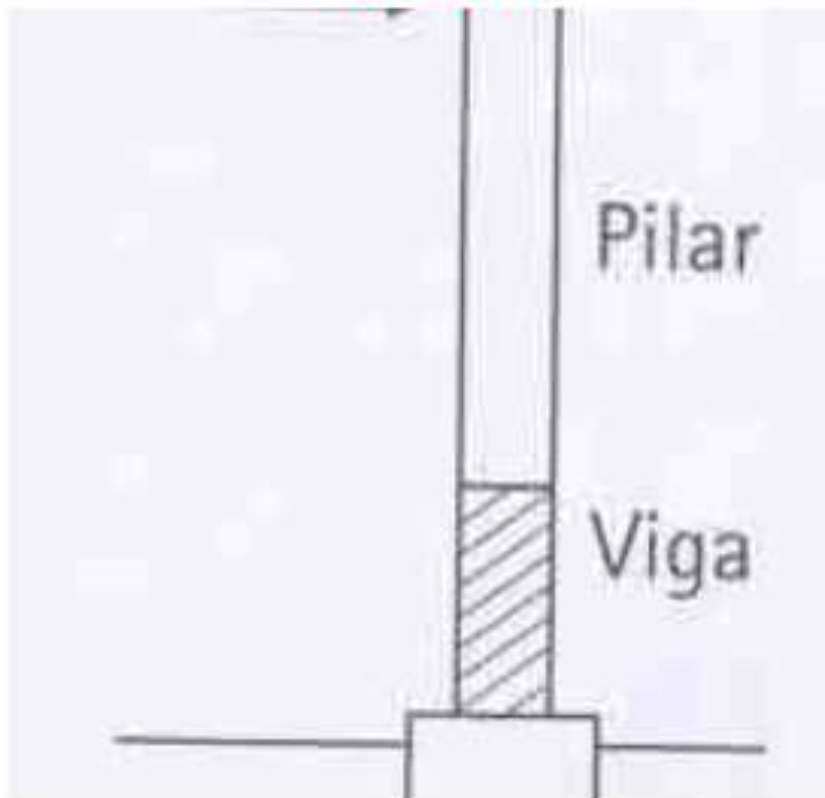
Real



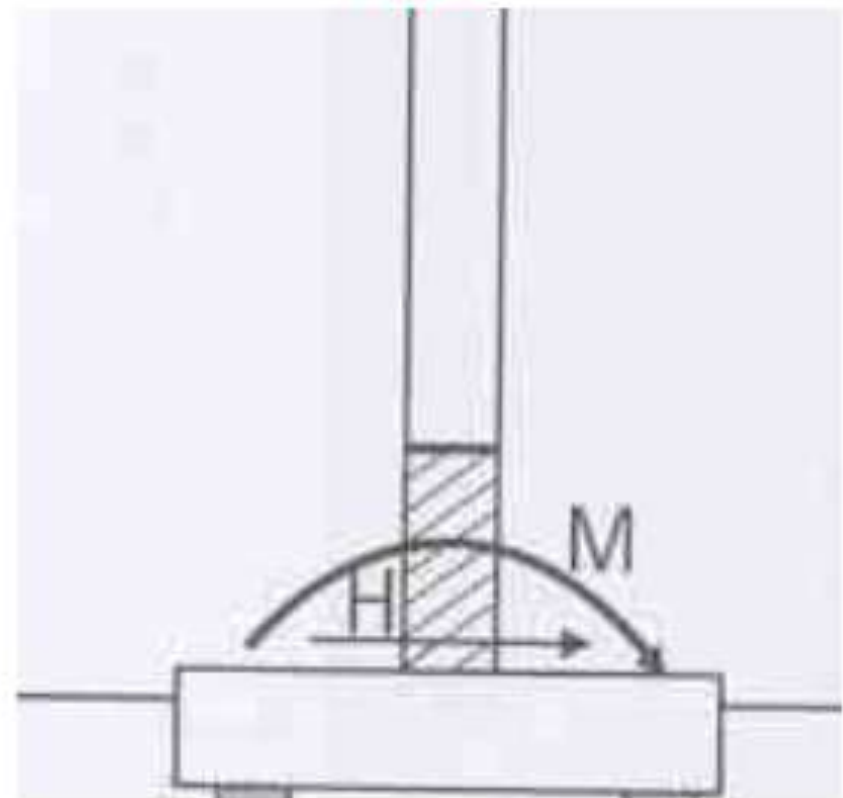
# Situações práticas

## Comportamento de flexocompressão

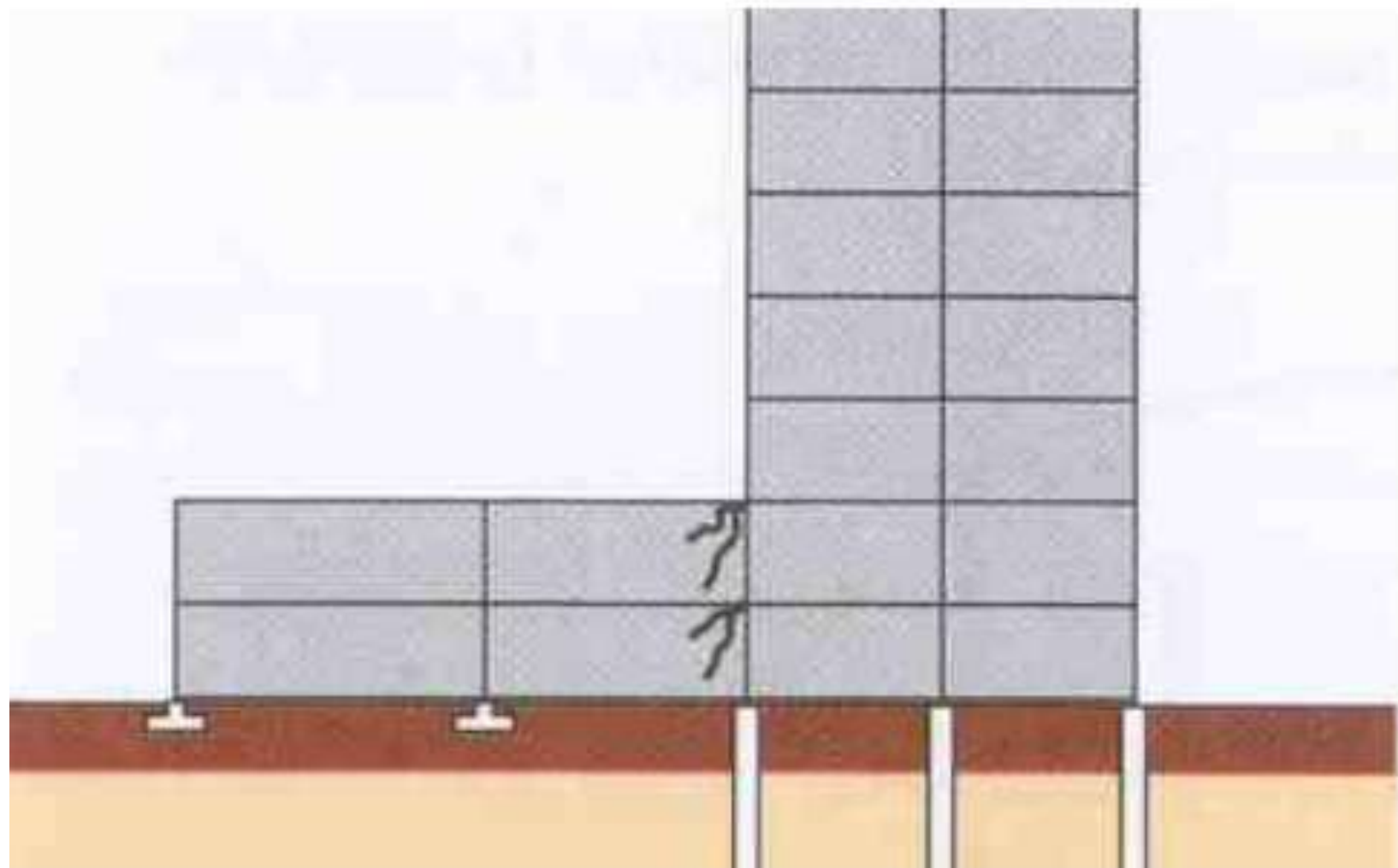
Teórico



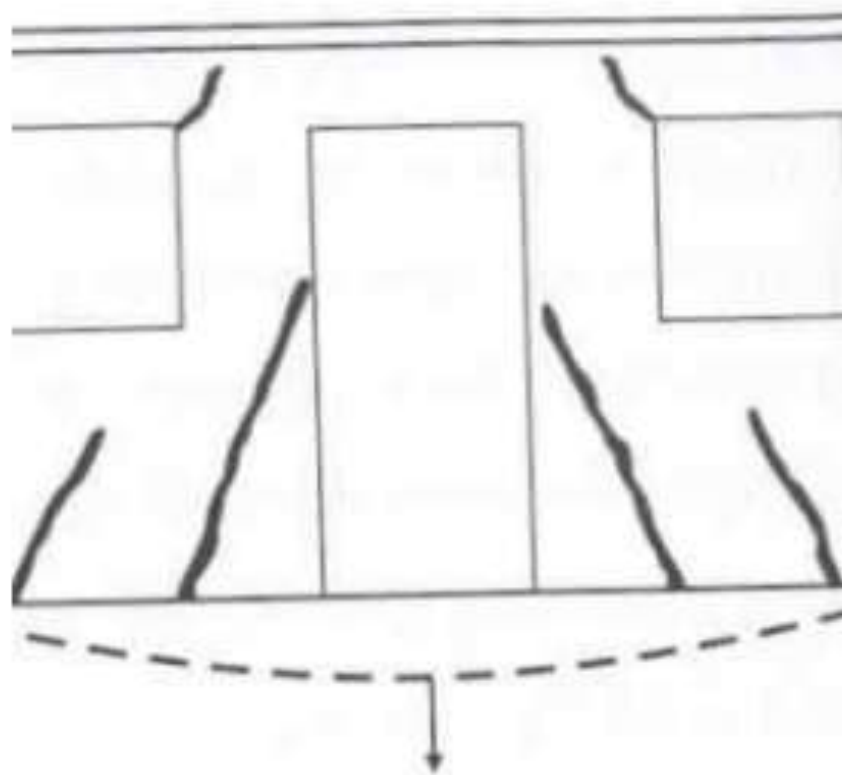
Real



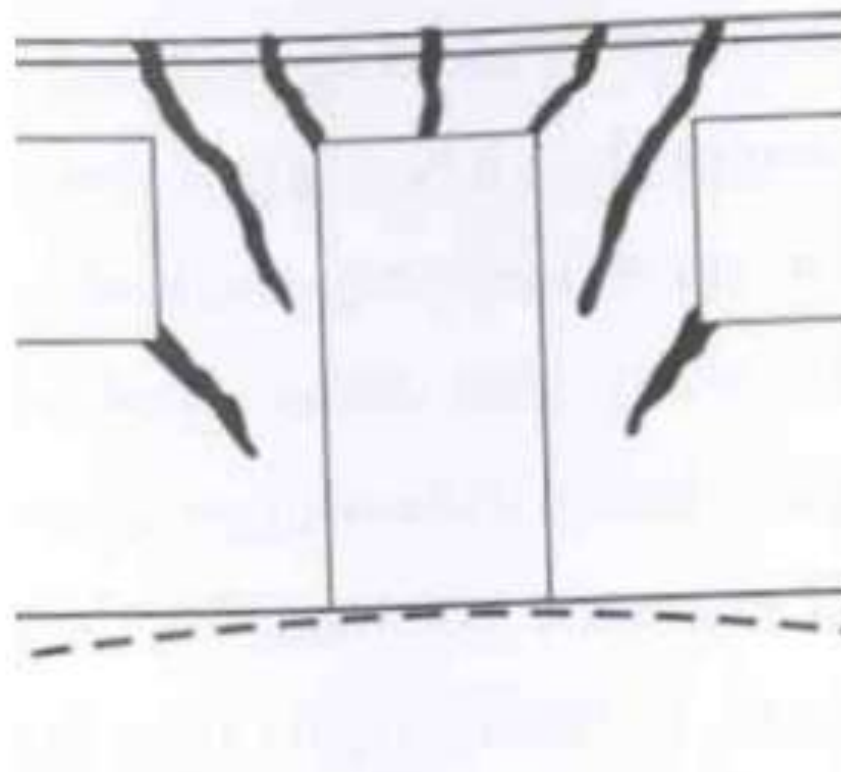
# tipos de fundações em proximidades



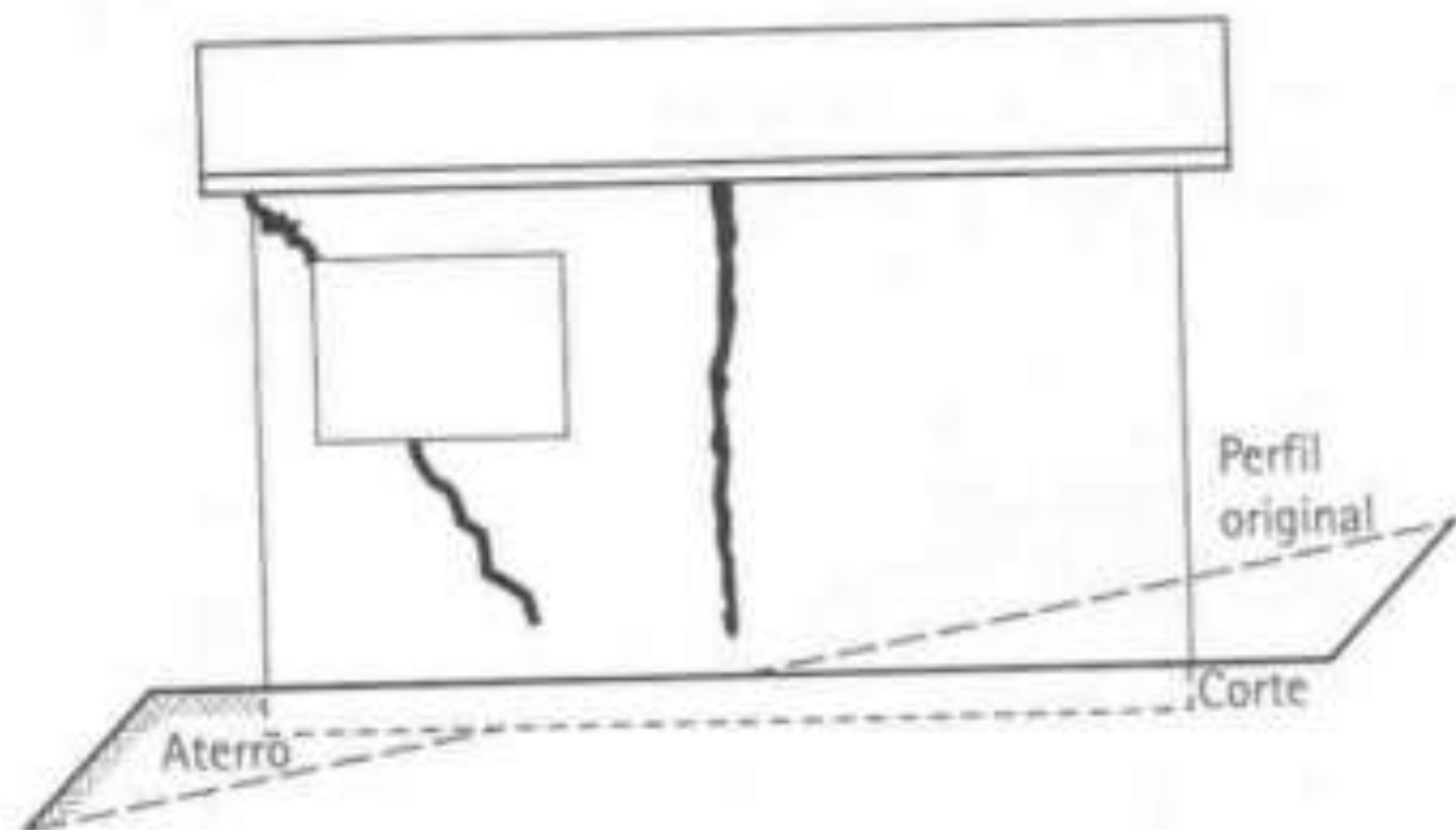
## Deformações côncavas



## Deformações convexas



## Deformações devido a origem do terreno



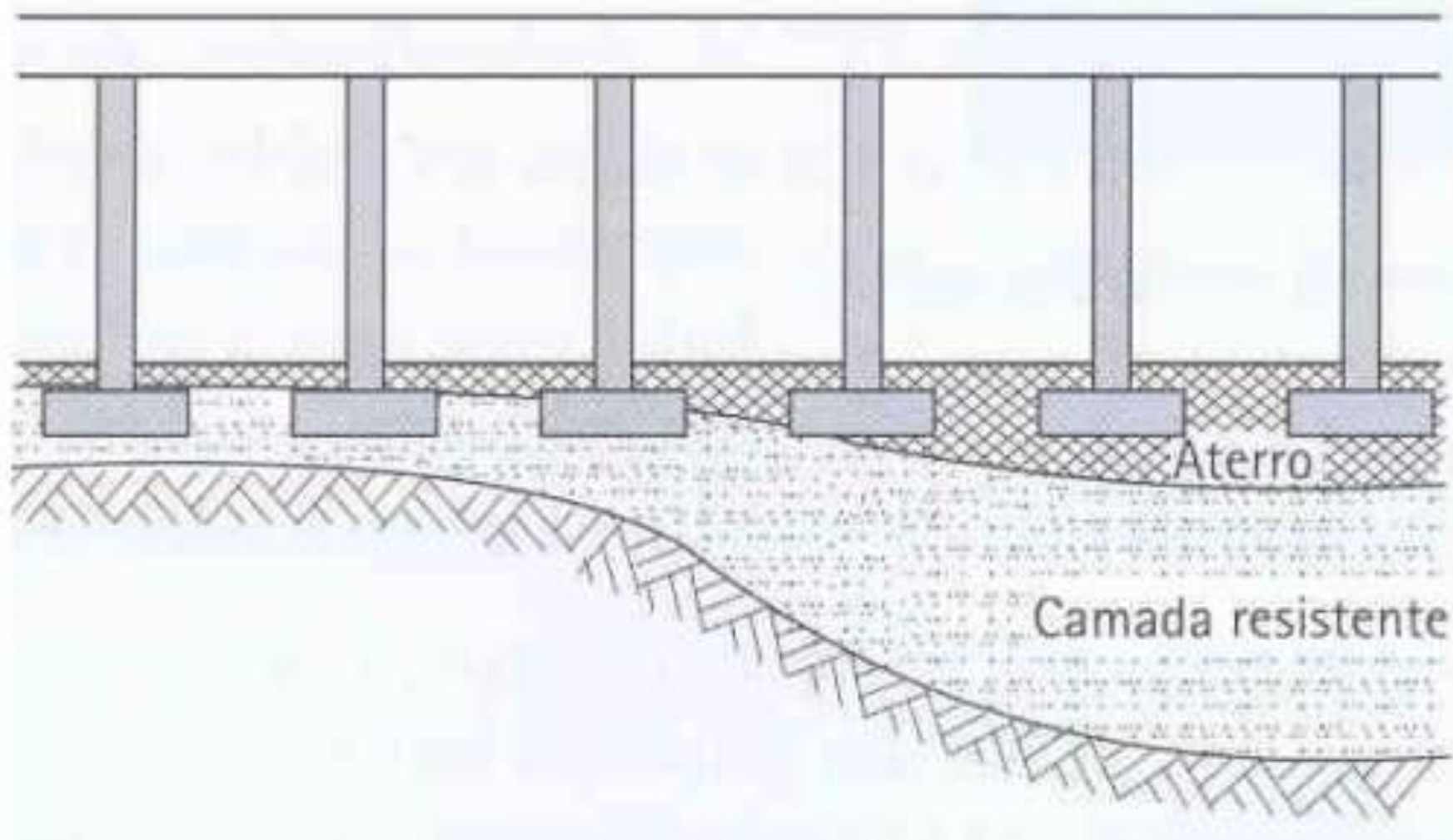




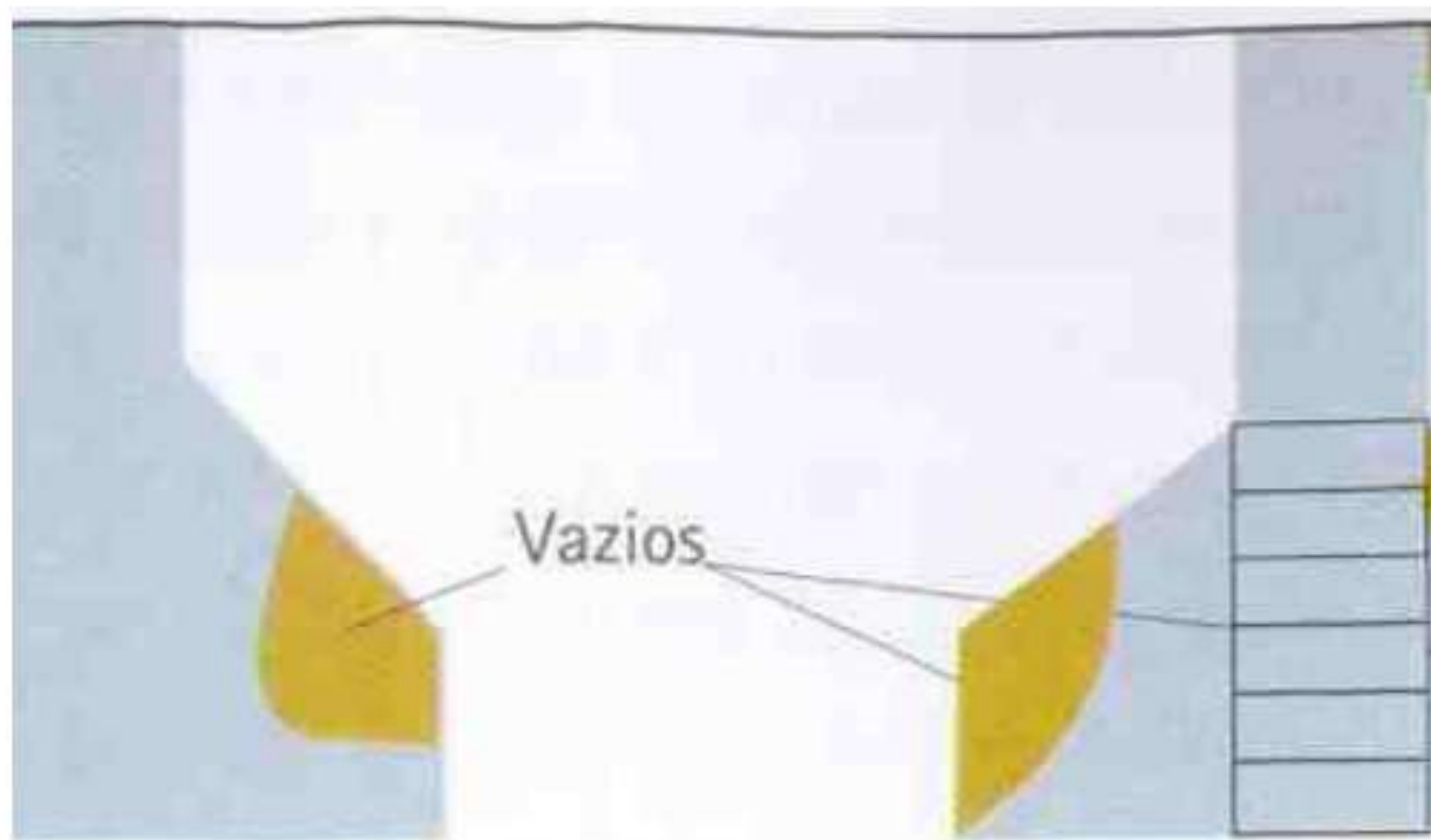
## Execução apropriada



# Fundações superficiais - aterros



# Adensamento inadequado



# Recobrimento da armadura

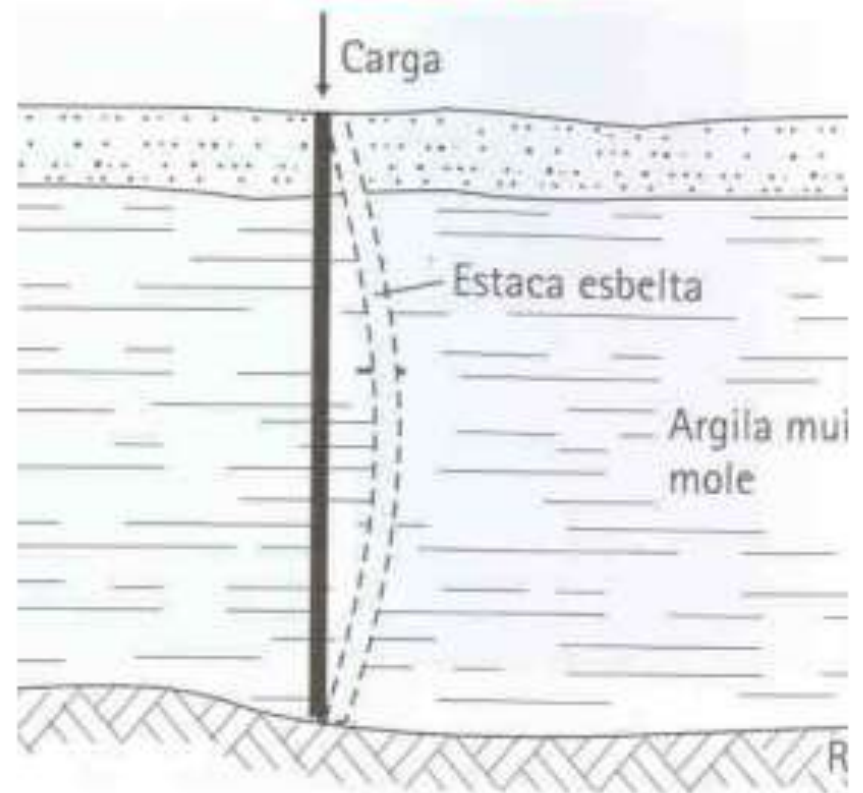


# Flambagem da estaca devido a esbeltez da peça

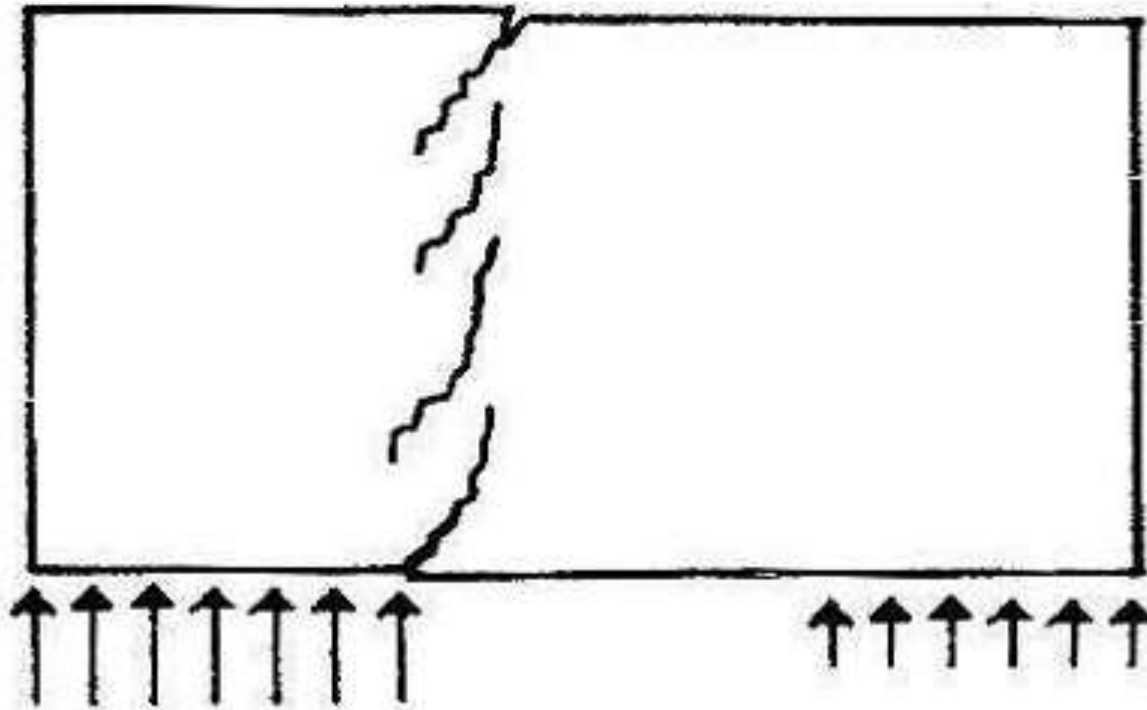
Comportamento aparente



Comportamento da fundação



# Trincas típicas de patologias devido a fundações



Fundação contínua, apoiada em solo heterogêneo que cada extremidade da mesma possui recalques com valores diferentes.

# Trincas típicas de patologias devido a fundações

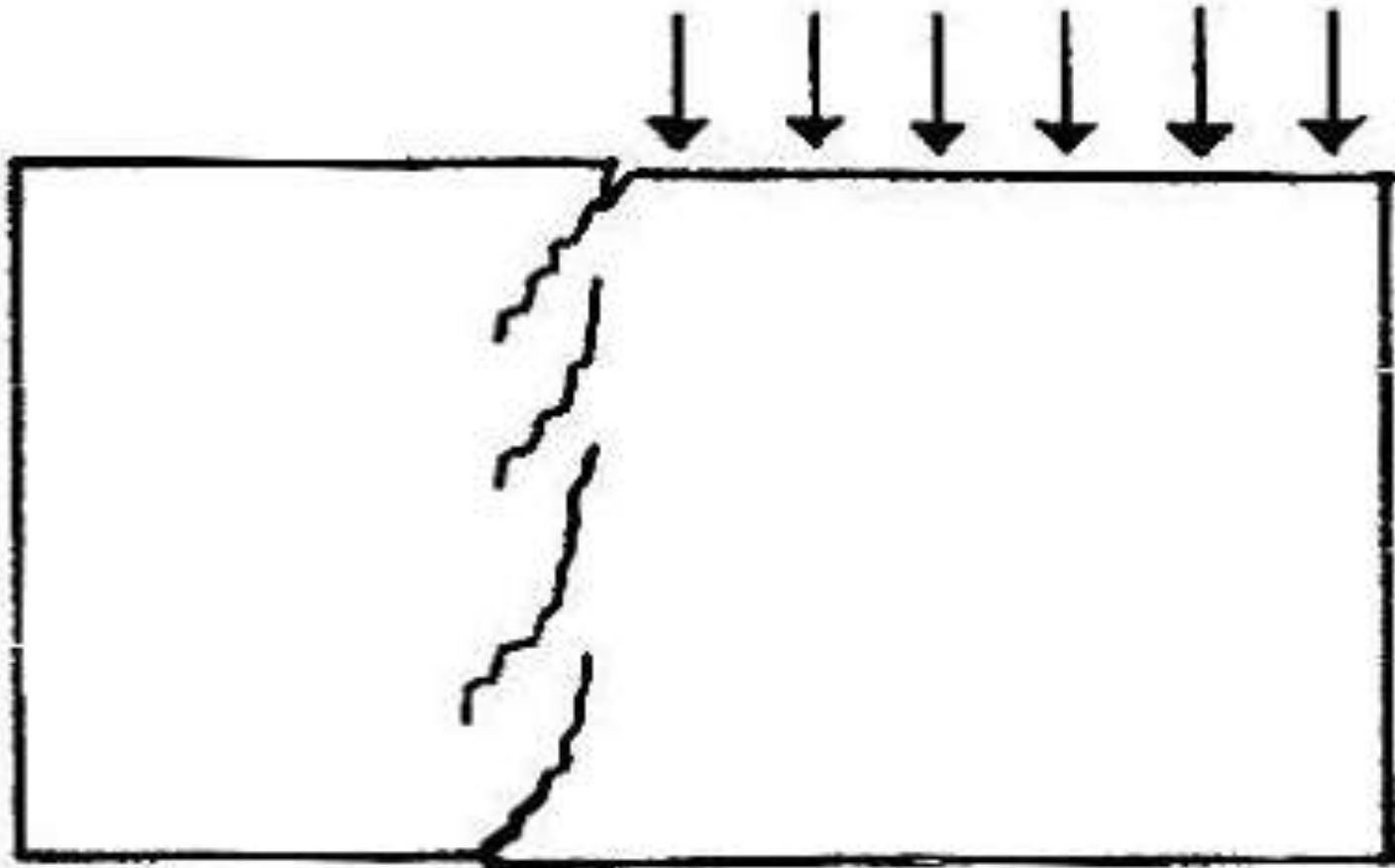
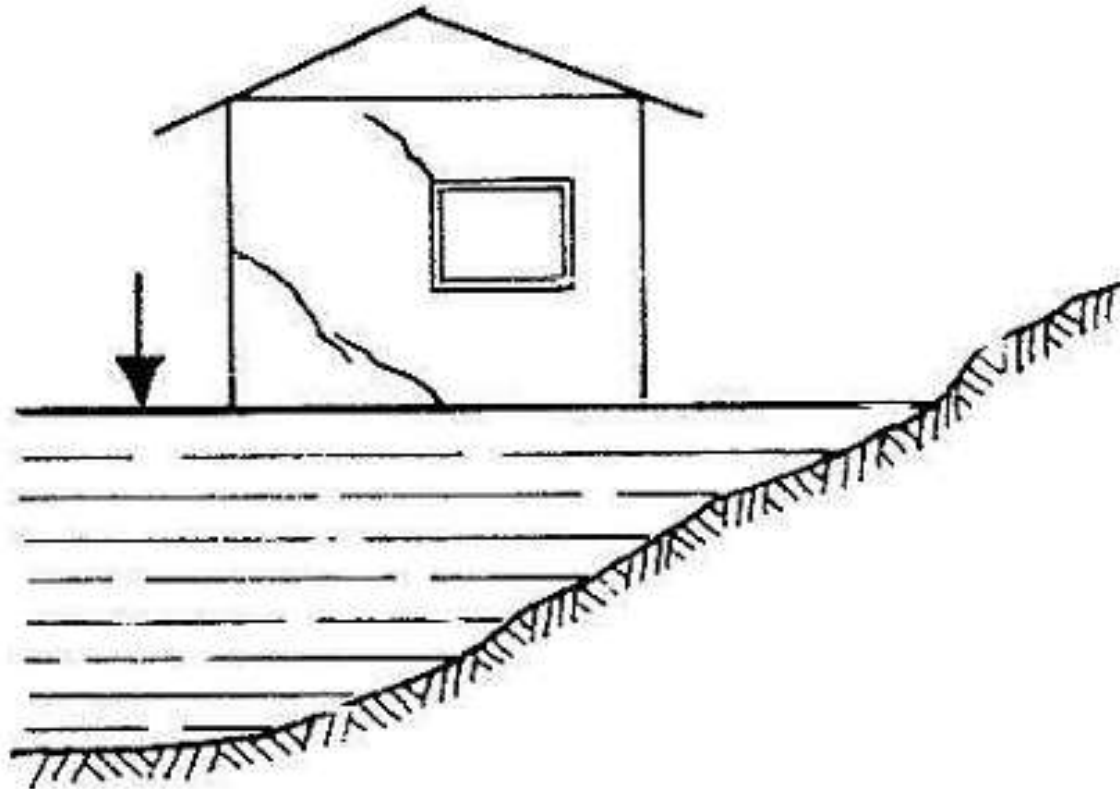


Fig.7 Fundação contínua com carregamento desbalanceado.

# Trincas típicas de patologias devido a fundações



Aterro com espessura variável, assentamento não uniforme, causando recalque e fissuras na estrutura (THOMAZ, 1989).



# Trincas típicas de patologias devido a fundações

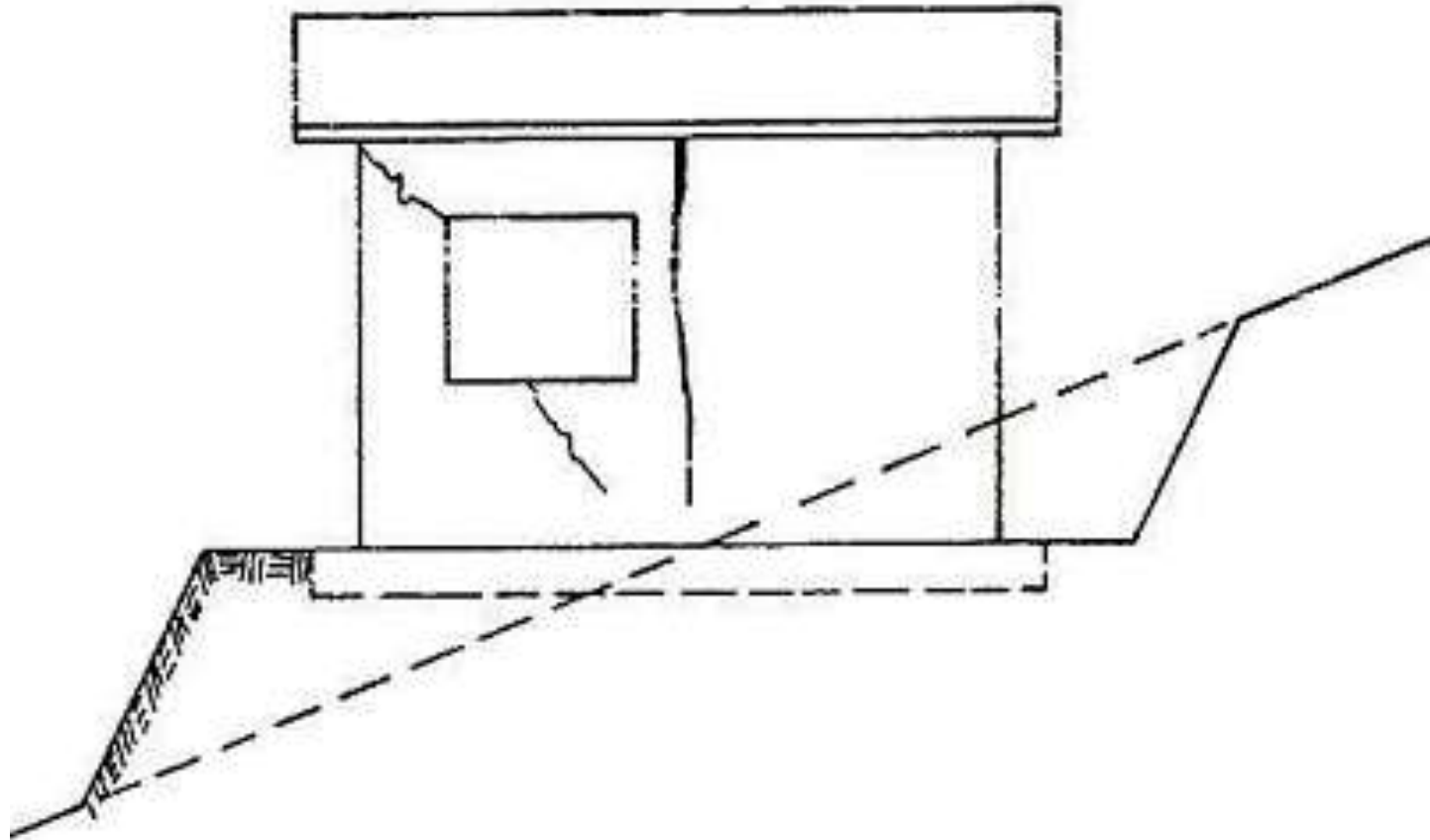
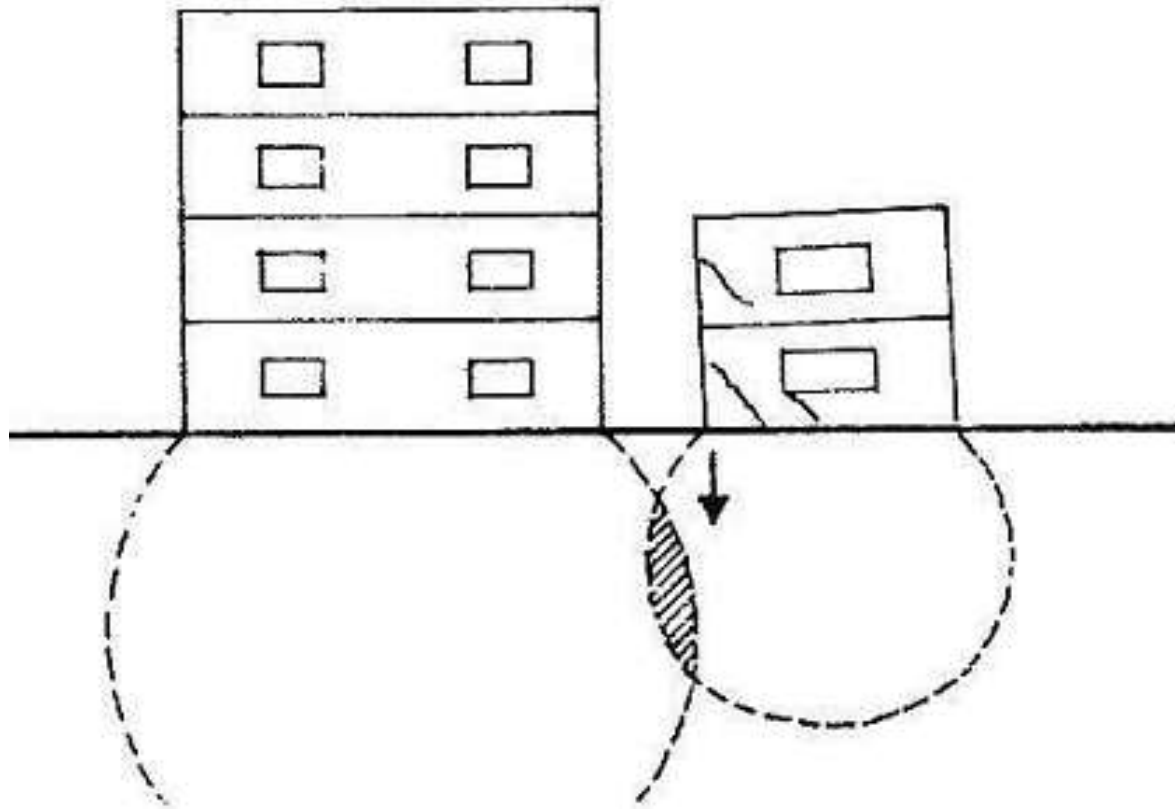
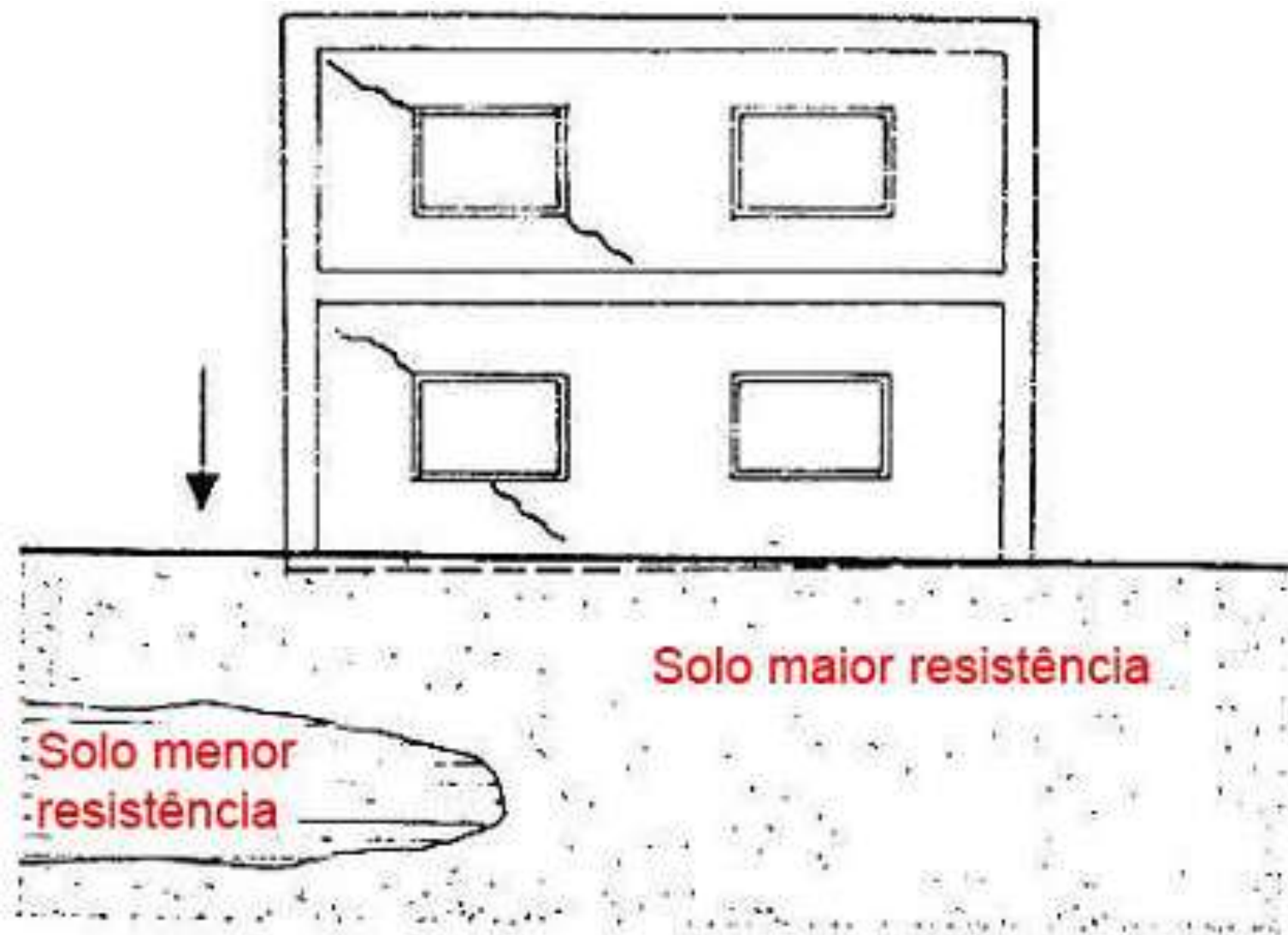


Fig.9 Patologias devido à corte e aterro (THOMAZ, 1989).

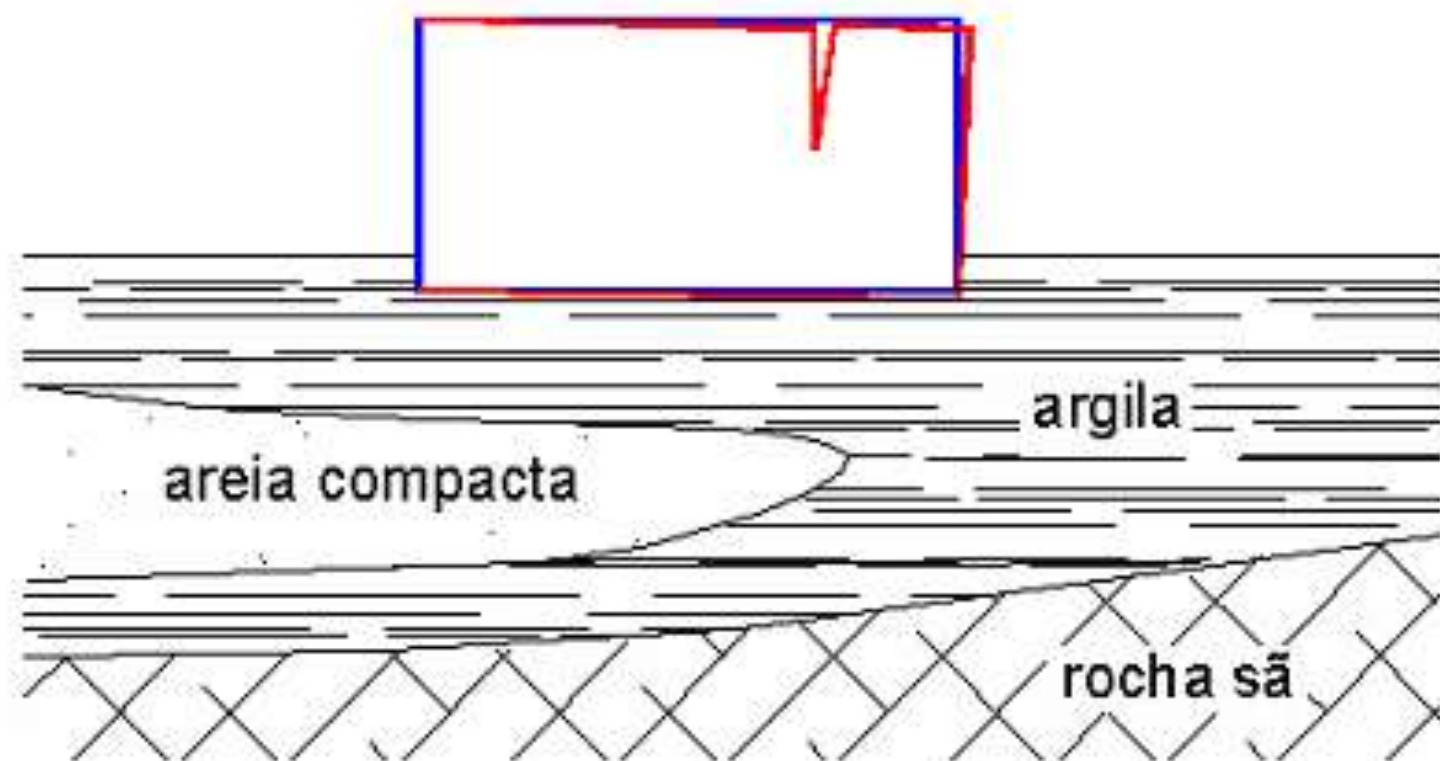
# Trincas típicas de patologias devido a fundações



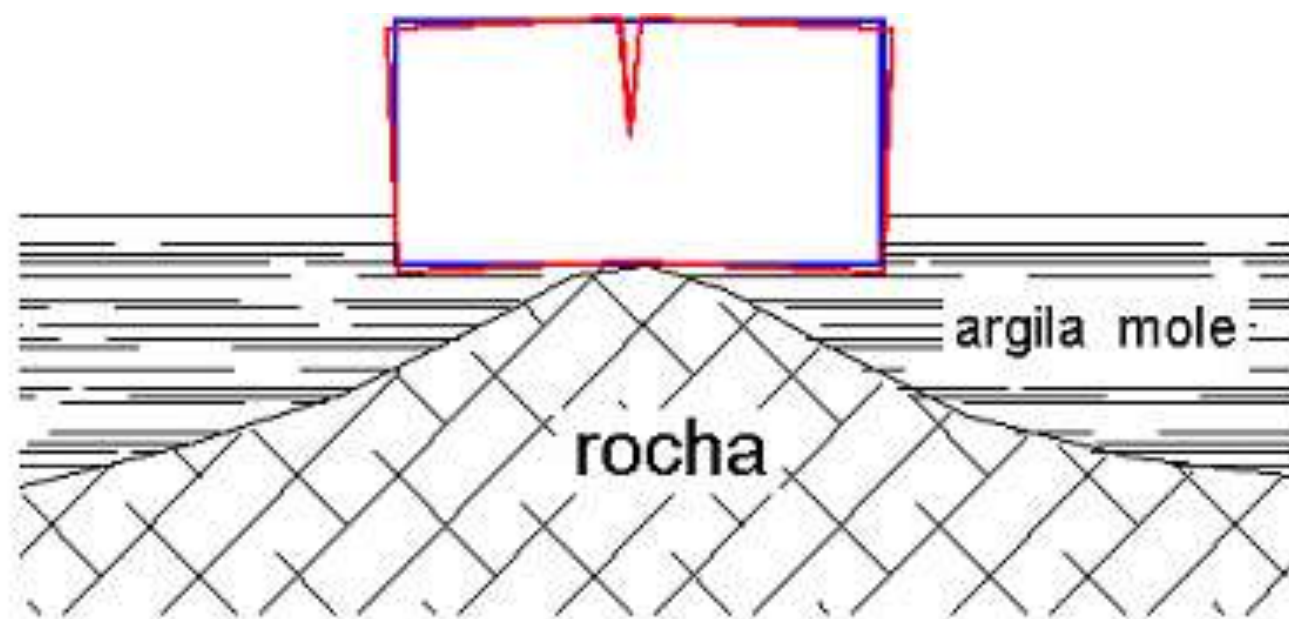
Dois bulbos de tensões diferentes que se encontram e geram fissuras em determinada construção (THOMAZ, 1989).



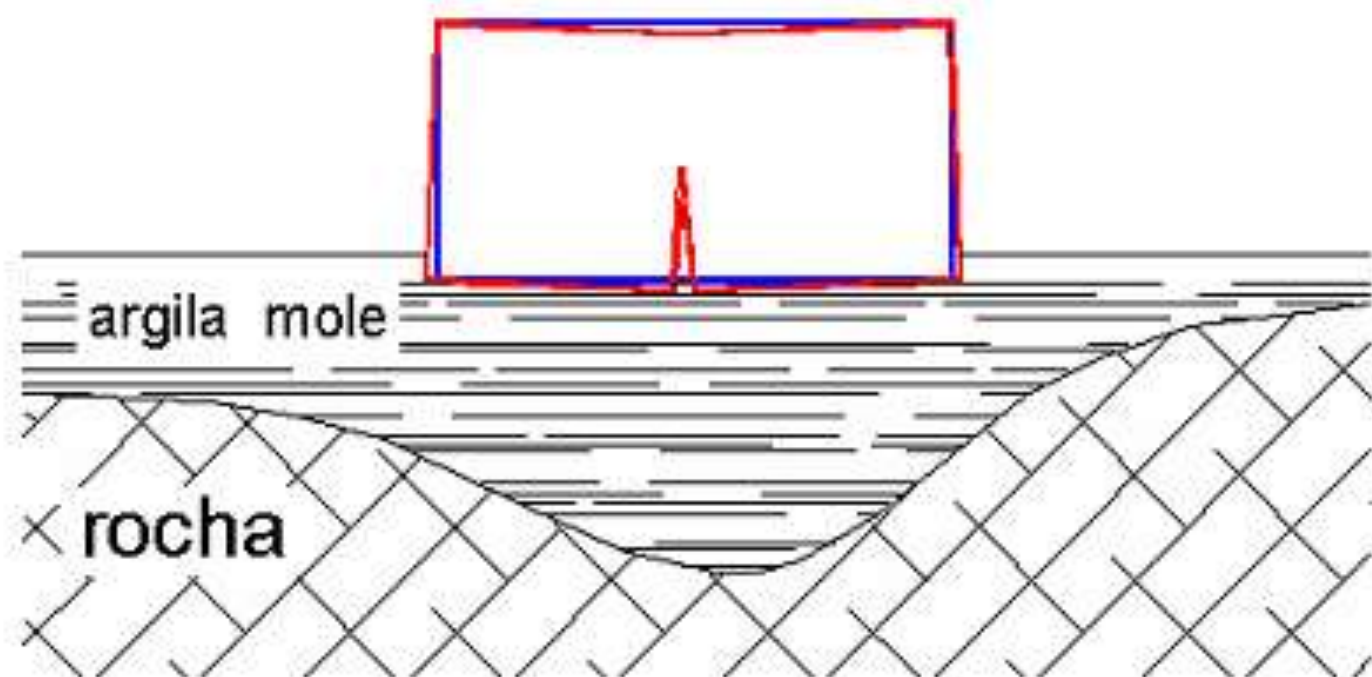
1 Solo heterogêneo, onde o bulbo de tensões intersepta o solo de menor resistência, gerando recalques e fissuras na estrutura.



2 Comportamento da estrutura quando sofre recalques. Sendo apoiado em solo heterogêneo.



Patologias devido a solo heterogêneo. As extremidades sofreram recalque maior que o centro, tendência da estrutura de se romper.



g.14 Patologias devido a solo heterogêneo. Tendência da estrutura se romper, pois o solo abaixo das extremidades possui maior resistência que ao centro da estrutura.

## ANÁLISE E PROJECTO

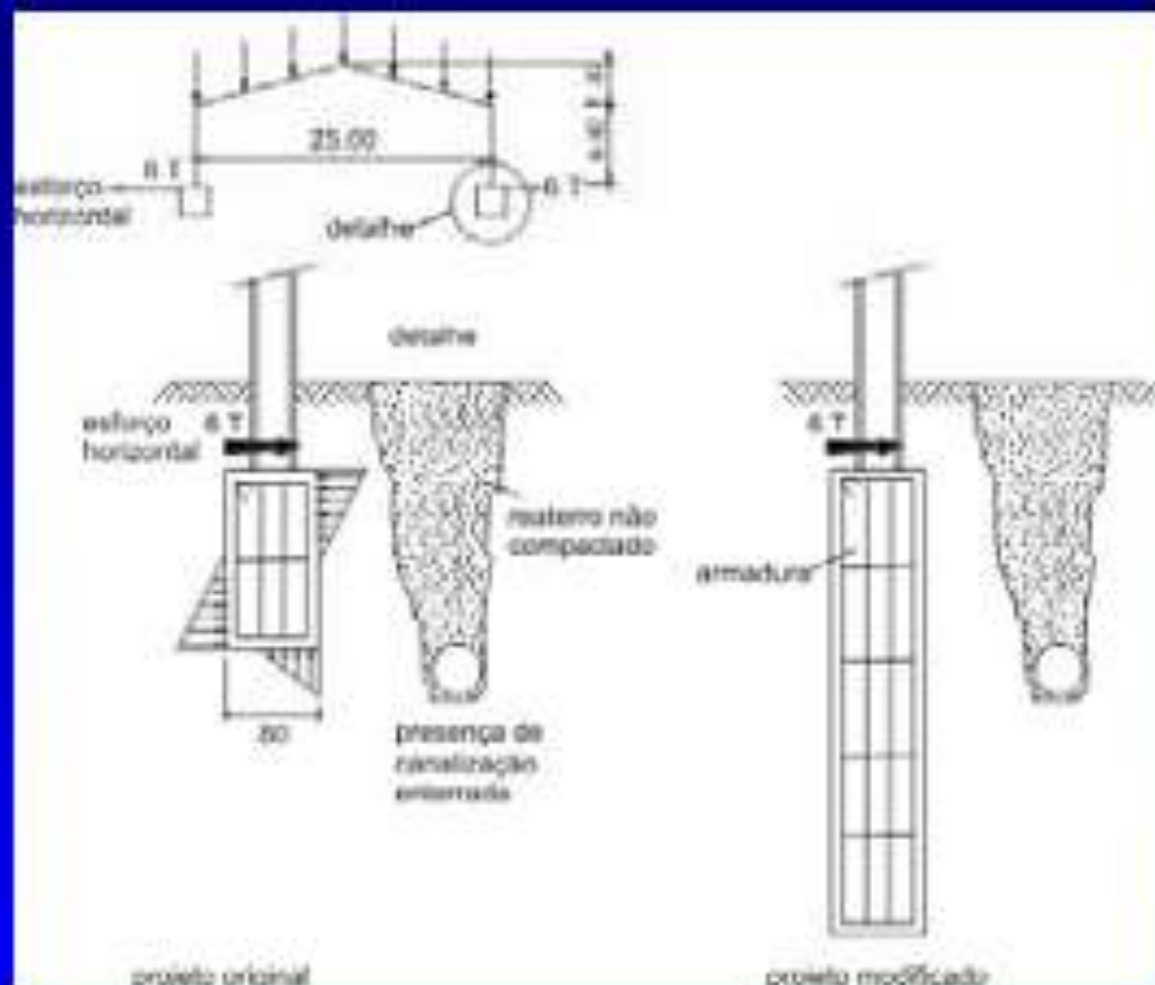
Os problemas que ocorrem na vida de uma fundação são :

- **Relativos ao solo** - descrição das patologias envolvendo o solo como causador do problema;
- **Relativos a mecanismos** - problemas causados pela ausência de identificação de mecanismo causador de mau comportamento ou colapso;
- **Desconhecimento do comportamento real das fundações** - cada tipo de fundação mobiliza cargas e deforma de maneira específica, o que afecta o desempenho da estrutura apoiada sobre as mesmas;
- **Relativos à estrutura de fundação** - aqueles problemas causados pelo projecto ou detalhamento estrutural do elemento de fundação;
- **Relacionados às especificações construtivas**, ou sua ausência.

# ANÁLISE E PROJECTO

## PROBLEMAS ENVOLVENDO OS MECANISMOS DE INTERACÇÃO SOLO-ESTRUTURA

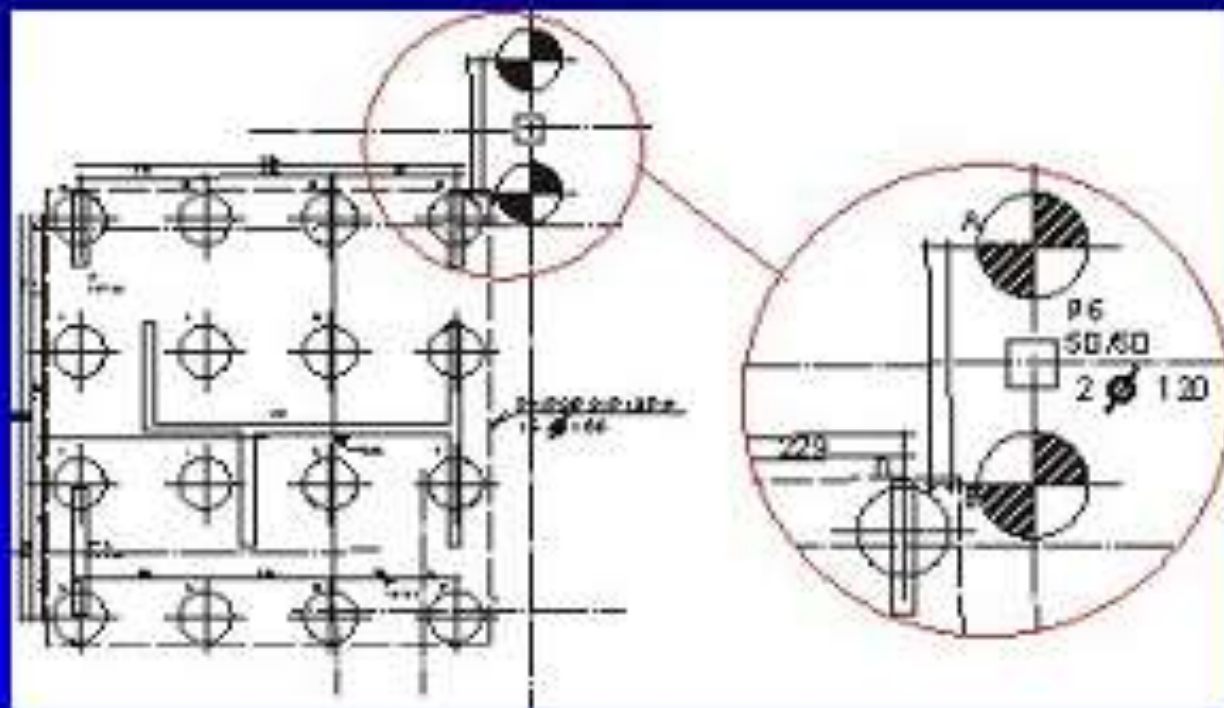
Fundação directa submetida a esforços horizontais, adjacente a escavação





# ANÁLISE E PROJECTO

PROBLEMAS ENVOLVENDO OS MECANISMOS DE INTERACÇÃO SOLO-ESTRUTURA

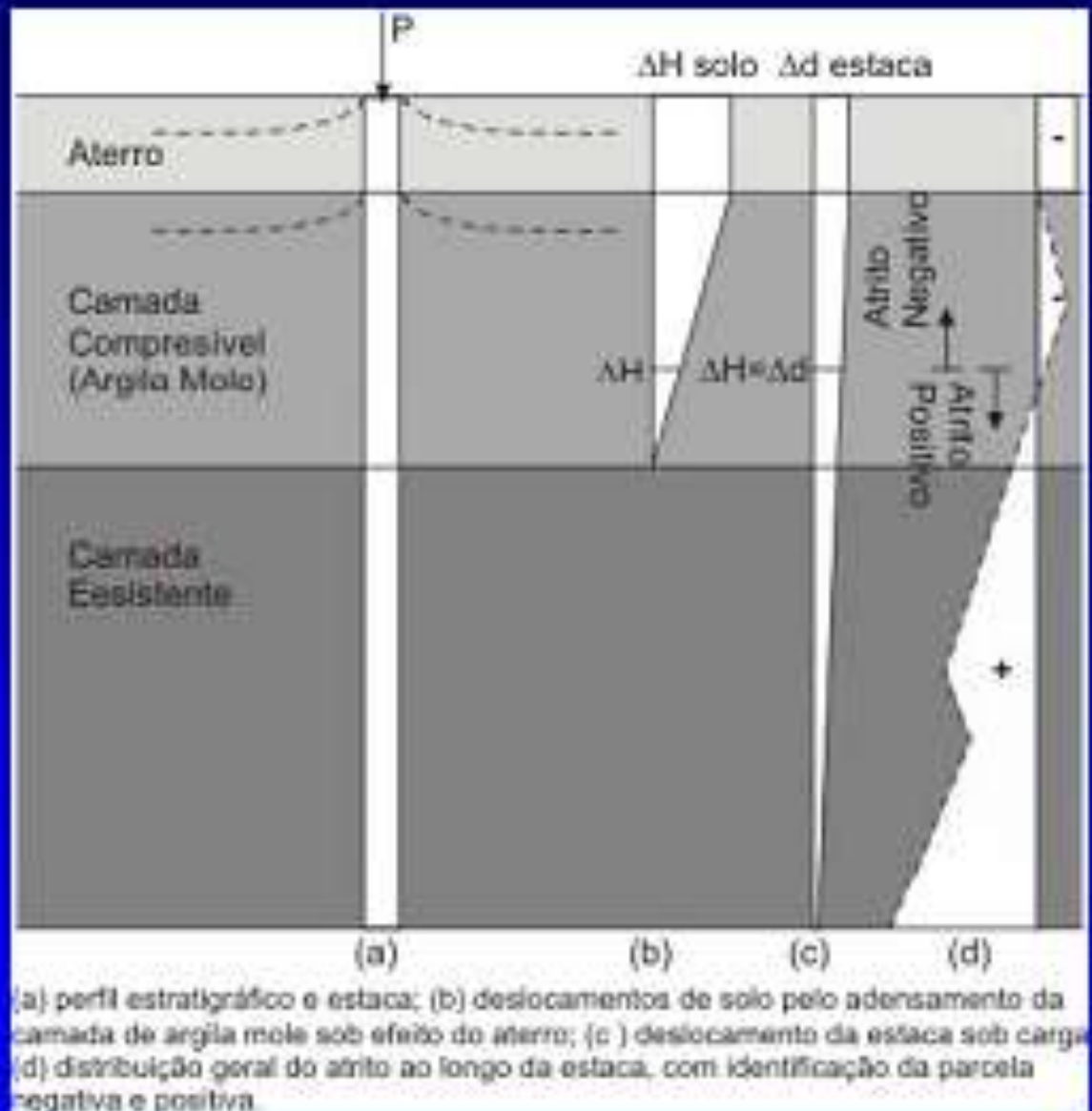


Fundações em estacas próximas (de diferentes pilares) sem considerar efeitos de sobreposição.

# ANÁLISE E PROJECTO

*PROBLEMAS ENVOLVENDO OS MECANISMOS DE INTERACÇÃO SOLO-ESTRUTURA*

**Desconsideração da ocorrência do efeito do atrito negativo.**

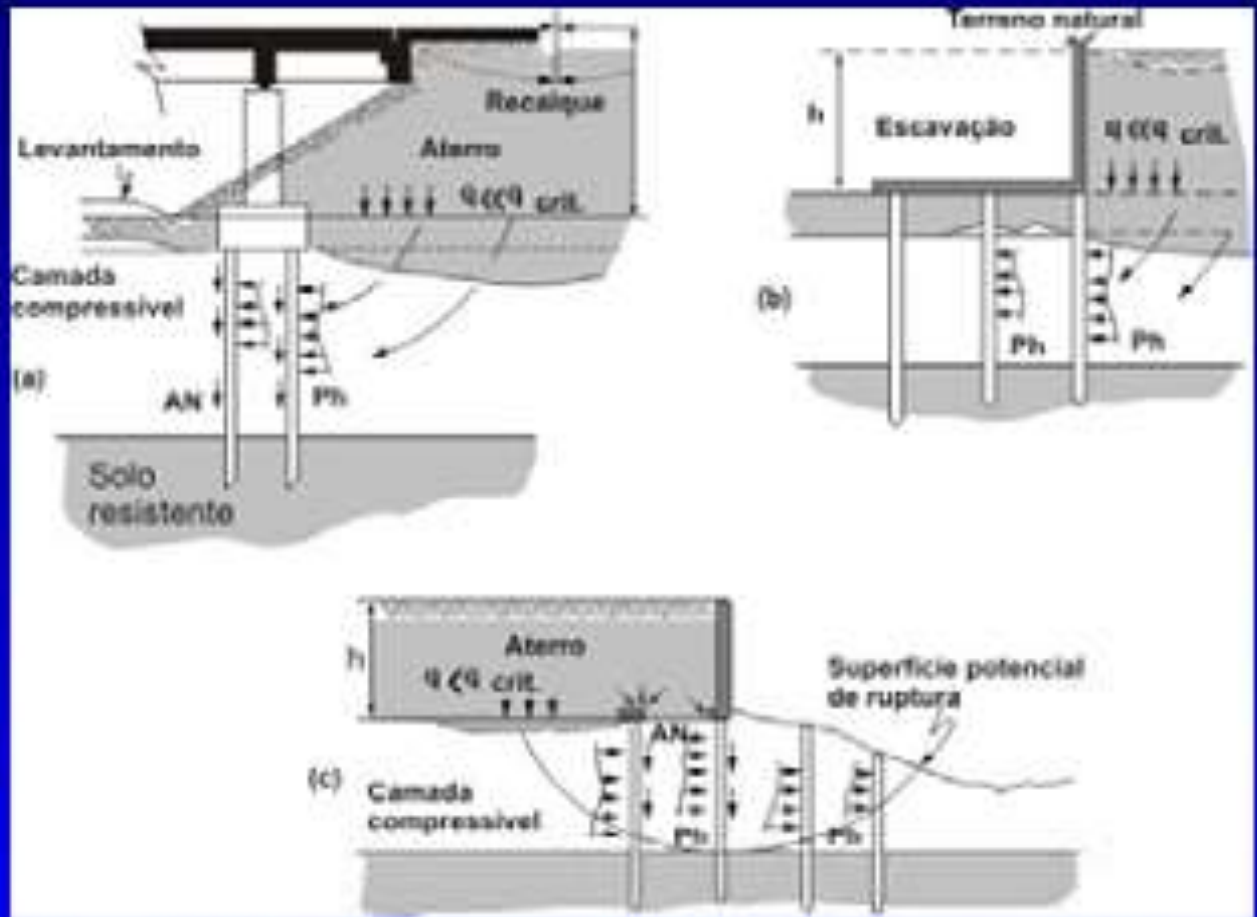


# ANÁLISE E PROJECTO

PROBLEMAS ENVOLVENDO OS MECANISMOS DE INTERACÇÃO SOLO-ESTRUTURA

Condição geométrica caracterizando aterro assimétrico sobre camadas sub-superficiais de solos moles,

provocando o aparecimento de solicitações horizontais a actuar nas estacas em profundidade ("Efeito Tschebotarioff").



## ANÁLISE E PROJECTO

*PROBLEMAS  
ENVOLVENDO OS  
MECANISMOS DE  
INTERAÇÃO SOLO-  
ESTRUTURA*

Flambagem de  
estacas esbeltas  
em solos moles

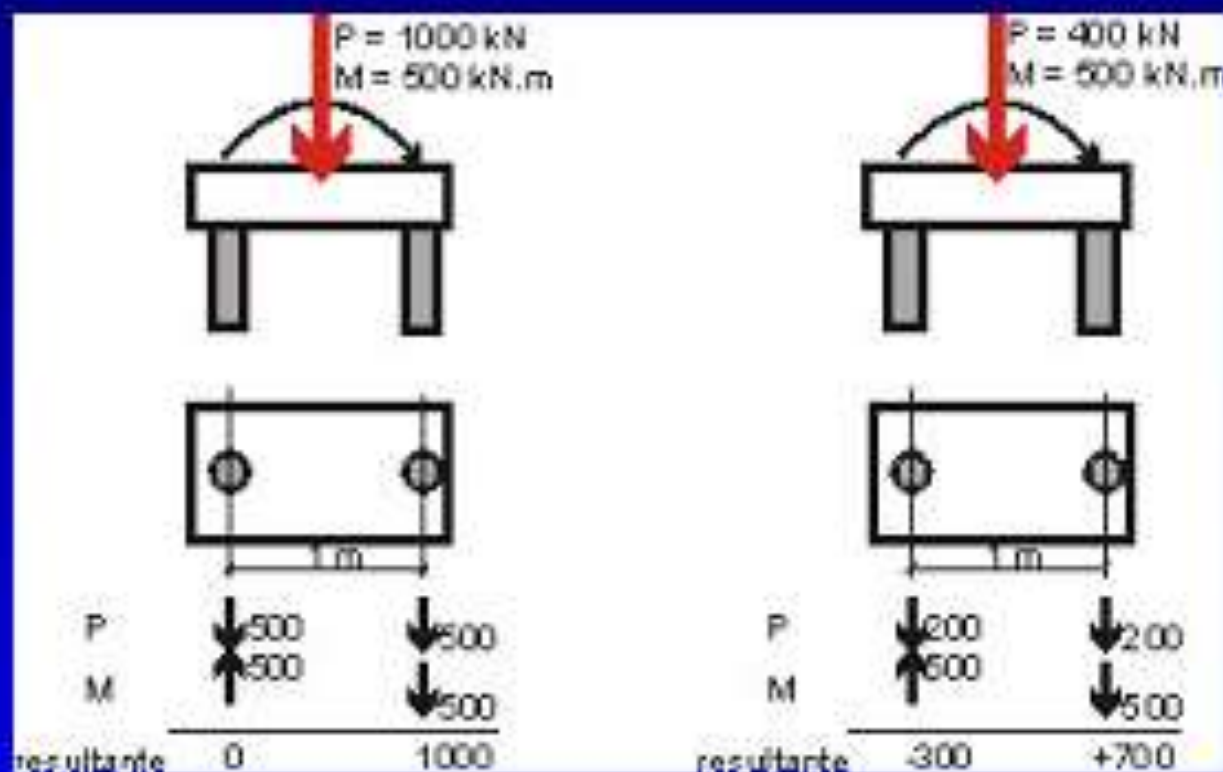


# ANÁLISE E PROJECTO

## PROBLEMAS ENVOLVENDO A ESTRUTURA DE FUNDAÇÃO

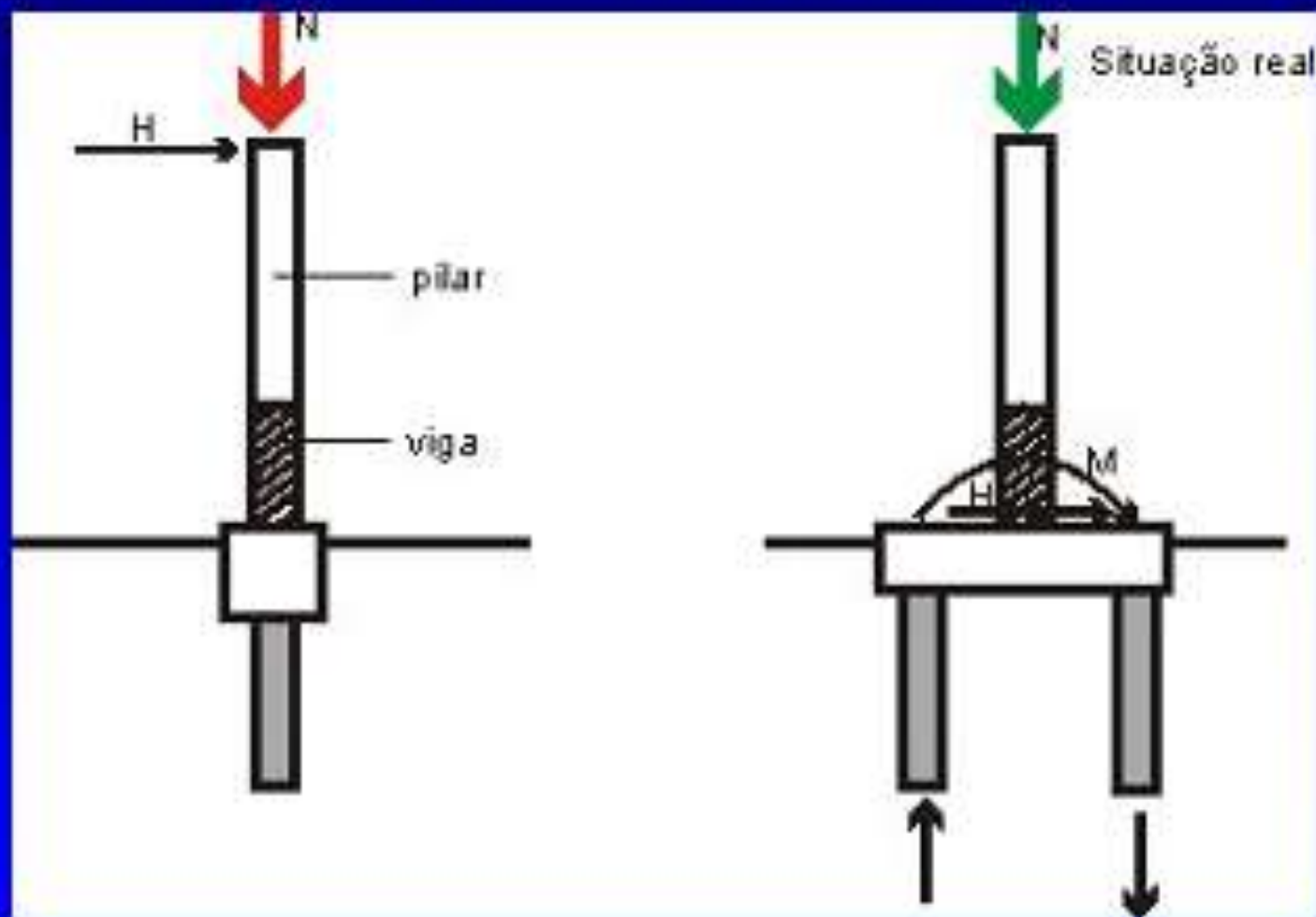
Erros decorrentes de indicação apenas de cargas máximas em casos de fundações em estacas com solicitações de compressão e momentos actuantes.

Muitas vezes o projectista das fundações recebe as cargas de outro profissional e resolve o problema para a condição conhecida e informada. A falta de consideração da condição de carregamento vertical mínimo pode levar à solução inadequada.



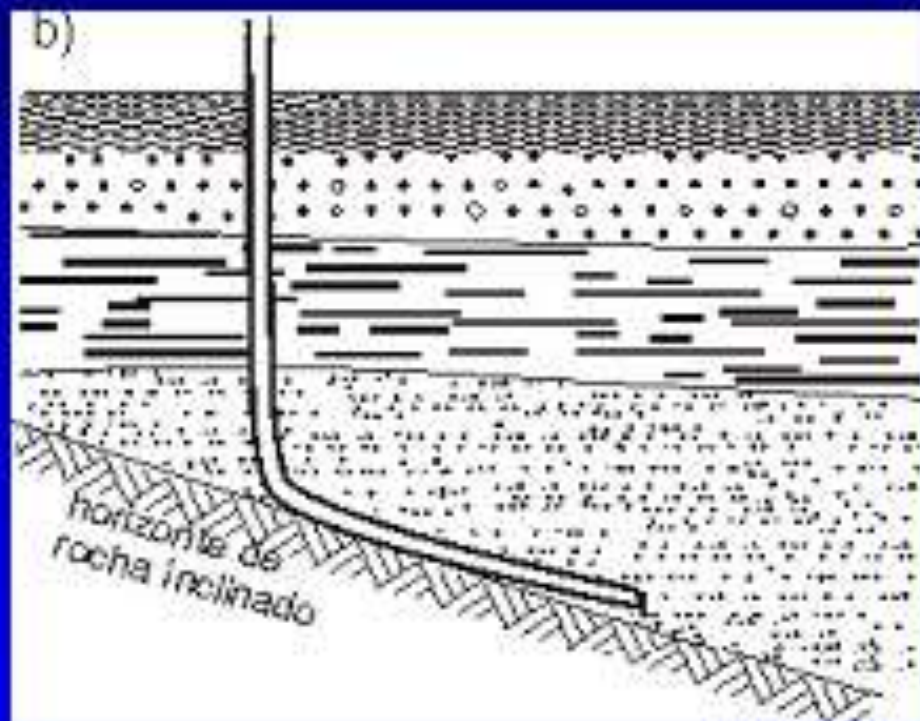
# ANALISE E PROJECTO

## PROBLEMAS QUE ENVOLVEM A ESTRUTURA DE FUNDAÇÃO



Esforços horizontais não equilibrados

FUNDAÇÕES PROFUNDAS



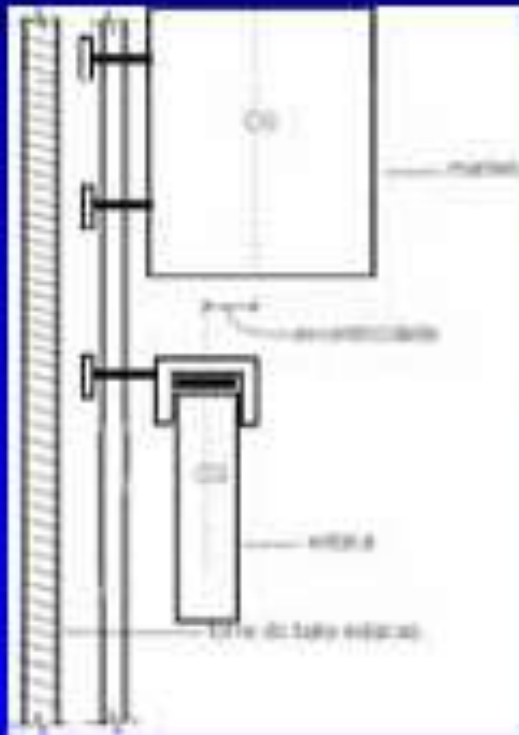
*ESTACAS METÁLICAS  
CRAVADAS*



# EXECUÇÃO

## FUNDAÇÕES PROFUNDAS

### *ESTACAS PRÉ-MOLDADAS DE BETÃO*

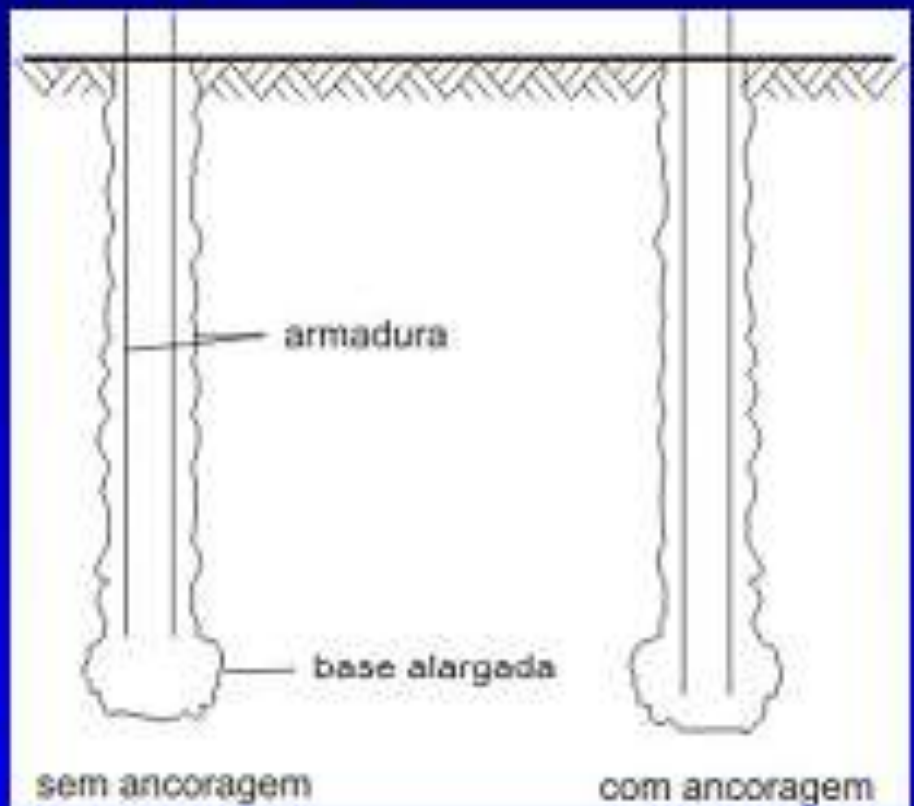
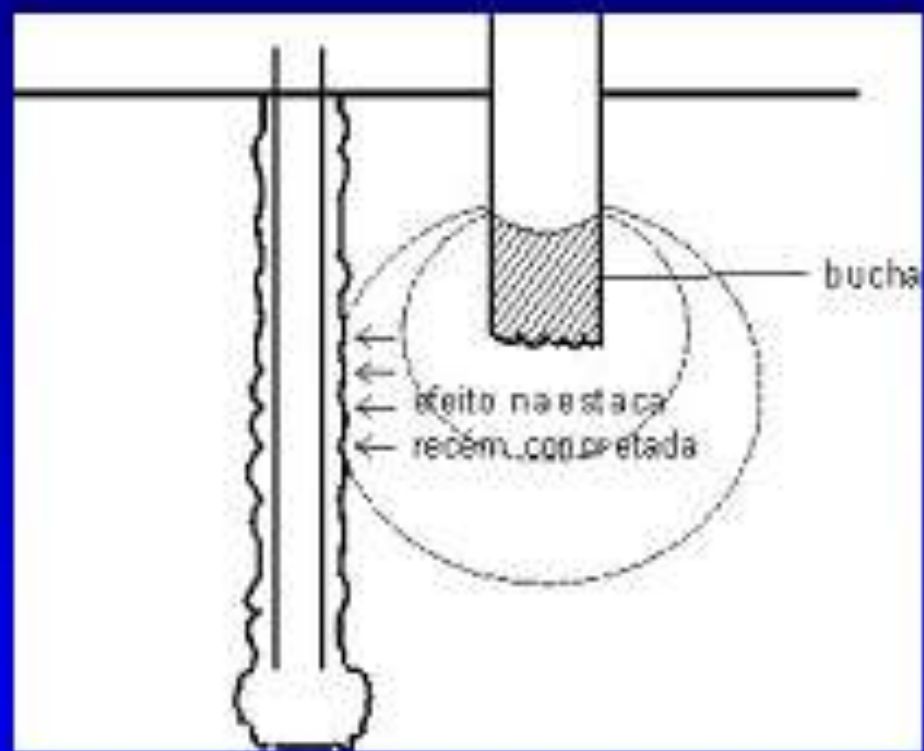




# EXECUÇÃO

## FUNDAÇÕES

### PROFUNDAS



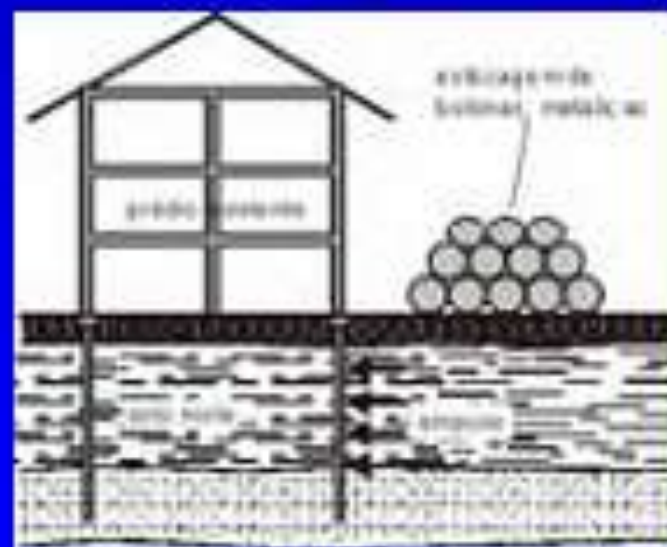
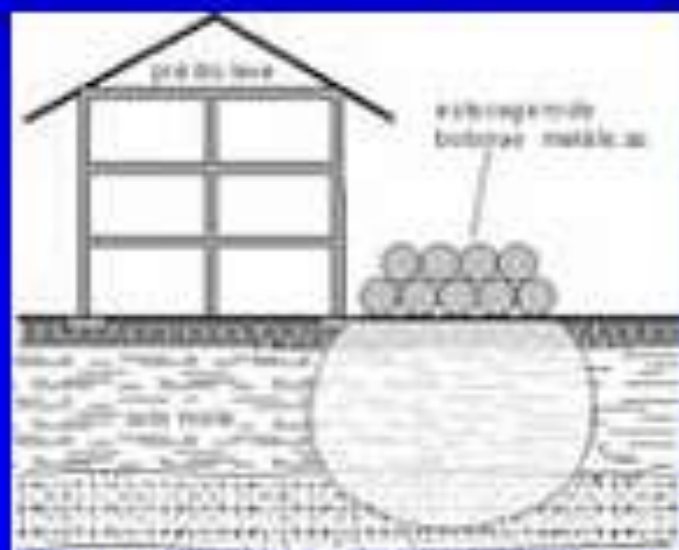
*ESTACAS MOLDADAS*

*IN SITU DE BETÃO*

# EVENTOS POSTERIORES À CONCLUSÃO DA FUNDAÇÃO

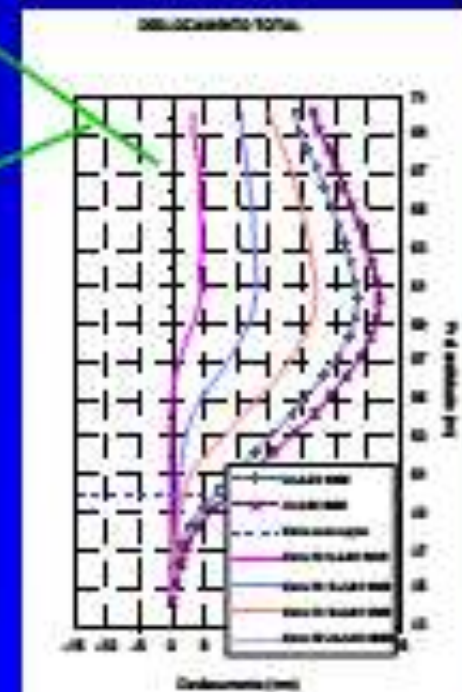
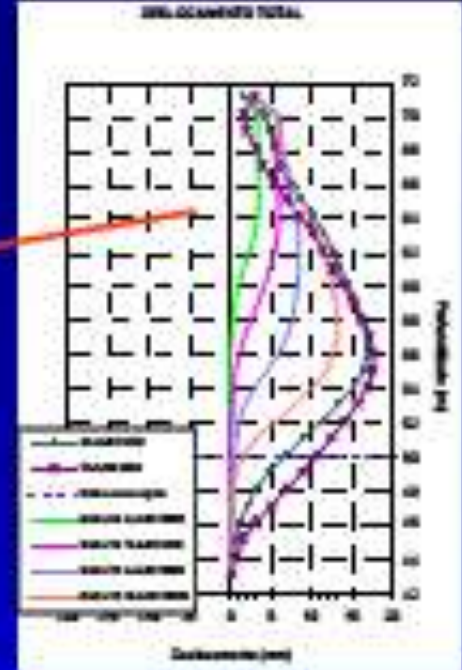
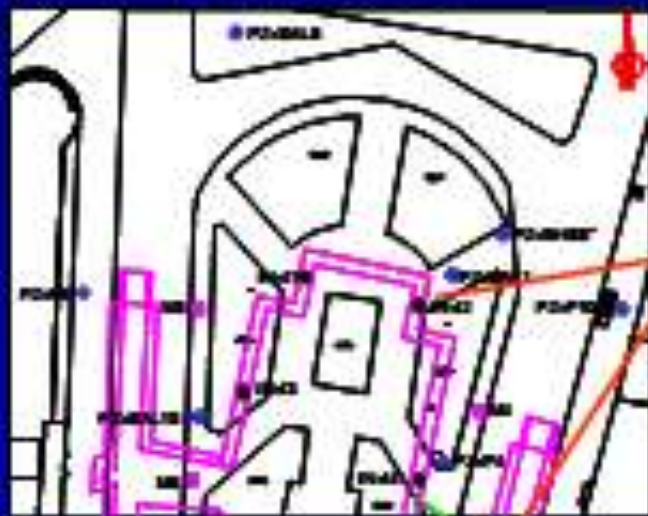


ALTERAÇÃO DE  
USO DE  
TERRENOS  
VIZINHOS



# EVENTOS PÓS- CONCLUSÃO DA FUNDAÇÃO

GRANDES ESCAVAÇÕES



# DEGRADAÇÃO DOS MATERIAIS

## BETÃO

Tabela da correspondência entre classe de agressividade e qualidade do betão (Ibracon, 2003)

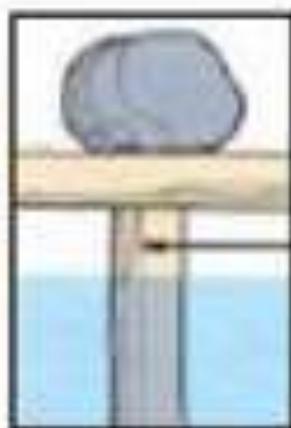
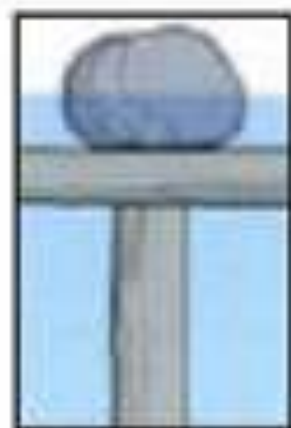
Betão	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água - cimento em massa	Concreto Armado	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	Betão Pré-esforçado	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$

# DEGRADAÇÃO DOS MATERIAIS

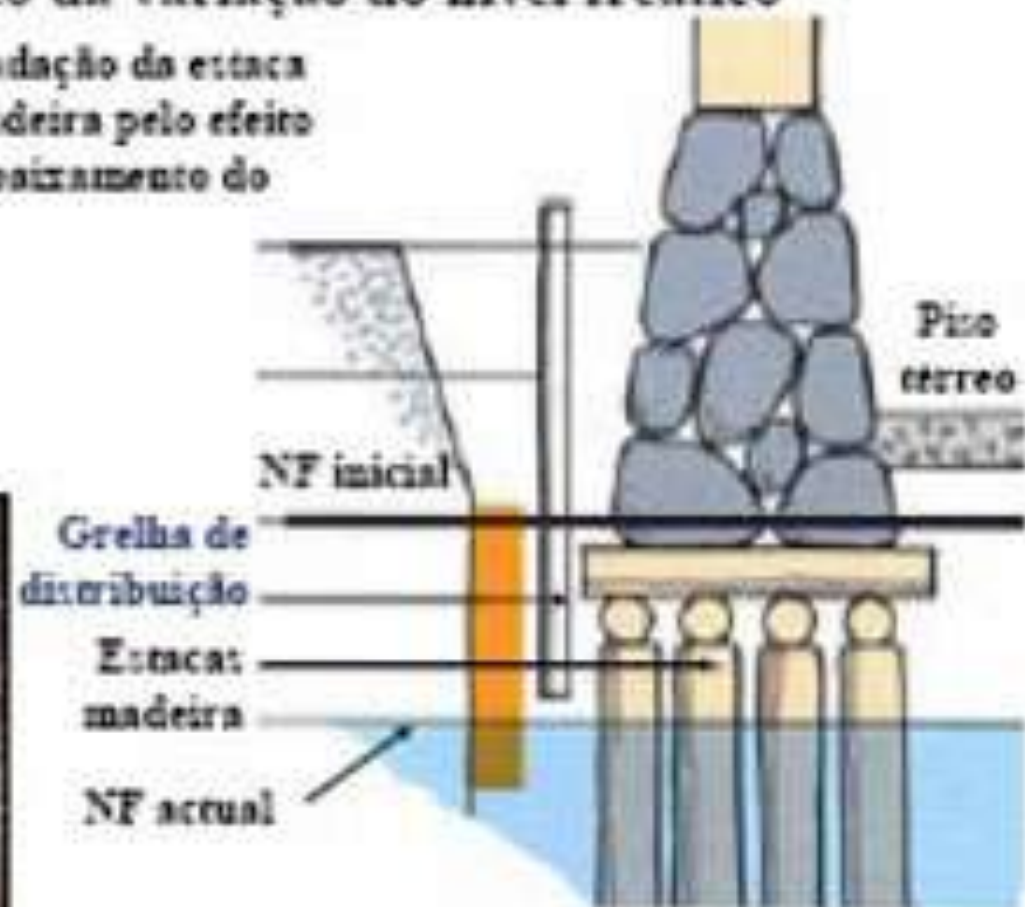
## Betão



## Estacas de madeira: efeito da variação do nível freático



Degradação da estaca de madeira pelo efeito de rebaixamento do NF



Exemplo : Baixa Pombalina - estacas adoptadas como elemento de tratamento do terreno

# Ação de íons sulfatos sobre blocos de concreto na fundação

- concentrações de sulfatos solúveis no solo acima de 0,1% (150 mg/l na água) produzem danos no concreto:
  - perda progressiva de massa e resistência.
- velocidade de ataque a uma estrutura de concreto é mais intensa quando:
  - uma das faces permite evaporação, estando a outra em contato com água ou solo em que se tem a presença de íons sulfatos.
- São os casos de porões, galerias, muros de arrimo e lajes no solo, blocos de concreto.

# Ação de íons sulfatos sobre blocos de concreto na fundação

- Os principais fatores que influenciam o ataque por sulfatos são:
  - quantidade e natureza do sulfato presente,
  - nível da água e sua variação sazonal,
  - fluxo da água subterrânea e porosidade do solo,
  - forma da construção e qualidade do concreto.



# Ação de íons sulfatos sobre blocos de concreto na fundação

- O edifício Érika, situado na cidade de Olinda-PE, construído em 1987, teve a degradação dos blocos de concreto comprovada, em decorrência da presença dos íons sulfatos na água do subsolo, resultando no desabamento ocorrido em novembro de 1999.

# Ação de íons sulfatos sobre blocos de concreto na fundação

- A análise das amostras de água coletadas no local mostrou o conteúdo médio superior a 650 mg/litro considerado moderado
- o lençol freático banhava o embasamento e tinha nível variável;
- o solo era arenoso e, portanto, permeável;
- os embasamentos funcionavam como muros de arrimo e os blocos de concreto tinham baixa resistência.

# Ação de íons sulfatos sobre blocos de concreto na fundação

- A análise das amostras de água coletadas no local mostrou o conteúdo médio superior a 650 mg/litro considerado moderado
- o lençol freático banhava o embasamento e tinha nível variável;
- o solo era arenoso e, portanto, permeável; os embasamentos funcionavam como muros

# DEGRADAÇÃO DOS MATERIAIS

## AÇO

Corrosão (mm) em estacas metálicas em solos, acima e abaixo do lençol freático  
(European Standard EN 1993-5, 2003)

Vida útil	5 anos	25 anos	50 anos	75 anos	100 anos
Solos naturais não perturbados	zero	0,30	0,60	0,90	1,20
Solos poluídos (contaminação industrial)	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Solos naturais agressivos (solos pantanosos, turfosos, etc.)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Aterros de solos não compactados	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Aterros de materiais agressivos (resíduos, etc.) não compactados	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75

Nota: Os valores para 5 e 25 anos são baseados em medidas, enquanto que os demais são extrapolações.

## Principais causas de sinistros em taludes.

- Aterro sem remoção da camada superficial de solo mole.
- Aterro sobre solo inclinado .
- Aterro com solo impróprio .
- Altura inadequada das camadas de aterro.
- Compactação inadequada .

# Principais causas de sinistros em taludes.

- Inclinação e proteção superficial inadequada dos taludes.
- Presença de dutos de água ou esgoto sob o aterro.
- Captação e lançamento inadequado das águas pluviais.
- Presença de turfa orgânica numa camada inferior.
- Corte com inclinação muito acentuada.

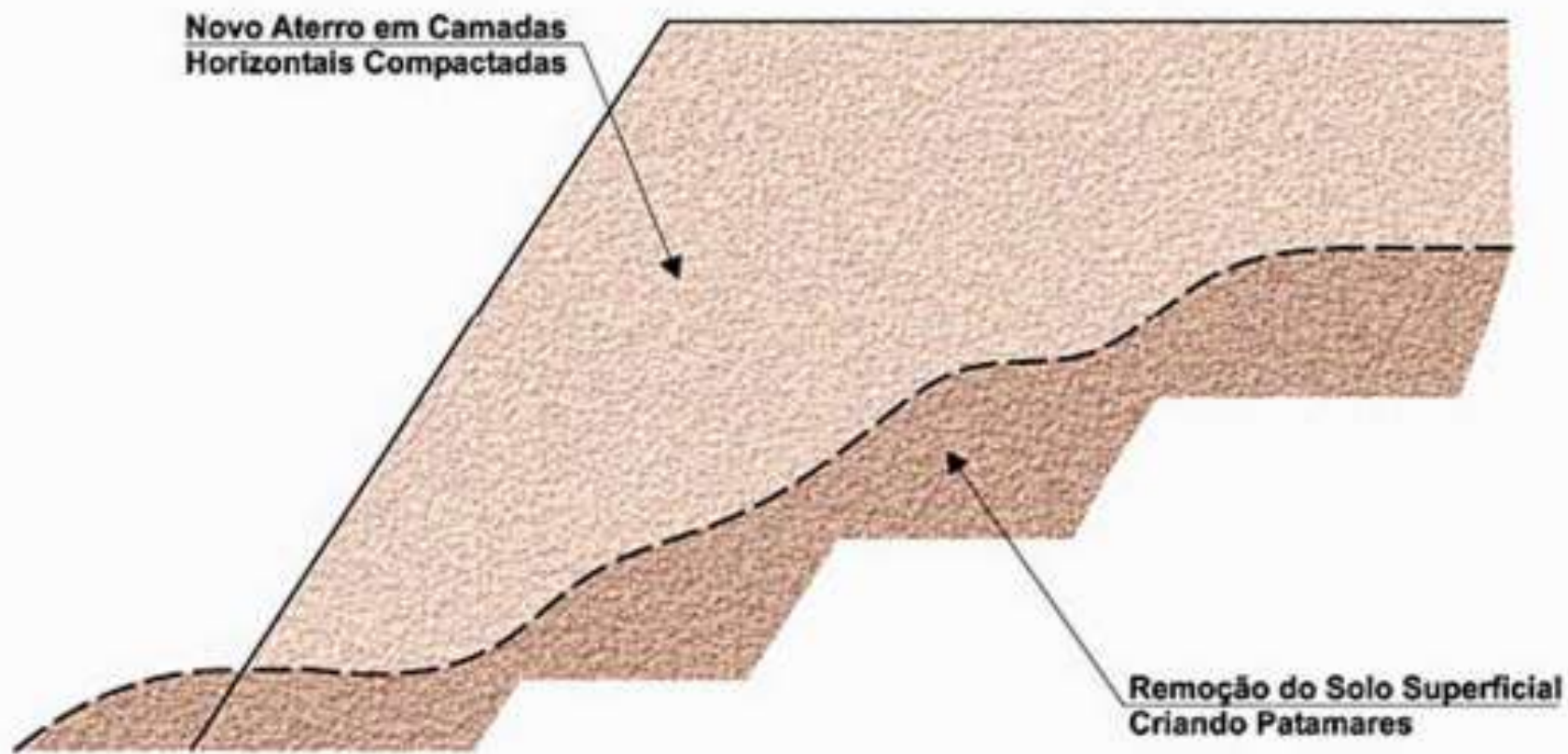


Fig. 2.3.1. Aterro sobre solo inclinado

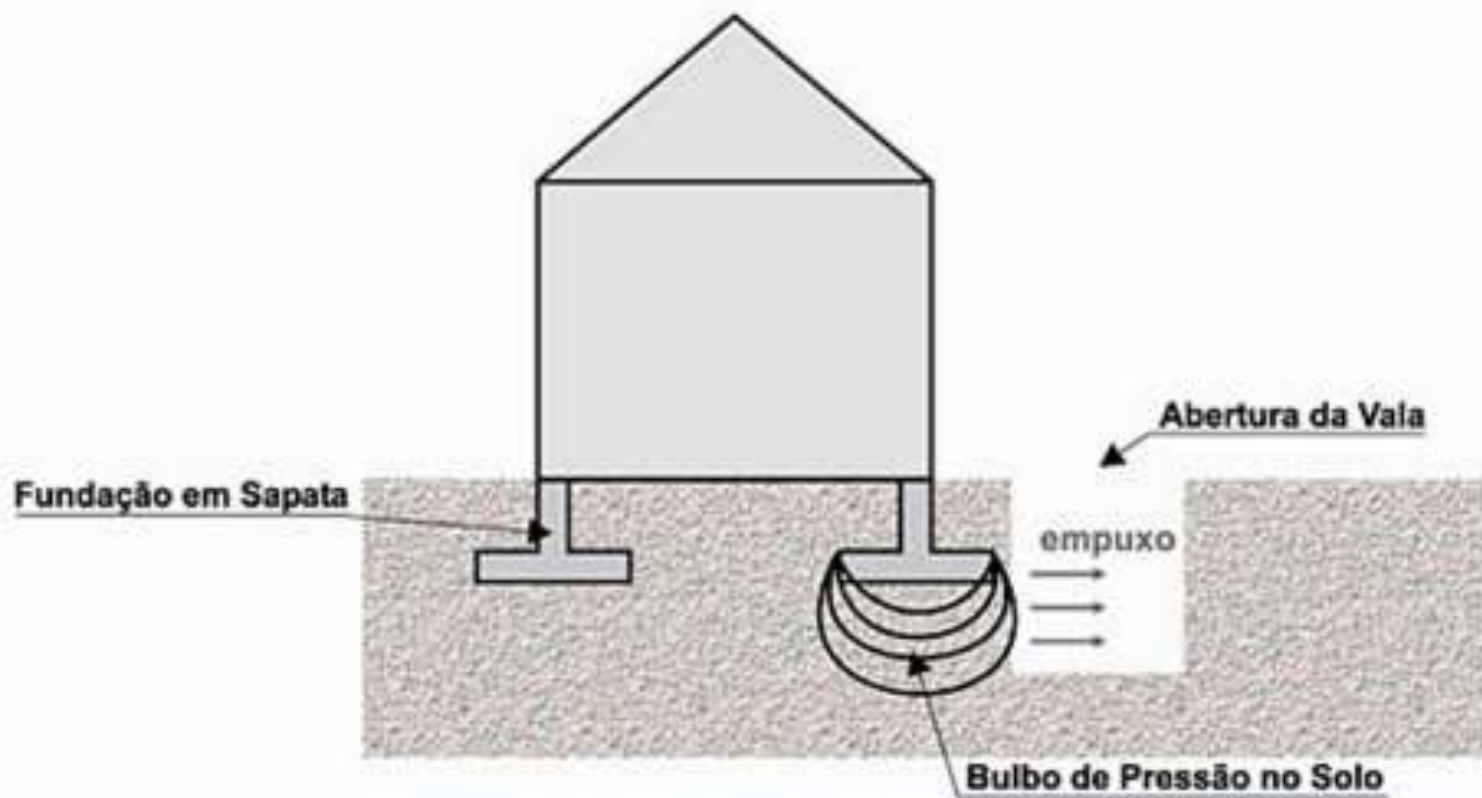


Fig. 2.10.1. Abertura de vala próxima de edificações com fundação direta



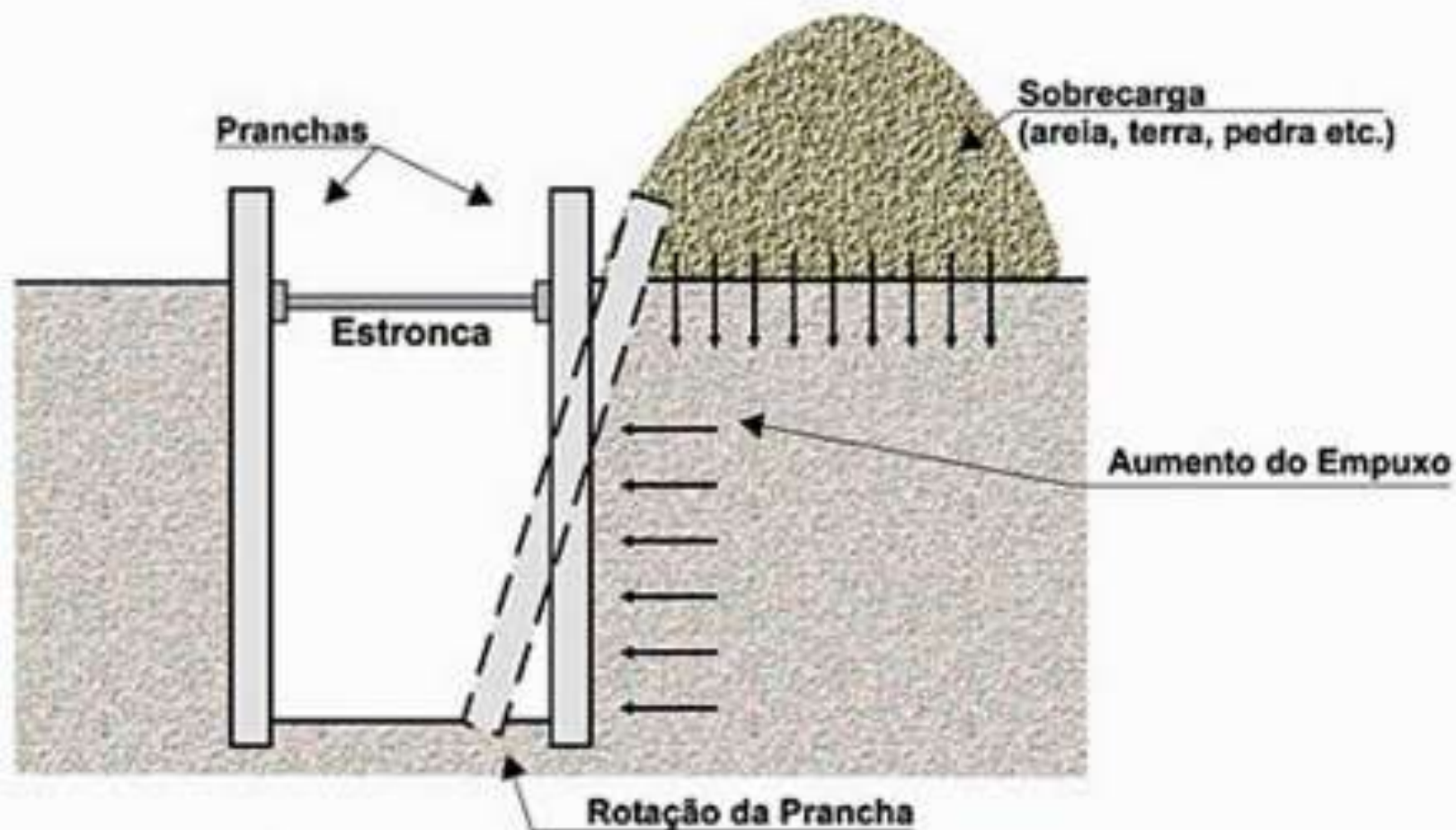


Fig. 2.10.2. Rotação da prancha devido à presença de sobrecarga

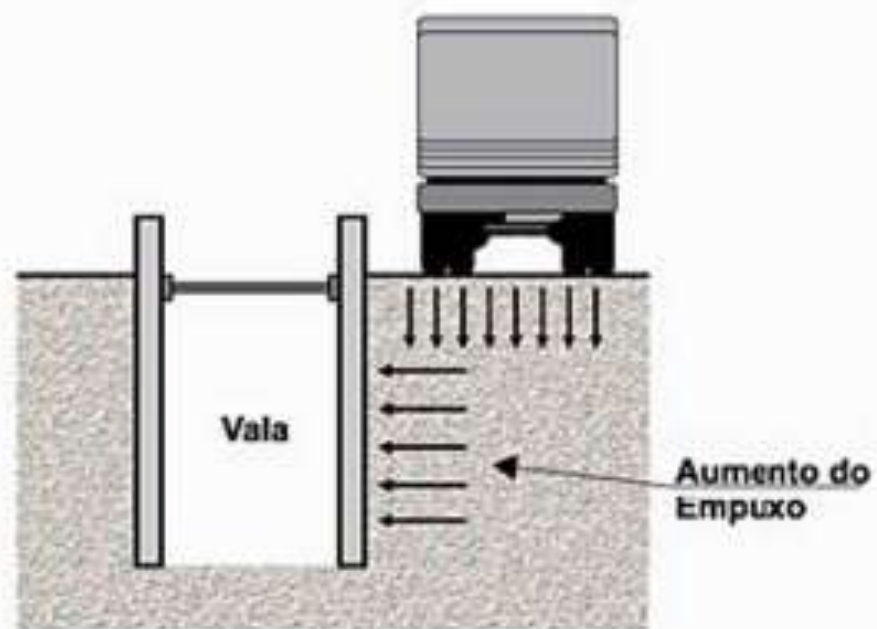
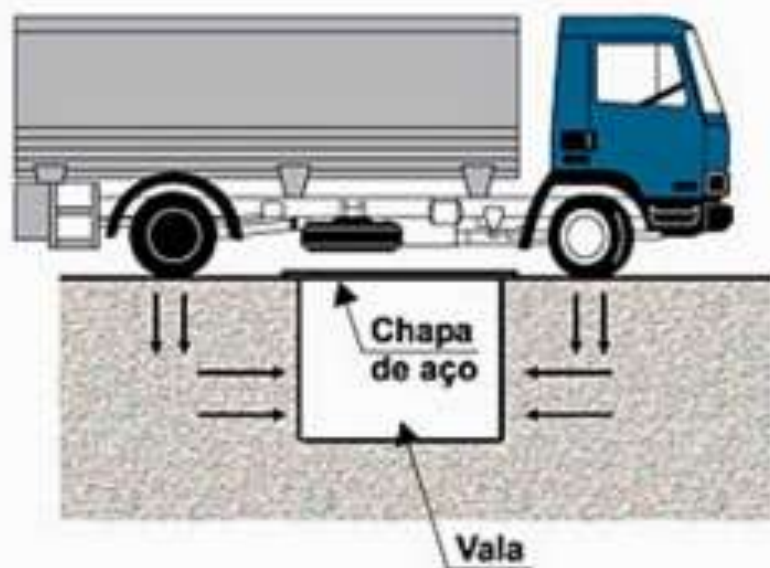


Fig. 2.10.3 Veículo pesado transitando ao lado da vala

- O aterro fora construído havia mais de vinte anos e se apresentara estável até aquela data;
- A terraplenagem efetuada pela empreiteira alterou as condições de equilíbrio existentes, resultando na ruptura do maciço terroso e no conseqüente colapso total da residência que ficava sobre ele.

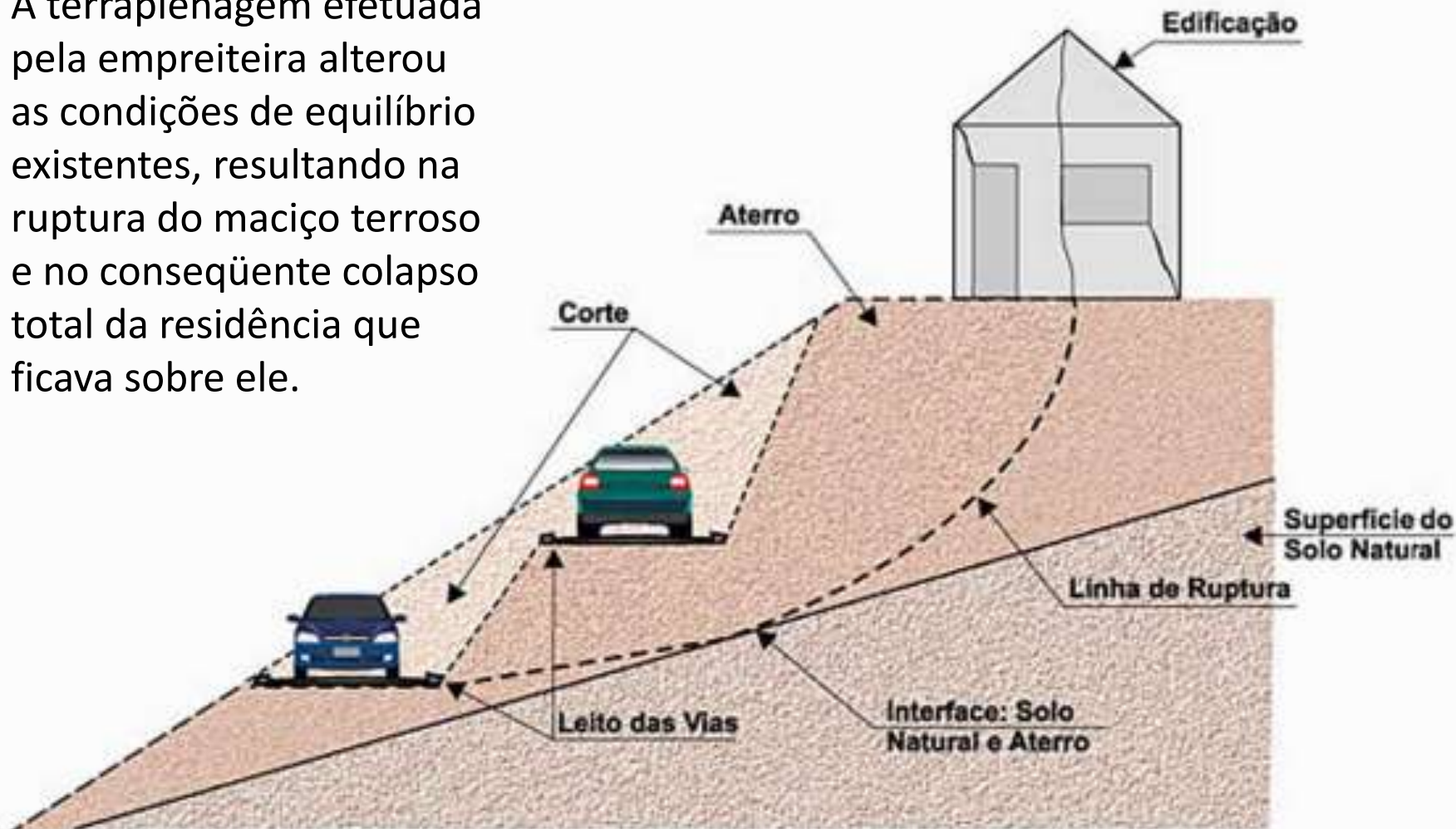


Fig. 2.11.1. Colapso de edificação devido ao corte na base do talude de aterro para implantação de via expressa

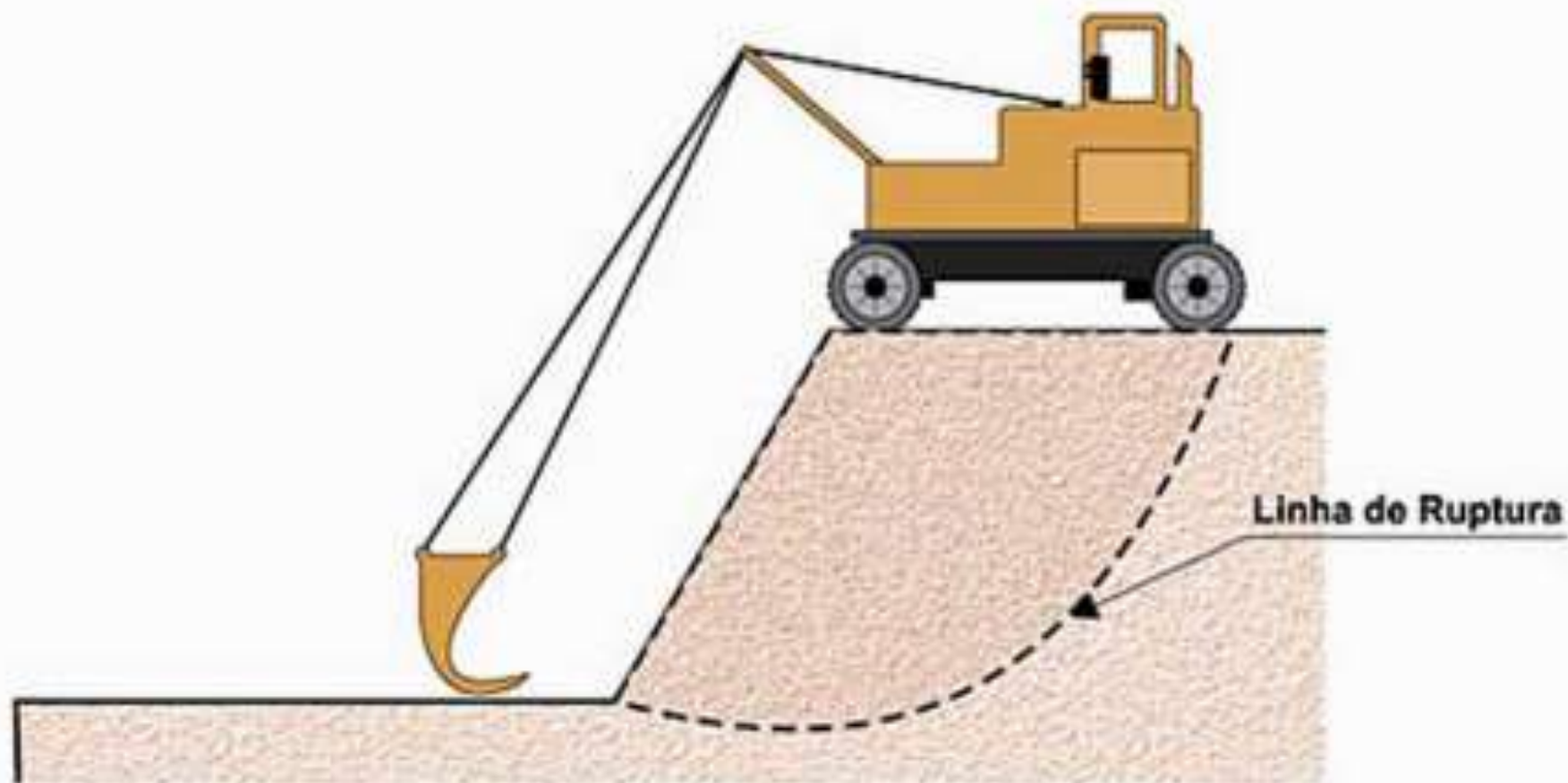


Fig. 2.11.2.b Deslizamento de terra devido a corte no pé do talude

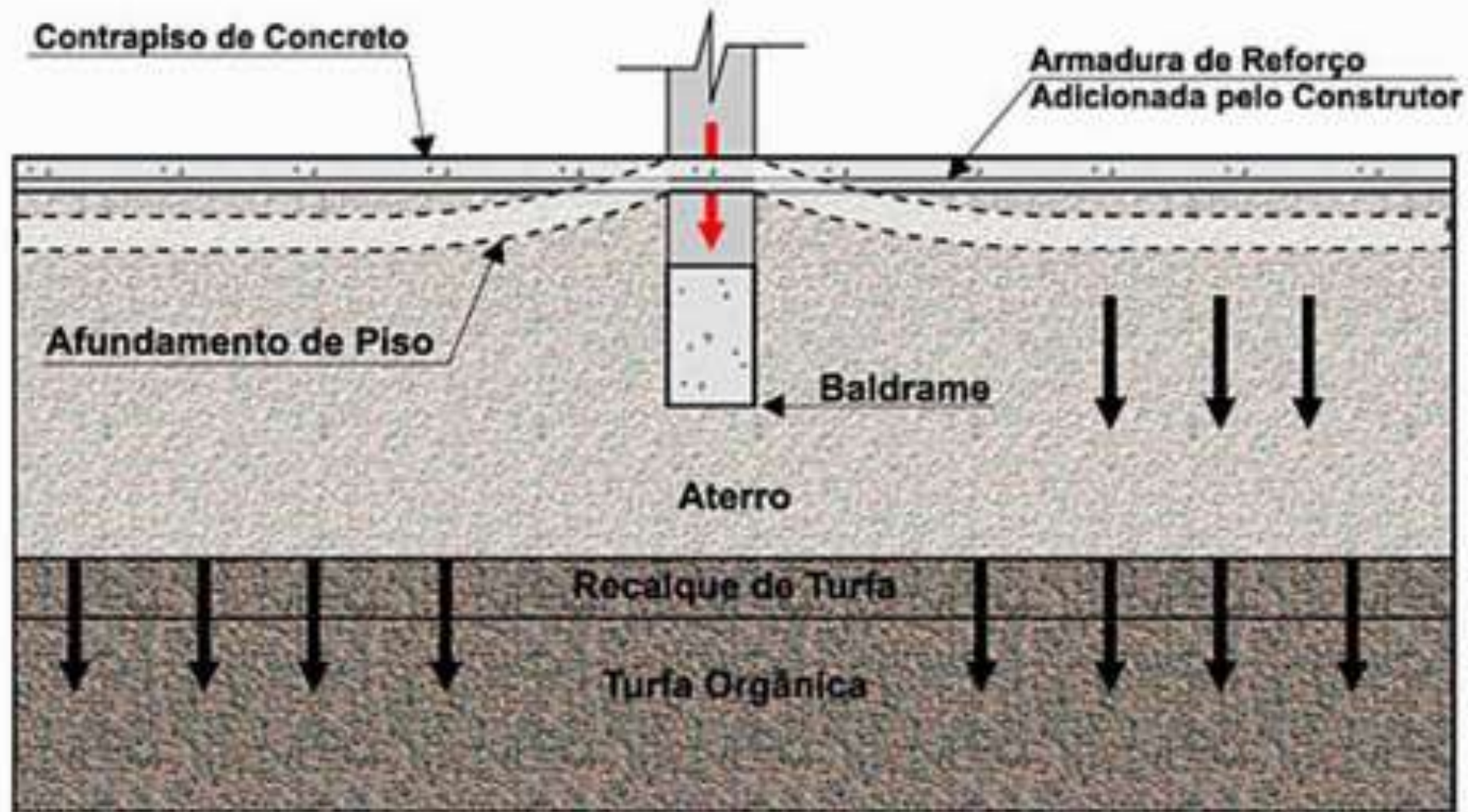


Fig. 2.12.1. Aterro sobre turfa orgânica

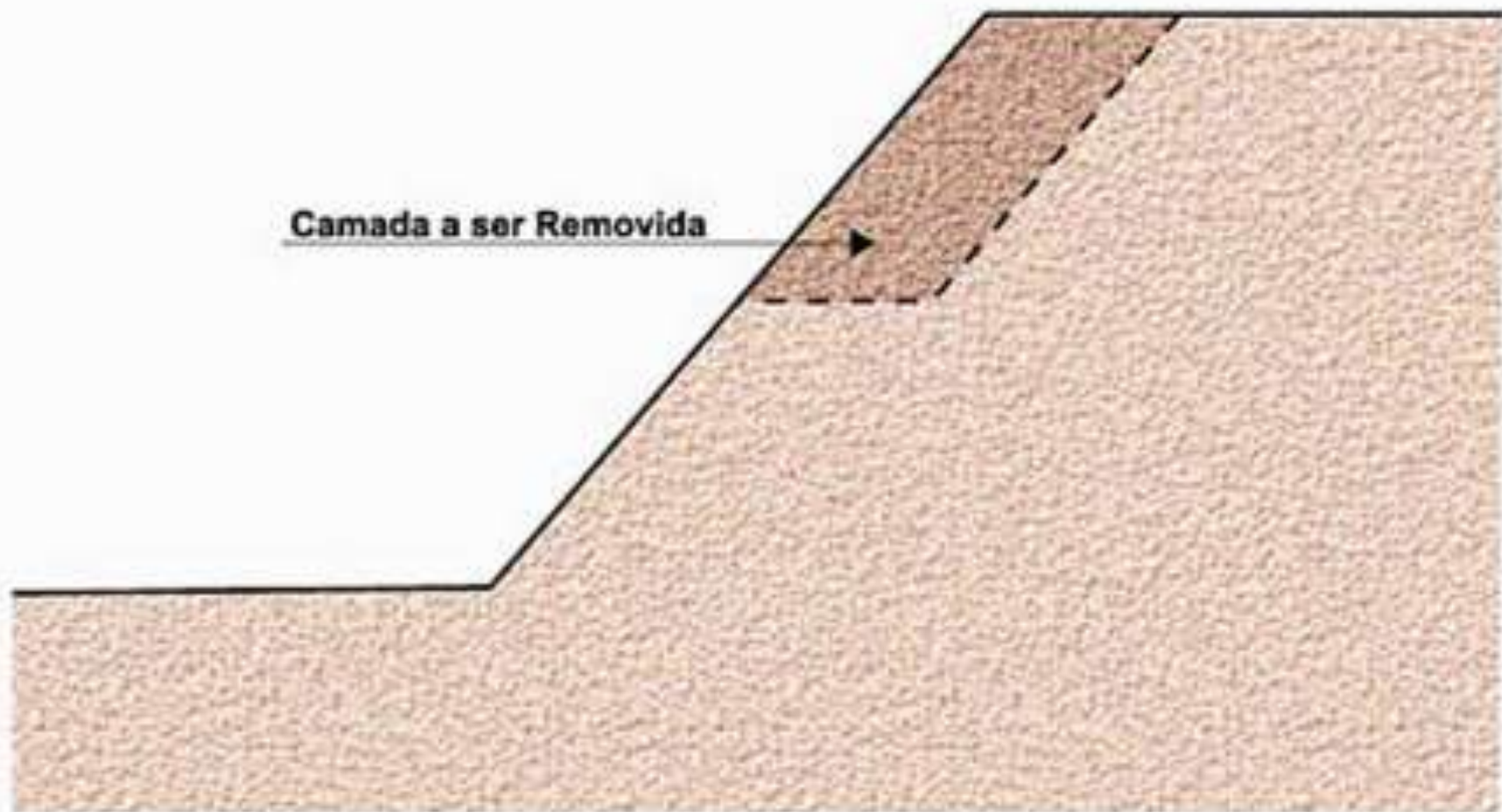


Fig. 2.13.1. Alívio do empuxo

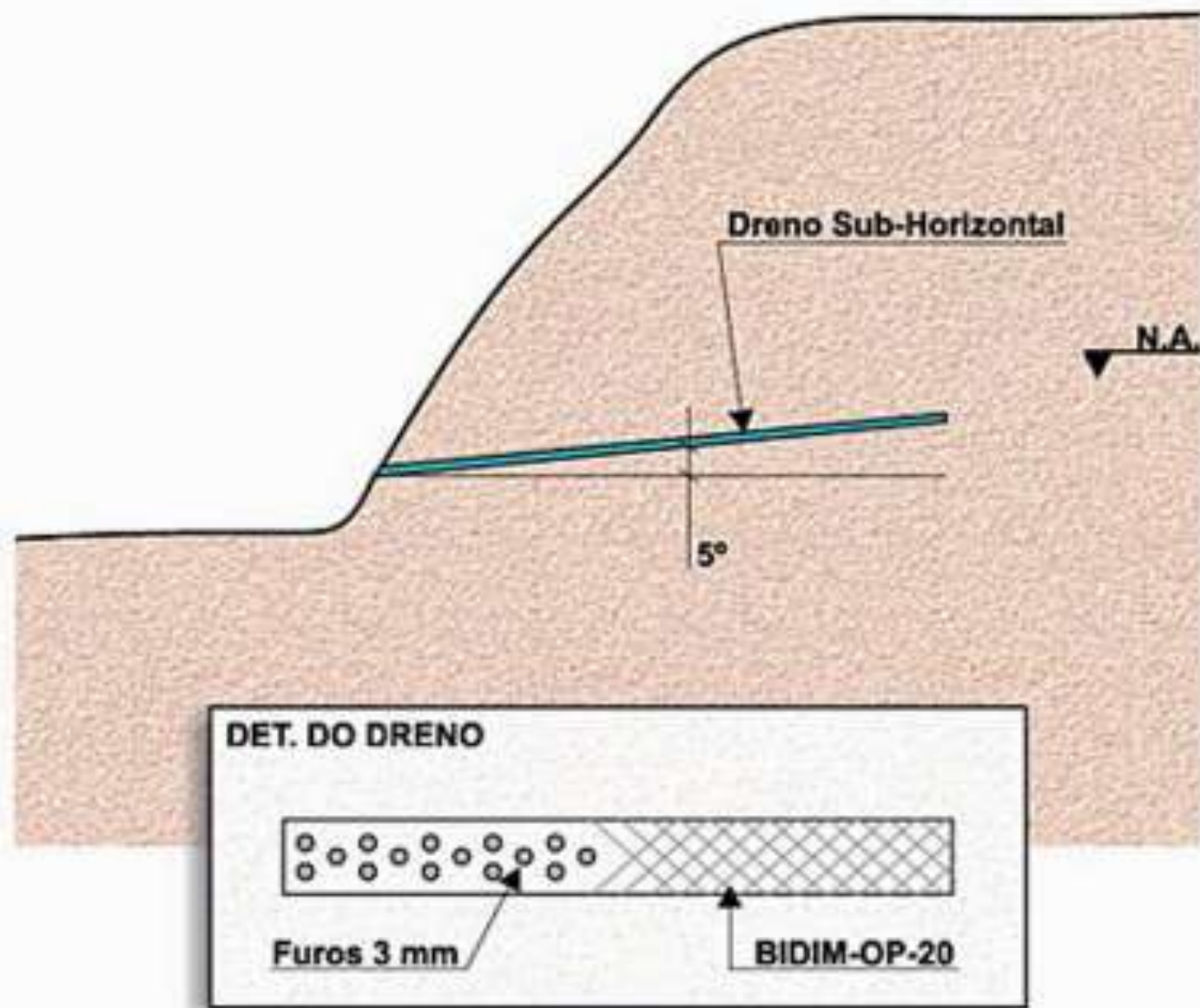


Fig. 2.13.2. Drenos profundos sob-horizontais

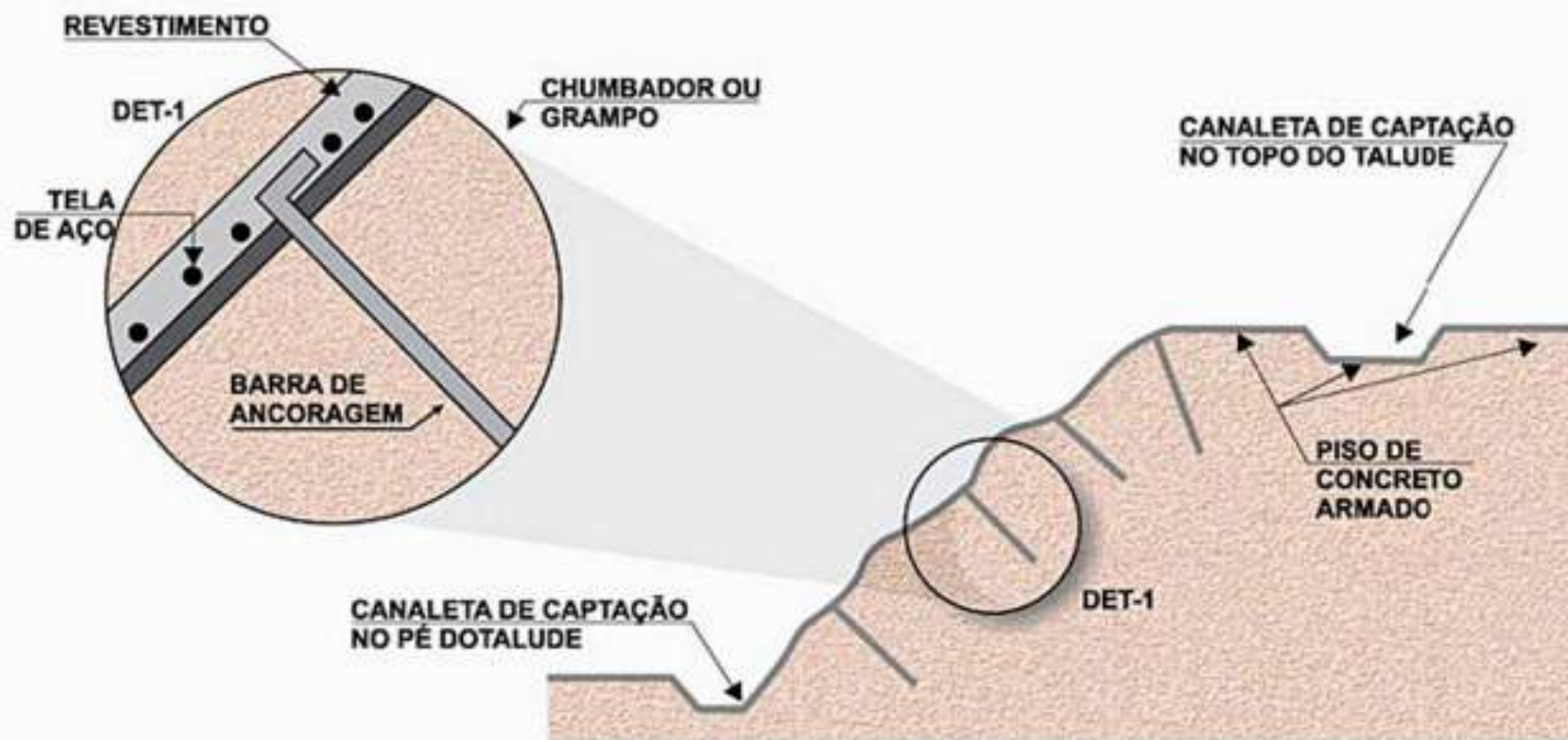
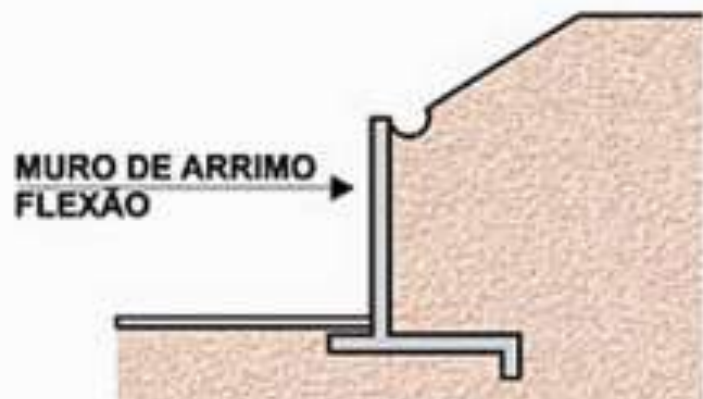


Fig. 2.13.3. Impermeabilização de talude com argamassa e concreto projetado



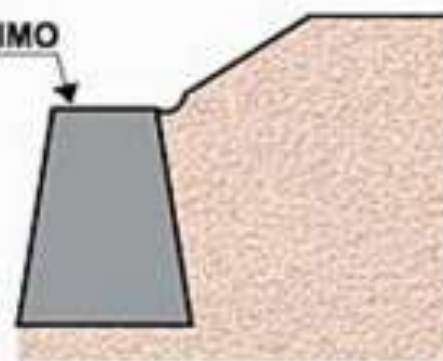


MURO DE ARRIMO  
FLEXÃO

PODE SER DE:

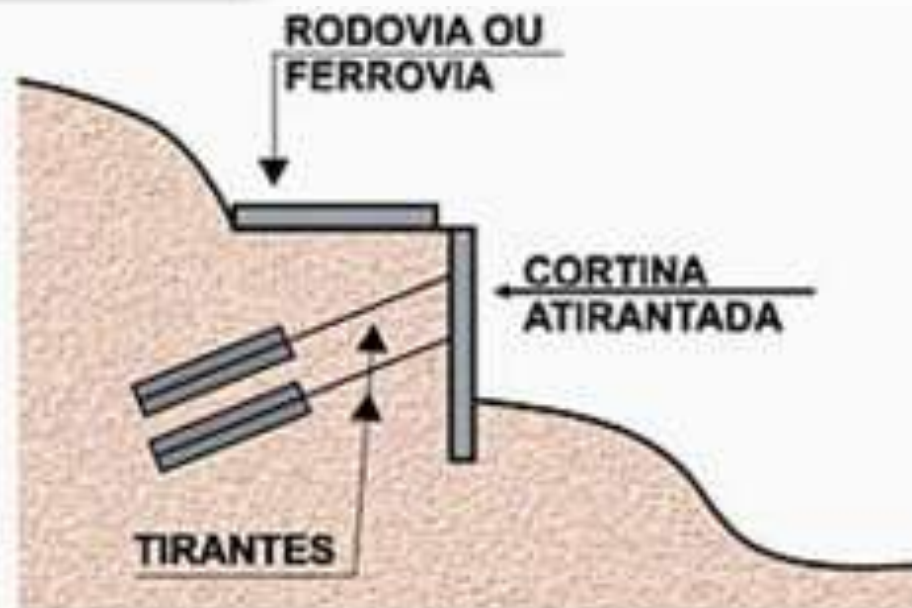
- CONCRETO ARMADO
- CONCRETO ALVENARIA
- ALVENARIA ARMADA

MURO DE ARRIMO  
GRAVIDADE



PODE SER DE:

- GABIÃO
- CONCRETO CICLÓPICO
- CONCRETO ENSACADO



RODOVIA OU  
FERROVIA

CORTINA  
ATIRANTADA

TIRANTES

Fig. 2.13.4. Estruturas de contenção para estabilizar taludes

# Sinistros em Muros de Arrimo

- Têm sido a causa de vários sinistros no Brasil:
- Principalmente por erros de projeto ou falhas durante a execução da obra.
- Conforme artigo publicado pelo prof. Costa Nunes, na revista Estrutura, foram analisados 300 casos:

1- Deficiência de drenagem.....	33%
2- Dimensionamento de base insuficiente.....	25%
3- Insuficiência estrutural.....	19%
4- Falhas de execução durante o aterro.....	10%
5- Falhas nos apoios superiores ou laterais.....	05%
6- Acidentes de trabalho.....	05%
7- Causas diversas.....	03%

# SINISTRO EM ARRIMOS DEVIDO À FUNDAÇÃO INADEQUADA

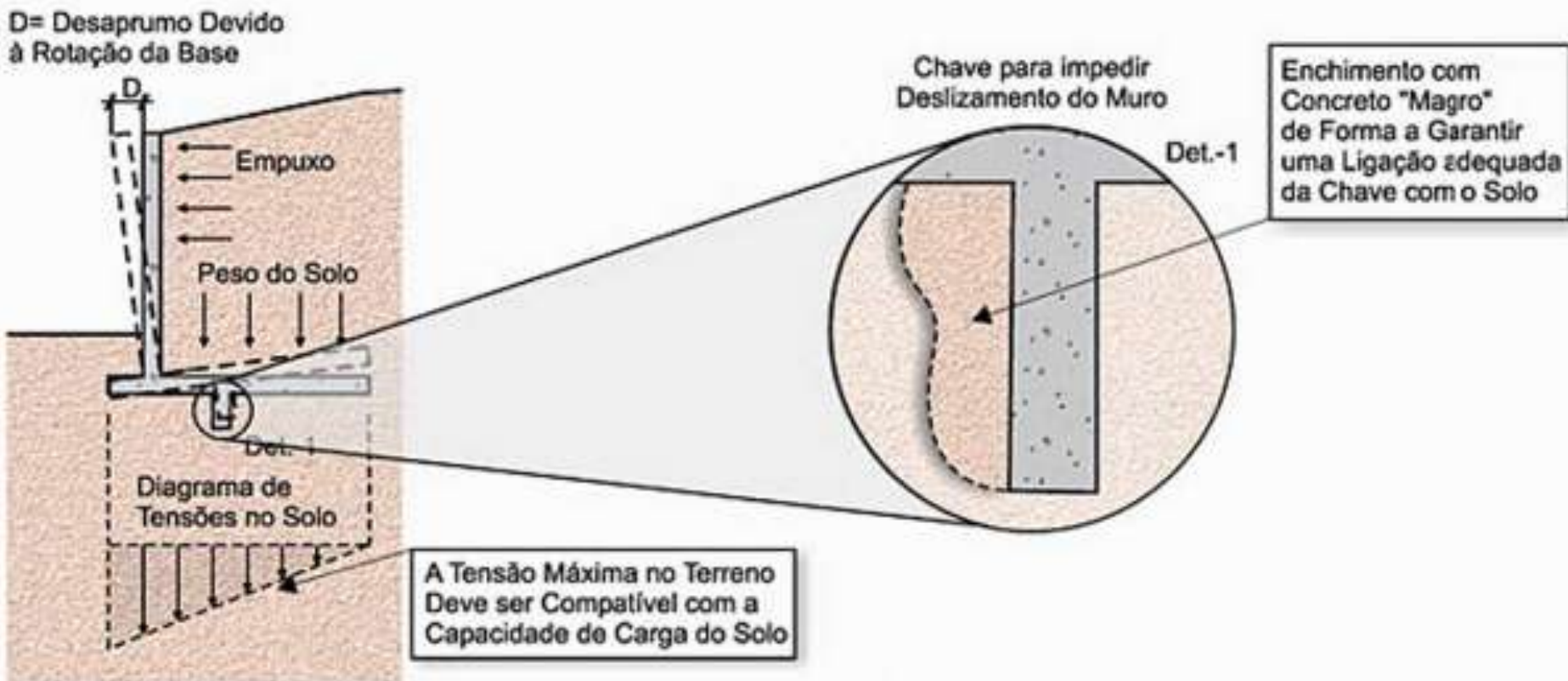
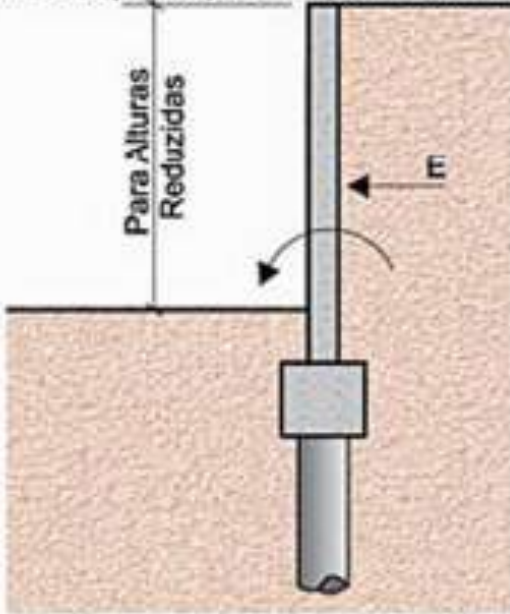


Fig. 3.2.1. Arrimo com sapata corrida

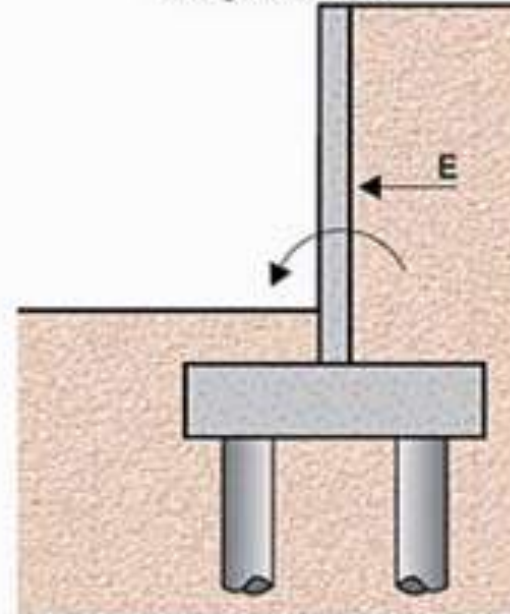
# Sinistro em Arrimos com Fundação em Estacas

Solução Inadequada  
Válida Apenas para Pequenas Alturas



Fundação com apenas uma linha de Estacas não é aconselhável, por não ser Eficiente para absorver momentos Fletores na Base

Solução Correta



Fundação com duas Estacas é mais Eficiente para Absorver Momentos Fletores

Fig. 3.2.2. Arrimo com estacas

# SINISTRO EM ARRIMOS SOBRE TERRENO INCLINADO

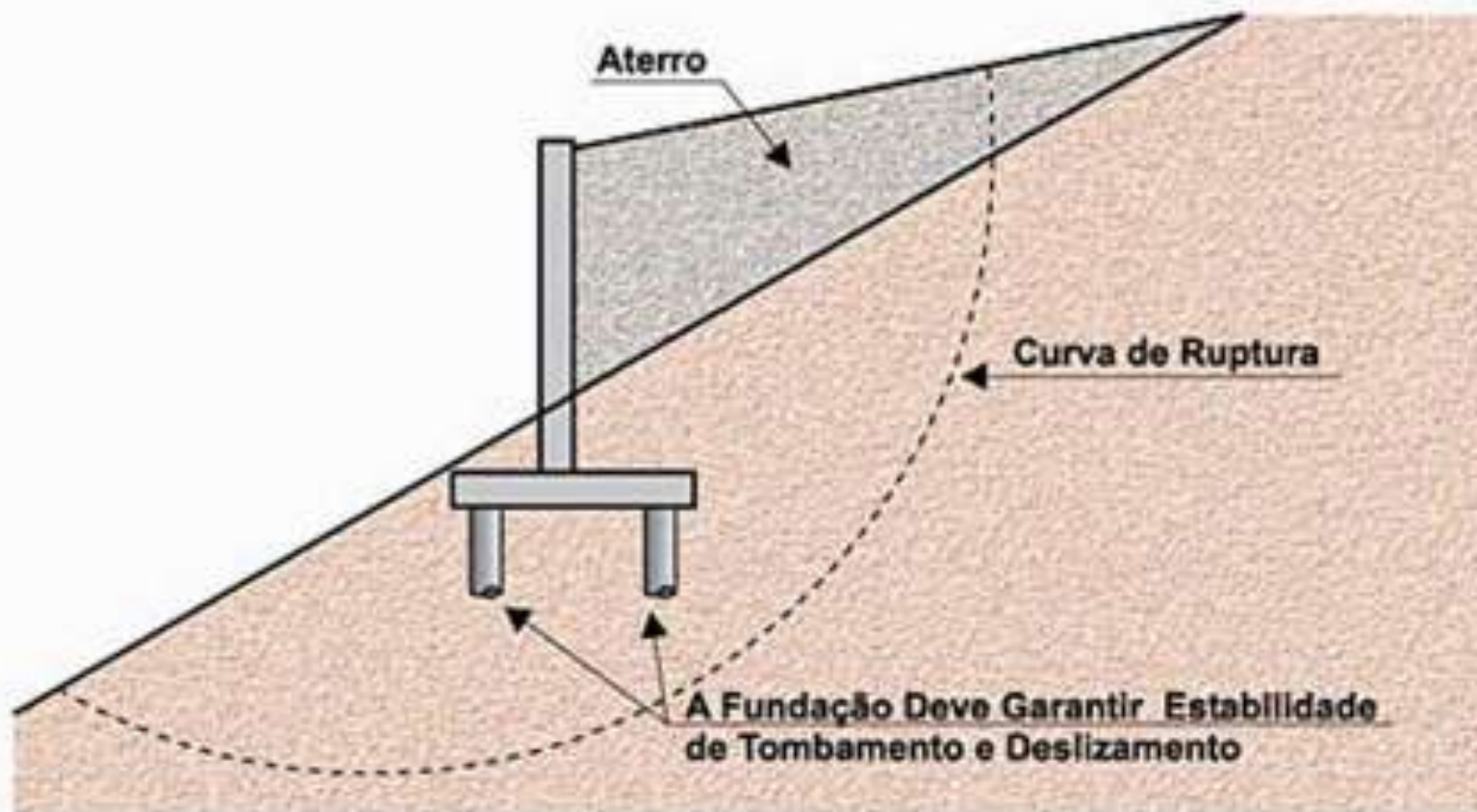


Fig. 3.3.1. Arrimo em terrenos inclinados

# SINISTRO EM ARRIMOS MAL PROJETADOS

- Não levar em consideração o valor do empuxo da água.
- Não prever sobre cargas adicionais no terra pleno
- Não eficiente sistema de drenagem;
- Corrosão das armaduras.

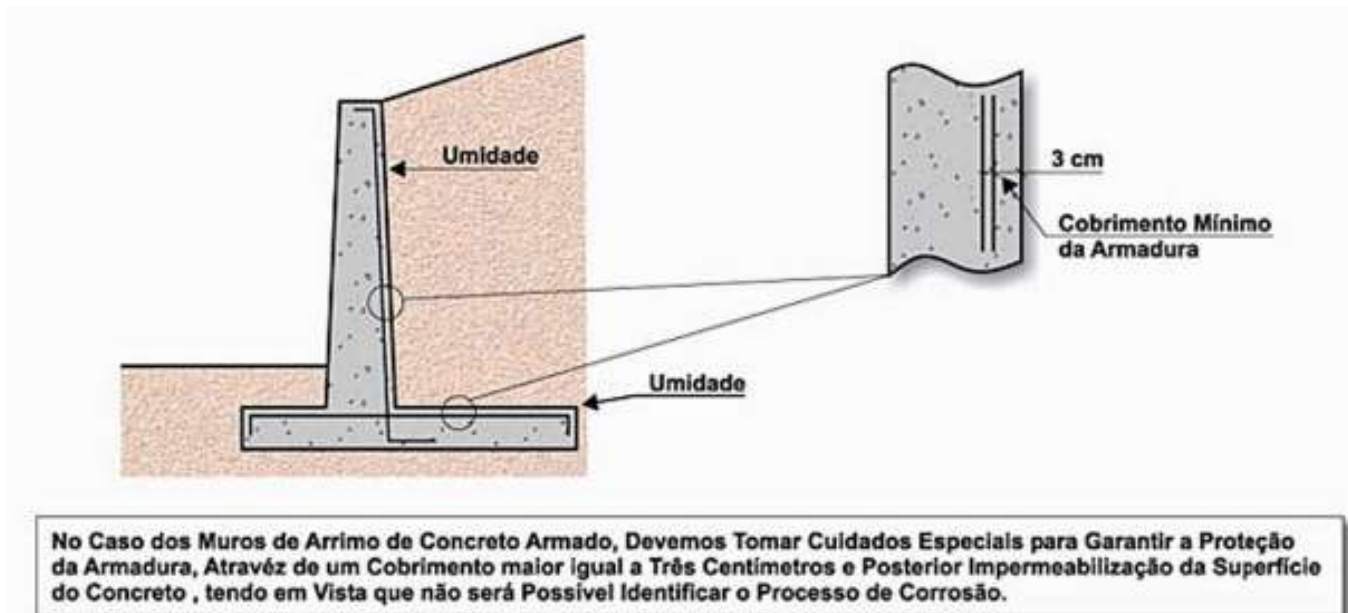


Fig. 3.4.1. Cobrimento da ferragem em muro de arrimo

**Detalhe do Buzinote**

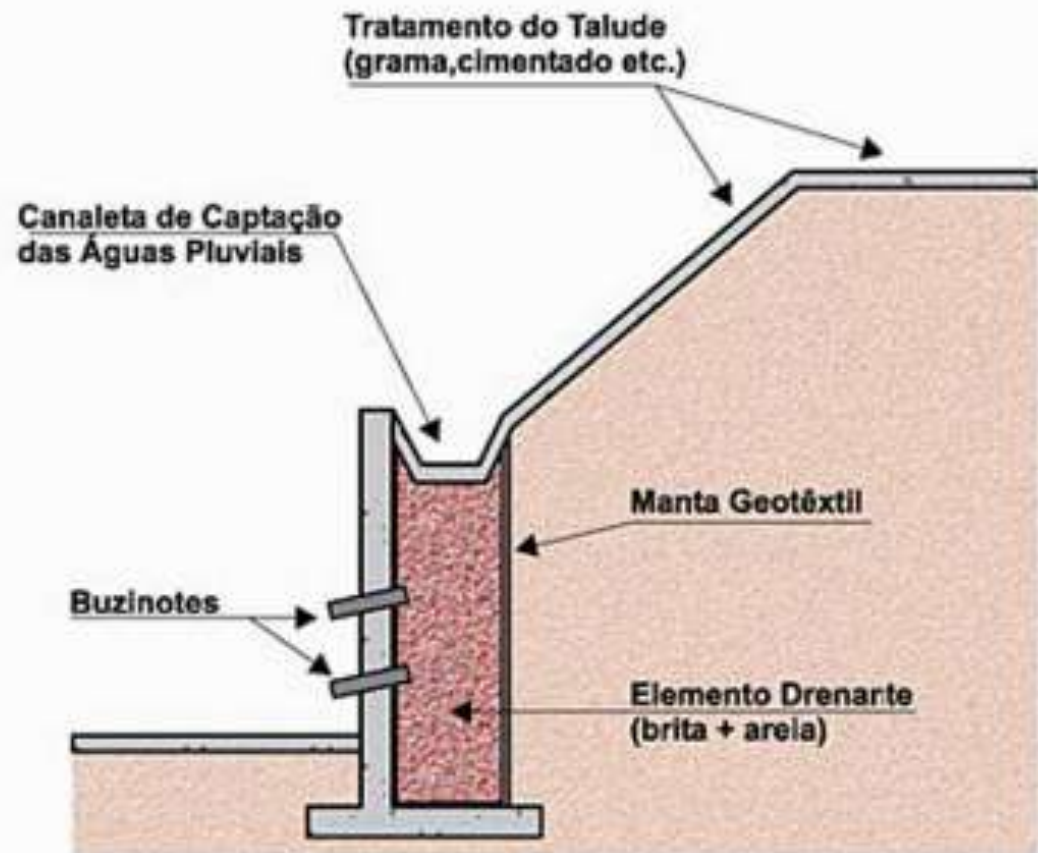
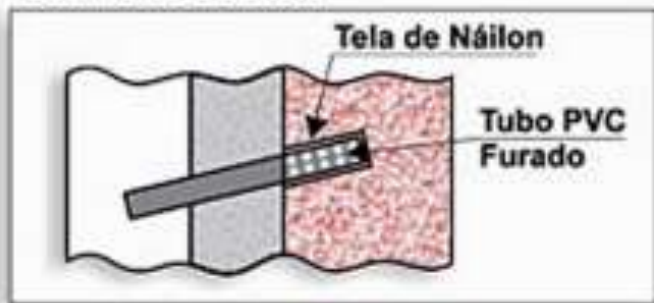


Fig. 3.5.1. Drenagem em muro de arrimo

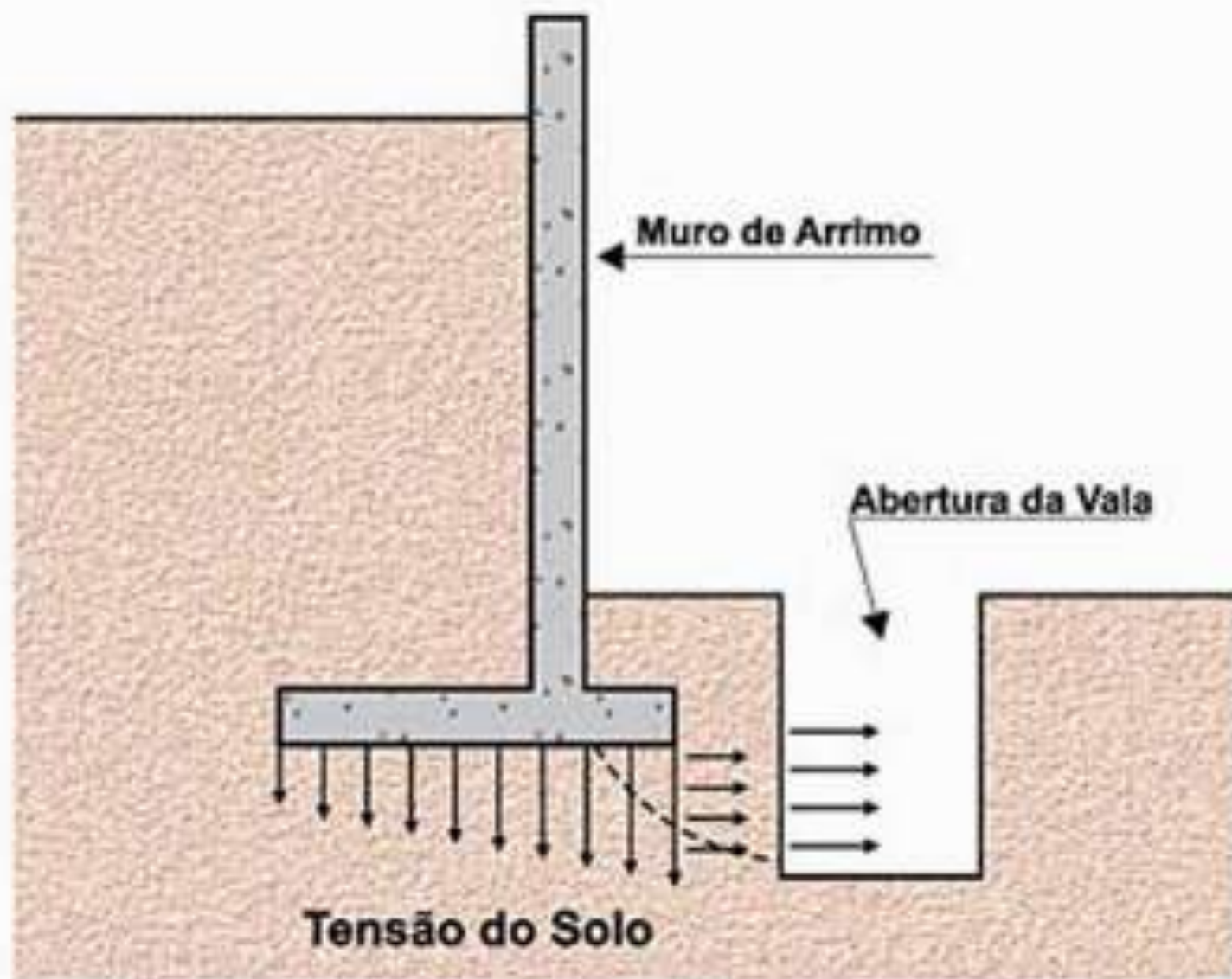
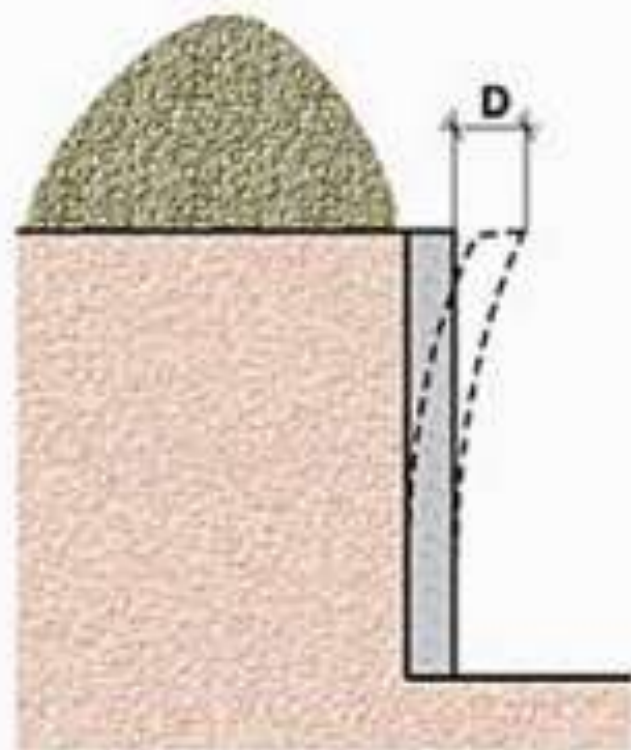
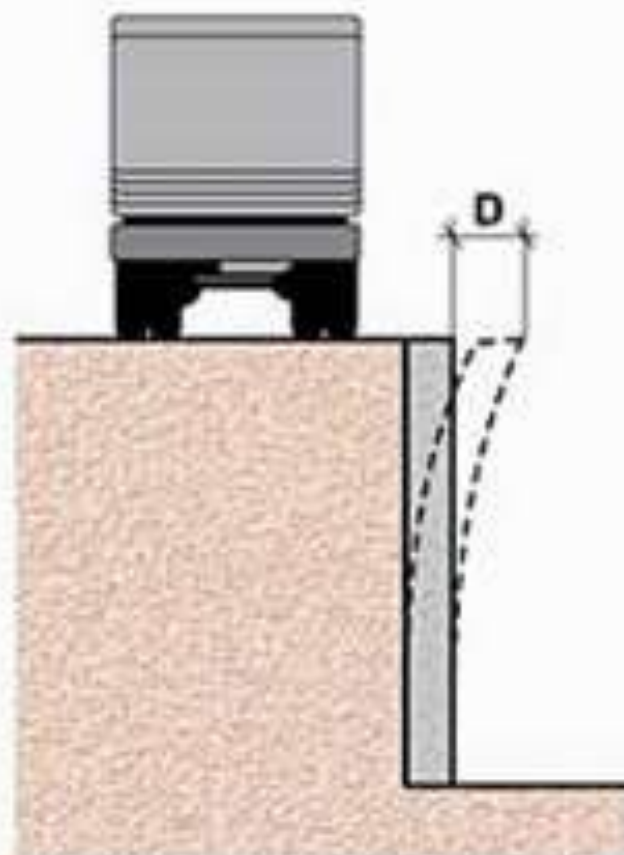


Fig. 3.6.1. Abertura de valas próximas de muros de arrimo





**Sobrecarga Acidental**



**Tráfego de Veículo Pesado**

Fig. 3.7.1. Sobrecarga em muro de arrimo areia/terra ou mat. de construção

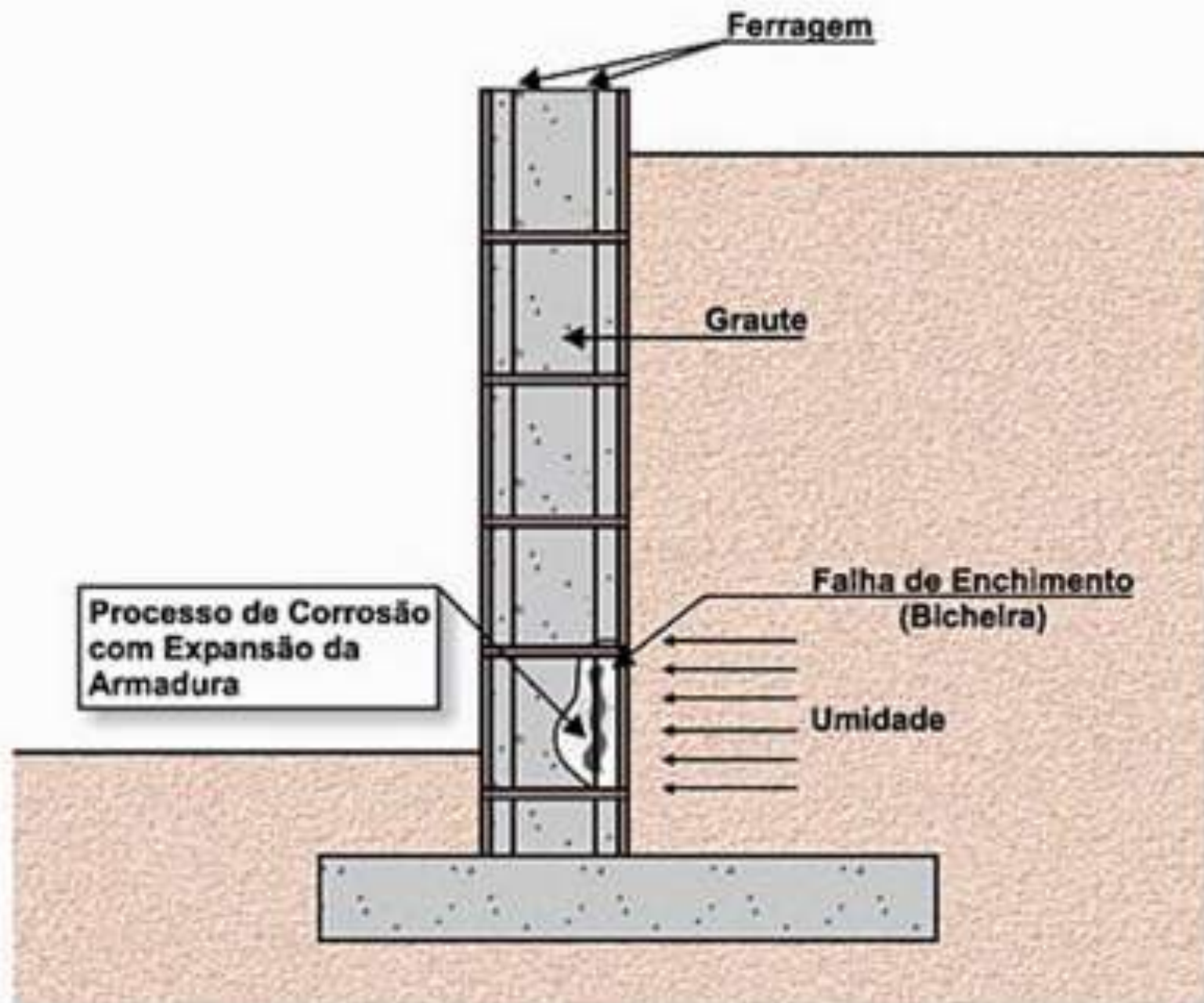


Fig. 3.8.1. Muros de arrimo de alvenaria estrutural

# SINISTRO DEVIDO A FALHAS NA EXECUÇÃO DE ESTACAS

- Os problemas na execução das fundações com estacas são:
  - Estacas fora da posição correta.
  - Erros de cravação .
  - Nega falsa.
  - Falhas na execução de estacas moldadas no local .
  - Outros

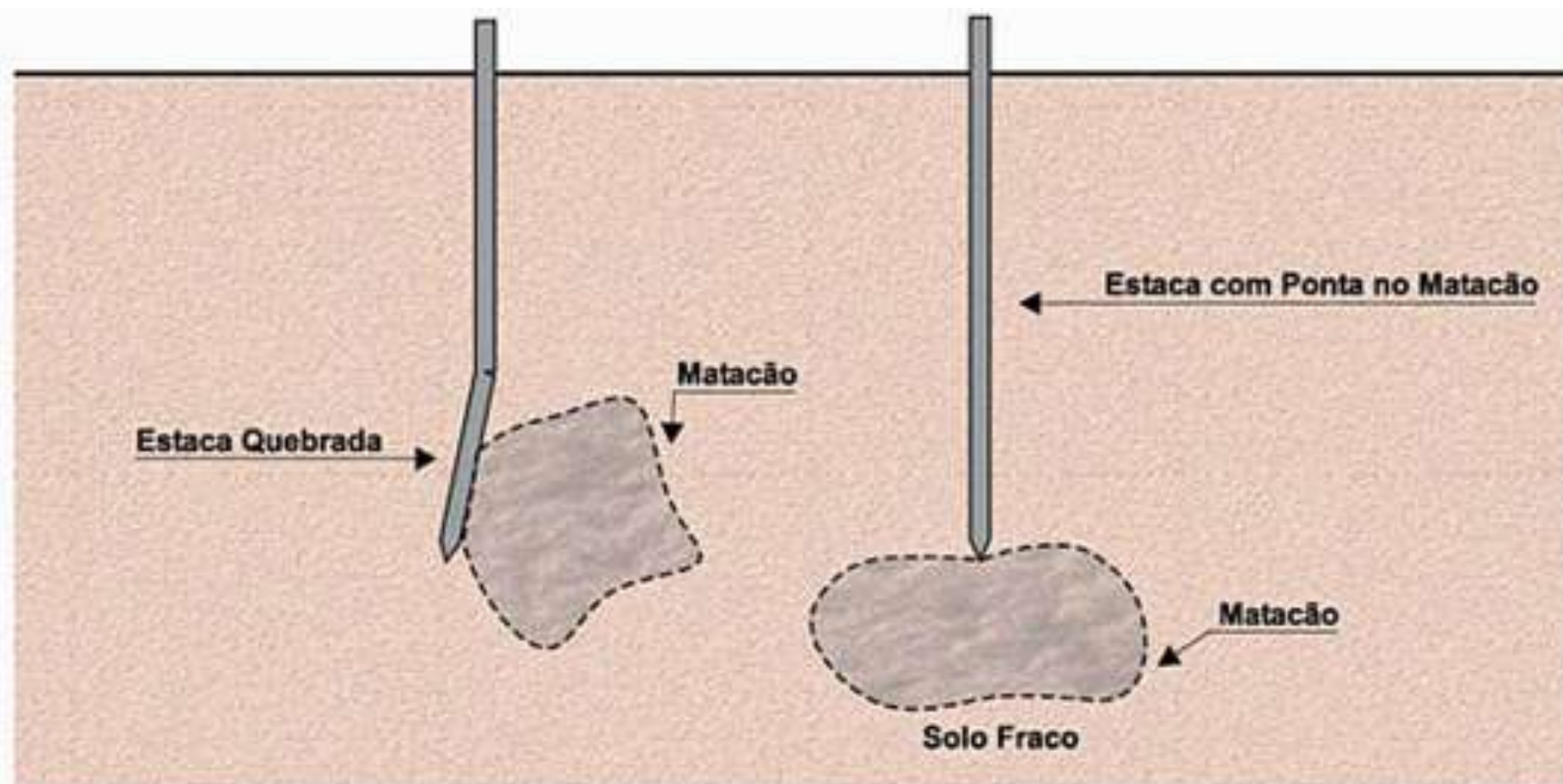


Fig. 4.6.2. Estaca cravada em terreno com matação

# STRAUSS e do tipo BROCCAS



Fig. 4.6.4. Falhas em estacas moldadas no local

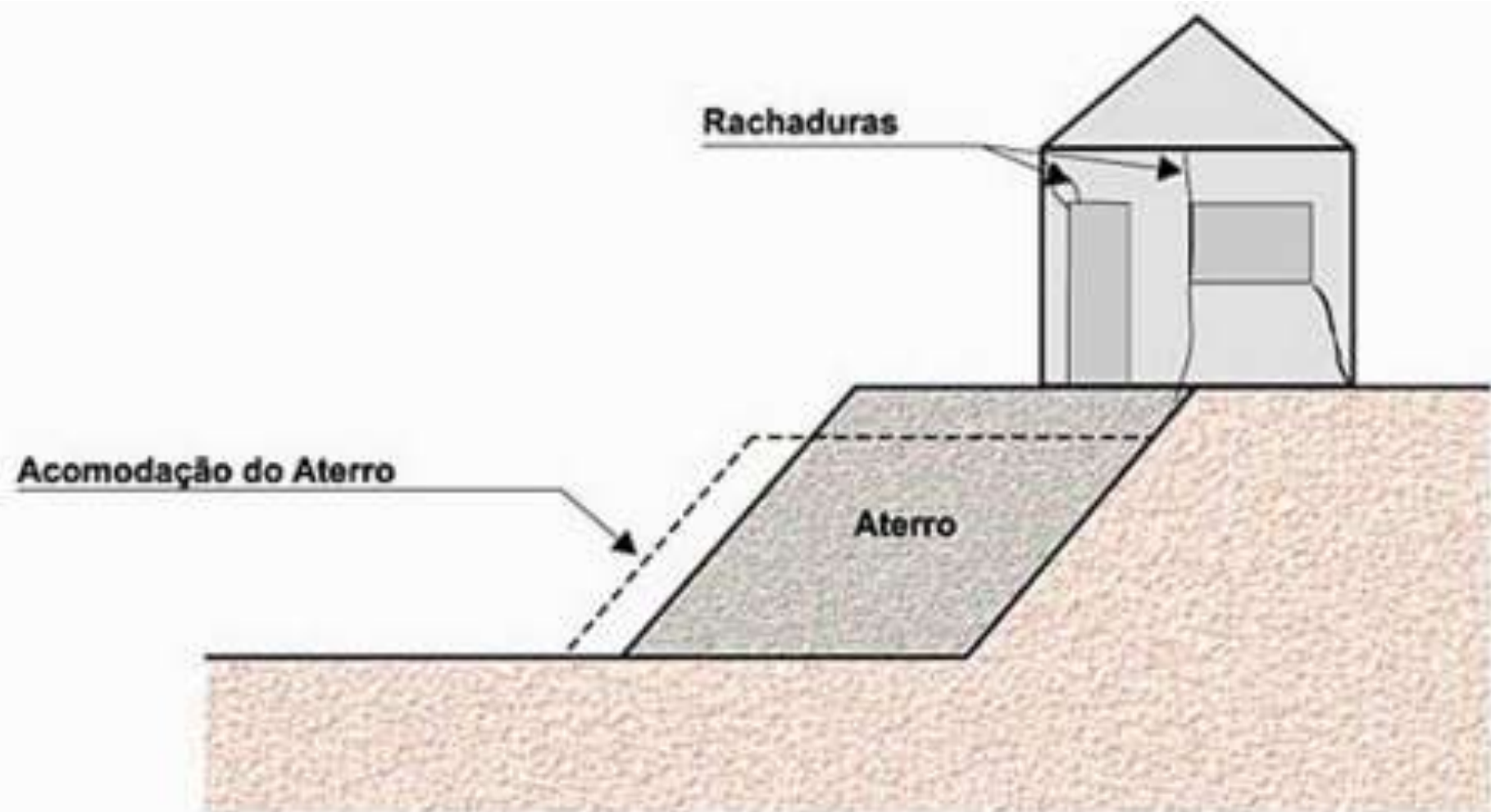


Fig. 4.7.1. Edificação sobre aterro e solo natural

# RECALQUE DEVIDO A REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

- É utilizado em todo tipo de obra que requer escavações em profundidades abaixo do nível da água natural (galerias, metrô, tuneis, etc);
- Possibilidades de ocorrência de recalque nas fundações das edificações vizinhas;
- Executar a escavação utilizando-se paredes impermeáveis, e o sistema de rebaixamento por sua vez deverá ficar restrito ao interior da escavação.
- Recorrer ao reforço da fundação prejudicada.

# Reforço de fundações

- Normalmente os recalques podem ser causados:
  - vazamento hidráulicos,
  - Infiltração de águas pluviais,
  - Rebaixamento de lençol freático
  - Construções de obras nas proximidades,
  - Erro de projeto.

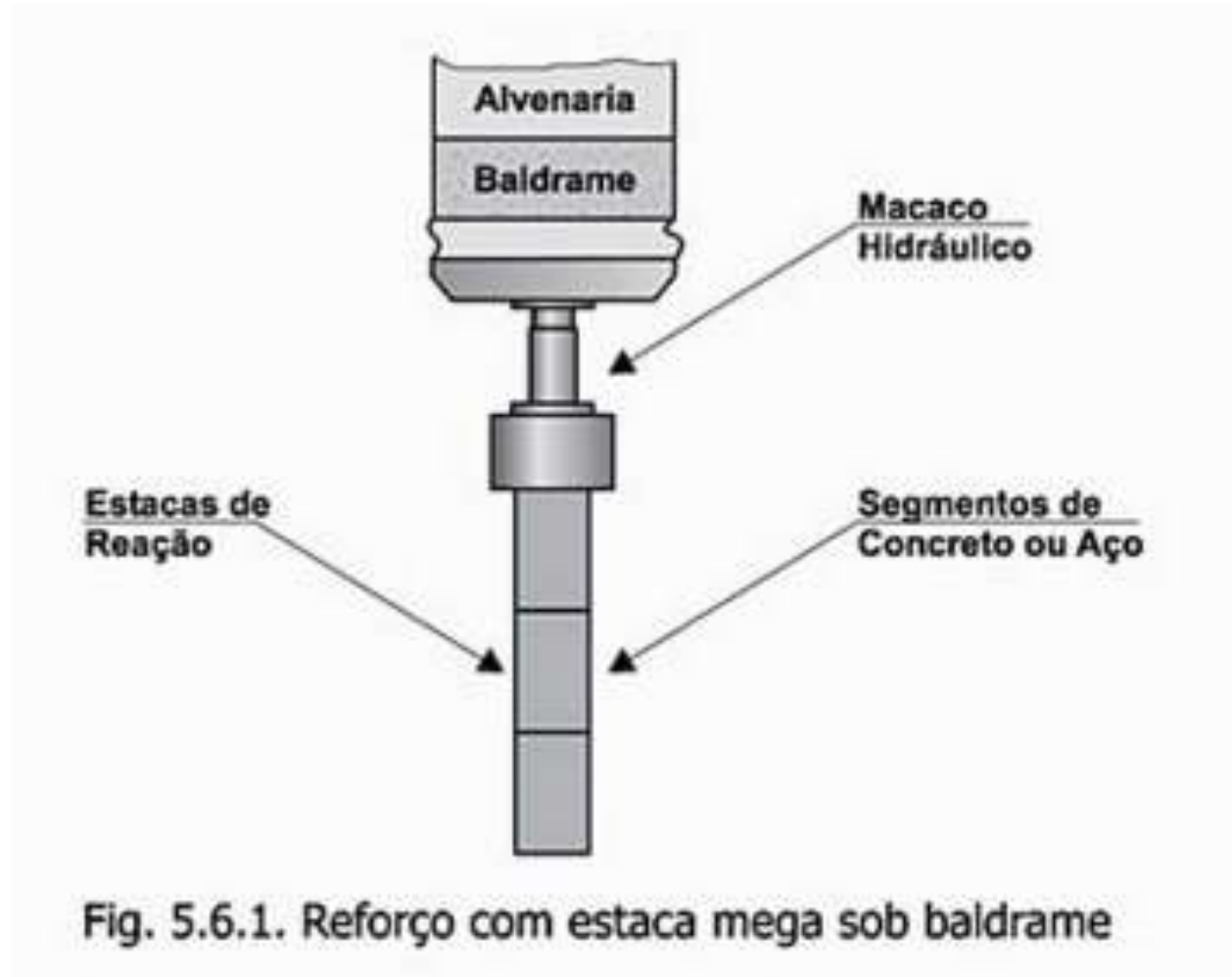


# Reforço de fundações

- Análise dos danos existentes na edificação.
- Medições da evolução das anomalias e dos recalques diferenciais.
- Análise das características geotécnicas do subsolo.
- Análise das características da Infra-estrutura e da Superestrutura.
- Definição da causa e do reforço de fundações a ser adotado.

# Reforço de fundações

- Reforço com estaca de reação ou estaca mega.



# Reforço de fundações

- Reforço com estaca raiz.
  - É executada utilizando-se camisa metálica de pequeno diâmetro, que permite a injeção, compressão, da calda de cimento para o solo.
  - Forma o corpo da estaca.
  - Recebe armadura em toda sua extensão;
  - Utiliza equipamento de pequeno porte.

# Reforço de fundações

- Reforço com estaca raiz.



# Reforço de fundações

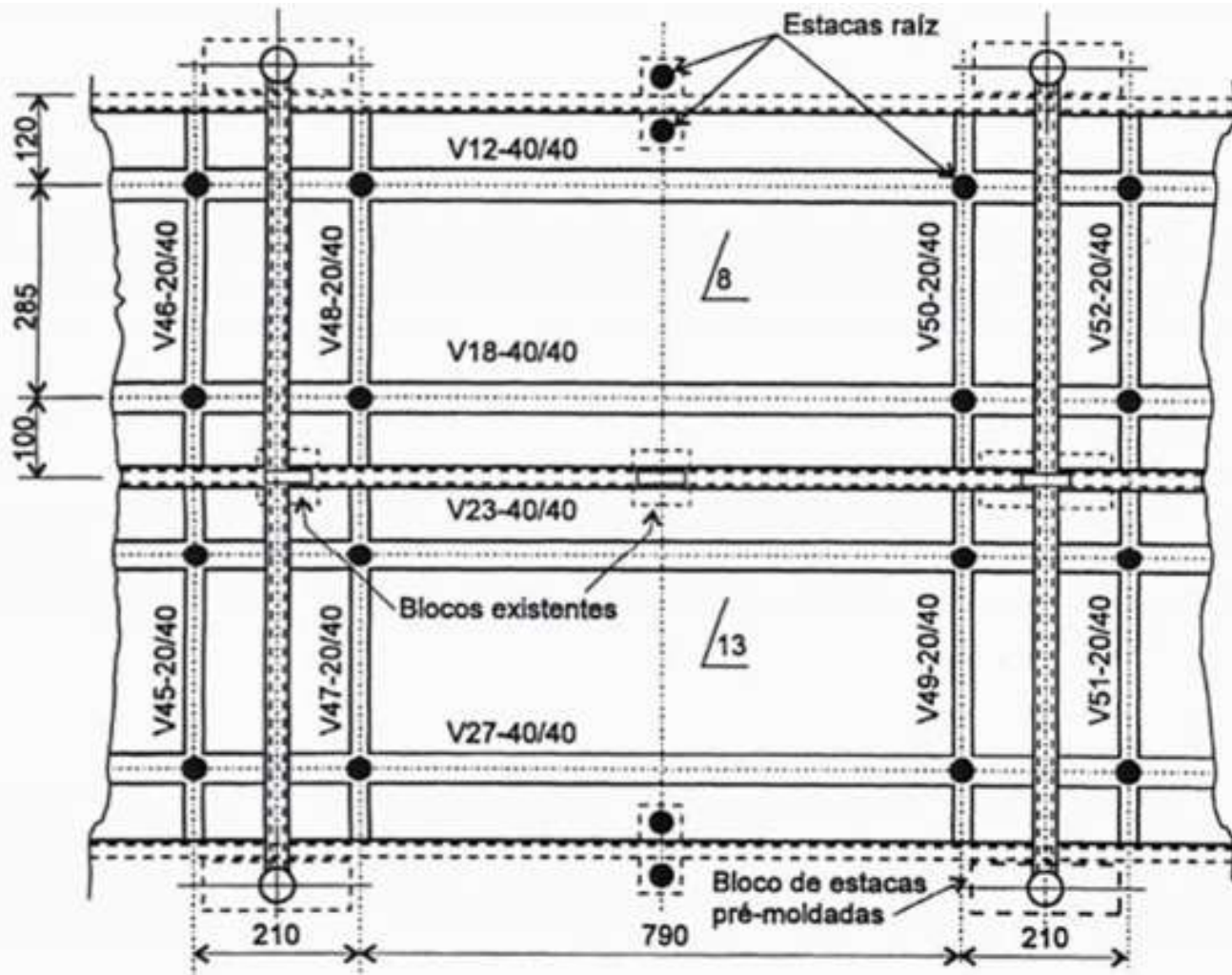
- Reforço com estaca raiz.



# Reforço de fundações

- Reforço com estaca raiz.





**Fig. 2**  
Detalhe típico da estrutura de reforço do piso

# Reforço de fundações

- Reforço através da injeção de calda de cimento no solo.

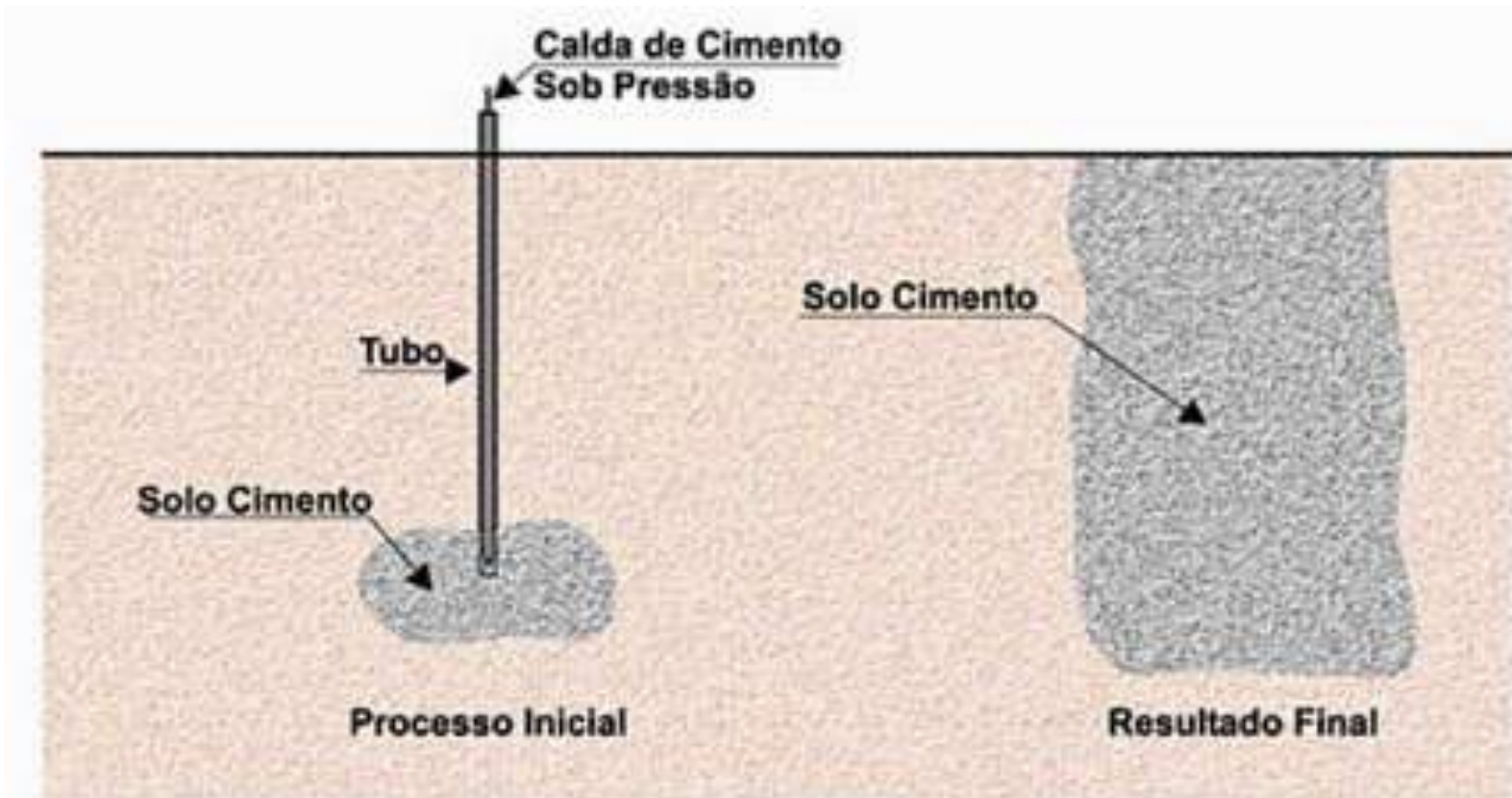


Fig. 5.6.3. Injeção de calda de cimento no solo



# Reforço de fundações

- Reforço com brocas.

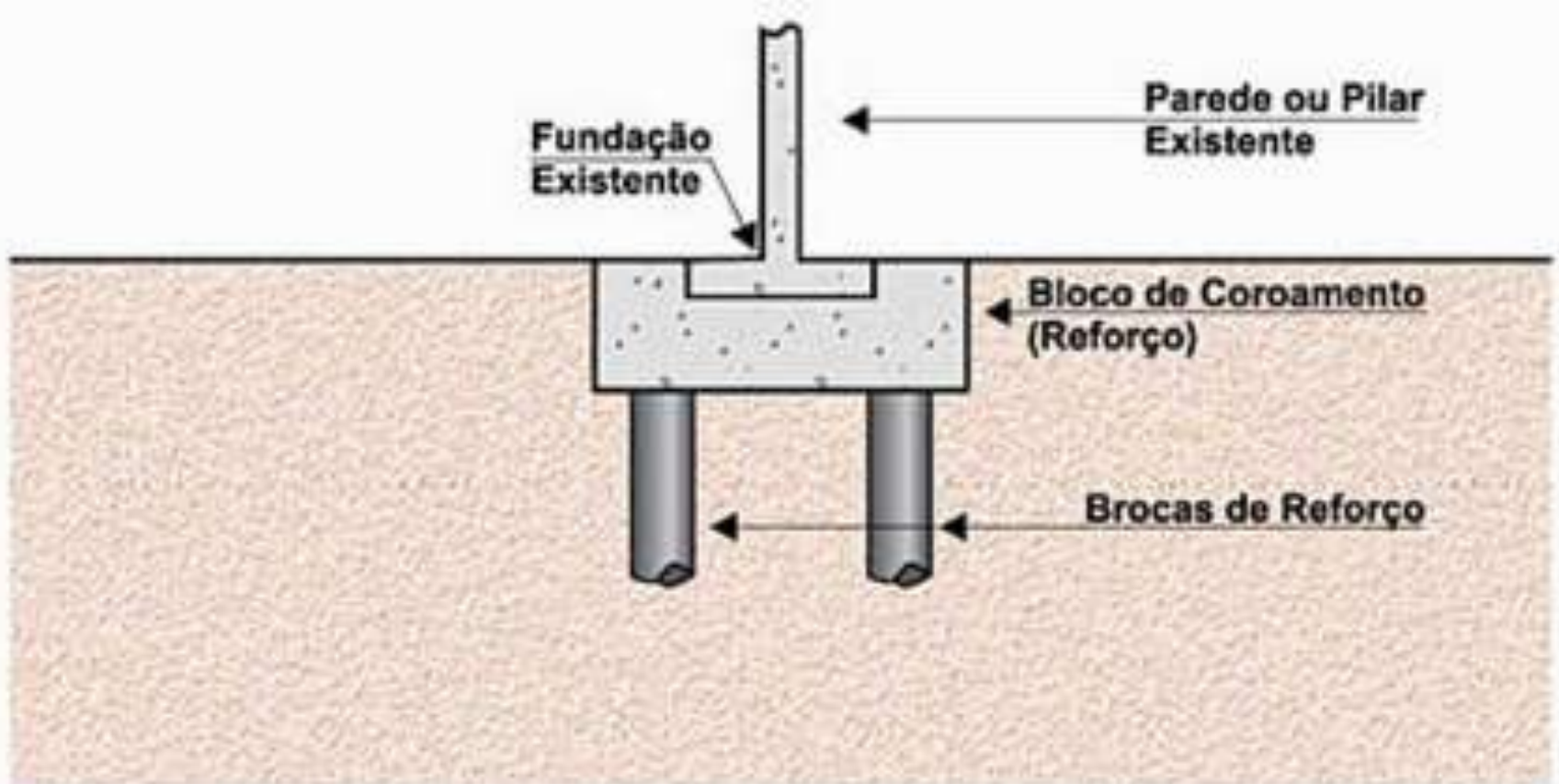


Fig. 5.6.4. Reforço de fundação com brocas

# Reforço de fundações

- Reforço com brocas.
- A sua execução se torna difícil ou até mesmo inviável quando:
  - O terreno local é constituído por aterro com entulho de obra. A escavação não é possível devido à presença de vários obstáculos que impendem a escavação.
  - Terrenos arenosos com nível de água elevado dificultam a escavação - desmoronamento das paredes laterais da broca,
  - Adrenagem do buraco.

# Reforço de fundações

- Reforço com sapatas.

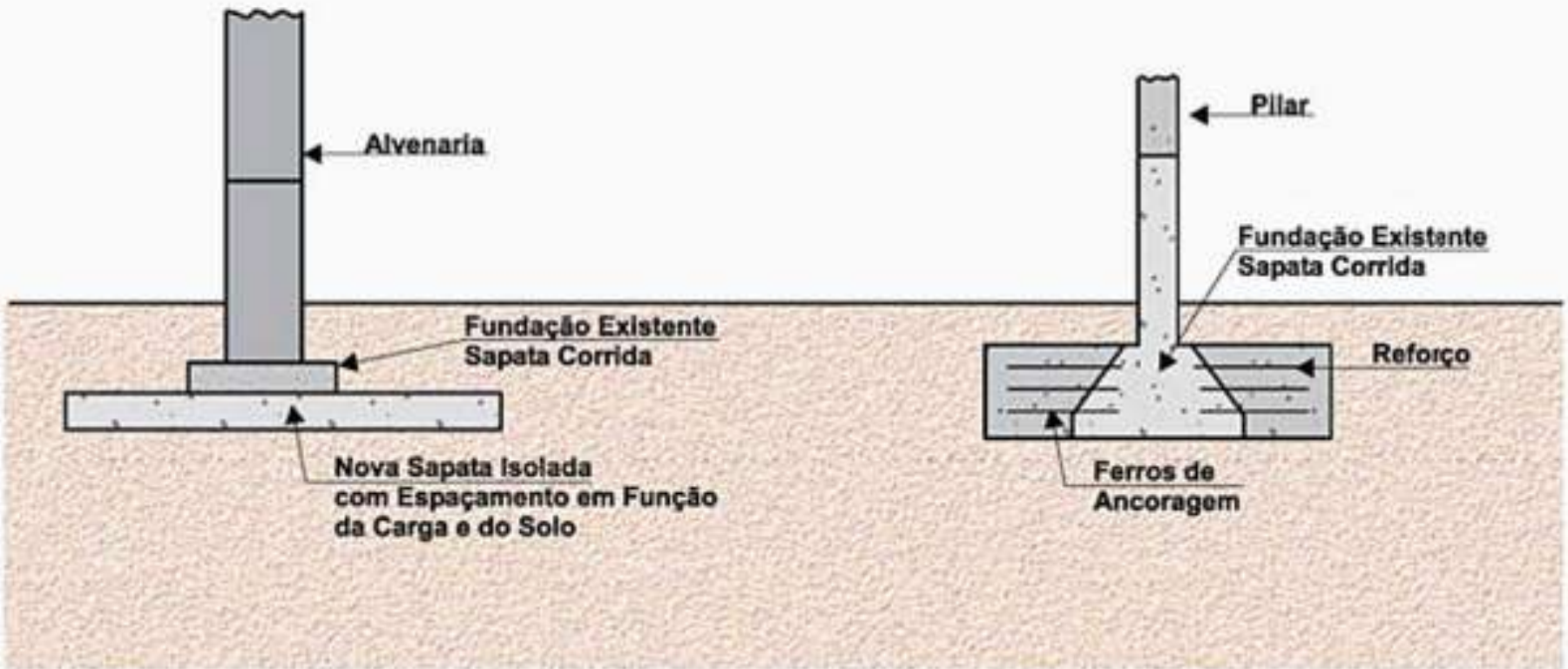


Fig. 5.6.5. Reforço de fundação com sapata

# Reforço de fundações

- Reforço com sapatas.

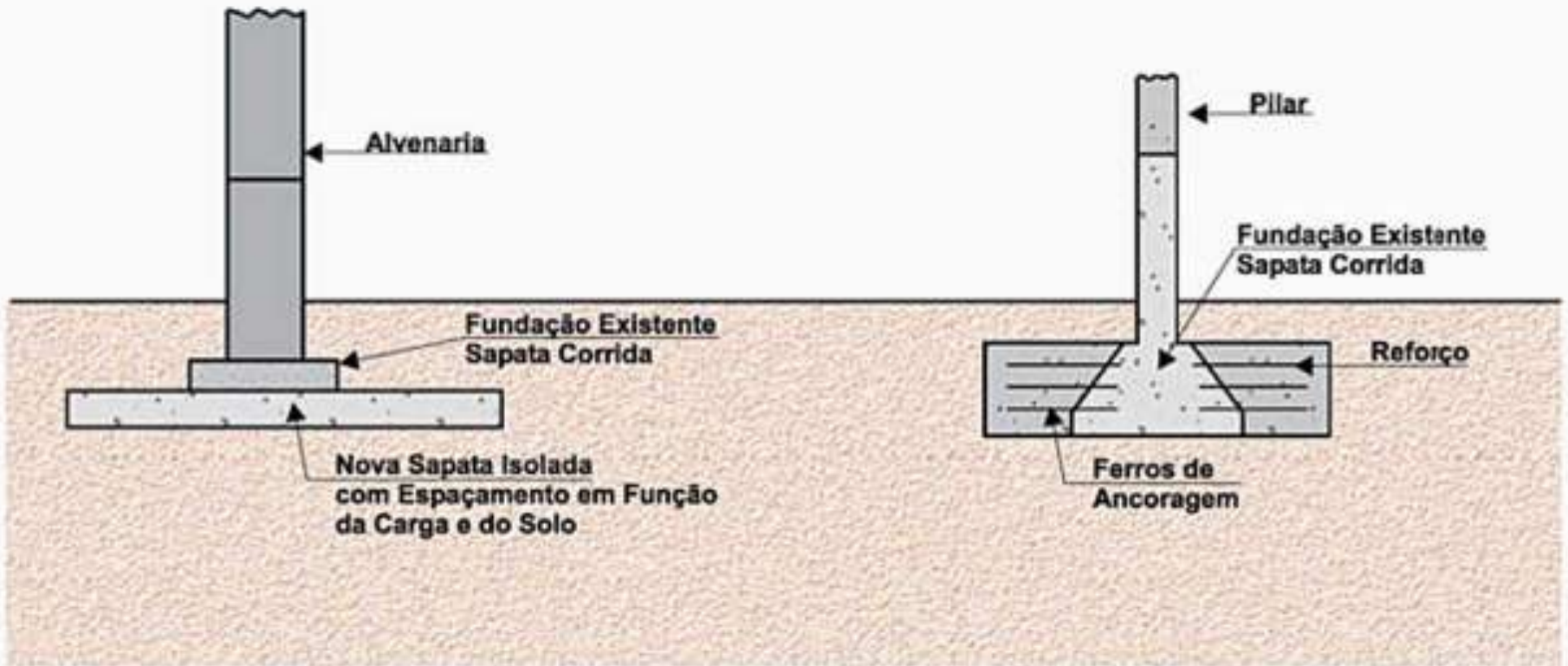


Fig. 5.6.5. Reforço de fundação com sapata