

Mecânica dos Solos e Fundações  
PEF 522

Conceitos de Tensões total, neutra e efetiva  
Capilaridade  
Propagação de tensões no solo

---

---

---

---

---

---

---

---

## Princípios da Mecânica

- Força
- Equilíbrio
- Tensão
  - Tensão normal
  - Tensão tangencial ou tensão de cisalhamento
- Deslocamento
- Deformação

---

---

---

---

---

---

---

---

## Princípios da Mecânica

- Força
  - Agente capaz de alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo ou sua deformação.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Princípios da Mecânica

- Equilíbrio

- Se a força resultante for nula ( $F = 0$ ) o corpo estará em repouso (equilíbrio estático) ou em movimento retilíneo uniforme (equilíbrio dinâmico).

---

---

---

---

---

---

---

---

## Princípios da Mecânica

- Tensão

- Força sobre área de atuação
  - Tensão normal
    - Positiva para compressão
  - Tensão tangencial ou tensão de cisalhamento

---

---

---

---

---

---

---

---

## Princípio das Tensões Efetivas

- O Princípio das Tensões Efetivas se aplica somente à solos totalmente saturados

- $S_r = 100\%$
- $V_w = V_v$

---

---

---

---

---

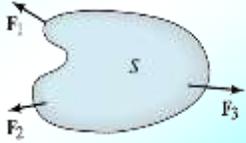
---

---

---

## Tensão

- Conceito de tensão
  - Corpo em equilíbrio



---

---

---

---

---

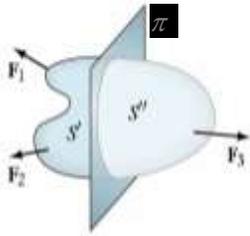
---

---

---

## Tensão

- Corpo subdividido em duas partes por um plano  $\pi$



---

---

---

---

---

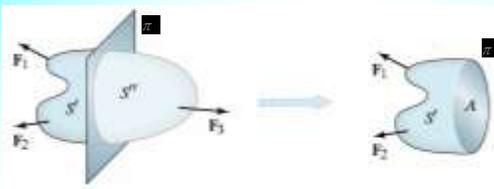
---

---

---

## Tensão

- Isolando uma das partes:



---

---

---

---

---

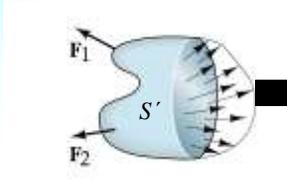
---

---

---

## Tensão

- Uma infinidade de forças atuando na seção de corte garantem o equilíbrio da parte  $S'$ .



---

---

---

---

---

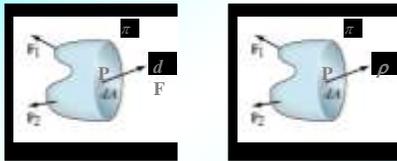
---

---

---

## Tensão

- Tensão no ponto P, pelo plano  $\pi$ .



$$\rho = \frac{dF}{dA}$$

---

---

---

---

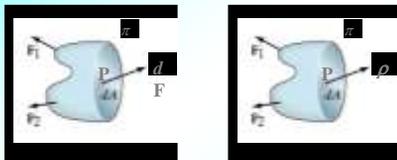
---

---

---

---

## Tensão



- $\rho$  e  $dF \Rightarrow$  mesma direção e mesmo sentido

---

---

---

---

---

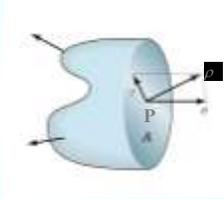
---

---

---

## Tensão

- Duas componentes:



---

---

---

---

---

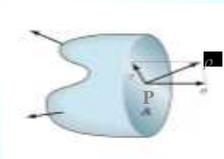
---

---

---

## Estado de Tensão - Tensões Principais

- Variando plano  $\pi \Rightarrow$  a tensão  $\rho$  também varia
- Existem infinitas tensões atuando no ponto P.
- Diz-se então que no ponto P existe um *estado de tensão*.



---

---

---

---

---

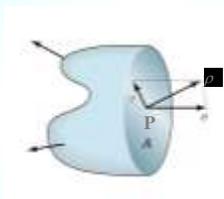
---

---

---

## Estado de Tensão - Tensões Principais

- Se  $\rho$  varia, então  $\sigma$  e  $\tau$  também variam.



---

---

---

---

---

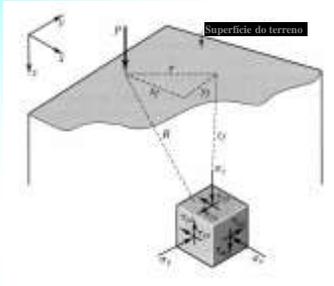
---

---

---

## Tensões e Deformações

### Estado de tensão em um ponto




---

---

---

---

---

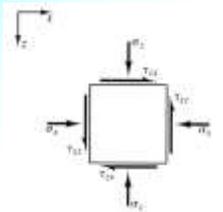
---

---

---

## Tensões e Deformações

### Convenção de sinais



- $\sigma$  = tensão normal (>0, compressão)
- $\tau$  = tensão tangencial ou tensão de cisalhamento (>0, quando tende a girar o elemento no sentido anti-horário)

---

---

---

---

---

---

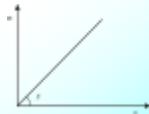
---

---

## Tensões e Deformações

- Material elástico-linear
  - Módulo de elasticidade

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$



- Módulo de cisalhamento

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

---

---

---

---

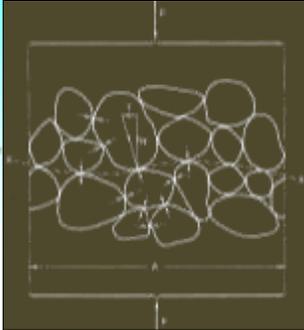
---

---

---

---

## Princípio das Tensões Efetivas



A tensão normal efetiva ( $\sigma'$ ) é interpretada como sendo a soma de todas as componentes normais  $N'_i$ , compreendidas pela área  $A$ , dividida pela área  $A$ :

$$\sigma' = \frac{\sum N'_i}{A}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Princípio das Tensões Efetivas

- **Tensão normal total:** força por unidade de área transmitida em uma direção normal a um plano, imaginando-se que o solo seja um material sólido (fase única);
- **Pressão neutra (ou poropressão):** pressão da água que preenche os vazios entre as partículas sólidas;
- **Tensão normal efetiva:** representa as tensões transmitidas somente através do esqueleto sólido.

---

---

---

---

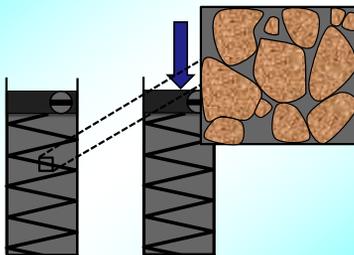
---

---

---

---

## Princípio das Tensões Efetivas Analogia mecânica



---

---

---

---

---

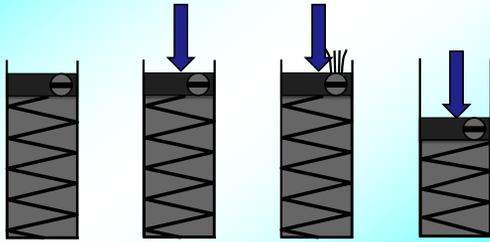
---

---

---

## Princípio das Tensões Efetivas

### Analogia mecânica




---

---

---

---

---

---

---

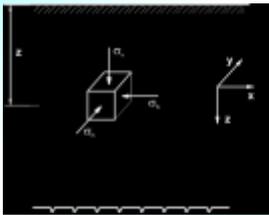
---

---

---

## Tensões Geostáticas

Esforços devido ao peso próprio



- Se a superfície do terreno for horizontal, as tensões totais numa determinada profundidade são determinadas considerando apenas o peso próprio do solo sobrejacente.

---

---

---

---

---

---

---

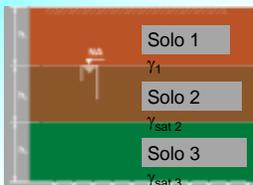
---

---

---

## Tensões Geostáticas

### Esforços devido ao peso próprio



- Se o solo for estratificado, as tensões totais verticais são determinadas por meio da seguinte expressão:

$$\sigma_v = \int_0^z \gamma dz$$

---

---

---

---

---

---

---

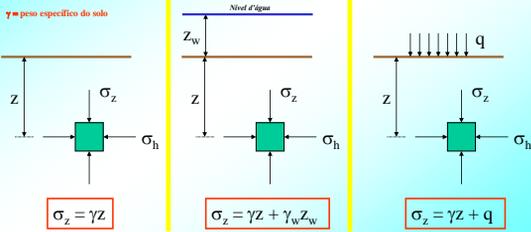
---

---

---

### Tensões no Solo

- No solo a tensão vertical em uma determinada profundidade é devida ao peso de tudo que se encontra acima.
- Ou seja, grãos de solo, água, fundações.
- Desta forma, a tensão normalmente aumenta com a profundidade.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Tensões no Solo

- ✓ Lembre-se que  $\gamma$  é o peso de tudo (solo e água) por unidade de volume.
- ✓ Como  $\sigma_z$  advém do peso total do solo ele é conhecido como tensão total.
- ✓ Note que a água no “lago” mostrado anteriormente aplica uma tensão total na superfície do solo da mesma forma que a água aplica um tensão na base de um copo de água.
- ✓ O peso específico de solos varia aproximadamente entre 20kN/m<sup>3</sup> para um solo saturado e 16kN/m<sup>3</sup> para um solo seco. E o peso específico da água vale 10kN/m<sup>3</sup>.
- ✓ Existem também as tensões horizontais  $\sigma_h$ , mas não existe uma relação simples entre  $\sigma_z$  e  $\sigma_h$ .

---

---

---

---

---

---

---

---

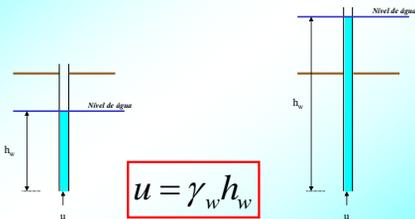
---

---

### Tensões no Solo

#### Água no solo e pressão da água

- A água nos poros de um solo saturado possui uma pressão conhecida como pressão de poro ou pressão neutra - u.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tensões no Solo

### Tensão Efetiva

- É claro que a movimentação do solo e a instabilidade dele pode ser causada por mudanças na tensão total, devida as cargas de fundações ou escavações em geral.
- No entanto, não é tão obvio que os movimentos do solo possam ser devido às variações de poro pressão (pressão neutra).
- Desta forma, se existe indução de deformação por mudança na tensão total ou da poro pressão, existe a possibilidade do comportamento do solo ser governado por uma combinação entre  $\sigma$  e  $u$ .
- Esta combinação é conhecida como **tensão efetiva ( $\sigma'$ )**, por que ela é efetiva em determinar o comportamento do solo.
- O princípio das tensões efetivas foi estabelecido por Terzaghi em 1923.

$$\sigma' = \sigma - u$$

---

---

---

---

---

---

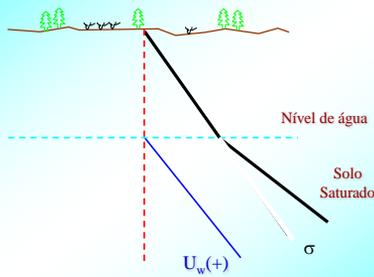
---

---

---

---

## Tensões Geostáticas



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tensões Geostáticas - Exemplo



---

---

---

---

---

---

---

---

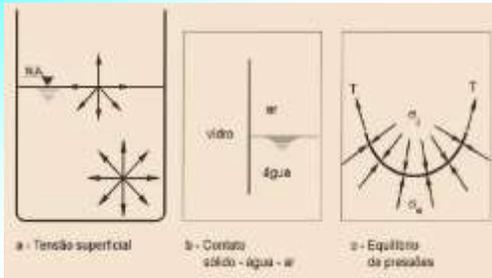
---

---





## Capilaridade




---

---

---

---

---

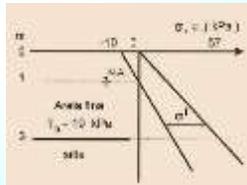
---

---

---

## Capilaridade

- Resistência à tração da água
- Limite da resistência - pressão atmosférica (tensões maiores no menisco)
- Capilaridade no solo




---

---

---

---

---

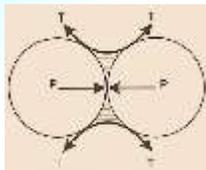
---

---

---

## Capilaridade

- Aplicação em resistência - coesão aparente




---

---

---

---

---

---

---

---

## Capilaridade

- Aplicação em resistência - *coesão aparente*



---

---

---

---

---

---

---

---

## Capilaridade

- Aplicação em resistência - *coesão aparente*



---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

Mecânica dos Solos e Fundações  
PEF 522

Transmissão de tensões no solo  
Recalques elásticos

Prof. Fernando A. M. Marinho

---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

Considerações Iniciais

- ✓ Para se avaliar o projeto de fundações é necessário se estimar os recalques verticais que ocorrerão como decorrência da aplicação de uma carga estática
- ✓ O recalque é a soma de três componentes:
  - O recalque imediato ou de distorção
  - O recalque por adensamento
  - O recalque secundário
- ✓ O recalque imediato é aquele que ocorre concomitantemente com a aplicação da carga.
- ✓ Embora este recalque não seja elástico ele é normalmente calculado utilizando-se a teoria da elasticidade, quando o recalque ocorre em solo argiloso

---

---

---

---

---

---

---

---

## Aplicabilidade da Teoria da Elasticidade

### Para cálculo de tensões

- ✓ Massa homogênea – Quando as condições de contorno do problema analítico se aproxima das condições de contorno “in situ”, a distribuição de tensões no campo são comparáveis àquelas obtidas pela análise linear elástica.

### Para cálculo de deslocamentos

- ✓ O cálculo de deslocamentos depende mais diretamente da natureza da lei constitutiva e das magnitudes dos parâmetros utilizados, desta forma, a habilidade da teoria da elasticidade em prever deslocamentos depende, de forma mais marcante, da não linearidade e da heterogeneidade do material “in situ”.
- ✓ Em outras palavras: quando não existe homogeneidade do material a teoria da elasticidade não pode ser aplicada.

---

---

---

---

---

---

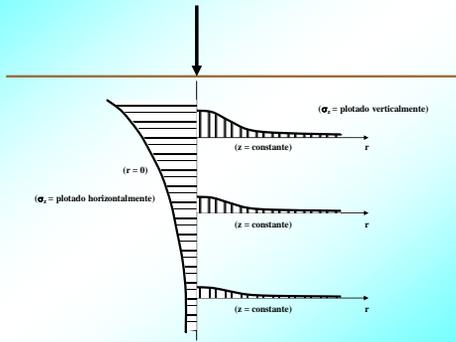
---

---

---

---

## Varição da tensão vertical devida à carga em um ponto



---

---

---

---

---

---

---

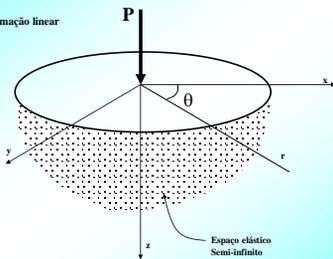
---

---

---

## O Problema de Boussinesq

- Espaço semi-infinito
- Material homogêneo
- Massa Isotrópica
- Relação tensão deformação linear



---

---

---

---

---

---

---

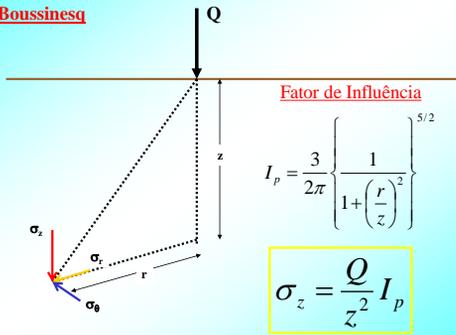
---

---

---

Tensão devida à carga em um ponto

**Boussinesq**




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- Um poste de transmissão de energia possui um peso de 50tf. Há uma dutovia que passa a uma profundidade de 5m no eixo deste poste. Calcular o acréscimo de tensão que o poste causará no solo acima da dutovia, em seu eixo, e a 2m de distância.

---

---

---

---

---

---

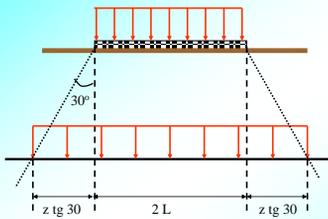
---

---

---

---

Espraiamento das tensões



$$\sigma_v = \frac{2L}{2L + 2z \operatorname{tg} 30^\circ} \sigma_o$$

---

---

---

---

---

---

---

---

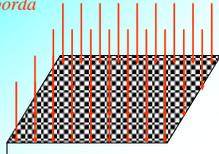
---

---



## Tensão

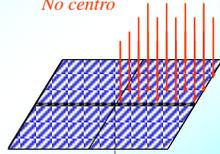
Na borda



$$\sigma_z = q * I_r$$

$\sigma_z$

No centro



$$\sigma_z = 4 * q * I_r$$

$\sigma_z$

Uma construção industrial apresenta planta retangular conforme figura abaixo. O seu radier vai aplicar uma pressão de 50 kPa no solo. Determine o acréscimo de tensão na vertical nos pontos A, B, C, D e E a 6m de profundidade.



## Recalques Elásticos

- Pressão uniformemente distribuída
- Material homogêneo
- Massa Isotrópica
- Relação tensão-deformação linear
- Área carregada é flexível.

$$r = \frac{qB}{E} (1 - \nu^2) I_s$$

- r = recalque
- $I_s$  = Fator de influência que depende da forma da área carregada
- B = para área retangular B é a menor dimensão e para área circular B é o diâmetro.

Forma da área	$I_s$		
	Centro	Canto	Média
Quadrado	1.12	0.56	0.95
Retângulo L/B=2	1.52	0.76	1.3
Retângulo L/B=5	2.1	1.05	1.83
Círculo	1	0.64	0.85

Tipo de Solo	E (kPa)
Argila muito mole	2500
Argila mole	2500 a 5000
Argila média	5000 a 10000
Argila rija	10000 a 20000
Argila muito rija	20000 a 40000
Argila dura	40000
Areia fofa	10000 a 50000
Areia compacta	40000 a 100000

