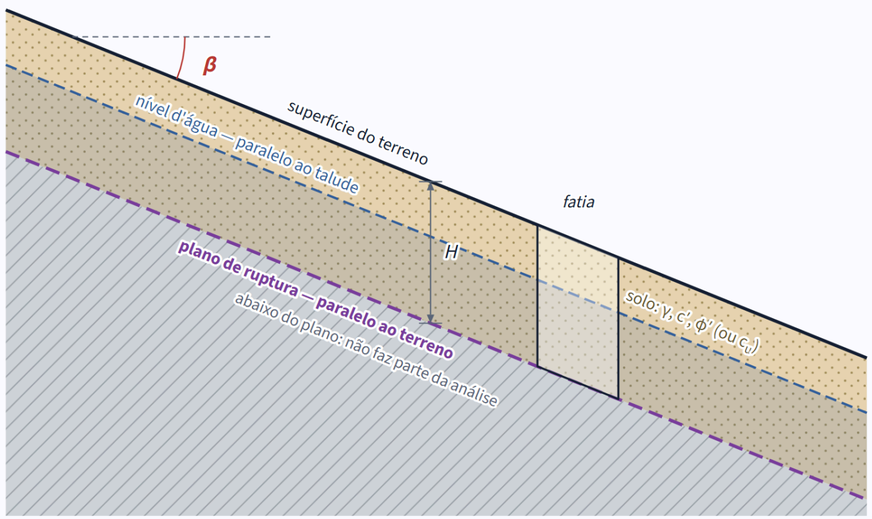
Apresentação de aula de geotecnia · Estabilidade de taludes

Estabilidade de talude infinito

Aula: modelo de talude infinito (superfície de ruptura paralela à superfície do terreno); tensões, fator de segurança, argila não drenada, água, coeficiente sísmico de escoamento, profundidade crítica e ângulo necessário; exemplo resolvido em cada tópico.



Talude infinito

Resistência ao cisalhamento e FS

Água · sismo

Profundidade crítica · ângulo necessário

Resolúvel à mão

Baseia-se na página de teoria do GeoTerva · geoterva.com

Introdução

O que veremos nesta aula?

Por que se usa o modelo de **talude infinito** em escorregamentos superficiais: uma camada fina de solo deslizando sobre um plano paralelo à superfície

As tensões no plano devidas a uma única **faixa** ($\sigma = \sigma_v \cos^2\beta$, $\tau = \sigma_v \sin\beta \cos\beta$) e a relação **$\tau/\sigma = \tan\beta$**

Fator de segurança pelo critério de **Mohr–Coulomb**: $FS = c'/(\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\varphi'/\tan\beta$; profundidade crítica H_{cr}, profundidade necessária H_{req}, ângulo necessário β_{req}

A argila **não drenada** (c_u, $\varphi = 0$) e o efeito da **água**: nível do lençol freático (percolação paralela ao talude), razão de poropressão r_u

Determinar o fator de segurança em **sismo pseudoestático** e o **coeficiente de escoamento k_y** (a aceleração horizontal a partir da qual a massa começa a deslizar)

ROTEIRO DA AULA

Cada tópico é tratado em **três etapas**:

1 · **Teoria**: qual é a regra e por que é assim?

2 · **Enunciado**: dados e o que se pede

3 · **Solução**: passo a passo, com números

Talude do exemplo: β = 15°, plano de ruptura vertical a 6 m de profundidade; solo γ = 17.8 kN/m³ (saturado 19.5), c′ = 10 kPa, φ′ = 20°; inicialmente sem poropressão. As tensões referem-se à área unitária do plano paralelo à superfície.

Uma fatia da massa

TEORIA

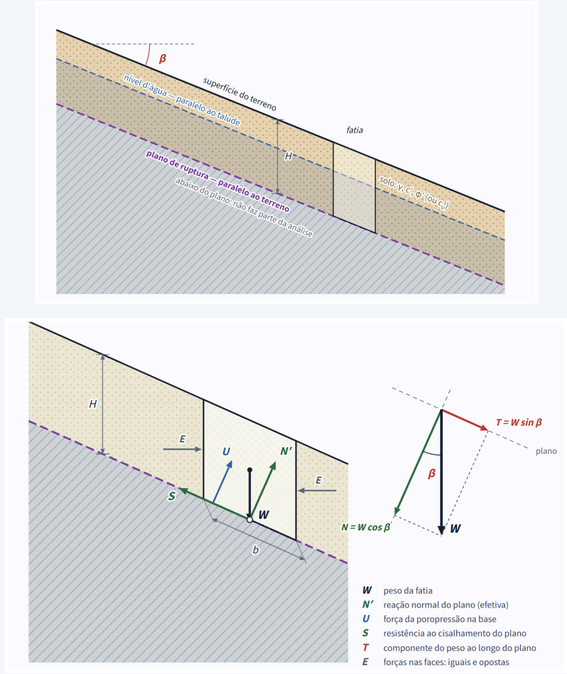
Muitas rupturas de talude são superficiais: uma camada fina de solo desliza ao longo de uma superfície paralela à do talude, a poucos metros de profundidade; o talude é tão longo que as suas extremidades pouco importam (talude de corte ou de aterro após um período úmido, talude natural de argila). O **talude infinito** é o modelo construído para esse caso: todo ponto do plano de ruptura está na mesma condição, de modo que uma fatia da massa representa o todo, e o seu equilíbrio ocupa poucas linhas.

Fatia: comprimento b ao longo do plano de ruptura, largura de 1 m ao longo do talude; o plano está à profundidade vertical H abaixo da superfície; as faces laterais são verticais e **se anulam mutuamente** (o talude é infinitamente longo, o solo é o mesmo em toda parte).

$$W = \gamma H b \cos\beta \qquad N = W\cos\beta \quad T = W\sin\beta$$

$$\sigma = \frac{N}{b} = \sigma_v \cos^2\beta \qquad \tau = \frac{T}{b} = \sigma_v \sin\beta\cos\beta \qquad \frac{\tau}{\sigma} = \tan\beta$$

Em uma fatia com as faces laterais removidas, as tensões sobre o plano são inclinadas segundo o ângulo do talude: τ/σ = tan β. Se houver dois pesos específicos acima do plano (lençol freático), então $\sigma_v = \gamma(H - h_w) + \gamma_{sat} h_w$; as equações permanecem as mesmas.



Enunciado

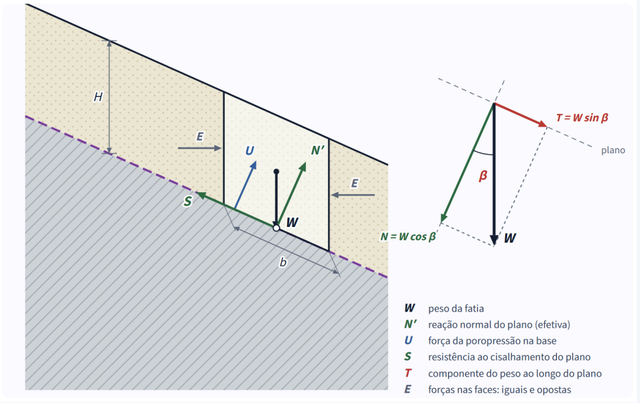
EXEMPLO

Dados

Talude	$\beta = 15^\circ$; **plano de ruptura vertical a** $H = 6$ **m de profundidade**
Solo	$\gamma = 17.8$ **kN/m³; sem poropressão**

PEDE-SE

Tensão vertical σ_v, tensão normal σ e tensão de cisalhamento τ no plano.



Solução

SOLUÇÃO

1 Tensão vertical

$$\sigma_v = \gamma H = 17.8 \times 6 = \mathbf{106.80}\ \text{kPa}$$

2 Tensão normal e tangencial ao plano

$$\sigma = \sigma_v \cos^2\beta = 106.80 \times 0.93301 = \mathbf{99.65}\ \text{kPa}$$

$$\tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta = 106.80 \times 0.25000 = \mathbf{26.70}\ \text{kPa} \qquad \frac{\tau}{\sigma} = 0.2679 = \tan 15^\circ\ \checkmark$$

Sobre a área unitária do plano atuam uma tensão normal **σ = 99.65 kPa** e uma tensão cisalhante **τ = 26.70 kPa**; a razão τ/σ = 0.2679 = tan 15°, ou seja, a tensão é inclinada tanto quanto o talude.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Mohr–Coulomb, solução fechada, profundidade crítica

TEORIA

O solo no plano suporta a resistência ao cisalhamento τ_f: na análise drenada, a resistência de Mohr–Coulomb depende da tensão normal efetiva ($\sigma' = \sigma - u$). O fator de segurança é a razão entre a resistência e a tensão: a coesão e o atrito são reduzidos pelo mesmo fator, até que a faixa fique apenas em equilíbrio:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan\varphi' \qquad FS = \frac{\tau_f}{\tau} \qquad \sigma' = \sigma - u$$

Sem poropressão, $\sigma' = \sigma$ e, a partir das tensões, obtém-se uma **solução em forma fechada**:

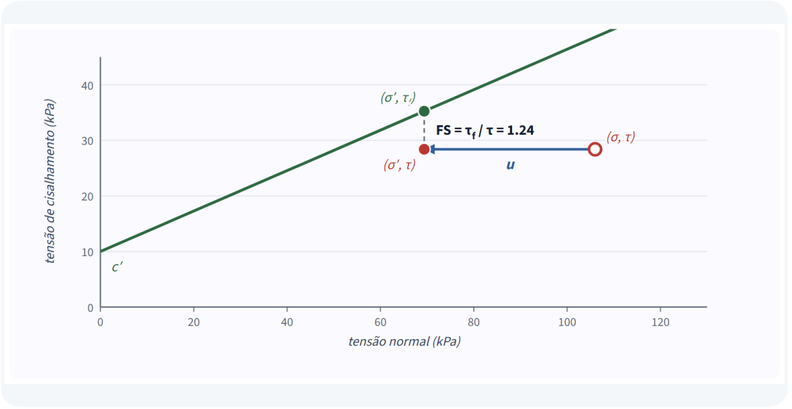
$$FS = \frac{c'}{\gamma H \cos^2\beta \, \tan\beta} + \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$$

Solo não coesivo ($c' = 0$): $FS = \tan\varphi'/\tan\beta$; se o talude for menos inclinado que φ', é seguro em qualquer profundidade.

Solo coesivo: a coesão sustenta o plano próximo à superfície (FS grande); com o aumento da profundidade, FS diminui e se reduz ao atrito apenas.

Se $\beta > \varphi'$, existem uma **profundidade crítica**, em que $FS = 1$, e uma **profundidade necessária**, em que $FS = FS_{req}$; para solo não coesivo, β_{req}: $\tan\beta_{req} = \tan\varphi'/FS_{req}$:

$$H_{cr} = \frac{c'}{\gamma} \frac{1}{\cos^2\beta(\tan\beta - \tan\varphi')} \qquad H_{req} = \frac{c'}{\gamma \cos^2\beta \, (FS_{req} \tan\beta - \tan\varphi')}$$



Enunciado

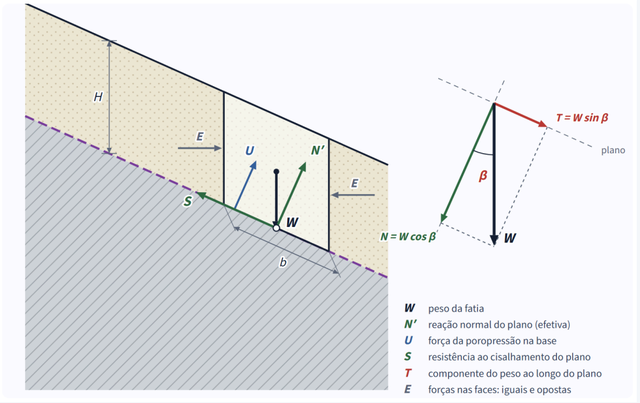
EXEMPLO

Dados

Talude e solo	**Exemplo 1:** $\beta = 15°$, $H = 6$ **m,** $\gamma = 17.8$ **kN/m³;** $c' = 10$ **kPa,** $\varphi' = 20°$**; sem poropressão**

PEDE-SE

τ_f e **FS** do plano; verificação por solução fechada.



Solução

SOLUÇÃO

1 Resistência e fator de segurança (com as tensões do Exemplo 1)

$$\tau_f = c' + \sigma \tan \varphi' = 10 + 99.65 \times 0.36397 = \mathbf{46.27}\ \text{kPa}$$

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{46.27}{26.70} = \mathbf{1.733}$$

2 Solução fechada (verificação)

$$FS = \frac{10}{17.8(6)(0.93301)(0.26795)} + \frac{0.36397}{0.26795} = 0.3745 + 1.3584 = \mathbf{1.7329}$$

O fator de segurança é **1.733**. O termo de coesão é 0.3745 e o termo de atrito é tan 20°/tan 15° = 1.3584: a soma resulta no mesmo número. Como o talude (15°) é mais abatido que o ângulo de atrito (20°), o atrito sozinho garante a estabilidade; a coesão acrescenta margem.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

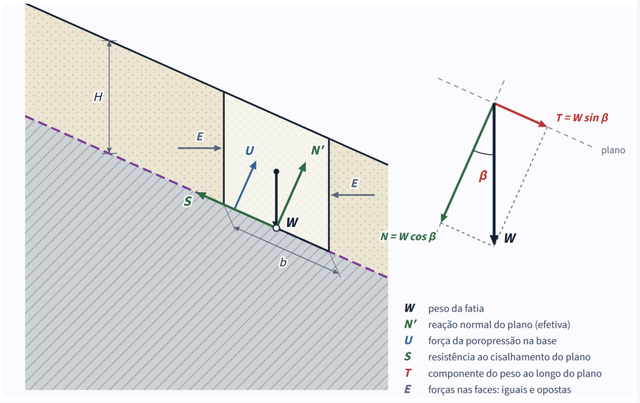
EXEMPLO

Dados

Solo	**Solo do Exemplo 2 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\gamma = 17.8$ kN/m³)**
Pede-se	**fator de segurança requerido $FS_{req} = 2.0$; além disso, a profundidade crítica para um talude mais inclinado $\beta = 25°$**

PEDE-SE

H_{req} (β = 15°); **β_{req}** (H = 6 m); **H_{cr}** para β = 25°.



Solução

SOLUÇÃO

1 Profundidade necessária (β = 15°; FS_{req} = 2)

$$H_{req} = \frac{c'}{\gamma \cos^2\beta(FS_{req}\tan\beta - \tan\varphi')} = \frac{10}{17.8(0.93301)(2(0.26795) - 0.36397)} = \mathbf{3.50}\ \text{m}$$

2 Ângulo necessário (H = 6 m): raiz da equação FS(β) = 2; profundidade crítica (β = 25°)

$$FS(\beta) = \frac{10}{106.8\cos^2\beta\tan\beta} + \frac{0.36397}{\tan\beta} = 2 \Rightarrow \beta_{req} = \mathbf{13.02}^\circ$$

$$H_{cr}(25^\circ) = \frac{10}{17.8(0.8214)(0.4663 - 0.3640)} = \mathbf{6.68}\ \text{m}$$

Para FS = 2, o plano pode estar, no máximo, a **3.50 m** de profundidade; a 6 m, para a mesma segurança, o talude não deve ser mais íngreme que **13.0°**. Como β = 25° > φ′, existe uma profundidade crítica na qual FS cai a 1: **6.68 m**. No talude existente (β < φ′), não há profundidade crítica.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Tensão total: c_u e $\varphi = 0$

TEORIA

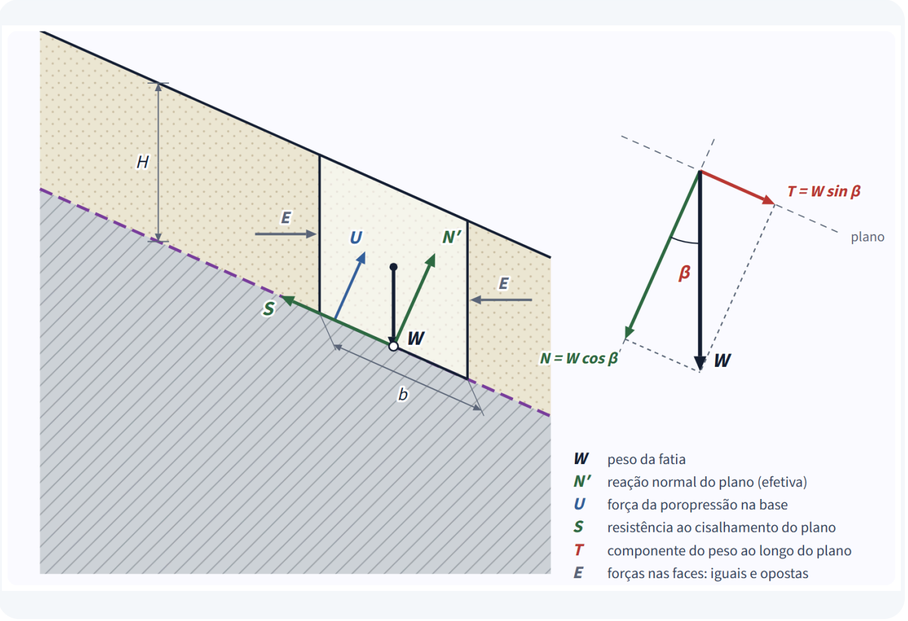
A argila saturada carregada ou escavada rápido demais para haver drenagem (condição de curto prazo de um corte em argila mole) é resolvida **em tensões totais**, com c_u e $\varphi = 0$. A resistência não depende da tensão normal; a poropressão não é introduzida:

$$FS = \frac{c_u}{\tau} = \frac{c_u}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{2c_u}{\gamma H \sin 2\beta}$$

$\tau = (\gamma H/2)\sin 2\beta$ é máxima em um talude de 45°; FS é **inversamente proporcional** à profundidade: um plano com o dobro da profundidade tem metade do FS.

Uma argila estável em condição não drenada no curto prazo pode não ser estável depois de drenada: o longo prazo corresponde a uma **análise drenada**, com as poropressões do lençol freático e c', φ' drenados.

$H_{cr} = c_u/(\gamma \sin\beta \cos\beta)$; $H_{req} = c_u/(FS_{req}\, \gamma \sin\beta \cos\beta)$; $\sin 2\beta_{req} = 2c_u/(FS_{req}\, \gamma\, H)$.



Enunciado

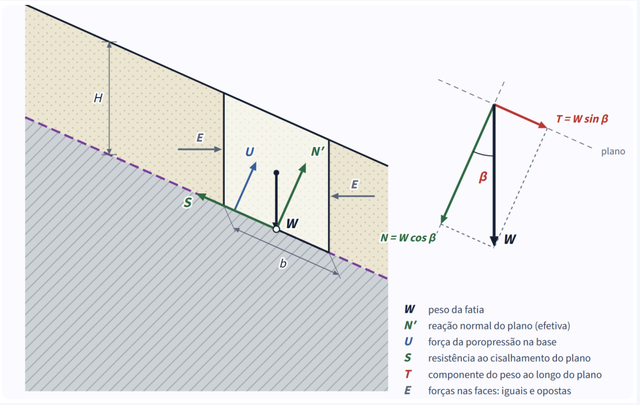
EXEMPLO

Dados

Talude	$\beta = 15^\circ$, $H = 6$ m, $\gamma = 17.8$ kN/m³; argila não drenada $c_u = 40$ kPa ($\varphi = 0$)
Pede-se	$FS_{req} = 2.0$

PEDE-SE

FS, H_{cr}, H_{req}, β_{req}.



Solução

SOLUÇÃO

1 Fator de segurança e profundidade crítica

$$FS = \frac{c_u}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{40}{17.8(6)(0.2500)} = \frac{40}{26.70} = \mathbf{1.498}$$

$$H_{cr} = \frac{c_u}{\gamma \sin\beta \cos\beta} = \frac{40}{17.8(0.2500)} = \mathbf{8.99}\ \text{m}$$

2 Profundidade e ângulo necessários ($FS_{req} = 2$)

$$H_{req} = \frac{c_u}{FS_{req}\,\gamma \sin\beta \cos\beta} = \frac{8.99}{2} = \mathbf{4.49}\ \text{m}$$

$$\sin 2\beta_{req} = \frac{2c_u}{FS_{req}\gamma H} = \frac{80}{2(106.8)} = 0.3745 \Rightarrow \beta_{req} = \mathbf{11.00}^\circ$$

Com c_u = 40 kPa, **FS = 1.50** (1.73 no caso drenado). Para FS = 2, o talude pode ter no máximo **11.0°**; H_{cr} = 8.99 m.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Percolação paralela ao talude; razão de poropressão r_u

TEORIA

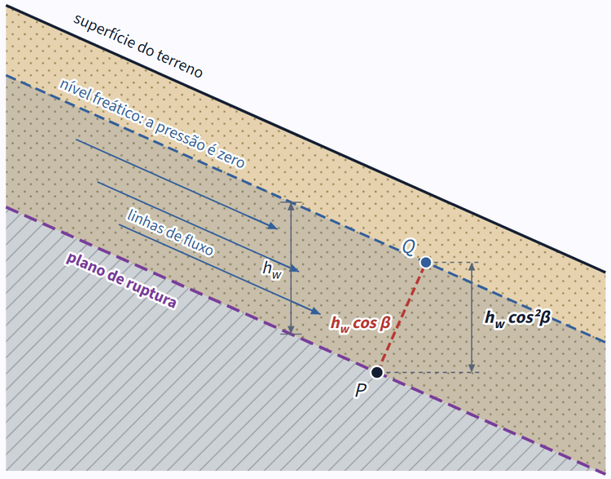
A água retira resistência ao reduzir a tensão efetiva por meio da poropressão u. Se o lençol freático está à profundidade z_w abaixo da superfície (vertical), o solo acima dele tem peso específico γ e, abaixo, γ_{sat}; a altura de água acima do plano é $h_w = H - z_w$. Se a água flui paralelamente à superfície, a linha equipotencial que passa pelo ponto P é perpendicular ao talude; a carga de pressão é $h_w\cos^2\beta$:

$$u = \gamma_w h_w \cos^2\beta \qquad \sigma' = \sigma - u \qquad FS = \frac{c' + \sigma' \tan\varphi'}{\tau}$$

água na superfície: $FS = \dfrac{c'}{\gamma_{sat} H \cos^2\beta \tan\beta} + \dfrac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \dfrac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$ $\qquad r_u = \dfrac{u}{\gamma H}$: $FS = \dfrac{c'}{\gamma H \cos^2\beta \tan\beta} + \left(1 - \dfrac{r_u}{\cos^2\beta}\right) \dfrac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$

Em solo não coesivo com o nível do lençol freático na superfície, FS = (γ′/γ_{sat}) tan φ′/tan β: como γ′/γ_{sat} ≈ ½, um talude de areia que, no estado seco, se mantém próximo de φ′ exige, sob percolação, um talude cuja tangente seja reduzida à metade.

Se a poropressão provém de um piezômetro ou de uma rede de fluxo, a razão em relação ao peso do solo é dada como r_u. Se resultar σ′ ≤ 0 (a água levanta o solo do plano), o atrito é anulado, resta apenas a coesão e isso é indicado.



Na linha equipotencial
PQ a carga piezoelétrica é a mesm
em P e em Q.

Em Q a pressão é zero,
logo a carga de pressão em P
é a elevação de P a Q:

$u / \gamma_w = h_w \cos^2\beta$

Enunciado

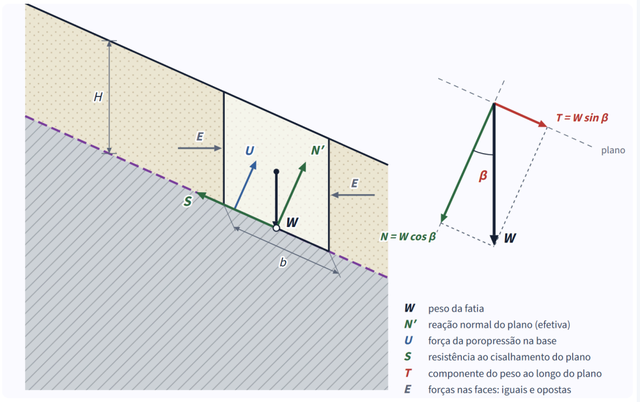
EXEMPLO

Dados

Talude e solo	**O talude do Exemplo 2; $\gamma = 17.8$ (seco), $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³**
Condições da água	**(a) lençol freático a $z_w = 2$ m, percolação paralela ao talude; (b) água na superfície ($z_w = 0$); (c) $r_u = 0.25$**

PEDE-SE

Em cada caso, **u**, **σ′**, **τ_f** e **FS**; comparação com o FS seco.



Solução (1/2)

SOLUÇÃO

1 (a) Nível do lençol freático a 2 m: $h_W = 6 - 2 = 4$ m

$$\sigma_v = 17.8(2) + 19.5(4) = 113.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma = \sigma_v \cos^2\beta = 105.99 \text{ kPa} \quad \tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta = 28.40 \text{ kPa}$$

$$u = \gamma_w h_w \cos^2\beta = 9.81(4)(0.9330) = 36.61 \text{ kPa} \quad \sigma' = \sigma - u = 69.38 \text{ kPa}$$

$$FS = \frac{10 + 69.38(0.36397)}{28.40} = \frac{35.25}{28.40} = \mathbf{1.241}$$

Com o lençol freático a 2 m, o FS cai de 1.73 (caso seco) para **1.24**: a água aumenta tanto o peso do solo (σ_V) quanto a poropressão (36.6 kPa).

Solução (2/2)

SOLUÇÃO

2 Resumo das três condições de água (mesmas equações)

Situação	σ_v (kPa)	σ (kPa)	τ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	τ_f (kPa)	FS
Seco	106.8	99.65	26.70	0.00	99.65	46.27	**1.733**
(a) z_w = 2 m	113.6	105.99	28.40	36.61	69.38	35.25	**1.241**
(b) água na superfície	117.0	109.16	29.25	54.92	54.25	29.74	**1.017**
(c) r_u = 0.25	106.8	99.65	26.70	26.70	72.95	36.55	**1.369**

Com a água na superfície, FS = **1.02**, quase no valor limite; para r_u = 0.25, resulta **1.37**. Um talude com ampla segurança no estado seco não tem nenhuma margem quando úmido: o módulo mostra, junto ao resultado, o FS seco e o FS com água na superfície.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Forças horizontal e vertical; coeficiente de escoamento k_y

TEORIA

O abalo é substituído por uma aceleração constante (uma fração de g) aplicada à massa acima do plano. Além do peso W, a fatia suporta uma força horizontal **k_hW** no sentido descendente do talude e uma força vertical **k_vW** para cima ou para baixo; k_h e k_v são coeficientes adotados pelo engenheiro (o módulo não os extrai de norma). Por unidade de área, W/A = $\sigma_v \cos\beta$:

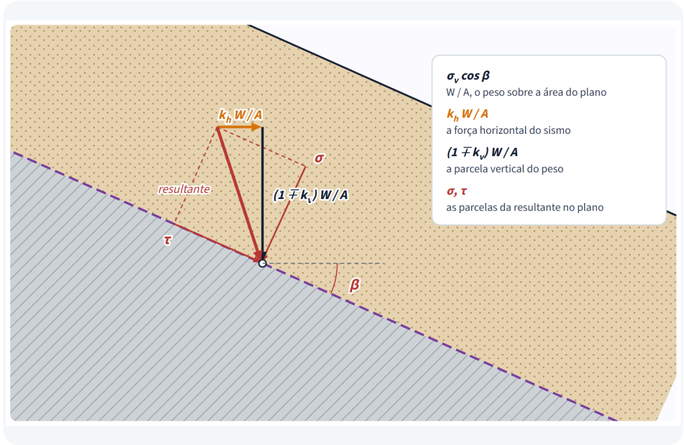
$$\sigma = \sigma_v \cos\beta\,[(1 \mp k_v)\cos\beta - k_h \sin\beta] \qquad \tau = \sigma_v \cos\beta\,[(1 \mp k_v)\sin\beta + k_h \cos\beta]$$

A poropressão é o valor estático (não se acrescenta o efeito da vibração): $\sigma' = \sigma - u$; $FS_{eq} = \tau_f/\tau$ com os novos σ e τ. A força horizontal reduz a tensão normal e aumenta a tensão cisalhante.

Experimentam-se as duas direções da força vertical e adota-se a que resulta em **menor FS**: no solo com atrito, em geral a ascendente (alivia a massa e reduz a tensão normal); na argila em tensões totais, como c_u não depende da tensão normal, a descendente, que aumenta a tensão cisalhante.

Coeficiente de escoamento k_y: o coeficiente horizontal que resulta em $FS_{eq} = 1$. Seco, não coesivo, $k_v = 0$: $k_y = \tan(\varphi' - \beta)$; nos demais casos, k_h é aumentado a partir de zero até ser encontrado. Um abalo que não excede $k_y g$ não inicia o movimento da massa; o que o excede, inicia (quanto ela se desloca é objeto da análise do bloco deslizante, que não consta do módulo).

$$k_y = \frac{\tan\varphi' - \tan\beta}{1 + \tan\varphi'\tan\beta} = \tan(\varphi' - \beta)$$



Enunciado

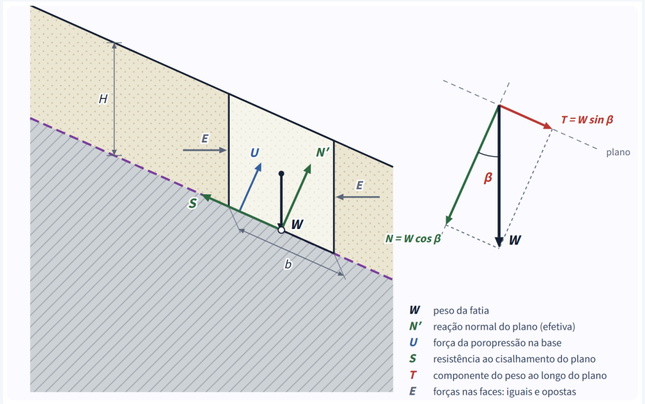
EXEMPLO

Dados

Talude e solo	**Talude seco do Exemplo 2 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\beta = 15°$, $H = 6$ m)**
Sismo	**$k_h = 0.15$, $k_v = 0.05$ (duas direções são testadas); também para areia seca $\varphi' = 32°$, $\beta = 25°$**

PEDE-SE

σ, **τ**, **FS_{eq}** (direção crítica); a tabela de $FS(k_h)$ e **k_y**; k_y em areia seca.



Solução (1/2)

SOLUÇÃO

1 Direção crítica: força vertical para cima (k_v = +0.05 alivia)

$$\sigma = \sigma_v \cos\beta\,[0.95\cos\beta - 0.15\sin\beta] = 103.16\,[0.8788] = 90.66\ \text{kPa}$$

$$\tau = \sigma_v \cos\beta\,[0.95\sin\beta + 0.15\cos\beta] = 103.16\,[0.3908] = 40.31\ \text{kPa}$$

$$FS_{eq} = \frac{10 + 90.66(0.36397)}{40.31} = \frac{43.00}{40.31} = \mathbf{1.067} \qquad (k_v \text{ para baixo: } 1.085)$$

A força vertical para cima é a condicionante: FS_{eq} = **1.067** (1.085 para baixo).

Solução (2/2)

SOLUÇÃO

2 FS(k_h) e coeficiente de escoamento (onde FS = 1)

k_h	σ (kPa)	τ (kPa)	τ_f (kPa)	FS_{eq}
0.00	94.66	25.36	44.45	**1.753**
0.05	93.33	30.35	43.97	**1.449**
0.10	91.99	35.33	43.48	**1.231**
0.15	90.66	40.31	43.00	**1.067**
0.1746	90.00	42.76	42.76	**1.000**
0.20	89.32	45.29	42.51	**0.939**

O sismo reduz o FS de 1.73 para **1.07** (a força vertical para cima é determinante). **k_y = 0.175**: se k_h o ultrapassar, a massa começa a deslizar. Em areia seca ($\varphi' = 32°$, $\beta = 25°$), $k_y = \tan 7° = 0.1228$.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

FS; H_{req}, β_{req}, H_{cr}

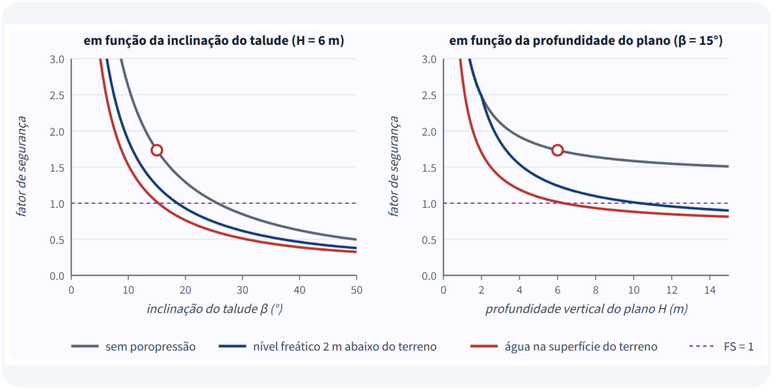
TEORIA

FS em função da inclinação: FS diminui de forma regular com β; o espaçamento entre as curvas mostra quanto da margem a água retira; o ângulo em que a curva cruza FS_{req} é β_{req}.

FS em função da profundidade: a curva do solo coesivo decresce de um valor elevado na superfície até o nível governado pelo atrito; onde cruza FS = 1 está a profundidade crítica. O lençol freático deixa uma marca na profundidade em que a água atinge o plano pela primeira vez; acima dela, segue-se a curva seca.

FS em função da água: aumenta à medida que o lençol freático se aprofunda e diminui à medida que r_u cresce; mostra o quanto um talude drenado depende da poropressão, difícil de conhecer.

No caso sísmico, cada gráfico traz uma segunda linha (laranja); o quinto gráfico de FS em função de k_h fornece k_y no ponto em que intercepta FS = 1.



Além do FS e da comparação com o valor exigido, a aba Resultados fornece: **H_{req}** (a primeira profundidade em que FS cai até FS_{req}; "sem limite" se não cai), **β_{req}** (o ângulo mais íngreme, partindo da horizontal, para o qual FS_{req} ainda é atendido), **H_{cr}**, os dois extremos da água (sem poropressão / água na superfície) e, em sismo, FS_{eq} e k_y.

Enunciado

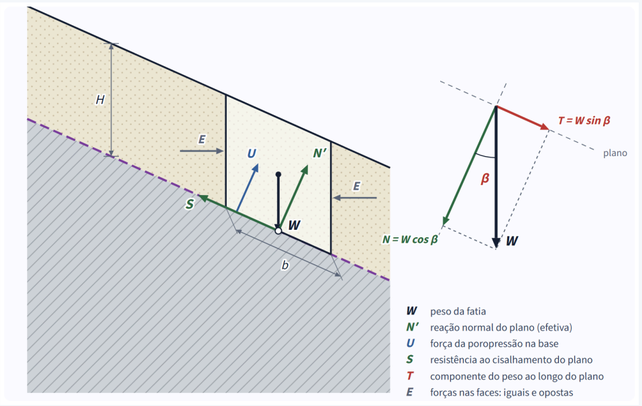
EXEMPLO

Dados

Solo	**Solo do Exemplo 2 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\gamma = 17.8$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³)**
Tabela	**Valores de FS para $\beta = 10,\ 15,\ 20,\ 25,\ 30°$ e $H = 2,\ 4,\ 6,\ 8$ m, com terreno seco e com nível do lençol freático a $z_w = 2$ m (por solução fechada)**

PEDE-SE

Tabela $FS_{dry}(\beta, H)$; para o nível do lençol freático em H = 6 m; a partir de que ângulo FS < 1?



Solução

SOLUÇÃO

1 FS = c′/(γH cos²β tan β) + tan φ′/tan β (seco); no caso com nível freático, a partir das tensões (em negrito: FS < 1)

β (°)	H = 2 m	H = 4 m	H = 6 m	H = 8 m	H = 6, água z_w = 2 m
10	3.707	2.885	2.612	2.475	1.866
15	2.482	1.920	1.733	1.639	1.241
20	1.874	1.437	1.291	1.219	**0.928**
25	1.514	1.147	1.025	**0.964**	**0.741**
30	1.279	**0.955**	**0.847**	**0.793**	**0.616**

O FS diminui regularmente com o ângulo e diminui com a profundidade (parcela da coesão). A partir de β = 20° e H = 8 m, até o talude seco se aproxima do limite; um nível do lençol freático em z_w = 2 m, com H = 6 m, reduz o FS **abaixo de 1** a partir de 20° (0.62 em 30°). Por isso são procurados β_{req} e H_{req}.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

O que o modelo admite

TEORIA

Modelo: talude infinito: terreno plano, superfície de ruptura paralela a ele, à profundidade vertical H; as extremidades da massa não têm influência; as condições são as mesmas em todos os pontos; bidimensional, 1 m ao longo do talude.

Solo: um único solo acima do plano (resistência e peso específico dados); camadas, solo que varia ao longo do talude ou com a profundidade e resistência crescente com a profundidade não constam deste modelo; para o contato com uma camada fraca, podem-se usar as propriedades dessa camada ou o módulo Estabilidade de taludes.

Água: lençol freático com fluxo paralelo ao talude ($u = \gamma_w h_w \cos^2\beta$) ou r_u; a poropressão não é calculada a partir de chuva ou permeabilidade. **Resistência**: Mohr–Coulomb em tensões efetivas ou c_u; se $\sigma' \leq 0$, o atrito é nulo. Não há resistência residual, ruptura progressiva nem efeito de raízes.

Sismo: apenas pseudoestático; a vibração não acrescenta poropressão; amplificação, duração, poropressão residual de solo saturado fofo e deslocamento permanente não são analisados; os coeficientes são de escolha do engenheiro.

Não considerados: sobrecarga, trinca de tração, reforço, muro de pé. O FS é o valor de um único plano a uma única profundidade; não se procura um plano mais fraco que não seja paralelo à superfície. Se o talude é curto em relação à profundidade, ou se o solo/água varia ao longo do talude, as extremidades importam: utiliza-se o módulo Estabilidade de taludes.

Resumo

Pontos-chave

Faixa: $\sigma = \sigma_v \cos^2\beta$, $\tau = \sigma_v \sin\beta \cos\beta$, $\tau/\sigma = \tan\beta$ (no exemplo, $\sigma = 99.65$ e $\tau = 26.70$ kPa)

FS = $(c' + \sigma' \tan\varphi')/\tau = c'/(\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\varphi'/\tan\beta$ = **1.733**; $H_{req} = 3.50$ m ($FS_{req} = 2$), $\beta_{req} = 13.0°$; se $\beta > \varphi'$, H_{cr}

Argila não drenada: $FS = c_u/(\gamma H \sin\beta \cos\beta) = 1.50$; inversamente proporcional à profundidade

Água: $u = \gamma_w h_w \cos^2\beta$; FS 1.73 → 1.24 ($z_w = 2$ m) → 1.02 (na superfície); $r_u = 0.25$ → 1.37

Sismo: $k_h W$ horizontal e $k_v W$ vertical; adota-se a direção crítica (para cima); FS 1.73 → 1.07; **$k_y = 0.175$**; $\tan(\varphi' - \beta)$ para solo seco não coesivo

Limite: plano único, talude infinito; se as extremidades ou as camadas forem importantes, usa-se Estabilidade de Taludes (fatias)

Referências bibliográficas

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning, Boston. Chapter 15, Slope Stability: the infinite slope in Sections 15.2–15.4.

Skempton, A.W. and DeLory, F.A. (1957). Stability of natural slopes in London Clay. Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, 2, 378–381.

Bishop, A.W. and Morgenstern, N.R. (1960). Stability coefficients for earth slopes. Géotechnique, 10(4), 129–150.

Duncan, J.M., Wright, S.G. and Brandon, T.L. (2014). Soil Strength and Slope Stability, 2nd ed. Wiley, Hoboken.

Newmark, N.M. (1965). Effects of earthquakes on dams and embankments. Géotechnique, 15(2), 139–160.

NOTA

Todos os exemplos numéricos foram gerados com o próprio motor de cálculo do módulo; o módulo fornece os mesmos valores. O exemplo resolvido da página do módulo também é este talude (β = 15°, H = 6 m, γ = 17.8, c′ = 10 kPa, φ′ = 20°).

Cálculos geotécnicos on-line

Da teoria à prática

Inserir no GeoTerva o ângulo do próprio talude, a profundidade do plano, a resistência do solo (drenada ou não drenada), a água e os coeficientes sísmicos; o módulo fornece em conjunto as tensões, o fator de segurança, as profundidades crítica e necessária, o ângulo necessário, o coeficiente de escoamento e os gráficos.

Abrir o módulo →

Página de teoria →

Abrir no celular
Os módulos de teste não exigem cadastro.