

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 522 – MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES

12ª LISTA DE EXERCÍCIOS

Compactação de Solos

Estabilidade de taludes: noções de equilíbrio limite. Ábacos. Efeito da água e sobrecargas. Cálculos simplificados.

- 1) O que significa compactar um solo?

Resposta: Compactar um solo significa densificá-lo por meio de equipamento mecânico (normalmente rolo compactador ou soquete manual) a fim de reduzir seu índice de vazios pela expulsão de ar. Isso reduz a permeabilidade e futuros recalques ao mesmo tempo que aumenta a rigidez e resistência. Obtemos a máxima densidade para uma certa energia de compactação associada à uma umidade específica denominada umidade ótima.

- 2) Com uma amostra de solo de uma encosta que será usado para a construção de um aterro compactado, foi realizado, em laboratório, um Ensaio Normal de Compactação (Proctor Normal), sem secagem e sem reuso do material, obtendo-se os resultados da tabela abaixo. Sabendo-se que esse solo não apresentou nenhuma fração retida na peneira nº 4 (4,8 mm), determinar a umidade ótima e a densidade aparente seca máxima.

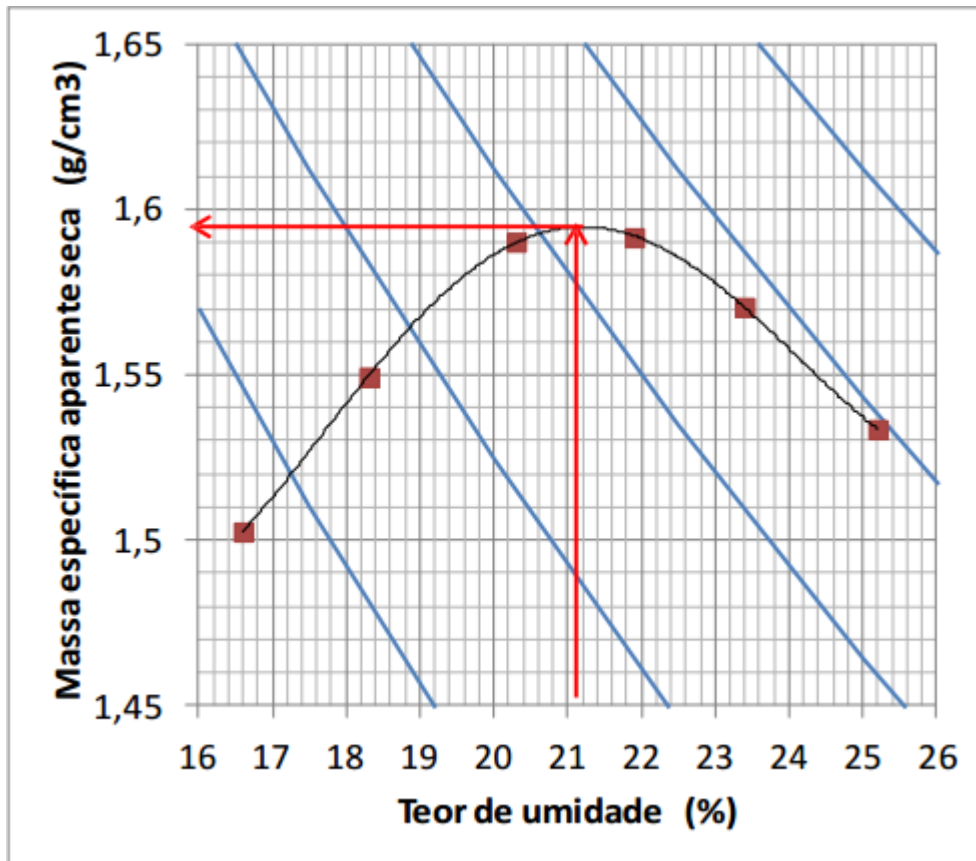
Corpo de prova	Umidade (%)	Massa específica (g/cm ³)	
1	16,6	1,752	
2	18,3	1,833	
3	20,3	1,913	
4	21,9	1,940	
5	23,4	1,938	
6	25,2	1,920	

Resposta: A massa específica seca é determinada utilizando a seguinte expressão:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_n}{1+w}$$

Corpo-de-prova	Teor de umidade (%)	Massa específica (g/cm ³)	Massa específica seca (g/cm ³)
1	16,6	1,752	1,503
2	18,3	1,833	1,549
3	20,3	1,913	1,590
4	21,9	1,940	1,591
5	23,4	1,938	1,571
6	25,2	1,920	1,534

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 522 – MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES



Pela curva de Proctor é possível verificar que a massa específica seca máxima é 1,595 g/cm³ (ou peso específico seco máximo de 15,95 kN/m³) e o teor de umidade ótimo é de 21,1%

- 3) Sabendo-se que o solo da encosta tem, em média, uma massa específica natural de 1,75 g/cm³ e um grau de saturação de 60%, localizar esse solo no gráfico de compactação do exercício 2 e discutir as providências a serem tomadas para que o solo possa ser compactado próximo da umidade ótima.

Resposta: $w = 18,35\%$ e $p_d = 1,479$ g/cm

Logo, será necessário acrescentar água para levar o solo ao teor de umidade ótimo para compactação.

- 4) A especificação de compactação da construção do aterro exige grau de compactação mínimo de 97% e umidade entre $w_{OT}-1,5\%$ e $w_{OT}+1\%$. Amostras coletadas de uma camada compactada no aterro revelaram, em média, massa específica de 1,89 g/cm³ e umidade de 22%. A camada compactada pode ser aceita? Justifique. Qual a dificuldade operacional de efetuar o controle de compactação determinando diretamente a massa específica e a umidade do solo compactado?

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 522 – MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES

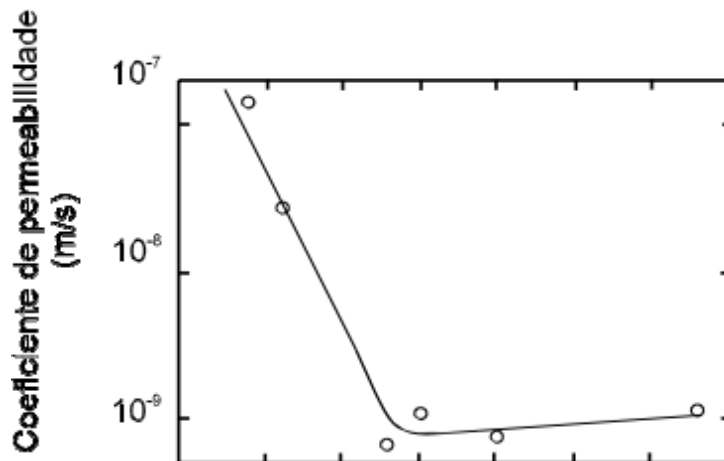
Resposta: Especificações: $GC \geq 97\%$ e $w_{ot}-1,5\% \leq w \leq w_{ot}+1\%$
 $GC = p_d/p_{dmax}$
Portanto: $p_d \geq 1,547 \text{ g/cm}^3$ e $19,6\% \leq w \leq 22,1\%$

No aterro: $\rho = 1,89 \text{ g/cm}^3$, $w = 22\%$ e $p_d = 1,549 \text{ g/cm}^3$

Logo, a camada compactada pode ser aceita. A dificuldade maior reside na determinação do teor de umidade, o qual é determinado, por norma brasileira, em estufa a 105/110°C após 24 horas ou constância de peso. Os valores de umidade e massa específica seca do aterro só podem ser então determinados após horas, dificultando a liberação da camada compactada. Algumas alternativas: speedy (para solos bem pouco argilosos), forno de infravermelho, microondas, MCV, Método de Hilf.

5) Como varia a permeabilidade de um solo com a umidade de compactação?

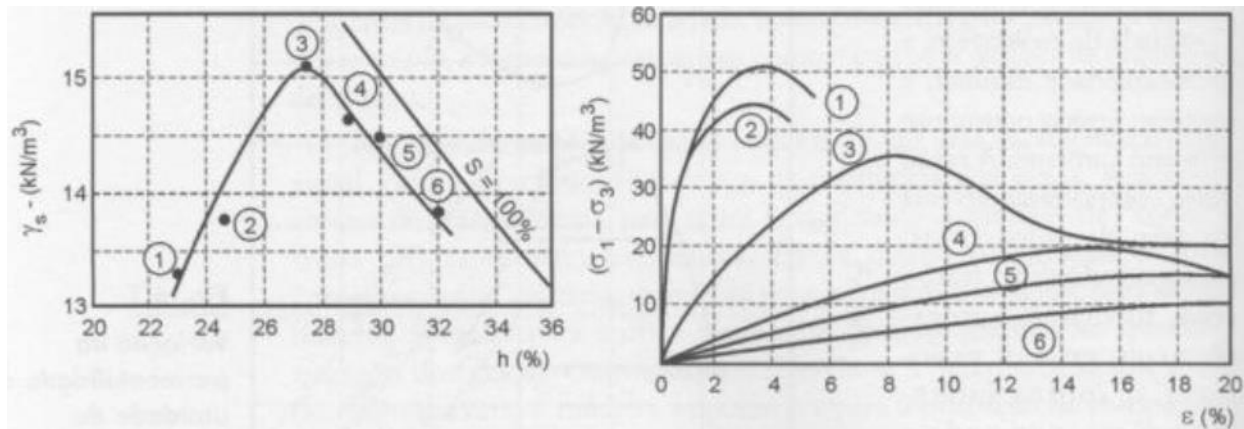
Resposta: Pode-se observar, na figura a seguir, a significativa diminuição do coeficiente de permeabilidade em função do aumento do teor de umidade de compactação no ramo seco até o teor de umidade ótima. Para umidades mais elevadas, há pouca alteração em relação ao coeficiente de permeabilidade observado no ponto ótimo.



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 522 – MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES

- 6) Como varia a resistência ao cisalhamento de um solo em função da umidade de compactação?

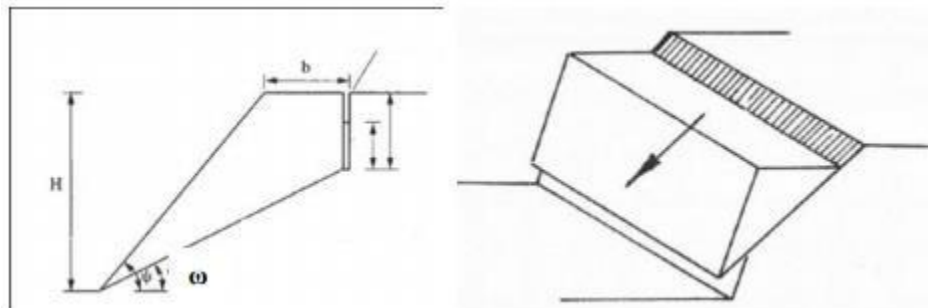
Resposta: Pode-se observar, na figura a seguir, que solos compactados no ramo seco são mais resistentes que os do ramo úmido. Além disso, a ruptura dos primeiros é do tipo “frágil”, e dos segundos do tipo “plástica”.



Discutimos que a estabilidade de um talude cuja espessura é muito pequena se comparada à sua extensão ("talude infinito"), como ocorre, por exemplo, em algumas encostas da Serra do Mar, pode ser simplificada visualizada como sendo equivalente a um plano inclinado.

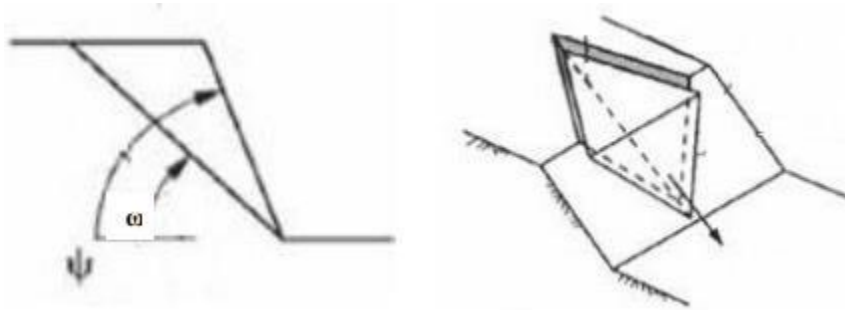
7. Quais as outras principais formas de ruptura de taludes e suas condicionantes geológicas e geotécnicas?

Resposta: Ruptura planar: É produzida quando a ruptura se dá em uma superfície pré-existente, que pode ser uma estratificação, uma junta tectônica, uma falha, etc. A condição básica é a presença de uma descontinuidade mergulhando a favor do talude e com a mesma direção, cumprindo a condição na qual o ângulo de mergulho do talude seja maior do que da descontinuidade ($\psi > \omega$), e este por sua vez maior que o ângulo de atrito interno ($\omega > \phi$). Na figura é mostrado esse tipo de ruptura.

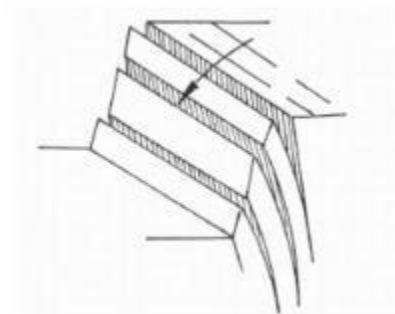


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 522 – MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES

Ruptura em Cunha: Corresponde ao deslizamento de um bloco em forma de cunha, formado por dois planos de descontinuidades, na direção de sua linha de intersecção. Para que seja produzido este tipo de ruptura os dois planos devem aflorar na superfície do talude e devem-se cumprir as mesmas condições para ruptura planar ($\psi > \omega > \phi$), mas neste caso ω é o mergulho da linha de intersecção, como na figura.



Ruptura por tombamento: Apresenta-se em taludes de maciços rochosos onde as descontinuidades apresentam mergulho contrário a inclinação do talude e em direção paralela ou subparalela ao mesmo, como na figura. Em geral apresentam-se blocos, individualizados por um sistema de descontinuidades ortogonais.



Ruptura Circular: Pode ocorrer em maciços rochosos brandos pouco competentes e em maciços muito alterados ou intensamente fraturados, que apresentam um comportamento isotrópico e onde os planos de descontinuidades não controlam o comportamento mecânico.



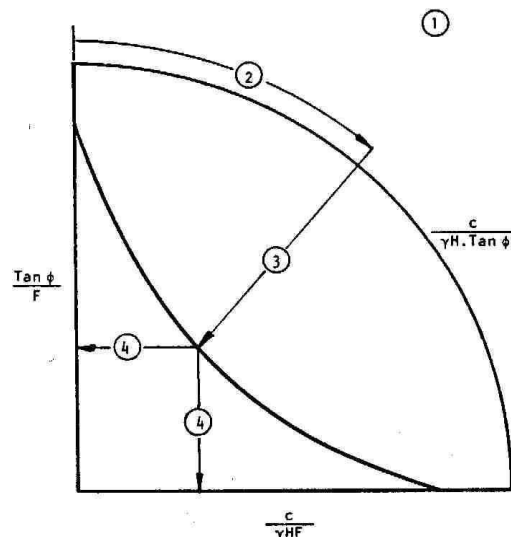
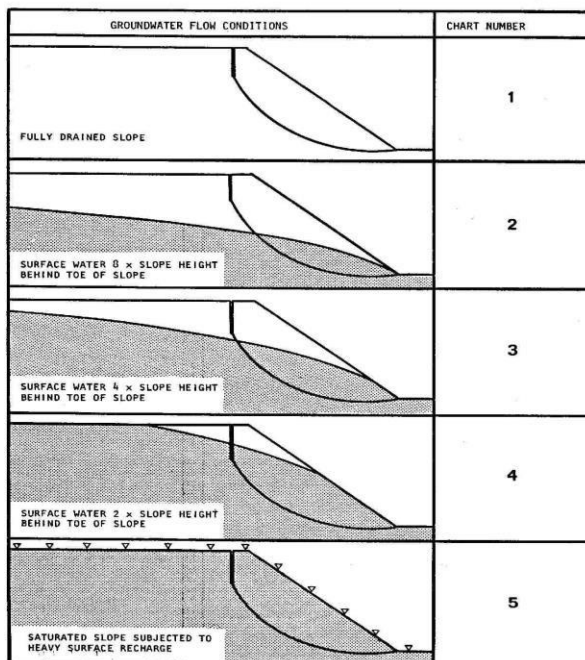
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 522 – MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES

8. Considere agora um talude de solo homogêneo com 10 m de altura e inclinação de 60°. A observação de escorregamentos de taludes desse tipo (homogêneos e não muito íngremes) indica que a superfície de escorregamento é praticamente circular e passa pelo pé do talude. Com base nos ábacos apresentados a seguir, e considerando 3 condições típicas: talude totalmente seco; talude saturado após período de chuvas muito intensas; e talude com lençol freático intermediário, estime o fator de segurança desse talude. Os parâmetros de resistência do solo são $c = 20 \text{ kN/m}^2$ e $\phi = 28^\circ$, que o seu peso específico seja $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$. Discuta a relevância das condições do lençol freático do local nos valores de fator de segurança encontrados.

Resposta: Totalmente Seco: FS = 1,2
 Lençol freático intermediário: FS = 1,0
 Saturado: FS = 0,9

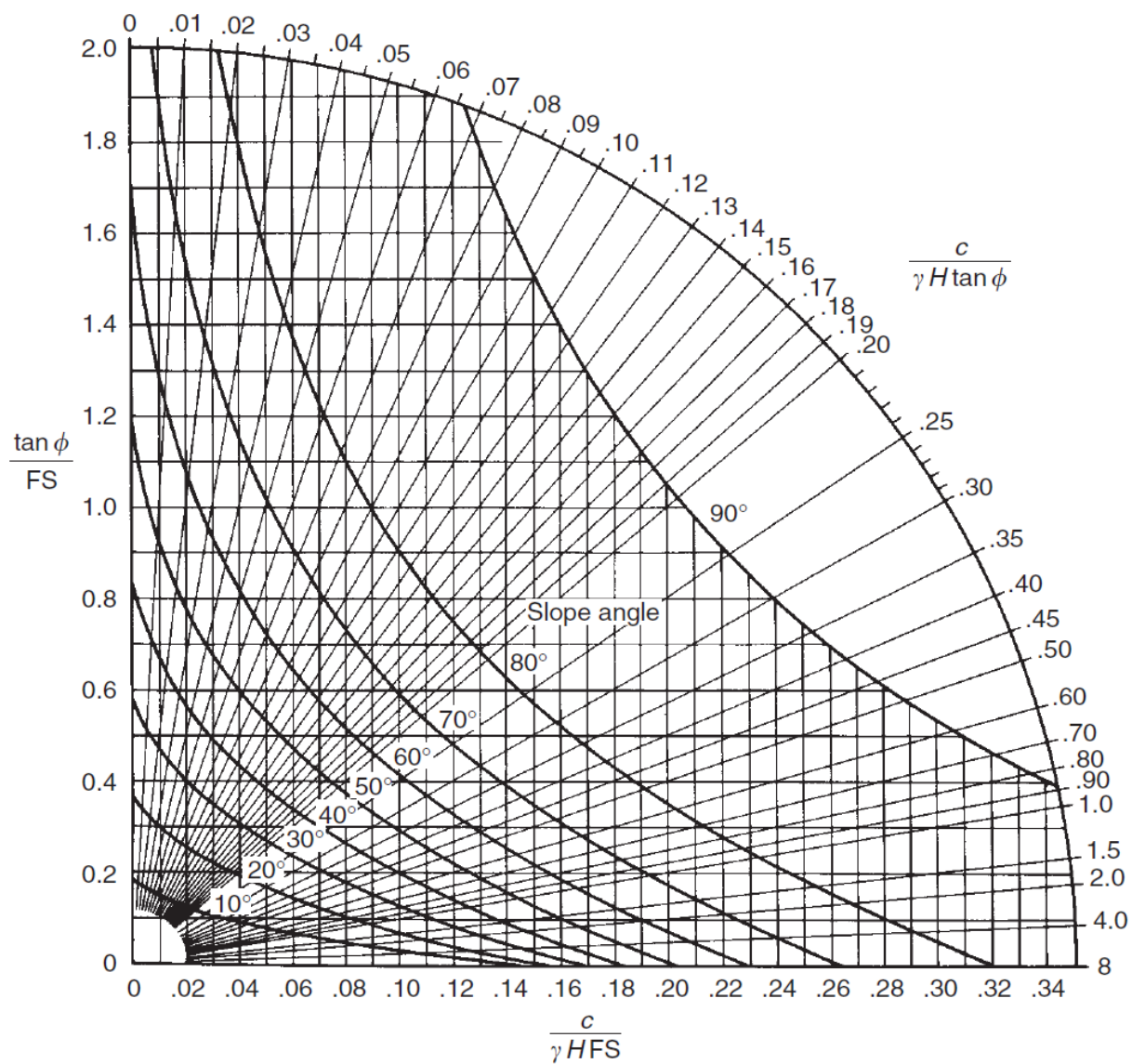
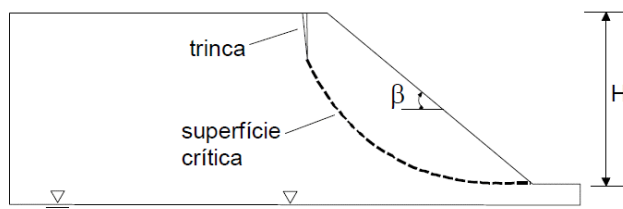
Logo, o aumento do nível do lençol freático diminui o fator de segurança do talude à ruptura.

ÁBACOS DE HOEK E BRAY



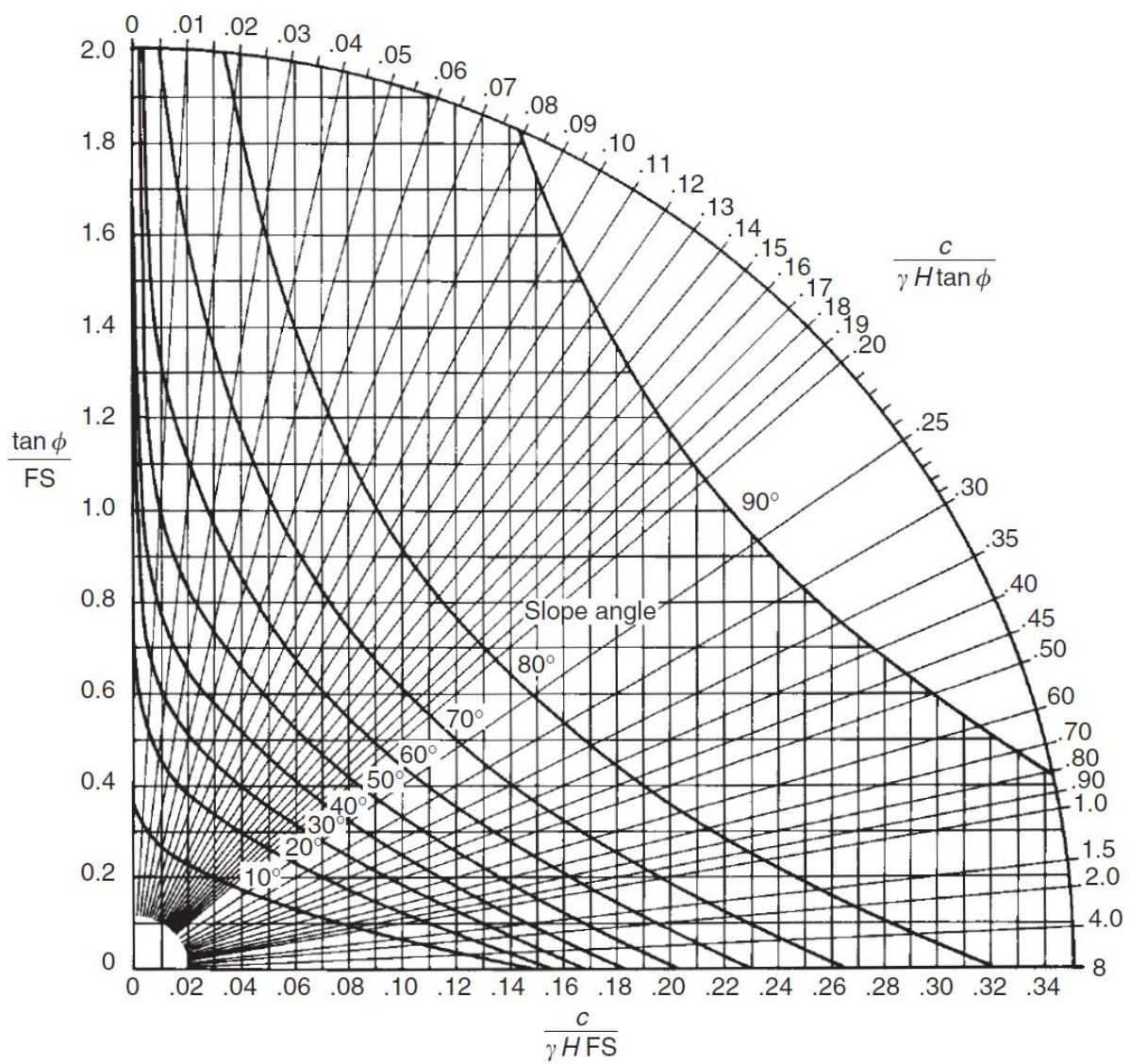
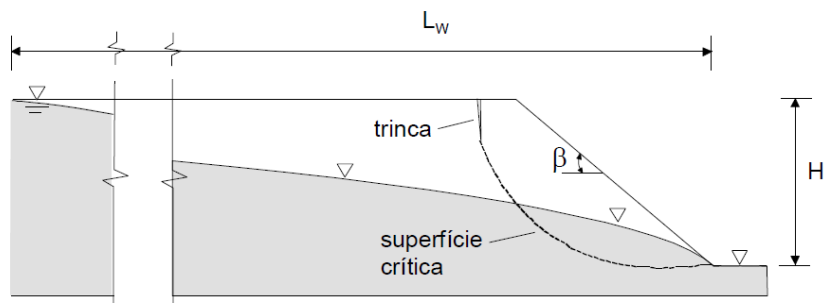
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 522 – MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES

Caso 1 – Totalmente Seco/Drenado



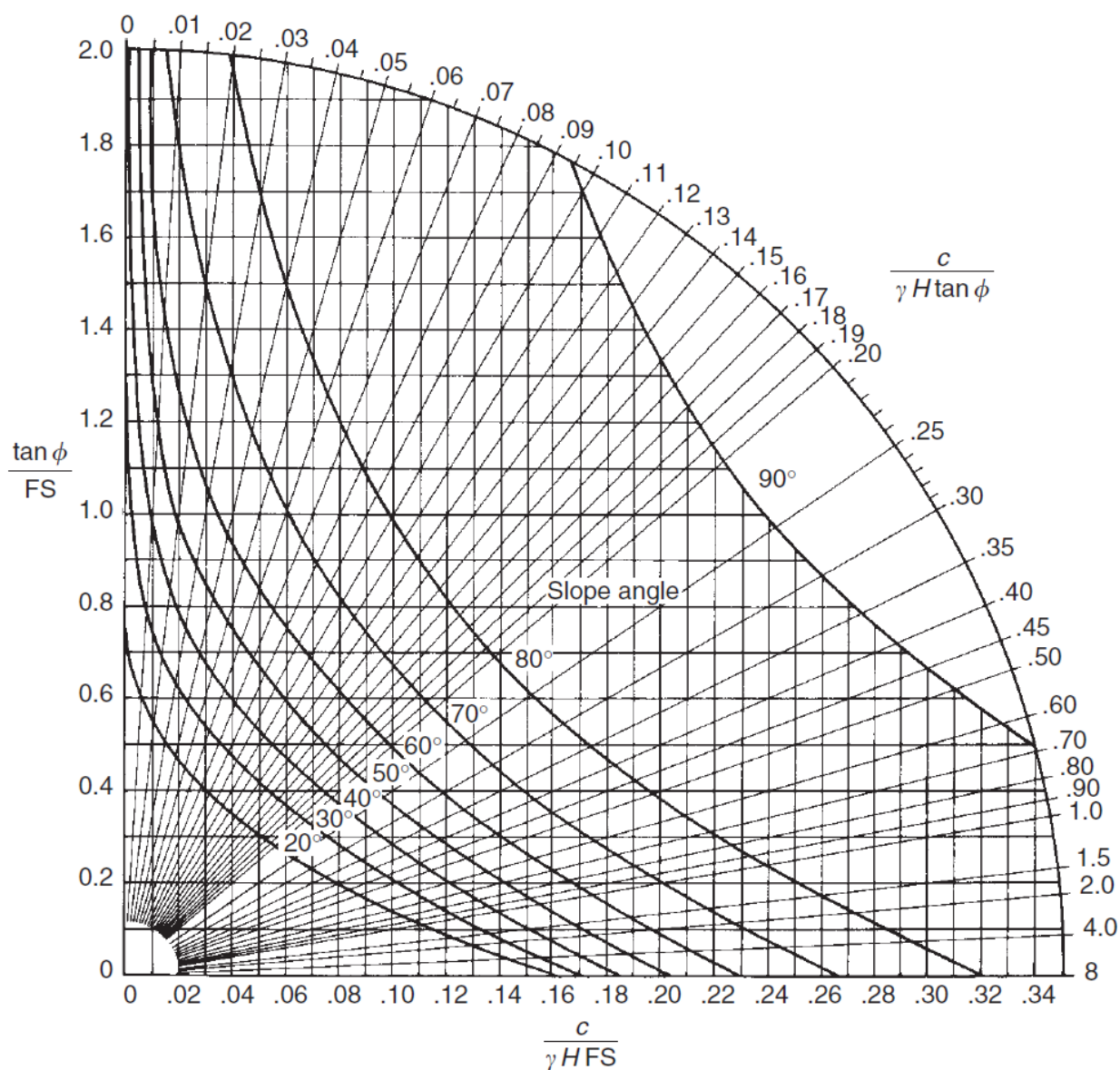
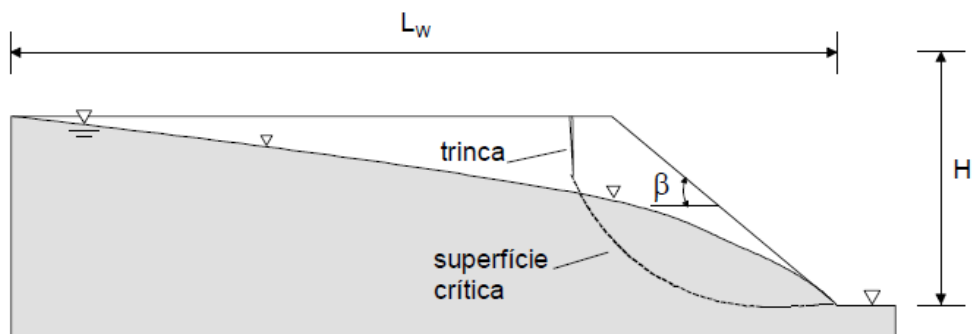
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 522 – MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES

Caso 2 – $L_w/H = 8,0$



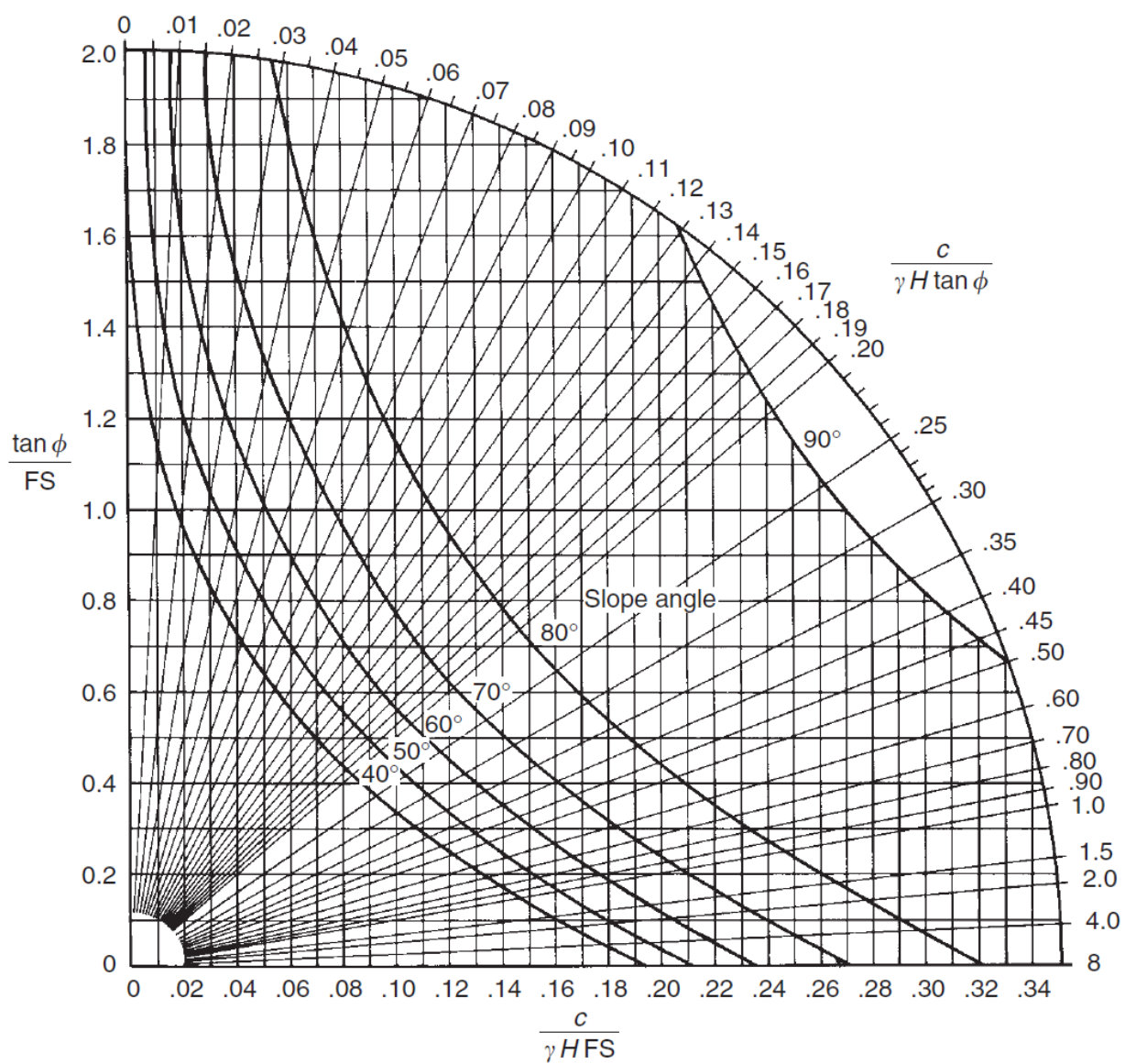
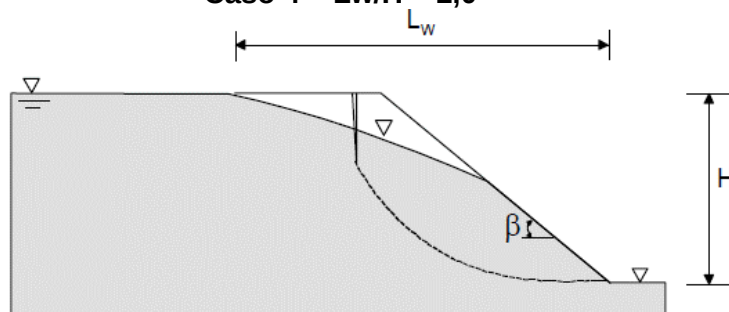
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 522 – MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES

Caso 3 – $L_w/H = 4,0$



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 522 – MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES

Caso 4 – $L_w/H = 2,0$



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP
PEF 522 – MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES

Caso 5 – Totalmente Saturado

