

Determinação Aproximada da Probabilidade de Falha do Muro em Balanço para CONTENÇÃO de Terra.

Nelson Padrón Sánchez

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, nelsonwerpnsn@gmail.com

Ernesto Luciano Chagoyén Méndez

Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba, chagoyen@uclv.edu.cu

Gregório Luis Silva Araújo

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, gregorio@unb.br

RESUMO: Este trabalho visa analisar a estabilidade de um muro de flexão a construir, já projetado, com o objetivo de conter um pequeno desnível do terreno, necessário tendo em vista a mudança de uso de uma área. O muro foi projetado de forma determinista, e neste trabalho realiza-se uma análise levando em consideração, as possíveis variabilidades dos parâmetros característicos dos solos. Como método, foram empregadas as equações do Método dos Estados Limites, logo modificadas para aplicar os métodos probabilísticos aproximados, chamados Primeira Ordem Segundo Momento e o Método das Estimativas Pontuais. Desta forma foram determinados fatores de segurança determinísticos assim como as probabilidades de falha do muro, para cada condição de projeto avaliada, permitindo avaliar a segurança das duas formas. Precisou-se avaliar só uma parte das restrições de projeto para concluir na instabilidade do muro para seu máximo dimensionamento possível, contrário as análises determinísticas prévias.

PALAVRAS-CHAVE: Muro de flexão, Probabilidade de Falha, estatística, FOSM e Rosenblueth.

1 INTRODUÇÃO

Há muitos anos na República de Cuba vem sendo construídas diversas instalações, a maioria turísticas, com a finalidade de equilibrar a crescente demanda turística da ilha. Além das construções nas zonas de praia, o turismo na parte urbana das cidades e na parte rural são de grande interesse. Nesse contexto, com maior frequência tem sido necessária a revisão de obras existentes. Este trabalho visa analisar a estabilidade de um muro de flexão para conter um pequeno desnível de terreno, modificação necessária tendo em vista a mudança de uso de uma área.

A área foi estudada mediante uma investigação geotécnica e foram realizados ensaios de laboratório de mecânica dos solos no solo coletado. Posteriormente, foram determinadas estatisticamente as principais

características físico-mecânicas do solo do local no qual seria construído o muro e também do solo para o preenchimento, colocado depois da construção terminada do muro. Por meio do emprego das normativas de Cuba, escolheu-se fazer o projeto do muro mediante a conformidade com os estados limites seguindo as práticas nacionais daquele país, com uma diferença que consistiu no emprego de métodos estatísticos na análise e não os determinísticos normalmente utilizados. Este muro estava prestes a se construir, já seu projeto resultou estável para todas as condições de trabalho avaliadas.

Com a análise feita neste trabalho, foi possível entender melhor o que aconteceria em caso da ocorrência de possíveis mudanças nas características físico-mecânicas dos solos, por sua variabilidade própria, tendo em vista a quantidade de incertezas e hipóteses assumidas

tradicionalmente na determinação dos parâmetros mediante ensaios.

1.1 Área de Estudo

A área do estudo encontra-se na República de Cuba, maior ilha do Caribe. Baseando-se nos estudos geotécnicos, foi observado que o solo local era composto apenas de um tipo de material (Solo A). Por sua vez, como material de preenchimento, foi empregado outro solo (Solo B). Os resultados de algumas propriedades dos solos com suas variações estão apresentados na Tabela 1. Também foram consultados os trabalhos de González & Quevedo (2007) e Martínez & Quevedo (2011) para estabelecer a metodologia de trabalho.

Tabela 1. Algumas das propriedades do Solo A e Solo B.

Propiedades	Solo A		Solo B	
	Valor médio	σ^*	Valor médio	σ^*
γ_f (kN/m ³)	-	-	20.15	1.01
c' (kPa)	41.0	16,4	5,0	2,00
ϕ (°)	12.0	1.20	29.0	2.90

*Obtidos de $CV_{\gamma_f}=5\%$, $CV_c=40\%$ e $CV_{\phi}=10\%$

Sendo:

γ_f (kN/m³) Peso específico úmido do solo
 c' (kPa) Coesão
 ϕ (°) ângulo de atrito

1.2 Elemento a Projetar e Metodologia Empregada

Trata-se de um muro em balanço para contenção de solo para resolver um desnível de terreno de seis metros. O pré-dimensionamento da estrutura foi baseado no trabalho de Quevedo (2004), e é apresentado na a Figura 1 e na Tabela 2.

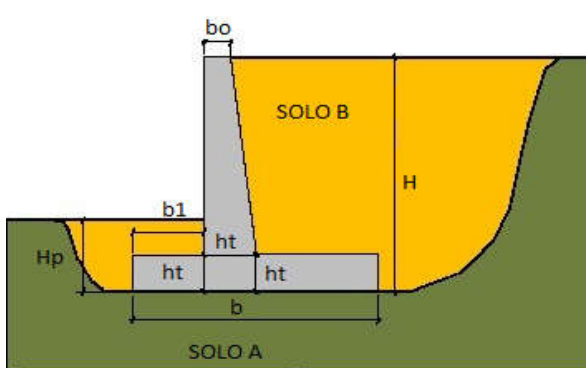


Figura 1. Pré-dimensionamiento do muro.

Tabela 2. Características Físico-mecânicas.

Medida	Pré-dimensionamento (m)	Dimensionamiento (m)
H	≤ 10	6,0
bo	$= (0.2 - 0.5)$	0,5
b	$= (0.4 - 0.7)H$	4,0
bl	$= (1/4 - 1/3)b$	1,3
ht	$= (1/8 - 1/12)H$	0,5
Hp	$< H$	1,0

Para as análises geotécnicas foi usado o Método dos Estados Limites (Quevedo, 2004), que avalia os critérios de estabilidade mostrados na Tabela 3.

Para entender a metodologia de Quevedo (2004) é mostrada uma parte da conceitualização da mesma:

- Estado Limite de Deformação: Estado Limite que garante a funcionalidade da estrutura, xequando-se que todos os deslizamentos ou deformações que se originam na base da fundação devido à ação das cargas, não sejam maiores dos limites permissíveis, de forma tal que segurem a correta utilização da estrutura.

- Estado Limite de Estabilidade: Estado Limite que garante funcionalidade por capacidade de carga da base da fundação, projetando-se para lograr a resistência e estabilidade da estrutura, ante o efeito dos esforços solicitantes com seus valores de cálculo.

- Teoria de Seguridade: É um método probabilístico utilizado para estabelecer a seguridade introduzida no projeto, valorando a variabilidade de todas as variáveis aleatórias que participantes do problema. É utilizada para determinar os coeficientes de seguridade adequados que devem ser empregados no projeto por Estados Limites.

- Coeficiente das características físico mecânicas do solo (γ_g): Coeficiente que toma em conta os possíveis desvios das características físico-mecânicas do solo com seus valores médios, nas equações 1-4 apresenta-se como são aplicados.

- Coeficiente de Seguridade Adicional (γ_s): Coeficiente que avalia a importância da falha, dependendo do tipo de construção e as condições condiciones de trabalho da base da fundação. Valores na tabela 4.

É critério dos autores que esta metodologia não inclui todas as possibilidades de variação das características físico-mecânicas, devido que não avalia todas as possibilidades de variação das propriedades do solo, o que é realmente feito a continuação neste trabalho.

Os valores para coeficientes de segurança utilizados nas propriedades dos solos para o cálculo são obtidos pela metodologia proposta nas tabelas de Quevedo (2004), específicas para Cuba.

$$\gamma_{gy} = 1.05, \gamma_{gc} = 1.35.$$

$$\text{Para solos C-}\varphi \text{ com } (\varphi \leq 25^\circ) \gamma_{gtg\varphi} = 1.15,$$

$$\text{Para solos } \varphi \text{ com } (\varphi > 25^\circ) \gamma_{gtg\varphi} = 1.1$$

Tabela 3. Condições de projeto da metodologia utilizada.

Estado Limite	Estabilidade contra
Primeiro	Tombamento
	Deslizamento da base do muro
	Capacidade de carga da fundação
	Ruptura global
Segundo	Recalque excessivo

Neste caso os valores das características físico - mecânicas de cálculo são afetadas a partir de:

$$\gamma^* = \frac{\gamma}{\gamma_{gy}} \quad \text{Estado passivo} \quad (1)$$

$$\gamma^* = \gamma^* \gamma_{gy} \quad \text{Estado ativo} \quad (2)$$

$$c^* = \frac{c}{\gamma_{gc}} \quad (3)$$

$$\varphi^* = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \varphi}{\gamma_{g \tan \varphi}} \right) \quad (4)$$

O método introduz a seguridade também diminuindo as características favoráveis e acrescentando desfavoráveis, então o coeficiente para a carga permanente estabilizadora, tendo em vista que esta ajuda na estabilidade do muro, é minorado com coeficiente de carga (C_c) = 0,9 e os valores do fator de segurança adicional tem os valores apresentados Tabela 4.

A seleção de tal valor (γ_s) depende de segundo Quevedo (2004):

- Condições de trabalho, em função da complexidade geotécnica da área sobre a que está situada a obra e sua classificação deve ser incluída no relatório geotécnico da área.

- Tipo de ruptura, classificando-as a partir de sua importância de acordo as consequências que podem ocasionar a falha, em quanto à magnitude das perdas de vidas humanas, económicas e ecológicas.

Neste caso $\gamma_s = 1,0$ seguindo o relatório geotécnico que define que a obra apresenta condições de trabalho favoráveis e tipo de ruptura: Leve; o que resulta conveniente ademais, para não misturar as análises estatísticas que originaram o método com as análises probabilistas que fazemos neste trabalho.

Tabela 4. Valores do coeficiente de segurança adicional.

Condições de Trabalho	Tipo de ruptura	γ_s
Favoráveis	Leve	1,00
	Grave	1.05
	Muito	1.05
	Grave	1.05
Normais	Leve	1.05
	Grave	1.05
	Muito	1.10
	Grave	1.10
Desfavoráveis	Leve	1.05
	Grave	1.10
	Muito	1.10
	Grave	1.10

1.3 Métodos Probabilísticos.

Basicamente são clasificados em dois grandes grupos, os métodos exatos e os metodos aproximados. Vargas (2013) estudou o método exato de Montecarlo também para um muro de contenção. Neste trabalho adotuo-se por um método mais simples empregando-se os métodos aproximados que, segundo (Assis, 2014) e (Farias & Assis, 1998), apresentam resultados bem semelhantes ao método exato.

Realizou-se então uma análise levando em consideração as possíveis variabilidades de algumas propriedades do problema em análise, ao introduzir no método dos estados limites o conceito de um fator de segurança obtido como a relação entre forças e momentos

desestabilizadores e estabilizadores, sendo seu máximo valor um.

Foram utilizados dois métodos, sendo o primeiro o apresentado no trabalho de Baecher & Christian (2003) e o segundo baseado no trabalho de Rosenblueth (1975).

O primeiro é chamado Primeira Ordem Segundo Momento (FOSM), em que o valor médio da variável dependente (Fator de Segurança) é calculado a partir dos valores médios das variáveis independentes. Por sua vez, o desvio padrão é calculado a partir das variâncias dos parâmetros de entrada e das derivadas da variável dependente em relação a cada variável independente. Isso possibilita determinar o peso de cada variável independente e desconsiderar as de menor peso ou influência na solução.

O segundo método empregado, conhecido como Método das Estimativas Pontuais (PEM) ou também chamado Método Rosenblueth, leva apenas em conta as variáveis de peso significativo determinadas mediante FOSM.

A priori, esse método dispensa o conhecimento das funções de distribuição das variáveis independentes. Ele emprega apenas os valores das estimativas pontuais calculados na média mais um desvio padrão e média menos um desvio padrão de cada variável.

A variável dependente é calculada para estes pontos, obtendo-se uma amostra da qual se pode calcular sua média e desvio padrão. O método é considerado versátil e de fácil aplicação, entretanto, deve-se assumir uma distribuição para a variável dependente e supõe-se que a distribuição de cada variável independente seja simétrica.

1.3.1 Método FOSM (*First-Order, Second Moment*)

O truncamento da função de expansão da Série de Taylor forma a base deste método. As saídas e entradas de dados são expressas por valores esperados e desvios-padrão.

As vantagens deste tipo de solução são cálculos matemáticos simplificados e o conhecimento apenas dos valores dos momentos das distribuições estatísticas das variáveis que formam a função.

As desvantagens são que os requisitos matemáticos necessários às derivações, embora mais simples que de outros métodos exatos, geralmente não são elementares (Assis, 2014).

A função Fator de Segurança (FS) é avaliada para os pontos médios de todas as variáveis independentes, bem como é a variância de FS. As expressões da série de Taylor foram truncadas a partir de seus termos de segunda ordem, desprezando, portando, os efeitos dos terceiro e quarto momentos probabilísticos. Resultado a expressão 5. No entanto, esta aproximação é plenamente aceitável para fins práticos (Assis, 2014)

$$V[FS] = \sum_1^n \left(\frac{\partial FS_i}{\partial X_i} \right)^2 \times V[X_i] \quad (5)$$

1.3.2 Método de Rosenblueth.

Conhecido como Método das Estimativas Pontuais (PEM), é um método aproximado mais simplificado e somente compromete ligeiramente a acurácia se as dispersões das variáveis envolvidas forem muito grandes.

Consiste em estimar os momentos (média, desvio padrão, coeficiente de assimetria etc.) da variável dependente em função das variáveis aleatórias independentes, para as quais se conheçam pelo menos dois momentos, média e desvio-padrão (ou pelo menos suas estimativas). Isso é feito sem a necessidade de conhecer as distribuições de probabilidade completas das variáveis independentes ou da dependente (Assis, 2014).

Assim, neste trabalho o método probabilístico FOSM foi usado para a determinação das propriedades de maior influência dentro das analisadas inicialmente. Após isso, o método de Rosenblueth foi empregado para obtenção da probabilidade de ruptura do muro com as variáveis que tem maior peso no cálculo.

2 CÁLCULO GEOTECNICO DO MURO

A partir da aplicação do método dos estados limites foram realizados os cálculos. Para a verificação da estabilidade ao tombamento, foi empregada a Equação 6 e para a verificação da

estabilidade do deslizamento da base foi usada a Equação 7. Começou-se primeiramente por estes dois critérios de projeto (tombamento e deslizamento da base), para avaliar se com o dimensionamento máximo possível o muro é estável, se for, outros critérios também serão avaliados.

$$\frac{\gamma_s * \Sigma M^*_{\text{Forças Desestabilizadoras}}}{\Sigma M^*_{\text{Forças Estabilizadoras}}} \leq FS \quad (6)$$

$$\frac{\gamma_s * \Sigma F_{\text{Forças horizontais}}}{\Sigma F_{\text{forças verticais}}^{minorada} * \tan \varphi^* + 0,75 * C^* * b} \leq FS \quad (7)$$

Sendo a critério dos autores o **Fator de segurança - FS** = 1 o valor limite superior, com $FS > 1$ encontra-se a ruptura do muro e para $FS < 1$ o muro se considera estável. Tem-se que cumprir todas condições ou testes, além das

duas inicialmente avaliadas em este trabalho. Considerou-se o FS contrário à convenção tradicionalmente empregada, para destacar que o método empregado é diferente as análises de muros pelo método do fator de seguridade, também empregado em Cuba em projetos de muros de menor importância.

3 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS PROBABILÍSTICOS.

3.1 Método FOSM.

Os resultados baseados na análise empregando o Método FOSM estão mostrados na Tabela 5, na Tabela 6 e na Tabela 7. Pode-se observar que as probabilidades de ruptura foram obtidas com a variação das características do solo B.

Tabela 5. Determinação da probabilidade de ruptura empregando o método FOSM com relação à variação das características do solo B para a análise de estabilidade ao tombamento.

Tombamento	X_i	δX_i	δFS_{ii}	$\frac{\delta FS_{ii}}{\delta X_i}$	$V[X_i]$	$(\frac{\delta FS_{ii}}{\delta X_i})^2 * V[X_i]$	Peso (%)
$\gamma_f (kN/m^3)$	20,15	2,02	0,01	0,0050	1,0201	0,0000251	1,90
$c' (kPa)$	5	0,50	0,00	-0,0060	4	0,0001440	10,87
$\varphi (^\circ)$	29	2,90	-0,03	-0,0117	8,41	0,0011000	87,24
$FS_{\text{médio}}$		0,324			$V[FS]$	0,0013	
p_s		0,00%			$S[FS]$	0,0364	100

Tabela 6. Determinação da probabilidade de ruptura empregando o método FOSM com relação à variação das características do B para a análise de estabilidade ao deslizamento pela base.

Deslizamento	X_i	δX_i	δFS_{ii}	$\frac{\delta FS_{ii}}{\delta X_i}$	$V[X_i]$	$(\frac{\delta FS_{ii}}{\delta X_i})^2 * V[X_i]$	Peso (%)
$\gamma_f (kN/m^3)$	20,15	2,02	0,07	0,0367	1,0201	0,001380	15,49
$c' (kPa)$	5	0,50	-0,01	-0,0140	4	0,000784	8,83
$\varphi (^\circ)$	29	2,90	-0,08	-0,0283	8,41	0,006720	75,69
$FS_{\text{médio}}$		0,958			$V[FS]$	0,0089	
p_f		32,79%			$S[FS]$	0,0943	100

Tabela 7. Determinação da probabilidade de ruptura empregando o método FOSM com relação à variação das características do solo A para a análise de estabilidade ao tombamento.

Deslizamento	X_i	δX_i	δFS_{ii}	$\frac{\delta FS_{ii}}{\delta X_i}$	$V[X_i]$	$(\frac{\delta FS_{ii}}{\delta X_i})^2 * V[X_i]$	Peso (%)
$c' (kPa)$	41	4,10	-0,05	-0,0132	268,96	0,04670	97
$\varphi (^\circ)$	12	1,2	-0,04	-0,0317	1,44	0,00144	3
$FS_{\text{médio}}$		0,958			$V[FS]$	0,0481	
p_f		42,00%			$S[FS]$	0,2193	100

A probabilidade de ruptura do muro será calculada para cada evento, para uma distribuição normal de probabilidades. Determinamos a probabilidade de segurança, entrando na distribuição normal com o fator de

segurança médio e seu desvio padrão, identificando esse valor obtido neste documento com um asterisco. Logo para determinar a probabilidade de ruptura, basta com determinar a diferencia com a unidade, o seja 1.

Com a variação das características do solo B um 10% crescendo-as, a estabilidade da massa de solo é melhor o que torna mais segura a estabilidade do muro.

$$Pf_{(\text{tombamento})} = 1 - 1^* = 0$$

$$Pf_{(\text{deslizamento})} = 1 - 0,6721^* = 0,3279$$

Com a variação das características do solo A, veja tabela 7, não existe influencia no teste de tombamento, como é lógico devido que o solo da base não influi no tombamento e a probabilidade de falha é somente a do teste de deslizamento, sendo ligeiramente maior que a anterior.

$$Pf_{(m.d)} = 1 - 0,58^* = 0,42$$

Os resultados mostram a importância da definição do peso das variáveis, para conhecer sua participação no cálculo da estabilidade do

muro. Como os dois solos são muito distintos, o resultado do peso das propriedades de cada solo foi diferente. Para o caso em estudo, a propriedade mais relevante para o solo B foi o ângulo de atrito e para o solo A foi a coesão. O peso específico do solo tem alguma importância, porém será excluído da análise empregando o método Rosenblueth.

3.2 Método PEM ou Rosenblueth.

O resultado obtido pelo Método das Estimativas Pontuais, na Tabela 8, permite observar os valores das probabilidades de ruptura para cada caso. Foi encontrado que já no segundo teste do primeiro estado limite, o muro apresentou a ruptura ao deslizamento pela base.

Um resumo dos Fatores de Segurança obtidos está apresentado na Tabela 9. Sendo $S[FS]$ o desvio do fator de segurança médio ($FS_{\text{médio}}$).

Tabela 8. Determinação da probabilidade de falha (PEM) com relação à variação das características do solo A e solo B.

No. de corrida	Variando as características do solo A				Variando as características do solo B			
	C (kPa)	φ (°)	$FS_{\text{Tomb.}}$	$FS_{\text{Desliz.}}$	C (kPa)	φ (°)	$FS_{\text{Tomb.}}$	$FS_{\text{Desliz.}}$
1	57,4	13,2	0,324	0,748	7	31,9	0,278	0,85
2	57,4	10,8	0,324	0,8	7	26,1	0,348	1,019
3	24,6	13,2	0,324	1,193	3	31,9	0,302	0,901
4	24,6	10,8	0,324	1,331	3	26,1	0,375	1,08
$FS_{\text{médio}}$	-	-	0,324	1,018	-	-	0,325	0,9625
$S[FS]$	-	-	0,000	0,2881	-	-	0,0438	0,1056
Probabilidade	-	-	-	0,4751	-	-	1	0,6388
p_f	-	-	-	0,5249	-	-	0	0,3612

Tabela 9. Resumo dos Fatores de Segurança obtidos.

Método	Teste		Solo A**	Solo B**
FOSM	Tombamento	$FS_{médio}$	0,3240	0,3150
		S[FS]	0,0000	0,0364
	Deslizamento	$FS_{médio}$	0,9120	0,9530
		S[FS]	0,2193	0,0943
PEM	Tombamento	$FS_{médio}$	0,3240	0,3258
		S[FS]	0,0000	0,0438
	Deslizamento	$FS_{médio}$	<u>1,0180</u>	0,9625
		S[FS]	0,2881	0,1056
		$FS_{Tomb} = 0,324^*$	$FS_{Desliz} = 0,958^*$	

* Sem variação das propriedades do solo.

**Com variação das propriedades do solo.

Este artigo apresentou a análise da estabilidade de uma estrutura de contenção em Cuba baseando-se nas normas locais e dos resultados obtidos, pode-se observar que:

O teste de tombamento teve resultado estável do muro, enquanto a condição ou teste de deslizamento, como observado nas tabelas 8 e 9, evidenciou instabilidade; resultando diferente de quando calculado mediante os valores médios dos parâmetros do solo que para todas as condições avaliadas foi estável.

Devido que o muro foi instável com as dimensões máximas possíveis, não foi preciso continuar as comprovações de capacidade de carga da fundação, ruptura global e recalque excessivo.

4 CONCLUSÕES

Como esperado, as variações dos parâmetros dos solos influem significativamente nas probabilidades de ruptura do muro de contenção, independentemente do método estatístico usado.

Os métodos probabilísticos permitem comprovar a importância da análise realizada, tendo em vista que, pela análise determinística, não haveria ruptura do muro para os dois critérios avaliados.

Para o caso estudado, a aplicação do método probabilístico FOSM mostrou que as variáveis de maior peso nas análises foram o ângulo de atrito e a coesão.

A variação de γ_f não foi de muita importância quando são analisadas as probabilidades de falha obtidas pelos dois métodos probabilísticos.

Com a aplicação do método PEM foram obtidos resultados aproximados aos de FOSM, somente sim considerar o γ_f do solo B, devido ao pouco peso deste. Além disso, encontra-se um acréscimo importante da probabilidade de falha.

Os $FS_{\text{médio}}$ obtidos com PEM são maiores que os obtidos com FOSM e que o obtido sem variação das propriedades.

A probabilidade de falha com a variação das características do solo A foi maior, com aplicação do PEM.

Com esses métodos foram determinados fatores de segurança assim como as probabilidades de falha do muro, para cada condição de projeto avaliada, permitindo conhecer mais realisticamente as condições prováveis para as variáveis consideradas, dado que os métodos podem se complementar como concluído também por Farias & Assis (1998) onde como neste caso o método FOSM apresenta a vantagem de quantificar a influência relativa de cada parâmetro, além de exigir em princípio menos análises. No entanto, pode fornecer probabilidades de ruptura abaixo das fornecidas pelo método de Rosenbluet.

Resulta preciso executar ações que diminuam as probabilidades de falha e aumentem os fatores de segurança, as dimensões escolhidas no início foram as maiores possíveis, e o muro é instável.

Estes cálculos permitiram conhecer a realidade mais provável que pode acontecer, se

o muro for construído, o que não é recomendado pelos autores.

Em caso de condições não consideradas, com chuvas, sismo, etc., outras análises teriam que ser feitas, assim como para qualquer outra fonte de variabilidade nas condições de projeto antes comentadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa cubana que nos permitiu utilizar os dados da sua investigação geotécnica da área de interesse (ENIA UIC - VC), que foram imprescindíveis para a realização deste artigo.

REFERÊNCIAS

- Assis, A. P. (2014). *Métodos Estatísticos em Geotecnia*, Notas de Aulas, Pós-graduação em Geotecnia, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília.
- Baecher, G., & Christian, J. (2003). *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering*. ISBN: 978-0-471-49833-9, John Wiley & Sons Canada Ltd, 618 p.
- Farias, M. M., & Assis, A. (1998). *Una comparación entre métodos probabilísticos aplicados a la estabilidad de taludes*. COBRAMSEG, Brasil.
- González, A. V., & Quevedo, G. (2007). Aplicación de la teoría de seguridad al diseño de cimentaciones en arenas. Chequeo de linealidad. *Ingeniería de la construcción*. Vol. 22. No. 2., 25-36.
- Martínez, A., & Quevedo, G. (2011). Análisis estocástico y diseño probabilista en la geotécnica. Aplicación al diseño geotécnico de cimentaciones superficiales en suelos cohesivos. *Revista de la Construcción* vol.10.No.1. ISSN 0718-915x., 15-23.
- Quevedo, G. (2004). *Diseño geotécnico de muros*. Notas de aula da disciplina Projeto de fundações e muros (em Espanhol), Faculdade de Construções. Universidad Central de la Villas, Facultad de construcciones.
- Rosenblueth, E. (1975). Point estimates for probability. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNATL ACAD SCI USA)*.
- Vargas, R. (2013). *Análises da influência da variabilidade dos parâmetros geotécnicos no projeto geotécnico de muros de contenção, utilizando o método de Monte Carlo*. (em Espanhol). Trabalho de TCC, Faculdade de Ciencias e Ingeniería. Universidad Católica de Perú. Lima, Perú, 81 p.