

## Análise de Estabilidade de Contenção Tipo Terra Armada, a Partir de Ângulo de Atrito Interno Teórico e Real

Caio Queiroz Fonteles

Engenheiro civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil,  
caio\_qf@hotmail.com

Giullia Carolina de Melo Mendes

Graduanda em engenharia civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, giucmendes@gmail.com

Teresa Raquel Lima Farias

Professora associada, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, teresafarias@ifce.edu.br

Juceline Batista dos Santos Bastos

Professora associada, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Morada Nova, Brasil, jucelinebatista@hotmail.com

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Professor associado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

**RESUMO:** Analisou-se o dimensionamento de uma estrutura do tipo Terra Armada por meio da determinação de fatores de segurança quanto à estabilidade externa e interna, além da comparação desses, a partir de ângulo de atrito interno teórico e real. Foram realizados ensaios de granulometria, compactação e triaxial. Obteve-se ângulo de atrito interno teórico de  $34^\circ$  com base na literatura e na caracterização do material e real de  $36^\circ$  a partir do ensaio triaxial. Verificou-se que os fatores de segurança calculados com o ângulo de atrito real foram de 7% a 17% maiores em comparação com aqueles obtidos com o dado teórico. Verificou-se que o dimensionamento da estrutura a partir do ângulo de atrito teórico foi racional, tendo em vista que atendeu aos limites de fatores de segurança e não os extrapolou demasiadamente. Porém, sugere-se que mais estudos avaliem os parâmetros geotécnicos dos materiais em uso, permitindo a obtenção de estruturas mais realistas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Terra Armada, Estabilidade, Contenção, Ângulo de Atrito Teórico e Real.

**ABSTRACT:** The design of a reinforced earth was analyzed by means of the safety factors determination regarding the external and internal stability, besides the comparison of these, by means from theoretical and real internal friction angle. Grain size distribution, compaction and triaxial tests were performed. A theoretical internal friction angle of  $34^\circ$  was obtained based on the literature and material characterization and real of the  $36^\circ$  from the triaxial test. It was found that the safety factors calculated with the actual friction angle were 7% to 17% higher compared to those obtained with the theoretical data. It was verified that the design of the structure from the theoretical angle of friction was as expected, considering that it met the limits of safety factors and did not extrapolate them too much. However, it is suggested that more studies evaluate the geotechnical parameters of the materials in use, allowing the acquisition of more realistic structures.

**KEYWORDS:** Reinforced earth, Stability, Contention, Theoretical and real friction angle.

## 1 Introdução

Muros de arrimo, melhoramentos de solo, solo grampeado e reforçado são meios para se alcançar maior segurança e atender as necessidades da sociedade, proporcionando acesso a regiões com diferentes níveis, melhorando a segurança de encostas ou criando ambientes propícios à utilização do solo.

Visando melhor custo  $\times$  benefício nesses tipos de obras, o uso dos muros de solo reforçado vem se tornando competitivo, já que se trata de uma estrutura que suporta cargas muito maiores que o seu peso próprio e que apresentam um custo de construção e manutenção abaixo das demais estruturas de contenção.

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é analisar o dimensionamento de uma estrutura de contenção do tipo Terra Armada, avaliando fatores de segurança quanto à estabilidade externa e interna, além de comparar esses fatores obtidos a partir de ângulo de atrito interno teórico e real.

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Contenção em Terra Armada

A contenção de solo reforçado do tipo Terra Armada, proposta por Henri Vidal na década de 1960, se mostra como uma alternativa para obras de geotecnia, como túneis e viadutos, pois, pode apresentar grandes alturas (superiores a 20 m), simplicidade técnica em seu método construtivo. Essa contenção é uma estrutura de aterro compactado, reforçado com armaduras metálicas que interagem com o solo por meio do atrito solo  $\times$  armadura (Figura 1). Essa interação, juntamente a um paramento flexível executado em concreto, promove a estabilização do talude vertical (Pessoa, 2016).



Figura 1. Exemplo de aplicação de contenção em Terra Armada (Fonte: <http://www.gruporbengenharia.com.br>).

### 2.2 Materiais de Contenção em Terra Armada

#### 2.2.1 Estrutura e Material de Aterro

O material de aterro tem função de suportar os esforços de compressão e de corte, sendo dos reforços o papel de suportar as tensões tangenciais induzidas no solo quando estes se deformam. Para que a terra armada cumpra seu papel, é necessária ligação entre o material de aterro e reforços, e para que essa ligação seja feita é necessário que haja um elevado atrito entre os dois, que só é suficiente quando o solo apresenta um elevado ângulo de atrito interno, sendo indicada a utilização de materiais granulares, e a exclusão de solos com elevada quantidade de finos e/ou com presença de matéria orgânica (Silva, 2012).

Desde que a NBR 9286 (ABNT, 1986) que trata da execução de Terra Armada foi cancelada, tem-se adotado a NBR 5681 (ABNT, 1980) que trata do controle tecnológico da execução de aterros em obras de

edificações, para que seja feita a escolha mais coerente do material a ser utilizado nesse tipo de estrutura, tendo em vista que as características do material para os dois tipos de estruturas são semelhantes.

### 2.2.2 Reforços

Felix (1991) explica que as armaduras tem a função de mobilizar, por atrito, tensões tangenciais ao longo da sua superfície, além de resistir aos esforços de tração. Por não ser possível a visualização desses reforços, por estarem envoltos por solo, é necessário seguir alguns critérios para escolha do aterro, já que é difícil dar a manutenção nas armaduras.

Segundo Silva (2012), o reforço de Terra Armada deve apresentar: (i) resistência à tração; (ii) ruptura do tipo não frágil; (iii) baixa deformabilidade às cargas aplicadas; (iv) adequado coeficiente de atrito com o solo; (v) flexibilidade para se adaptar as ondulações formadas no solo no decorrer do processo de compactação; (vi) trabalhabilidade, durabilidade e economia.

Para cumprir todos esses requisitos, os reforços devem ser escolhidos cuidadosamente, sendo dos tipos extensíveis ou inextensíveis as armaduras ofertadas em mercado. Reforços inextensíveis (indeformáveis) são normalmente feitos de aço galvanizado e apresentam pequenas ranhuras para melhorar o atrito solo×reforço. Existem também os reforços extensíveis (deformáveis), tecnologia mais atual, com fitas poliméricas formadas por fios de poliéster de alta aderência embainhados em tiras de polietileno. Assim como as fitas metálicas, as fitas poliméricas apresentam pequenas ranhuras, com a mesma função.

### 2.2.3 Escamas

Para que a massa de solo não se desloque, faz-se necessário algum tipo de estrutura que a contenha, sendo o papel das placas pré-moldadas de concreto, escamas ou pele. Félix (1991) e Silva (2012) comentam que as escamas são as estruturas que evitam que a massa de solo sofra rotação ou erosão, além de funcionar como melhoramento da estética da estrutura. Essas placas de concreto armado apresentam alguns tipos de geometrias, como as retangulares e as hexagonais (Figura 2).



Figura 2. Geometrias das escamas (Silva, 2012).

Essas escamas devem ser cuidadosamente fabricadas, pois qualquer alteração em sua estrutura poderá causar falha na montagem e atraso na construção da contenção. Um aspecto importante para a manutenção da qualidade da escama é o içamento, tendo em vista que o levantamento incorreto dessa estrutura poderá danificá-la. Dessa forma, as escamas devem apresentar pontos de içamento, formadas por estruturas de aço dobrado, com a função de receber os ganchos que são anexados à lança do caminhão “munck”.

Em seguida, deve ser observada a montagem do muro, que se inicia por uma primeira camada assentada acima de uma estrutura de nivelamento, chamada de soleira, que tem a função de evitar que o muro tenha algum tipo de inclinação inicial. As escamas não podem apresentar uma inclinação maior que 15 mm, para que não haja uma distribuição incorreta das cargas que serão aplicadas ao terreno.

### 2.2.4 Aspectos de Projeto

Segundo Felix (1991), o dimensionamento de uma estrutura de Terra Armada exige três tipos de análise: dimensionamento quanto à (I) estabilidade interna dos diversos elementos da estrutura, como: o material de aterro, as fitas extensíveis ou inextensíveis, etc.; (II) estabilidade externa da estrutura, que consiste em definir: (a) a capacidade de carga que o terreno pode suportar; (b) a estabilidade em relação ao

deslizamento pela base; (c) a estabilidade geral do conjunto composto pela obra e pela fundação; e (d) a estabilidade global; (III) análise do fator sísmico da região.

### 2.2.5 Estabilidade Interna

Segundo Felix (1991), Silva (2012) e Gerscovich *et al.* (2016), o dimensionamento da estabilidade interna da estrutura é realizado a partir do método do equilíbrio-limite, que consiste em definir as dimensões, espaçamento e tipo de reforço utilizado no interior do maciço para que não haja ruptura desses reforços. Essa análise visa evitar ruptura dos reforços ao (A), arrancamentos desses (B), desprendimento da face (C) e/ou instabilidade local (D). Essas falhas (Figura 3) podem ocasionar, em casos extremos, o colapso da estrutura.

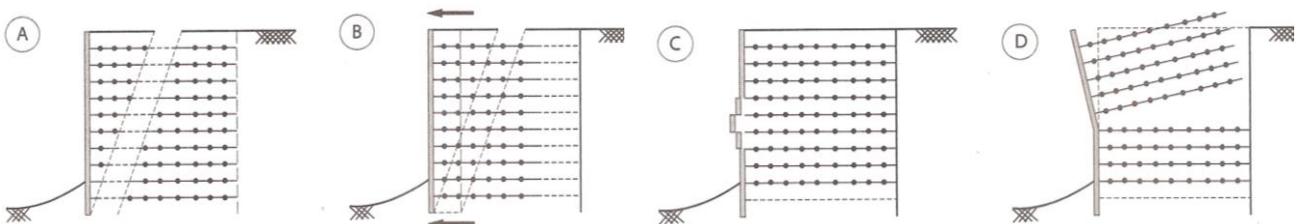


Figura 3. Mecanismos para análise da estabilidade interna (Ehrlich e Becker, 2009).

Para dimensionar os reforços no Brasil, por não sofrer com abalos sísmicos significantes, utiliza-se a Equação 1 (Silva, 2012).

$$F_{Sa} = \frac{\sigma_a}{T_a} \quad (1)$$

Sendo,  $F_{Sa}$ : Fator de segurança ao arranque;  $\sigma_a$ : resistência ao arranque dos reforços;  $T_a$ : força resultante horizontal das tensões nos reforços.

### 2.2.6 Estabilidade Externa

A análise da estabilidade externa das contenções em Terra Armada é semelhante à análise de taludes convencionais. Portanto, são utilizadas as diretrizes estabelecidas na NBR 11682 (ABNT, 2009). De tal forma, são avaliadas as possíveis ocorrências de deslizamento (A), tombamento (B) ruptura ou deformação excessiva do terreno de fundação (C), além da instabilidade global (D), exemplificadas na Figura 4.

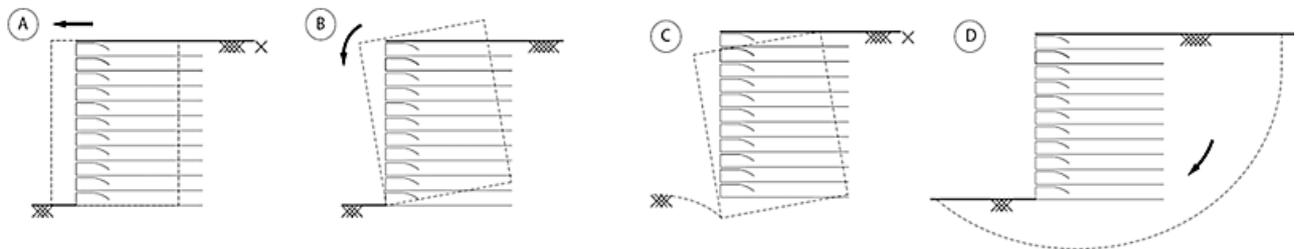


Figura 4. Mecanismos para análise da estabilidade externa (Ehrlich e Becker, 2009).

- Deslizamento

Para estrutura não sofrer com deslizamento do maciço, é importante que a resistência do solo à resultante vertical seja maior que as forças na direção da base, ou seja, a razão entre tais forças deve ser superior a 1 (Equação 2).

$$C_s = \frac{\sum F_r}{\sum F_s} \quad (2)$$

Sendo,  $C_s$ : Coeficiente de Segurança;  $\Sigma F_r$ : somatório das forças que resistem ao deslizamento;  $\Sigma F_s$ : somatório das forças que solicitam o deslizamento.

- Tombamento

De uma maneira geral, a análise quanto ao tombamento indica que a estrutura em Terra Armada não irá rotacionar. Para evitar essa rotação, é imprescindível que o momento estabilizador (peso da estrutura) seja maior que o momento instabilizador (Empuxo de Terra), mantendo-a firme (Equação 3).

$$C_s = \frac{\sum M_r}{\sum M_o} \quad (3)$$

Sendo,  $\Sigma M_r$ : somatório dos momentos que tendem a manter a estrutura estável;  $\Sigma M_o$ : somatório dos momentos que tendem a tombar a estrutura.

- Capacidade de Carga da Fundação

Para a verificação da capacidade de carga do terreno de fundação é necessário obter capacidade de carga do solo de fundação ( $q_u$ ) superior ao valor máximo da carga que atuará nesse solo após a implantação da estrutura ( $q_{m\acute{a}x}$ ) (Equação 4).

$$C_s = \frac{q_u}{q_{m\acute{a}x}} \quad (4)$$

Na Tabela 2 são apresentados os fatores de segurança mínimos exigidos pela NBR 11682, que trata da estabilidade de encostas (ABNT, 2009) para que se possa garantir a estabilidade dos muros de contenção.

Tabela 2. Requisitos para a estabilidade de muros de contenção, conforme NBR 11682 (ABNT, 2009).

Verificação de segurança	$C_s$ mínimo
Tombamento	2,0
Deslizamento de base	1,5
Capacidade de carga da fundação	3,0

Nota: na verificação da capacidade da fundação podem ser utilizados os critérios e fatores preconizados pela NBR 6122 (ABNT, 2010).

- Estabilidade Global

A análise da estabilidade global consiste em verificar, por meio da análise do solo presente na obra e o solo da vizinhança, a estabilidade do talude. Isso é feito a partir da análise de prováveis superfícies de rupturas, antecipando qualquer tipo de acontecimento que possa fazer com que a estrutura possa colapsar. Em relação à estabilidade global, os fatores de segurança podem variar de 1,3 a 1,5, conforme NBR 11682 (ABNT, 2009).

### 3 Caracterização da Obra

Com a intenção de melhorar a mobilidade em uma das principais entradas de Fortaleza-CE, foi construído o viaduto sobre a Praça Manuel Dias Branco, ligando a Avenida Aguanambi à BR-116 (Figura 5), famoso ponto de forte congestionamento. As estruturas de contenção desta pesquisa fazem parte desse viaduto, sendo quatro estruturas de Terra Armada, duas em cada acesso ao viaduto, medindo 36,0 m de comprimento e altura máxima de 3,6 m.



Figura 5. Localização da obra.

De acordo com as sondagens realizadas, constatou-se a presença em um dos furos de material arenoso até 2,3 m; argila siltosa rija a partir dos 2,3 m de profundidade, seguido por areia muito compactada. A partir de 11,8 m verificou-se a presença de rochas. Já o outro furo de sondagem mista, apresentou características semelhantes, mas atingindo a rocha à 19,1 m de profundidade.

### 3.1 Parâmetros Geotécnicos

O pó de pedra, utilizado como material compactado da estrutura de Terra Armada, foi obtido de jazida localizada no morro da Monguba. Apresenta percentual de finos de 13%, inferior, então, aos 25% máximos especificados pela norma, como demonstrado na curva granulométrica do material (Figura 7).

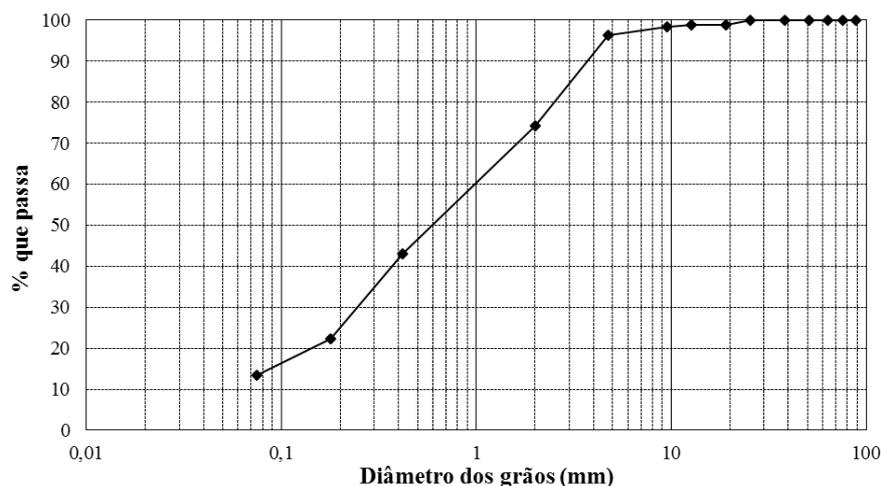


Figura 7. Curva granulométrica do pó de pedra.

No ensaio de compactação Proctor intermediário, realizado conforme NBR 7182 (ABNT, 1986), verificou-se umidade ótima de 8,8% e peso específico aparente seco máximo de  $19,07 \text{ kN/m}^3$ , parâmetros utilizados no cálculo de tensões do maciço e determinação do ângulo de atrito teórico. Classificou-se esse solo pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) em SM (Solo Areno-Siltoso).

### 3.2 Ângulo de Atrito

O ângulo de atrito real, obtido a partir de ensaio triaxial do tipo adensado não drenado, foi de 36°, conforme círculos de Mohr e envoltória de Coulomb apresentados na Figura 8. O material não apresentou coesão.

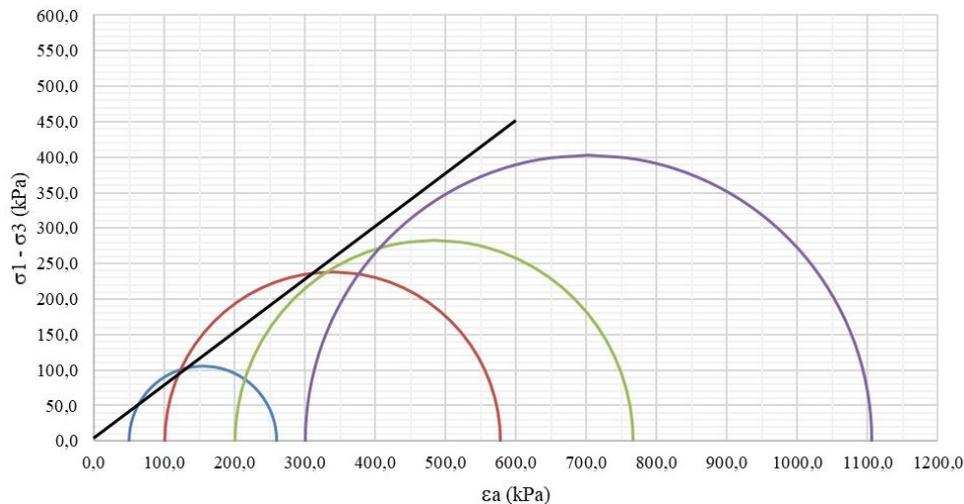


Figura 8. Círculos de Mohr e envoltória de Coulomb obtidos através de ensaio triaxial.

Já o ângulo de atrito teórico foi obtido na Tabela 3 (adaptada de Carvalho, 1991) a partir dos parâmetros laboratoriais determinados nesta pesquisa e respectiva classificação do material. Na Tabela 4 apresenta-se resumo dos parâmetros geotécnicos, geometria da contenção, características do equipamento utilizado na compactação do aterro, assim como ângulo de atrito obtido na Tabela 3, indicado por  $\text{tg } \phi$  igual a 0,67 que resulta em 34°.

Tabela 3. Resultados de 1500 ensaios de solos obtidos pelo *U.S. Bureau of Reclamation* (adaptado de Carvalho, 1991).

Grupo de solo	Compactação		Índice de Vazios	Permeabilidade $k/10^{-6}$ (cm/s)	Compressibilidade % do volume inicial		Resistência ao cisalhamento		
	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	h (%)			1,4 kgf/cm <sup>2</sup>	3,5 kgf/cm <sup>2</sup>	C' kgf/cm <sup>2</sup>	C'sat kgf/cm <sup>2</sup>	tg $\phi$
GW	>1,90	<13,3	(x)	27,00±13,00	<1,4	(x)	(x)	(x)	>0,79
GP	>1,76	<12,4	(x)	64,00±34,00	<0,8	(x)	(x)	(x)	>0,74
GM	>1,82	<14,5	(x)	>0,30	<1,2	<3,0	(x)	(x)	>0,67
GC	>1,84	<14,7	(x)	>0,20	<1,2	<2,4	(x)	(x)	>0,60
SW	1,90±0,08	13,3±2,5	0,48±(x)	(x)	1,4±(x)	(x)	0,40±0,04	(x)	0,79±0,02
SP	1,76±0,03	12,4±1,0	0,50±0,03	>15,00	0,8±0,3	(x)	0,23±0,06	(x)	0,74±0,02
SM	1,82±0,02	14,5±0,4	0,48±0,02	7,50±4,80	1,2±0,1	3,0±0,4	0,52±0,06	0,20±0,07	0,67±0,02
SM-SC	1,90±0,02	12,8±0,5	0,41±0,02	0,80±0,60	1,4±0,3	2,9±1,0	0,51±0,02	0,14±0,06	0,66±0,07
SC	1,84±0,02	14,7±0,4	0,48±0,01	0,30±0,20	1,2±0,2	2,4±0,5	0,76±0,02	0,11±0,06	0,60±0,07
ML	1,65±0,02	19,2±0,7	0,63±0,02	0,59±0,23	1,5±0,2	2,6±0,3	0,68±0,01	0,09±(x)	0,62±0,04
ML-CL	1,74±0,03	16,8±0,7	0,54±0,03	0,13±0,07	1,0±0,2	2,2±0,0	0,64±0,02	0,22±(x)	0,62±0,06
CL	1,73±0,02	17,3±0,3	0,56±0,01	0,08±0,03	1,4±0,2	2,6±0,4	0,88±0,01	0,13±0,02	0,54±0,04
MH	1,31±0,06	36,3±3,2	1,15±0,12	0,16±0,10	2,0±1,2	3,8±0,8	0,73±0,03	0,20±0,09	0,47±0,05
CH	1,50±0,03	25,5±1,2	0,80±0,04	0,05±0,05	2,6±1,3	3,9±1,5	1,04±0,03	0,11±0,06	0,35±0,09

\*  $\rho$  indica a massa específica aparente do solo e h indica o teor de umidade (%),  $\pm$  indica um limite de confiança de 90% e (x) significa um número insuficiente de valores.

Tabela 4. Informações para o dimensionamento.

Geometria do muro		Parâmetros do material de aterro	
Espessura – e (m)	6,0	Classificação SUCS	SM
Altura – h (m)	3,6	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	19,07
Espacamento dos reforços (m)	0,75	$\phi$ real (°)	36
Inclinação da face (%)	3	$\phi$ teórico (°)	34
		Coesão (kPa)	0
Característica do rolo compactador			
Tipo de equipamento		Dynapac CA134	
Tensão vertical induzida (kPa)		110	

## 4 Análise da Contenção em Terra Armada

### 4.1 Dimensionamento

Para análise da estrutura em Terra Armada, foram calculados os coeficientes de segurança quanto ao deslizamento, tombamento, capacidade de carga do solo de fundação e estabilidade global da estrutura muro-solo com base nas dimensões do projeto da estrutura.

A partir das informações apresentadas na Tabela 4 foi possível realizar análise do dimensionamento da estrutura. A partir do cálculo das tensões verticais, foi calculado o empuxo ativo (Equação 5), adotando-se a carga de 75 kN/m<sup>2</sup> aplicada a superfície da estrutura, conforme NBR 7188 (ABNT, 2013), que trata da carga móvel causada por veículos e pessoas em pontes e viadutos.

A avaliação do Coeficiente de Segurança quanto ao tombamento ( $C_{Stombamento}$ ) foi realizada a partir da determinação do momento resistente ao tombamento, a partir do peso do muro e do cálculo do momento em função do peso do muro ( $M_{Pm}$ ). Calculou-se ainda o momento devido à carga vertical e ao peso do solo na lateral do muro que gera empuxo ativo. Determinou-se o momento que gera o tombamento da estrutura, conforme Ehrlich e Becker (2009).

A razão entre o somatório dos momentos causados por cargas verticais ( $M_v$ ) e em função do peso do muro ( $M_{Pm}$ ) pelo momento que tende a gerar o tombamento da estrutura ( $M_o$ ) resultou no  $C_{Stombamento}$  de 7,2.

Em seguida, avaliou-se o  $C_{Sdeslizamento}$ , pela obtenção das forças que resistem ( $F_r$ ) ao deslizamento (Equação 5) e das forças que causam o deslizamento da estrutura ( $F_s$ ), sendo  $F_s$  igual ao  $E_{(ativo)}$ . A razão entre esses dois parâmetros resultou no  $C_{Sdeslizamento}$  de 1,9.

O coeficiente de segurança que avalia a capacidade de carga do solo de fundação ( $C_{Sfundação}$ ) foi calculada por meio da Equação 6, segundo Ehrlich e Becker (2009).

$$F_r = P_m \cdot \tan \alpha \quad (5)$$

$$C_{sfundação} = \frac{q_{lim}}{\sigma'_{z,b}} \quad (6)$$

Para  $C_{Sfundação}$ , foi avaliada a distribuição de tensões atuantes na base do muro, principalmente por conta do peso da estrutura, ( $\sigma'_{z,b}$ ) de 71,2 kN, e a capacidade de suporte do solo de fundação, obtida a partir da sondagem, ( $q_{lim}$ ) de 944,6 kN, encontrou-se um CS de 13,3.

Para a análise da estabilidade global da estrutura, foi utilizado a versão estudantil do módulo Slope/W do software GeoStudio®, que impossibilita a introdução das fitas metálicas de reforço. Para uma modelagem coerente, tomou-se como referência o estudo de Silva (2012), no qual é indicada a aplicação de uma coesão fictícia no solo onde as fitas metálicas são inseridas, simulando a resistência à tração dos reforços por meio da coesão. Obteve-se o  $CS_{global}$  na cunha de ruptura mais crítica de 3,086, como evidenciado na Figura 9, indicando uma estrutura estável.

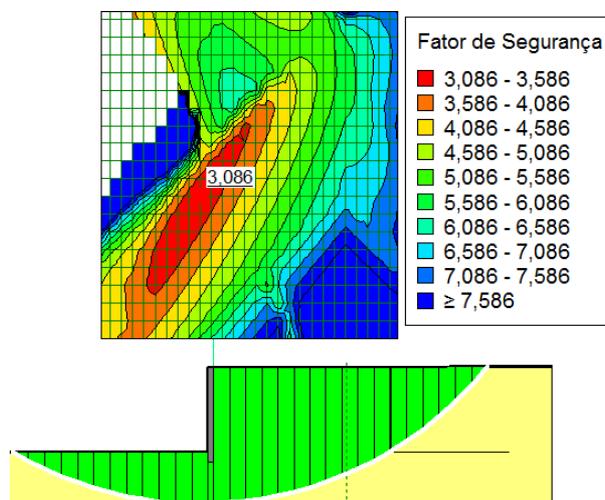


Figura 9. Resultado de Análise da Estabilidade Global.

Na Tabela 5 resumem-se e comparam-se os resultados de CS externos da contenção desta pesquisa, determinados a partir de ângulo de atrito interno real e teórico.

Tabela 5. Resumo dos Coeficientes de Segurança.

Fatores de Segurança	$\phi$ teórico (34°)	$\phi$ real (36°)
Deslizamento	1,9	2,2
Tombamento	7,2	7,8
Capacidade de Suporte	13,4	15,0
Estabilidade Global	3,1	3,3

Segundo a NBR 11682 (ABNT, 2009), o coeficiente de segurança recomendado quanto à capacidade de carga do solo de fundação deve ser maior ou igual a 3,0, e observa-se da Tabela 5 que o coeficiente de segurança da estrutura em questão está, no mínimo, quatro vezes maior. Caso somente esse parâmetro fosse analisado, a estrutura estaria superdimensionada. Pode-se observar conduta semelhante ao analisar o CS quanto ao tombamento, tendo em vista que a norma orienta que seja adotado um fator de segurança maior ou igual a 2, portanto 3 vezes menor que o atingido pela estrutura. Já quando analisado o terceiro fator de segurança, quanto ao deslizamento, atingiu-se o valor de 1,8, quando a norma orienta a utilização de valores superiores a 1,5, portanto, não ultrapassando excessivamente o limite citado em norma.

Para o dimensionamento dos reforços, segundo Ehrlich e Becker (2009) é necessária a realização de interações fazendo alterações nas dimensões e profundidades das fitas até que os fatores de segurança estejam dentro do aceitável. Como a finalidade deste estudo é somente avaliar o dimensionamento da estrutura, não há necessidade de fazer tais interações, de forma que foram utilizadas somente as dimensões já adotadas na obra, possibilitando determinar os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Análise dos coeficientes de segurança das fitas com ângulo de atrito teórico e ângulo de atrito real.

Camada	Espaçamento Vertical (m)	Profundidade (m)	Tensão máxima teórica (MPa)	CS teórico	Tensão máxima real (MPa)	CS real
1	0,75	0,75	19,06	4,79	17,51	5,22
2	0,75	1,50	18,42	9,99	16,92	10,88
3	0,75	2,24	17,55	15,92	16,12	17,34

Observando os resultados dos coeficientes de segurança aplicados às fitas, verifica-se que aumentando a profundidade aumenta-se o coeficiente de segurança, e isso é acarretado por conta do acréscimo de tensões verticais, o que facilita a criação da relação solo×reforço, aumentando à resistência à

ruptura global da estrutura. Silva (2012) cita o coeficiente de segurança mínimo aceitável para os reforços inextensíveis de 1,5, estando, então, esta estrutura cumprindo as normas.

## 5 Considerações Finais

Este artigo demonstrou as principais características de muros de Terra Armada, focando na contenção de um viaduto construída na cidade de Fortaleza, Ceará. Assim, foi possível perceber que é uma solução estrutural em ascensão.

Foi verificado por meio da análise do dimensionamento dessa estrutura, considerando o ângulo de atrito interno teórico e real, que os fatores de segurança calculados com o ângulo de atrito real foram de 7% a 17% maiores em comparação com os valores obtidos com o dado teórico. Destaca-se que esses ângulos foram muito semelhantes (ângulo de atrito teórico de 34° com base na literatura e na caracterização do solo; já o ângulo de atrito real, obtido a partir do ensaio triaxial, foi de 36°).

Por fim, sugere-se a realização de pesquisas que avaliem parâmetros geotécnicos do solo, podendo-se obter cálculos mais realistas, além da ampliação de banco de dados de solos, já que há na literatura indicações de ângulos de atrito em função da caracterização dos materiais.

## AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa do segundo autor e ao Laboratório de Mecânica dos Solos e Asfalto (LMSA) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, *campus* Fortaleza, pela realização dos ensaios geotécnicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro. 39 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1980). NBR 5681: Controle Tecnológico da execução de aterros em obras de edificações. Rio de Janeiro. 2 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro. 103 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986). NBR 7182: Ensaio de Compactação de solo. Rio de Janeiro. 10 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986). NBR 9286: Terra Armada. Rio de Janeiro. 20 p.
- Carvalho, L. H. (1983). Curso de Barragens de Terra: Com vistas ao Nordeste Brasileiro. 1ª. ed. Brasil: Ministério do Interior. 173 p.
- Ehrlich, M.; Becker, L. (2009). Muros e Taludes de Solo Reforçado: projeto e execução. 1ª. ed. Brasil: Oficina de Textos. 126 p.
- Felix, C. M. S. (1991). Comportamento dos Muros de Terra Armada. 1991. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- Gerscovich, D.; Danziger, B. R.; Saramago, R. (2016). Contensões: teoria e aplicações em obras. 1ª. ed. Brasil: Oficina de Textos. 319 p.
- Pessoa, R. G. (2016). Avaliação dos Custos Construtivos de Estruturas de Contenção no Município de Natal/RN. 2016. 17 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.
- Silva, N. H. (2012). Análise do Dimensionamento de Solo Reforçado Tipo Terra Armada: Muros de Terra Armada Verificação da Segurança. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Nova de Lisboa, Portugal.