

Estudo Comparativo De Muros Terra Armada Com Reforços Extensíveis E Inextensíveis

Carolina Cerqueira Ribeiro

Engenheira Junior, Terra Armada, Rio de Janeiro, Brasil, carolina.cerq.rib@gmail.com

RESUMO: O conceito dos muros de solos reforçados foi descoberto na década de 60 por um engenheiro francês chamado Henri Vidal, que ao longo dos anos foi estudando e aprimorando a sua descoberta. Ele a patenteou com o nome de Contenções em Terra Armada no ano de 1963. Os muros de solo reforçado em Terra Armada são compostos de um paramento vertical de concreto armado (que possuem função secundária), material de aterro selecionado e os reforços que também podem ser chamados de fitas. Esses podem ser de 2 tipos: de material inextensível (reforços metálicos) ou de material extensível (reforços sintéticos). Está sendo apresentado nesse artigo um estudo comparativo de quatro seções de um determinado Muro Terra Armada, com duas alturas distintas e dois tipos de reforços distintos (metálico e sintético) com um mesmo material de aterro no volume armado, mesmo solo de fundação e de solo do tardo do muro. Foram realizadas análises de estabilidade interna por equilíbrio limite no software Valdez, e análise de ruptura Global no software Talren V6. Após a realização dos cálculos de dimensionamento e de estabilidade das quatro seções do muro de contenção em Terra Armada, verificou-se a diferença entre os tipos de reforços numa mesma altura, comparando o comprimento e a quantidade de fitas. Feita as comparações, verificou-se que a eficiência, segurança e qualidade da obra é mantida independentemente do tipo de reforço utilizado.

PALAVRAS-CHAVE: Terra Armada, Muros de Contenção, Solo, Muros, Sintéticos, Aço

ABSTRACT: The concept of reinforced soil walls was discovered in the 1960's by a French engineer called Henri Vidal, who over the years studied and improved his discovery. He patented it under the name Reinforced Earth Containments in 1963. Reinforced soil walls in Reinforced Earth are composed of a vertical wall of reinforced concrete (which has a secondary function), selected fill material and reinforcements that can also be called tapes, these can be of 2 types: inextensible material (metallic reinforcements) or extensible material (synthetic reinforcements). This article presents a comparative study of four bottles of a specific Reinforced Earth Wall, with two different heights and two different types of reinforcement (metallic and synthetic) with the same backfill material in the reinforced volume, the same foundation soil and soil of the behind the wall. Internal stability analyzes were carried out using the Valdez software, and Global rupture analysis in Talren V6 software. After carrying out the sizing and stability calculations of the four claws of the Reinforced Earth retaining wall, the difference between the types of reinforcement at the same height is verified, comparing the length and quantity of tapes. Having made the comparisons, it is guaranteed that the efficiency, safety and quality of the work are maintained regardless of the type of reinforcement used.

KEYWORDS: Reinforced Earth, Retainig Wall, Soil, Walls, Synthetics, Steel

1. INTRODUÇÃO

Os muros de solo reforçado em Terra Armada são até hoje considerados uma grande evolução da geotecnia devido ao objetivo da tecnologia. Patenteada por Henri Vidal em 1963 na França, seu intuito é conseguir um aumento da capacidade de carga a tração do solo, pois sabe-se que quando compactados os solos em geral conseguem boa resistência à compressão e ao cisalhamento, no entanto possuem uma baixa resistência a tração.

Segundo a ABNT NBR 16920-1 (2021), que é a norma vigente para Solos Reforçados em Aterros, o termo solo reforçado se refere a inserção de reforços com resistência a tração em maciços de terra, para se obter um composto com melhores características mecânicas. O sistema de solo reforçado contempla três

elementos: solo (deve ter as características mecânicas necessárias para obter a interação solo e reforço), os elementos de reforços (podem ser metálicos ou de geossintéticos, desde que atendam a necessidade do projeto e as especificações da norma para cada tipo de reforço) e, por fim, o elemento de face que, no caso da Terra Armada, são paramentos pré-moldados de concreto armado, que podem ser chamados de escamas ou placas.

A Contenção em Terra Armada vem ganhando cada vez mais espaço nos cenários urbanos mundiais, devido à falta de espaço nas grandes cidades, principalmente por ser um método barato em relação a diversas outras alternativas, de fácil e rápida execução. O mercado brasileiro tem apresentado diversas oscilações em um dos componentes principais para a execução de Muros em Terra Armada, o aço. As fitas metálicas de aço ainda hoje são os reforços mais utilizados na construção de Muros em Terra Armada por diversas empresas, e com sua grande alta, verificou-se a necessidade de estudar mais sobre a utilização de geossintéticos para a sua substituição.

Este presente trabalho visa demonstrar que as geotiras, fitas de material sintético com dimensões parecidas com as utilizadas nas fitas metálicas, possuem parâmetros técnicos similares ao da fita em aço, adicionando o fato de não alterarem os resultados de fatores de segurança quando calculamos a estabilidade interna e externa das contenções. Ficando assim a cargo das empresas de projeto e construtoras verificarem o que seria melhor para a execução da sua obra em cada caso. Apresenta-se no estudo duas alturas distintas de uma obra com parâmetros de solo bem próximos aos ideais, nas duas alturas distintas fez-se o dimensionamento no software Valdez, que faz os cálculos por equilíbrio limite com os dois tipos de armaduras (metálicas e sintéticas).

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1 Dados

Foram pegas as SPT's médias tiradas de literaturas para o estado de São Paulo, para os dados do solo de fundação e de *backfield*, ou seja, o material que fica atrás do aterro armado com as seguintes características:

- Peso específico: $\gamma_{min} = 19 \text{ kN/m}^3$ (antes de ser majorado), Ângulo de atrito $\phi = 26$. Coesão $c = 20\text{kPa}$. Sobrecarga $q = 20\text{kPa}$ e a Distância de Sobrecarga sobre o Muro é de $Lq=0,50\text{m}$. Tráfego rodoviário

2.2 Estabilidade Interna dos Muros

2.1.1 Geometria dos Muros

Foram utilizados dois tipos de seções distintas em altura e de classificação do muro. Considera-se um muro tradicional do tipo Greide (ou seja, com uma plataforma acima) de 9,00m de altura e outra seção de um muro do tipo pé de talude com altura de 6,0m e um talude de 1,5m de altura com ângulo de 25,57° acima do muro. Em todas as seções foram considerados um terreno retilíneo na frente. Assim, só se considerou 10% de ficha em sua altura máxima. Conforme as imagens:

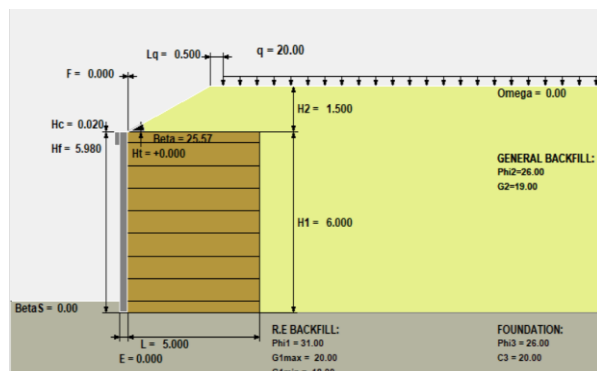


Figura 1-Seção de Greide (Imagem do Software Valdez)

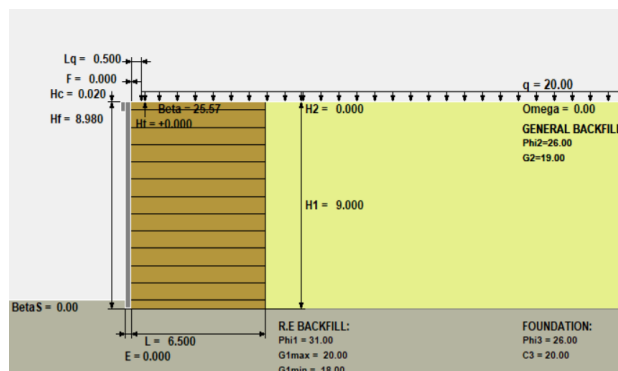


Figura 2-Seção de Pé de talude (Imagem do Software Valdez)

2.1.2 Material de Aterro

Foi utilizada uma areia grossa com os seguintes parâmetros que, segundo Godoy (1972) tem-se uma areia medianamente compacta úmida com:

Peso específico:

$$\gamma_{\min} = 18 \text{ kN/m}^3 \text{ (antes de ser majorado)}$$

$$\gamma_{\min} = 20 \text{ kN/m}^3 \text{ (antes de ser majorado)}$$

$$\hat{\text{Ângulo de atrito}} \phi = 31.$$

$$\text{Coesão } c = 0$$

2.1.3 Reforços utilizados

Foram utilizados os dois tipos distintos de armaduras, as metálicas e as sintéticas, com as seguintes características:

- Metálicas: armaduras de aço galvanizado nervuradas de 10 em 10 cm, de aço A36, com tensão de escoamento $F_{ult}=400\text{MPa}$. Sendo em dois tipos de dimensões: tipo 1 = 40mm x 4mm e tipo 2 = 50mm x 4mm.
- Sintéticas: armaduras sintéticas denominadas Geostrap® 5 – 50 kN, que são de fibras de poliéster de alta tenacidade, encapsuladas e revestidas de polietileno. Sua resistência característica é de 50KN e possui uma única dimensão de largura de 50mm e tolerância de +0mm / -1mm.

A obra foi dimensionada para 50 anos, e sem a presença de água, ou seja tem-se 0,75mm de espessura de sacrifício.

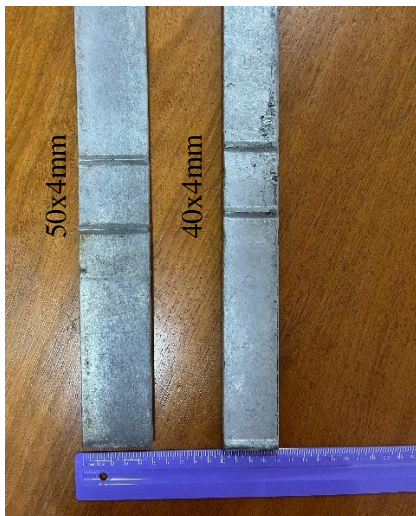


Figura 3 - Armaduras em aço galvanizado de 50x4mm e 40x4mm



Figura 4 - Armaduras Sintéticas de 50kN

3. METODOLOGIA

Para o cálculo foi utilizado o método de Estado Limite, que é admitido pela norma ABNT NBR 19620-1. Considerou fatores de majoração das cargas permanentes e acidentais, além de considerar fatores de redução nos parâmetros de resistência. Foram consideradas três situações de carregamentos, sendo caso 1 (a densidade do material de aterro é mínima e a sobrecarga atua apenas depois da armadura), caso 2 (a densidade do material de aterro é máxima e a sobrecarga atua em toda extensão do paramento) e caso 3 a densidade do material de aterro é tomada pelo valor máximo, mas não possui sobrecarga).

Foram considerados os seguintes fatores de segurança:

- Deslizamento – 1,20
- Tombamento – 1,50
- Tração – 1,50
- Aderência – 1,35

Foi calculado pelo programa Valdez 55 o esforço máximo de tração atuante nas fitas por nível de camada no interior do maciço, os esforços atuantes nas fitas junto ao paramento, o esforço resistente admissível de aderência das fitas no solo, a relação entre a carga admissível de trabalho nas fitas e a carga atuante no interior do maciço, a relação entre a carga admissível de aderência e o esforço máximo de tração atuante na fita e, por fim, nas armaduras de aço calculou também a relação entre a carga admissível de trabalho para a seção vazada e a carga atuante nas fitas junto ao paramento, pois a fita metálica possui furos para prender a armadura na ligação, diferentemente da sintética que é apenas transpassada.

Nota-se também que no paramento enquanto uma ligação de aço possui uma armadura de aço, uma ligação denominada geocore para fitas sintéticas, possuem duas geostrap como demonstrado na figura abaixo. Com isso o cálculo das tensões é diferente entre os dois tipos de armadura.



Figura 5 – Muro com Fitas em Aço



Figura 6 - Muro com Fitas Sintéticas

Após toda a análise de estabilidade interna do Muro Terra Armada, foi verificada a estabilidade global do mesmo, nas 4 seções (que são duas seções de muro de greide sendo uma de fita metálica e uma de fita sintética e mais duas seções de muro de pé de talude sendo uma de fita metálica e uma de fita sintética) estudadas neste presente artigo pelo Software Talren, a fim de comprovar que todos os fatores de segurança exigidos pela Norma ABNT 16920-1 (2021) estejam sendo atendidos nos cálculos desenvolvidos anteriormente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Fez-se o dimensionamento no software Valdez 55 das duas seções, uma em aço e outra com material sintético, conforme descrito, e verificou-se que o comprimento das fitas ficou em 6,50m para a seção com 9,0m de altura de greide nos dois tipos de reforços (aço e sintético). Já para a seção que possui um talude de 1,50m as armaduras em aço ficaram com 5,00m de comprimento, mas com material sintético precisou-se de um comprimento maior, ficando com 5,50m.

Ao se verificar a quantidade de reforços por camada, nota-se que o muro em aço precisa de uma maior quantidade de ligações numa linha quando comparado aos sintéticos, tendo de 4 a 5 níveis com mais de 4 ligações em aço, em comparação com apenas 2 níveis do sintético, contando do pé do muro para cima.

Resultados do dimensionamento da seção com 6,0m de altura mais 1,5m de talude.

| Nº da linha | AÇO | | Nº da linha | SINTÉTICO | |
|-------------|---------------------|------------------------|-------------|---------------------|------------------------|
| | Comprimento da Fita | Quantidade de ligações | | Comprimento da Fita | Quantidade de ligações |
| 1 | 5,0m | 4 (40x4) | 1 | 5,50m | 4 |
| 2 | 5,0m | 4 (40x4) | 2 | 5,50m | 4 |
| 3 | 5,0m | 4 (50x4) | 3 | 5,50m | 4 |
| 4 | 5,0m | 4 (50x4) | 4 | 5,50m | 4 |
| 5 | 5,0m | 5 (50x4) | 5 | 5,50m | 4 |
| 6 | 5,0m | 5 (50x4) | 6 | 5,50m | 4 |
| 7 | 5,0m | 6 (50x4) | 7 | 5,50m | 4 |
| 8 | 5,0m | 6 (50x4) | 8 | 5,50m | 5 |

Tabela 1 - Dimensionamento Seção 6m

Resultados do dimensionamento da seção com 9,0m de altura.

| Nº da linha | AÇO | | Nº da linha | SINTÉTICO | |
|-------------|---------------------|------------------------|-------------|---------------------|------------------------|
| | Comprimento da Fita | Quantidade de ligações | | Comprimento da Fita | Quantidade de ligações |
| 1 | 6,5m | 4 (40x4) | 1 | 6,5m | 4 |
| 2 | 6,5m | 4 (40x4) | 2 | 6,5m | 4 |
| 3 | 6,5m | 4 (50x4) | 3 | 6,5m | 4 |
| 4 | 6,5m | 4 (50x4) | 4 | 6,5m | 4 |
| 5 | 6,5m | 4 (50x4) | 5 | 6,5m | 4 |
| 6 | 6,5m | 4 (50x4) | 6 | 6,5m | 4 |
| 7 | 6,5m | 4 (50x4) | 7 | 6,5m | 4 |
| 8 | 6,5m | 4 (50x4) | 8 | 6,5m | 4 |
| 9 | 6,5m | 5 (50x4) | 9 | 6,5m | 4 |
| 10 | 6,5m | 5 (50x4) | 10 | 6,5m | 4 |
| 11 | 6,5m | 6 (50x4) | 11 | 6,5m | 5 |
| 12 | 6,5m | 7 (50x4) | 12 | 6,5m | 6 |

Tabela 2 - Dimensionamento Seção 9m

Segundo Jewell (1996), a resistência do solo reforçado depende tanto da resistência ao cisalhamento do solo quanto da força de tração axial mobilizada no reforço. Estas duas grandezas são relacionadas por meio da compatibilidade de deformações entre o solo e o reforço (Figura 3).



Figura 7 - Curva de compatibilidade para determinação do equilíbrio do solo reforçado (Modificado - Jewell, 1996)

Sendo assim, nota-se que tanto a resistência quanto a rigidez do reforço são propriedades importantes para o dimensionamento dos Muros em Terra Armada. Quando se tem as fitas em geossintéticos (reforços do tipo extensíveis), são necessárias maiores deformações para mobilizar esforços de tração nos reforços e, no

caso das fitas de aço galvanizado (reforços rígidos), as deformações necessárias para mobilizar os mesmos esforços são menores.

Segue abaixo a comparação de **T_{máx}**, sendo o esforço máximo de tração (em kN) atuante nas armaduras no nível da camada no interior do maciço (fatores de carga incluídos). **Tr/T_m**: Relação entre a carga admissível de trabalho na seção plena Tr e a carga atuante na armadura no interior do maciço T_m. **Tf/T_m**: Relação entre o esforço admissível de aderência e o esforço máximo de tração atuante na armadura. (Tirando a T_{máx} os valores dos fatores de segurança apresentados pelo programa são fatores excedentes. Portanto, o valor 1,00 indica que o fator de segurança é de 1,50).

Resultados obtidos pelo software Valdez.

| nº da linha | AÇO | | | nº da linha | SINTÉTICO | | |
|-------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | T _{máx} | Tr/T _m | Tf/T _m | | T _{máx} | Tr/T _m | Tf/T _m |
| 1 | 1,89 | 18,38 | 1,21 | 1 | 5,77 | 5,44 | 2,61 |
| 2 | 5,66 | 6,51 | 1,21 | 2 | 8,03 | 3,91 | 2,51 |
| 3 | 8,61 | 4,03 | 1,17 | 3 | 10,14 | 3,1 | 2,36 |
| 4 | 11,73 | 2,95 | 1,12 | 4 | 12,16 | 2,58 | 2,2 |
| 5 | 14,72 | 2,35 | 1,06 | 5 | 14,17 | 2,22 | 2,02 |
| 6 | 17,6 | 2,46 | 1,24 | 6 | 16,07 | 1,96 | 1,82 |
| 7 | 20,39 | 2,13 | 1,13 | 7 | 17,88 | 1,76 | 1,71 |
| 8 | 23,1 | 1,88 | 1,03 | 8 | 19,63 | 1,6 | 1,64 |
| 9 | 21,31 | 2,03 | 1,25 | 9 | 22,04 | 1,43 | 1,59 |
| 10 | 25,16 | 1,72 | 1,26 | 10 | 25,44 | 1,24 | 1,58 |
| 11 | 24,66 | 1,76 | 1,52 | 11 | 23,47 | 1,34 | 1,91 |
| 12 | 24,51 | 1,77 | 1,78 | 12 | 22,28 | 1,41 | 2,16 |

Tabela 3 - Comparação Tensão e Esforços

Ao se analisar a tabela 3, nota-se em algumas linhas uma boa similaridade de resultados dos esforços máximos de tração e uma divergência muito grande ao se comparar a carga admissível de trabalho com a carga atuante na fita, assim como a relação entre o esforço admissível de aderência com a tração máxima. Com isso, conclui-se que as fitas em aço galvanizados tem uma sobra muito grande em relação a fita sintética, ao se comparar a carga de trabalho. Portanto, as estruturas reforçadas com fitas em aço apresentam menores deformações que estruturas reforçadas com fitas sintéticas, mesmo quando ambas apresentam a mesma resistência à tração. Porém, quando se fala de aderência, as fitas em material sintético têm uma expressão muito maior do que as fitas de aço, mesmo sendo em menor quantidade.

Após a verificação da estabilidade interna do muro, foi realizado análises de estabilidade global no software Talren V6, verificando a melhor curva com os parâmetros estudados. Segue abaixo essas análises.

1. Seção com 6,0m de altura mais 1,50m de talude e fita em aço

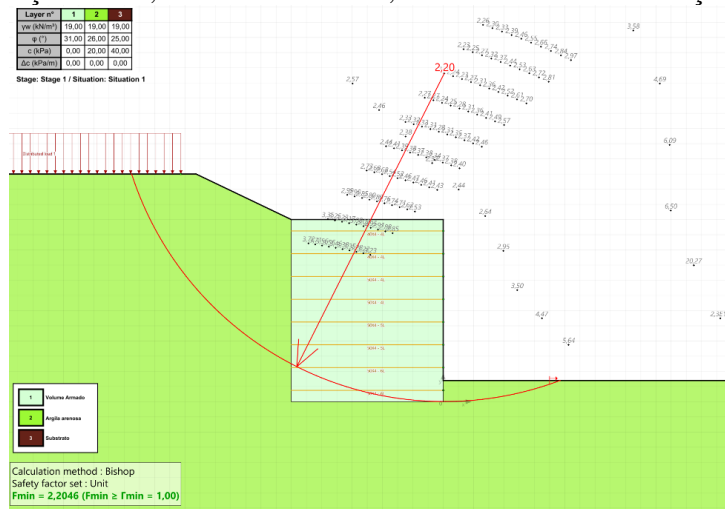


Figura 8 - Estabilidade Global - Seção 6m +1,50 de Talude - Armadura de Aço

2. Seção com 6,0m de altura mais 1,50m de talude e fita sintética

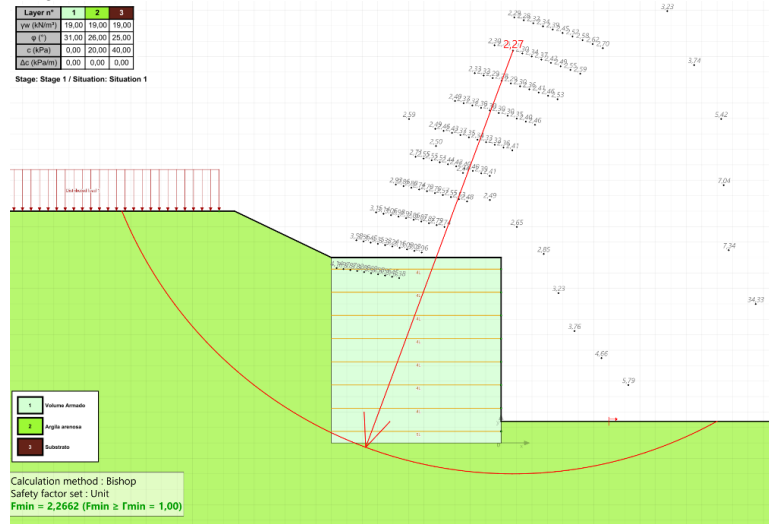


Figura 9 - Estabilidade Global - Seção 6m + 1,50 de Talude - Armadura Sintética

3. Seção com 9,0m de altura e fita Sintética

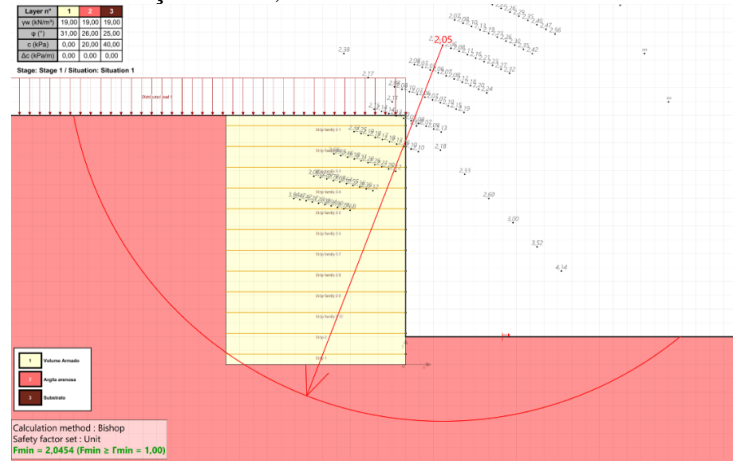


Figura 10 - Estabilidade Global - Seção 9m - Armadura Sintética

4. Seção com 9,0m de altura e fita em aço

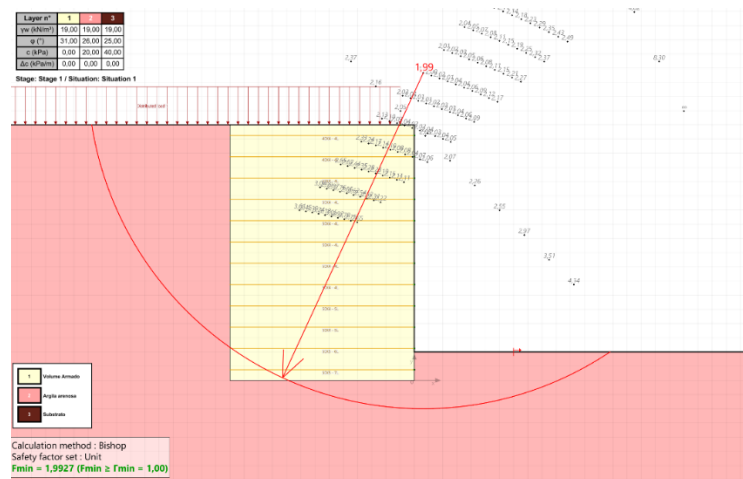


Figura 11 - Estabilidade Global - Seção 9m - Armadura de Aço

Na estabilidade global nota-se que nas fitas sintéticas o fator de segurança é maior do que nas fitas em aço, mesmo quando possuem seções iguais (a mesma geometria) e o mesmo comprimento das fitas. Isso tem-se ao fato de que nas fitas sintéticas não se faz o corte das fitas no final do comprimento como nas fitas em aço, ou seja, as fitas são sempre duplas formando uma costura entre o paramento de concreto e o comprimento final estipulado no dimensionamento dela. Só havendo este corte quando acaba o rolo desta geotira, mesmo assim há uma sobreposição de fitas. Já o aço é considerado no dimensionamento apenas uma fita e na prática também é utilizado apenas uma tira, diminuindo a seção de aderência entre o maciço armado e fita em relação a fita sintética.

5. CONCLUSÃO

Este presente trabalho vem concluir que em ambas as soluções de reforços (de material sintético ou em aço galvanizado) com parâmetros de aterro estudados e recomendados por norma possuem eficácia similar quando trabalhamos com contenções do muro tipo Terra Armada.

Verificamos que ambas passam na estabilidade interna e externa de duas geometrias distintas com parâmetros similares. Nota-se também que a fita de material sintético devido a sua composição tem uma deformabilidade maior no período inicial de trabalho do que a fita em aço. Com isso temos que a fita de aço galvanizado como a estudada no presente artigo, possui menor deformabilidade no paramento quando falamos de deslocamento horizontal do que a fita de material sintético. Mas a fita de material sintético já é melhor para solos um pouco mais argilosos (verificar na norma NBR 16920-1), e são mais indicadas para solos com algum tipo de agressividade química.

O que precisa ser estudado e analisado pelas construtoras e projetistas são o tempo de obra, se há material corrosivo no aterro, se há presença de água, vida útil, o tipo de deformabilidade que o muro pode ter e o melhor custo-benefício para a sua obra para a melhor escolha do tipo de reforço a ser implantado caso a caso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) “LRFD Bridge Design Specifications, 2010”

ANDRADE, M. P., Soares, M. H. S., & Linhares, R. (2022). Análise Numérica do Comportamento de Muros de Solo Reforçado com Diferentes Geometrias de Face. <<https://doi.org/10.4322/cobramseg.2022.0791>>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 16920-1. Muros e taludes em solos reforçados – Parte 1: Solos reforçados em aterros. Rio de Janeiro. 2021.

GERSCOVICH, D. Notas de aula: Estruturas de Contenção – Muro de Arrimo, Faculdade de Engenharia, Departamento de Estruturas e Fundações da Faculdade Estadual do Rio de Janeiro, UERJ. Disponível em <<http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>>

GODOY, N. S. Fundações. Notas de Aula, Curso de graduação, Escola de Engenharia de São Paulo- USP, 1972.

JEWELL, R. A.; GREENWOOD, J. H. Long term strength and safety in steep soil slopes reinforced by polymer materials. Geotextiles and Geomembranes, v. 7, n. 1-2, p. 81-118, 1988.

Lopes, M. de L. (2004). Aspectos relevantes a considerar no dimensionamento de muros e taludes reforçados com geossintéticos. Geotecnia, 100. <https://doi.org/10.14195/2184-8394_100_12>

SILVA, N. H. Muros de Terra Armada- Verificação de Segurança. 140f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências e Tecnologia; Universidade Nova Lisboa – Portugal. 2012. Disponível em <https://run.unl.pt/bitstream/10362/7694/1/Silva_2012.pdf>;

VIDAL, H. The Principle of Reinforced Earth. Transportation Research Record, Vol. 282, pp. 1-16. 1969.