

Análise comparativa econômica entre dois métodos de dimensionamento em solo reforçado

Ariel Matheus Mariano

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, arielmriano@outlook.com

Bárbara Antonia Batista dos Santos

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, barbara.ast3@gmail.com

Carlos Emmanuel Ribeiro Lautenschläger

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, cerlautenschlager@uepg.br

Bianca Penteado de Almeida Tonus

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, bpatonus@uepg.br

RESUMO: Este trabalho apresenta uma análise comparativa econômica entre dois métodos para dimensionamento de solo reforçado: Solo Reforçado com Tiras Metálicas e Solo Reforçado com Geogrelhas. Para isso, baseou-se em um muro com sete seções de diferentes dimensões presente em uma interseção do Paraná, o qual foi dimensionado por meio da metodologia de Ehrlich e Mitchell (1994) para o Solo Reforçado com Geogrelhas e por meio da NBR 16920-1:2021 para o Solo Reforçado com Tiras Metálicas. A partir do dimensionamento, foram realizadas pesquisas de mercado considerando os custos referentes aos elementos de reforço e de faceamento empregados em cada técnica. Os resultados permitiram concluir que as geogrelhas são elementos de reforço mais viáveis economicamente que os metálicos para o estudo realizado. Dentre todos os casos analisados, o mais interessante economicamente foi o solo reforçado com geogrelhas com faceamento em concreto projetado.

PALAVRAS-CHAVE: solo reforçado com tiras metálicas, solo reforçado com geogrelhas, muro de solo reforçado, comparação econômica.

1 INTRODUÇÃO

Vertematti (2015) afirma que, em tempos passados, as obras de grande porte da engenharia costumavam ser instaladas em locais nobres – mesmo que a consequência disso fosse um orçamento mais alto – e, caso fosse necessário trabalhar com solos em sua composição, como é o caso de aterros, procurava-se por solos homogêneos, resistentes, livres da presença de água, com baixa deformabilidade e erosão. Entretanto, com o tempo, tais soluções tornaram-se inviáveis em função do crescimento urbano.

Ainda segundo o autor, com o intuito de suprir essa deficiência, novas soluções passaram a ser aplicadas e, dentre elas, encontra-se o solo reforçado. Tal solução costuma ser de mais rápida execução, de

menor impacto ambiental por utilizar solo do próprio local e mais econômica.

Ehrlich e Becker (2009) comprovam a vantagem econômica do método por meio do gráfico apresentado na Figura 1, a qual demonstra que os geossintéticos e as tiras metálicas associadas ao solo costumam ser mais viáveis economicamente que as demais soluções.

Com o intuito de verificar essa vantagem econômica na prática de projeto, o presente trabalho propôs comparar economicamente os elementos de reforço obtidos pelo dimensionamento de contenção via solo reforçado por dois métodos: solo reforçado com geogrelhas e solo reforçado com tiras metálicas.

O presente estudo também considerou diferentes tipos de faceamento para o método de solo reforçado com geogrelhas, a fim de compara-los entre si e

analisar a viabilidade econômica de diferentes soluções.

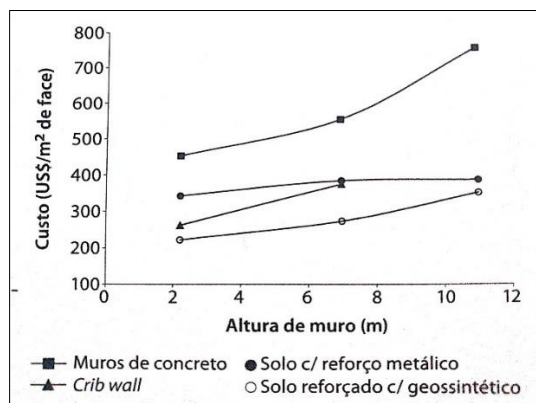


Figura 1. Custos de construção, por área de face, em função da altura do muro, para várias soluções de contenção.

Fonte: Ehrlich e Becker (2009)

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Muro de Solo Reforçado

Segundo Ehrlich e Becker (2009), de maneira geral, desde que bem compactado, o solo tende a ter uma boa resistência à compressão, bem como, ao cisalhamento. No entanto, não se observa o mesmo fenômeno quando comparado a sua resistência à tração. Tal qual o ocorrido no concreto armado, um material pode ser incluído no solo para suprir essa deficiência, dando origem a técnica denominada solo reforçado.

De acordo com Pedroso (2000), a técnica de solo reforçado consiste na aplicação de materiais, de maneira intercalada, entre camadas de solo compactado.

Historicamente, segundo Ehrlich e Becker (2009), há registros da técnica de solo reforçado que datam desde séculos antes de Cristo, quando fibras vegetais eram incluídas em aterros na antiga Mesopotâmia. Entretanto, Clayton et al. (2006), afirma que a primeira técnica de solo reforçado, denominada Terra Armada e que compreende o uso de tiras metálicas como elementos de reforço, foi desenvolvida e patenteada somente no início dos anos 60, pelo arquiteto e engenheiro francês Henry Vidal.

Atualmente, a técnica de solo reforçado, conforme Clayton et al. (2006), melhora a capacidade do solo selecionado por meio da utilização de materiais metálicos (tiras, barras ou manta) ou poliméricos (geogrelhas ou geotêxteis) que podem estar conectados, apenas com intuito de fornecer um apoio local, a um painel de concreto ou metálico. Ou

seja, simplificada, a estrutura de solo reforçado é um sistema associado entre elementos de aterro, de reforço e de faceamento.

2.2 Muro de Solo Reforçado com Tiras Metálicas

Félix (1991) afirma que o sistema é, basicamente, composto, conforme mostra a Figura 2, por um material de aterro, reforços metálicos e elementos de pele, hoje denominado faceamento, que podem ser pré-fabricados, metálicos, concreto armado ou projetado. Além deles, é comum existir um elemento de fixação entre as armaduras e os elementos de faceamento e uma fina soleira de concreto simples, sobre a qual será assentada a primeira fiada do faceamento.

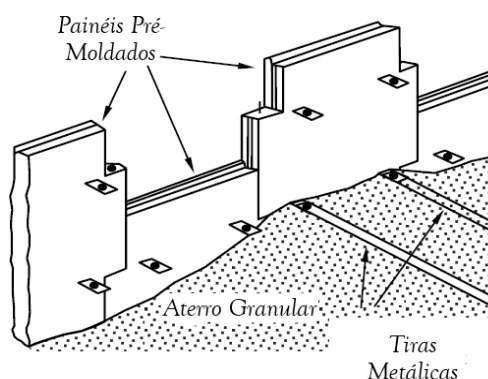


Figura 2. Muro de Solo Reforçado com Tiras Metálicas
Fonte: Clayton et al (2006)

Segundo EngeGround (2020), na maioria dos casos, os reforços metálicos são constituídos de elementos lineares feitos de aço de galvanização especial, e em alguns casos, de alumínio, aço inoxidável ou aços de baixo teor de carbono sem galvanização.

2.3 Muro de Solo Reforçado com Geogrelhas

Segundo Ehrlich e Becker (2009), houve um amplo interesse comercial e acadêmico no tema depois do surgimento da técnica de Solo Reforçado com Tiras Metálicas. Tal interesse, atrelado ao rápido desenvolvimento da indústria petroquímica, deu início a produção de geossintéticos com alta resistência à tração, na segunda metade do século XX, que passaram a ser utilizados nessas estruturas de solo reforçado.

Benjamin (2006) aponta que a técnica de solo reforçado com geossintéticos só foi se popularizar mundialmente por volta de 1980, com o surgimento das geogrelhas.

Conforme a NBR ISO 10318-1:2018, a geogrelha

presente na Figura 3, é uma estrutura composta por uma malha aberta e regular que pode estar unida por extrusão, solda ou entrelaçamento.



Figura 3. Diferentes Tipos de Geogrelhas
Fonte: Fleury (2018)

2.4 Faceamento

Conforme Mitchell e Villet (1987), os elementos de face são normalmente empregados com o objetivo de reter os materiais granulares e prevenir a erosão superficial.

Vertematti (2015) afirma que a escolha do sistema de face deve basear-se nos critérios mecânicos e arquitetônicos esperados. Além disso, o autor também recomenda escolher baseado na experiência dos responsáveis pela execução.

Os painéis pré-fabricados de concreto, conforme Vertematti (2015), são geralmente aplicados em faceamento de solos reforçados com tiras metálicas. Tratam-se de peças pré-fabricadas de concreto, de geometria uniforme, que exigem, mecanização para seu manuseio.

De acordo com Concrebras (2021), o faceamento em concreto projetado é uma técnica que consiste em lançar o concreto por meio de mangueiras especiais que utilizam ar comprimido. Em geral, são aplicados em revestimentos de diversas obras, incluindo taludes rodoviários e contenção de encostas. Como principal vantagem, encontra-se a dispensa de fôrmas para sua aplicação, como o concreto convencional.

Já o sistema em blocos segmentais, segundo Vertematti (2015), utiliza elementos pré-fabricados de concreto que costumam ser de fácil montagem, visto que possuem dispositivos de encaixe entre si. Neto e Portelinha (2016) apontam que, em geral, blocos segmentais costumam ser preenchidos com brita, gerando um peso aproximado de 35 kg por peça. Suas dimensões, que podem variar conforme a sua geometria, giram em torno de 40 cm de largura, 20 cm de altura e 30 cm de profundidade, o que acaba gerando um peso de 450 kg/m², se preenchido com brita.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho estabelece um comparativo financeiro entre dois métodos de solo reforçado para um determinado empreendimento, presente em uma interseção do Paraná, considerando apenas os insumos referentes aos elementos de reforço e de faceamento. Os métodos adotados foram o de solo reforçado com tiras metálicas e o de solo reforçado com geogrelhas.

Em função da existência de uma certa variabilidade em sistemas de faceamento para solos reforçados com geogrelhas, optou-se por mais de uma possibilidade de faceamento nesse tipo de contenção, sendo elas: concreto projetado, painéis pré-fabricados de concreto e blocos segmentais. Para o solo reforçado com tiras metálicas, a orçamentação manteve-se restrita a um único tipo de faceamento, o qual foi de painéis pré-fabricados em função da limitação imposta pelo método.

Os valores referentes aos insumos de solo reforçado com tiras metálicas, faceamentos em concreto projetado e faceamento em painéis pré-fabricados provém de tabelas bases do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO). Já os valores referentes aos elementos de reforço relacionados ao solo reforçado com geogrelhas e aos blocos segmentais provém de catálogos de empresas especializadas nesse setor.

3.1 Descrição do Empreendimento

O empreendimento trata-se de um viaduto rodoviário construído em solo reforçado em uma interseção no Paraná, representado por sete diferentes seções transversais típicas (detalhadas em MARIANO & SANTOS, 2021), cujas dimensões principais encontram-se na Tabela 1. Um esquema simplificado das seções com a localização das dimensões variáveis, necessárias para o dimensionamento, encontra-se na Figura 4.

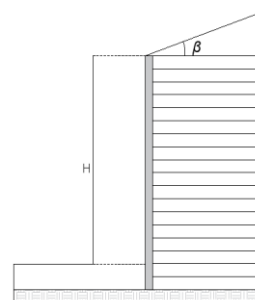


Figura 4. Esquema Representativo da Seção Transversal das Seções da Estrutura de Solo Reforçado

Tabela 1 – Dimensões das Seções da Estrutura de Solo Reforçado

| Seção | Comprimento (m) | β (°) | H (m) |
|-------|-----------------|-------------|-------|
| 1 | 4,800 | 20° | 5,29 |
| 2 | 1,400 | 20° | 6,57 |
| 3 | 4,700 | 20° | 8,54 |
| 4 | 31,725 | 0° | 9,49 |
| 5 | 4,500 | 20° | 8,21 |
| 6 | 5,500 | 20° | 6,07 |
| 7 | 4,788 | 20° | 4,05 |

3.2 Dimensionamento

O dimensionamento do projeto fundamentou-se no método de cálculo de equilíbrio limite de Mitchel e Villet para o solo reforçado com geogrelhas e no Anexo da NBR 16920-1:2021 para o solo reforçado com tiras metálicas.

Com relação aos valores de empuxo necessários, adotou-se o método de Rankine que leva em consideração a existência de um terrapleno inclinado.

Quanto aos valores de alguns parâmetros inerentes ao dimensionamento, adotou-se para o solo de fundação uma coesão igual a 0 kPa, um ângulo de atrito igual a 30° e um peso específico igual a 19 kN/m³. Para o solo de aterro, adotou-se 15 kPa de coesão, 28° de ângulo de atrito e 19 kN/m³ para o peso específico. Além disso, adotou-se uma sobrecarga comum em projetos rodoviários de valor igual a 20,0 kN/m².

Sobre os reforços, optou-se pela adoção de diferentes resistências em cada camada. Em relação ao comprimento dos mesmos, adotou-se o comprimento obtido na análise mais crítica e repetiu-se a mesma dimensão para as demais análises e camadas.

No tocante ao espaçamento entre as camadas, adotou-se um valor constante de 80 cm. Em todos os casos, indiferentemente do tipo de contenção, esse valor manteve-se inalterado.

Como o dimensionamento em si não é objeto de debate deste trabalho, optou-se por não apresentar o estudo detalhado de cada um dos dois métodos, os quais podem ser encontrados em Mariano & Santos (2021). Somente os resultados inerentes à orçamentação serão apresentados.

3.3 Considerações Feitas Para a Orçamentação

Com o intuito de facilitar a orçamentação, considerou-se cada seção como sendo retangular. Ou seja, a altura manteve-se constante ao longo de todo o comprimento apresentado para cada seção.

Com relação aos insumos referentes aos elementos de reforço, considerou-se para o solo reforçado com geogrelhas, conforme o fabricante, uma cobertura igual a 525 m² para as Geogrelhas de 40 kN/m, 90 kN/m, 120 kN/m, 150 kN/m, 200 kN/m e 300 kN/m e 257,5 m² para a geogrelha de 400 kN/m. Além disso, como tais insumos são vendidos com dimensão padronizada, considerou-se valores inteiros durante a orçamentação.

No tocante aos insumos de elementos de reforço do solo reforçado com tiras metálicas considerou-se quatro fitas por painel pré-fabricado e um peso específico igual a 7800 kg/m³ para aço utilizado.

Quanto ao faceamento, para o caso dos painéis pré-fabricados, considerou-se uma área unitária de painel igual a 2,25 m² e uma espessura igual a 0,14 m. No caso do solo reforçado com tiras metálicas, ainda se considerou os parafusos e as porcas, sendo adotado uma de cada para cada fita metálica.

Para o faceamento em concreto projetado, computou-se apenas um concreto projetado via seca com fck de 20 MPa aplicado em superfícies inclinadas e verticais. Nesse caso, adotou-se uma espessura de 15 cm em toda a área do muro.

Por fim, com relação ao bloco segmental, computou-se apenas o bloco no faceamento e considerou-se que cada bloco cobre 0,08m² de face.

3.4 Custo Unitários de Cada Insumo

Os insumos computados na orçamentação, bem como o custo unitário de cada um, encontram-se na Tabela 2. Os valores referem-se a orçamentos realizados entre os meses de janeiro e março de 2021.

Tabela 2 – Custo Unitário dos Insumos

| Insumo | Unid. | Preço Unitário (R\$) |
|--|----------------|----------------------|
| Geogrelha de 40 kN/m | m ² | 16,72 |
| Geogrelha de 90 kN/m | m ² | 19,1 |
| Geogrelha de 120 kN/m | m ² | 20,44 |
| Geogrelha de 150 kN/m | m ² | 24,53 |
| Geogrelha de 200 kN/m | m ² | 30,64 |
| Geogrelha de 300 kN/m | m ² | 43,33 |
| Geogrelha de 400 kN/m | m ² | 57,67 |
| Bloco Segmental 20x40cm | Unid. | 12,00 |
| Fabricação de escama de concreto armado para solo reforçado com fita metálica - 2 a 5 chumbadores - areia e brita comerciais | m ³ | 885,65 |
| Concreto projetado via seca fck = 20 MPa aplicado em superfícies inclinadas e verticais | m ³ | 689,28 |

| Insumo | Unid. | Preço Unitário (R\$) |
|---|-------|----------------------|
| Tiras Metálicas do Tipo Chumbador em aço SAE 1010/1020, barra chata galvanizada, de 60 x 4 mm | kg | 5,94 |
| Parafuso cabeça sextavada zincado a fogo M12 x 30, classe 8.8 - D = 13 mm | Unid. | 0,96 |
| Porca sextavada galvanizada M12, classe 8.8 - D = 13 mm | Unid. | 0,38 |

4 RESULTADOS

4.1 Resultados Gerais do Dimensionamento

Com relação ao solo reforçado com tiras metálicas, adotou-se um comprimento único, em cada seção, para todas as camadas do elemento de reforço, conforme mostra a Tabela 3. Tal comprimento apresentou um fator de segurança acima do mínimo nas três análises de estabilidade externa previstas no método de equilíbrio limite de Mitchell e Villet. As análises em questão eram: segurança contra o deslizamento, segurança contra o tombamento e segurança contra a ruptura do solo de fundação, cujos respectivos fatores de segurança mínimo, conforme Gerscovich (2019), eram 1,5; 2,0 e 3,0.

Tabela 3 – Dimensões dos Comprimentos das Tiras Metálicas

| Seção | Comprimento (m) |
|-------|-----------------|
| 1 | 5,000 |
| 2 | 6,000 |
| 3 | 7,000 |
| 4 | 8,000 |
| 5 | 7,000 |
| 6 | 7,000 |
| 7 | 7,000 |

Para o comprimento das geogrelhas ao longo da seção transversal, adotou-se o mesmo critério supracitado. Como resultado do dimensionamento, obteve-se o mesmo comprimento das tiras metálicas, exceto nas seções 6 e 7, os quais apresentaram 6 m e 5 m, respectivamente.

Dentro do método de solo reforçado com geogrelhas, cada seção apresentou diferentes números de camada necessários, bem como diferentes valores de resistência necessários para cada camada. O esquema representativo de cada uma das seções contendo tais informações encontra-se na

Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10 e Figura 11.

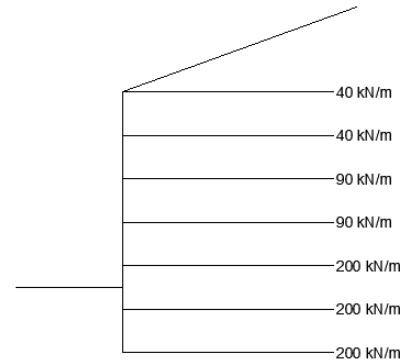


Figura 5. Esquema Representativo das Resistências Necessárias na Seção 1.

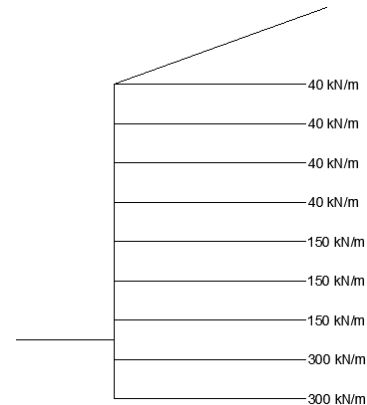


Figura 6. Esquema Representativo das Resistências Necessárias na Seção 2.

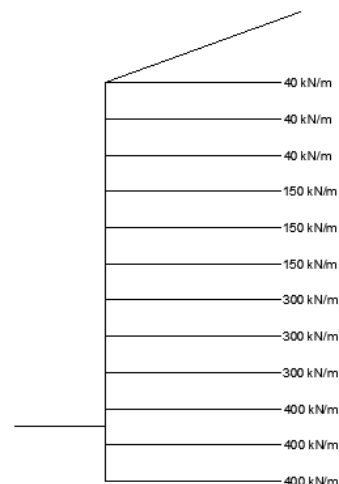


Figura 7. Esquema Representativo das Resistências Necessárias na Seção 3.

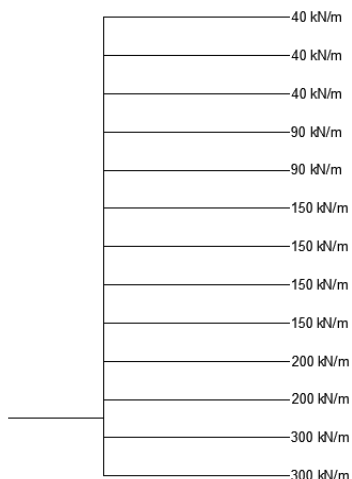


Figura 8. Esquema Representativo das Resistências Necessárias na Seção 4.

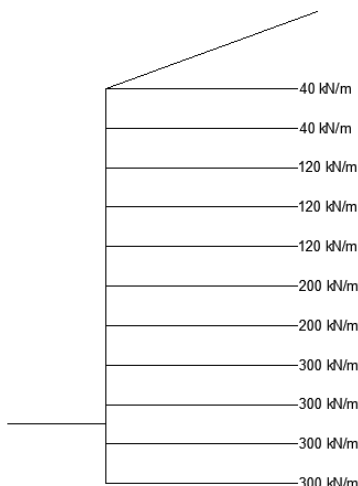


Figura 9. Esquema Representativo das Resistências Necessárias na Seção 5.

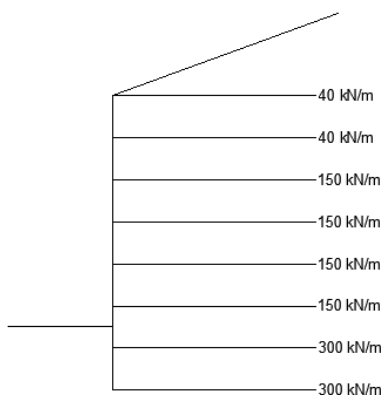


Figura 10. Esquema Representativo das Resistências Necessárias na Seção 6.

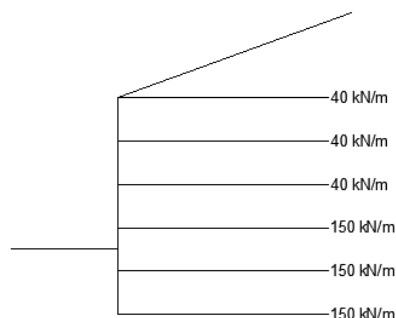


Figura 11. Esquema Representativo das Resistências Necessárias na Seção 7.

No que diz respeito ao valor total, em m², de geogrelhas necessárias para a execução de todo o muro, obteve-se 3 m² de geogrelhas com resistência igual a 40 kN/m, 2 m² de geogrelhas de 90 kN/m, 1 m² de geogrelhas de 120 kN/m, 3 m² de geogrelhas de 150 kN/m, 2 m² de geogrelhas de 200 kN/m, 2 m² de geogrelhas de 300 kN/m e 1 m² de geogrelhas de 400 kN/m.

4.2 Resultados da Orçamentação

Na tabela 4 são apresentados os valores totais de custo para a execução das sete seções do empreendimento hipotético considerando apenas os elementos de reforço e de faceamento.

Tabela 4 – Dimensões dos Comprimentos das Tiras Metálicas

| Descrição | Custo Total (R\$) |
|--|-------------------|
| Solo Reforçado com Tiras Metálicas - Faceamento com Painéis Pré-Fabricados de Concreto | 140.898,91 |
| Solo Reforçado com Geogrelhas – Faceamento em Concreto Projetado | 53.662,45 |
| Solo Reforçado com Geogrelhas – Faceamento com Painéis Pré-Fabricados | 64.314,22 |
| Solo Reforçado com Geogrelhas – Faceamento em Blocos Segmentais | 77.668,00 |

Nota-se que o solo reforçado com geogrelhas com faceamento em painéis pré-fabricados de concreto apresentou uma diferença percentual de aproximadamente 120% do solo reforçado com tiras metálicas com mesmo tipo de faceamento.

Além disso, nota-se que faceamento com blocos

segmentais apresentou o valor total mais alto entre os três tipos de faceamento propostos para o solo reforçado com geogrelhas. A diferença percentual entre o faceamento com valor mais baixo e o seu valor foi de aproximadamente 45%.

Por fim, nota-se que o solo reforçado com geogrelhas faceado com concreto projetado, o qual apresentou o valor mais baixo, possui uma diferença percentual com o solo reforçado com tiras metálicas – maior valor obtido – de aproximadamente 162%.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que os elementos de reforço provenientes do solo reforçado com geogrelhas representam um valor economicamente mais interessante, se comparado com os reforços do solo reforçado com tiras metálicas. Tal comparação pode ser facilmente notada no valor total onde ambos apresentam o mesmo estilo de faceamento, adotado como painéis pré-fabricados. Nesse caso, o total dos insumos de reforço e faceamento do solo reforçado com tiras metálicas representam acima do dobro do obtido para solo reforçado com geogrelhas.

O solo reforçado com geogrelhas, nos três casos expostos, apresentou um valor inferior ao solo reforçado com tiras metálicas. Tal resultado corrobora o dado apresentado graficamente por Ehrlich e Becker na Figura 1, onde o solo reforçado com tiras metálicas apresenta-se economicamente mais caro que o solo reforçado com geossintéticos.

Comparando-se os métodos de faceamento de solos reforçado com geogrelhas entre si, notou-se que o método mais interessante economicamente é o de concreto projetado, seguido pelo painel pré-fabricado e blocos segmentais.

Por fim, concluiu-se que o método com maior apelo econômico dentre os estudados, isto é, o de menor custo, é o de faceamento de concreto projetado aplicado em um solo reforçado com geogrelhas. Além disso, também concluiu-se que, embora os diferentes métodos de solo reforçado tenham gerado uma diferença percentual maior que 100% no valor final (considerando elementos de reforço e de faceamento) em alguns casos, ainda consistem em soluções economicamente mais interessantes quando comparadas a estruturas de concreto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Maccaferri e a Paviman pelo auxílio durante a fase de composição de preços.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR ISO 10318-1 Geossintéticos Parte 1: Termos e Definições. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- Benjamim, C. V. S. *Avaliação Experimental de Protótipos de Estruturas de Contenção em Solo Reforçado com Geotêxtil*. 2006. 326 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Curso de Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- Clayton, C.R.I. et al. *Earth Pressure and Earth Retaining Structures*. 3rd ed. United States of America: CRC Press, 2006. 598 p.
- Concrebras. *Concreto Projetado*. 2021. Disponível em: <http://www.concrebras.com.br/solucoes-em-concreto/concreto-projetado/>. Acesso em: 14 ago. 2021.
- Ehrlich, M; Becker, L. *Muros e taludes de solo reforçado: projeto e execução*. Oficina de Textos, 2009.
- Engerground. *Terra Armada*, 2020. Disponível em: http://engerground.com.br/catalogos/terra_armada.pdf. Acesso em: 20 set. 2020.
- Felix, C. M. S. *Comportamento dos Muros de Terra Armada*. 1991. 179 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 1991.
- Gerscovich, D; Saramago, R; Danziger, B, R. *Contenções: teoria e aplicações em obras*. 2 ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2019.
- Mariano, A.M; Santos, B.A.B. *Análise Comparativa De Viabilidade Técnica E Econômica Da Utilização De Dois Métodos De Reforço De Solo*. Orientador: Carlos Emmanuel Ribeiro Lautenschlager. 2021. 242 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021.
- Mitchell, J. K.; Villet, W. C. B. *Reinforcement of earth slopes and embankments*. National Cooperative Highway Research Program Report, 1987. n. 290.
- Neto, J. O. A; Portelinha, F. H. M, 2016. *Aspectos Gerais Sobre o Uso de Geossintéticos em Muros e Taludes Reforçados*. O Futuro Sustentável do Brasil passa por Minas. Minas Gerais (Belo Horizonte). Disponível em: <https://www.geosynthetica.net.br/wp-content/uploads/39-CB-04-0117.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2021.
- Pedroso, E. O. *Estruturas de Contenção Reforçadas Com Geossintéticos*. 2000. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-26052006-082052/publico/dissertacao.pdf>. Acesso em: 04 set. 2020.
- Vertematti, J. C. *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2015. 570 p.