

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/171

## Análise técnica construtiva do uso de geotiras em contenções de face em tela eletrossoldada galvanizada preenchida com pedras.

Jefferson de Almeida Prado

Business Developer, Terra Armada do Brasil, Rio de Janeiro, Brasil, [jefferson.prado@terraarmada.com.br](mailto:jefferson.prado@terraarmada.com.br)

Bruno Luiz Marson Franco

Diretor Executivo, Terra Armada do Brasil, Rio de Janeiro, Brasil, [bruno.marson@terraarmada.com.br](mailto:bruno.marson@terraarmada.com.br)

**RESUMO:** As contenções em solo reforçado têm ganhado cada vez mais importância na engenharia. No Brasil, o uso de geossintéticos como reforço em solos tropicais têm se resumido, em sua maioria, no uso de geogrelhas de alta tenacidade. Este artigo tem o objetivo de apresentar uma nova tecnologia que possibilite a verticalização de maciços com elevada solitação, com segurança e performance, somada ainda à praticidade executiva, desde que efetuado correto controle de qualidade do aterro, bem como caracterização de sua jazida. Os reforços empregados neste sistema possibilitam em muitos casos total verticalidade do maciço, associando-o ao uso de geotiras sintéticas, similares às utilizadas nas contenções do tipo Terra Armada. A caracterização do material de aterro e seu eficiente controle de compactação permitem um processo executivo acelerado se comparado aos muros de solo reforçado que utilizam geogrelhas. Já a possibilidade de uso do paramento mineral diminui drasticamente as emissões de carbono e não exigem tempo de cura ou traslado de concreto, tornando-o ambientalmente viável. Este artigo abordará ainda a experiência da Mina Cerro Verde, no Peru, avaliando ainda como poderia ser empregada a tecnologia em solos brasileiros, desde que observadas condições de contorno locais mediante tecnologia disponível.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo reforçado, Contenção, Geossintéticos, Geotiras, Muro de arrimo, Aterro reforçado.

**ABSTRACT:** Reinforced soil retaining walls have gained increasing importance in engineering. In Brazil, the use of geosynthetics as reinforcement in tropical soils has mostly been limited to the use of high tenacity geogrids. This article will present a new technology that enables the verticalization of highly requested walls, incorporating safety and performance, in addition to executive practicality, provided that correct quality control of the landfill is carried out as well as characterization of its deposit. The reinforcements used in this system allow, in many cases, total verticality of the wall, associated with the use of synthetic geostraps, similar to those used in Reinforced Earth retaining walls. The characterization of the landfill material and its efficient compaction control allow for an accelerated executive process compared to reinforced soil walls that use geogrids. The possibility of using mineral cladding drastically reduces carbon emissions and does not require curing time or concrete logistics, making it environmentally viable. This article will also address the experience of Cerro Verde Mine, in Peru, evaluating how the technology could be used in Brazilian soils, as long as local boundary conditions are observed using available technology.

**KEYWORDS:** Reinforced soil, Retaining wall, Geosynthetics, Geostraps, Reinforced landfill.

### 1 INTRODUÇÃO

As contenções em solo reforçado têm ganhado cada vez mais importância na geotecnia, vencendo desafios cada vez maiores. Sua composição consiste em: paramento, aterro reforçado e reforços. Logo, no contexto brasileiro, essas tecnologia são relativamente novas, tendo chegado por aqui no fim da década de noventa e meados dos anos dois mil.

Tais soluções de engenharia são caracterizadas por diversos tipos de paramento e concepções, seja mineral em pedras, resíduos de construção e demolição, pneus, blocos segmentados, placas ou escamas pré-moldadas de concreto armado.

Os aterros são da mais variada espécie, sendo os arenosos (de elevado atrito) os mais ideais, mas presentes em apenas algumas regiões do país. Em demais localidades tal solo utilizado no corpo do aterro também pode ter características tropicais e predominância silto-argilosa, com maior porcentagem de finos.

Já a especificação dos reforços destas contenções está aliada normalmente ao sistema desenvolvido e solo de aterro disponível, isto é, se de paramento em escamas de concreto à prumo, usa-se aterro granular, assume-se menores deformações, e total verticalidade, geralmente utilizam geotiras (sintéticas ou em aço).

Se com paramento mineral em gabiões, telas eletrossoldadas ou blocos segmentados, o aterro geralmente tem caracterização silto-argilosa, e utiliza geogrelhas tecidas em Poliéster revestidas em PVC ou PEAD. As geogrelhas assumem maiores deformações do que as geotiras e ainda contam com maior área de cobertura e interação da relação solo-reforço, fator crucial para estabilização efetiva de solos mais finos e plásticos.

Resta saber então como se daria o uso misto dessas soluções de engenharia, isto é, mais precisamente no uso de geotiras sintéticas (raras no Brasil) em paramentos minerais (pedras), independentemente do material de aterro.

Entender este comportamento com base na experiência de casos de sucesso fora do Brasil poderá talvez ser o caminho para implantação de tal sistema, mensurando assim os ganhos potenciais em capacidade de suporte, viabilidade técnica e econômica desta solução.

Como base no estudo a seguir, avalia-se o caso da Mina Cerro Verde, no Peru, com uma contenção de trinta e quatro metros de altura, contendo paramento mineral em telas eletrossoldadas. O aterro caracterizava-se arenoso e granular, reforçado com geotiras sintéticas que garantiram o controle de deformações e suportaram todas as cargas previstas em projeto, aportando segurança e eficiência necessárias à obra.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS: O CASO DA MINA CERRO VERDE, PERU.

### 2.1 A Cerro Verde, sua necessidade e início da concepção do projeto

A Cerro Verde SA sociedade mineira remonta desde o início do século XX, sua exploração em maioria é de minério de cobre. Logo, o projeto em questão caracterizava-se por um processo de expansão da companhia na província de Arequipa, Peru.

Para continuação da expansão, duas contenções em solo mecanicamente estabilizado (reforçado) eram necessárias para contenção e proteção de dois britadores primários de minério, além de suportarem e facilitarem a manobra de caminhões basculantes fora de estrada com peso de trabalho de aproximadamente setecentos toneladas. A área total de contenções era de quatro mil e quatrocentos metros quadrados.

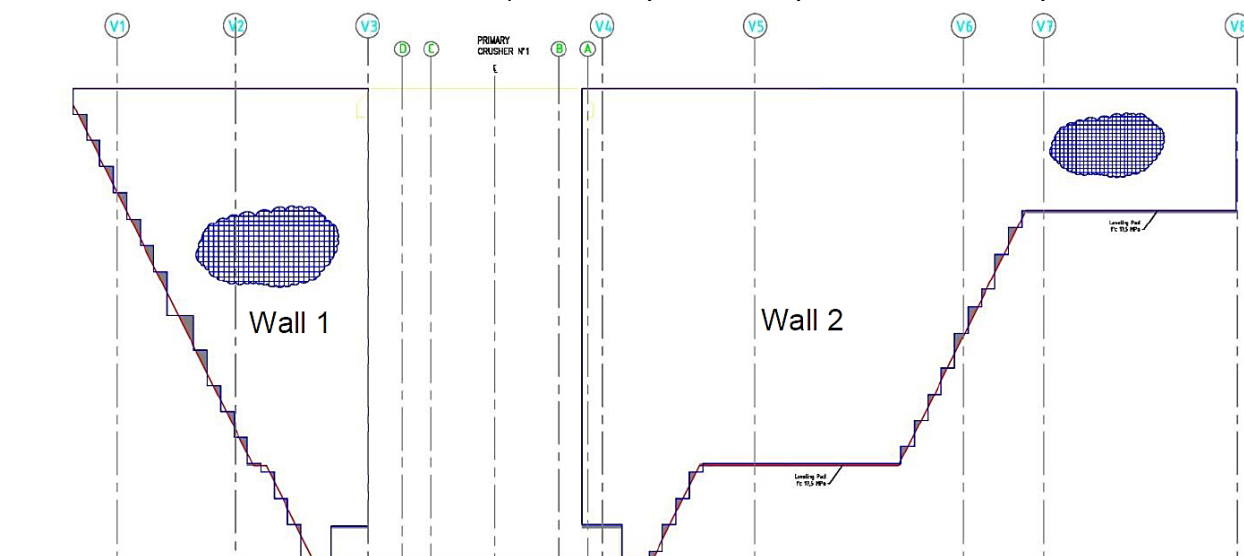


Figura 1. Vista Frontal das contenções do Britador primário 1. FONTE: Freyssinet Tierra Armada Perú S.A.C.

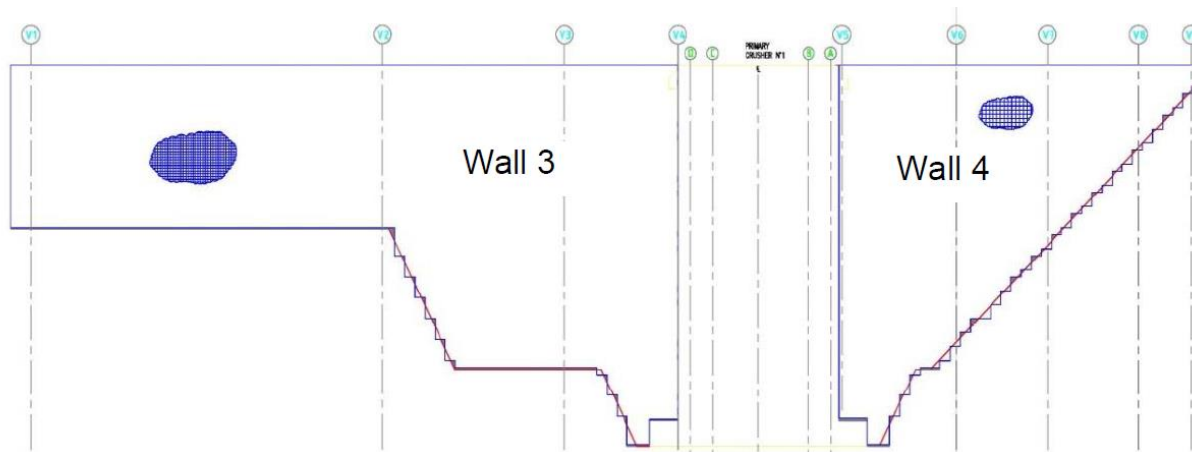


Figura 2. Vista Frontal das contenções do Britador primário 2. FONTE: Freyssinet Tierra Armada Perú S.A.C.

Os parâmetros de resistência de solo utilizados foram sugeridos em função da alta diversidade de tipos de material envolvidos nas análises de estabilidade. Basicamente foram identificadas na estratigrafia quatro tipos característicos de solo, conforme a figura 3: 1) Solo de aterro mecanicamente estabilizado, 2) Solo natural ao tardo superficial, 3) Solo rochoso ao tardo profundo, 4) Solo também rochoso de Fundação.

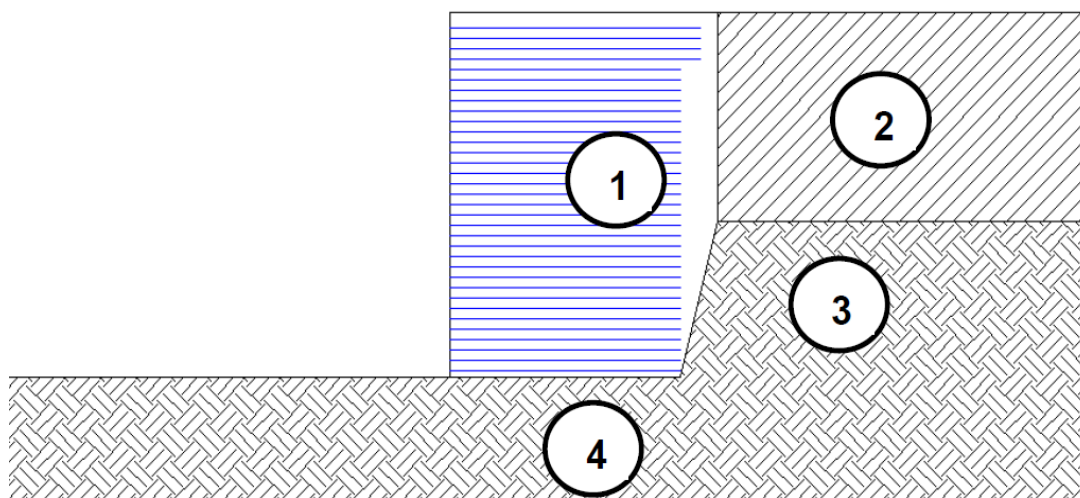


Figura 3. Estratigrafia básica – Contenção dos Britadores, Mina Cerro Verde, Arequipa, Peru. FONTE: Freyssinet Tierra Armada Perú S.A.C.

Tabela 1. Parâmetros de solo empregados nas Análises de Estabilidade.

Classe de solo	Ângulo de Atrito $\phi$ (°)	Coesão (kPa)	Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )
Aterro Estrutural	36	0	21,0
Solo ao tardo natural	36	0	21,0
Solo ao Tardo Rochoso	40	140	24,0
Solo de Fundação	52	150	24,5

Com base nos parâmetros foram realizadas análises por equilíbrio limite externas e internas à contenção. Quanto a análise externa encarou-se a contenção como bloco unificado e reforçado, e sua estabilidade interna foi verificada para a devida tensão a que as geotiras estariam submetidas. As normas base para as análises foram AASHTO LRFD 2010 e FHWA-NHI-10-024.

Todas as análises consideraram uma vida útil de projeto de trinta e dois anos com coeficiente de aceleração sísmica de 0,51 e média anual de temperatura de 16,6°C.

## 2.1 Componentes da solução em Solo reforçado

### 2.1.1. Soleira de assentamento e alinhamento do paramento frontal

Uma vez em prumo, o paramento deveria distribuir as tensões na fundação sem maiores deformações. Logo, de maneira a garantir tal condição, assim como no sistema Terra Armada clássico, foi prevista uma soleira de concreto magro sob o paramento, escavada em solo. Tal soleira tem a função de absorver qualquer assentamento indesejável da face da contenção, e ainda corroborar com sua verticalidade a prumo.



Figuras 4 e 5. Soleira em execução para alinhamento do paramento frontal da contenção. FONTE: Freyssinet Tierra Armada Perú S.A.C.

### 2.1.2. Painel metálico Eletrossoldado galvanizado

Os painéis que compunham o paramento frontal da contenção consistem em barras de oito milímetros de espessura na vertical, eletrossoldadas às barras de dez milímetros na horizontal, além de três barras de quatorze milímetros de espessura como conectores metálicos que seriam posteriormente inseridos.



Figura 6. Painéis metálicos eletrossoldados galvanizados do paramento frontal da contenção. FONTE: Freyssinet Tierra Armada Perú S.A.C.

Os painéis são unidos longitudinalmente por uma barra amarrada à ambos que tem o papel de não permitir a movimentação dos mesmos no momento de lançamento e acomodação das pedras, conexão das tiras e geogrelhas, bem como compactação do aterro.

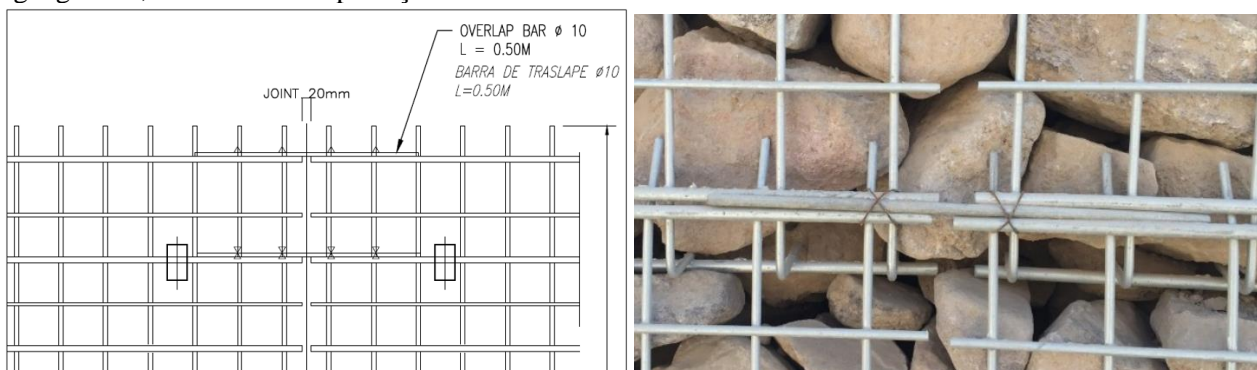


Figura 7 e 8. Esquema de união entre painéis de face. FONTE: Freyssinet Tierra Armada Perú S.A.C.

### 2.1.3. Reforços geossintéticos

Bem diferente do usual no Brasil, são empregados no corpo do aterro estabilizado dois tipos de reforços geossintéticos. Reforços primários para estabilização mecânica do aterro (geotiras) e reforços secundários para maior controle de deformação de face (Geogrelhas extrudadas em PEAD).

Sabe-se que o empuxo em elevadas alturas de contenção tende a gerar maiores deformações no paramento, especialmente nas camadas de base do mesmo. O Papel dos reforços secundários é na verdade aumentar a rigidez da face do muro e distribuir melhor as tensões de deformação que chegam à esta.

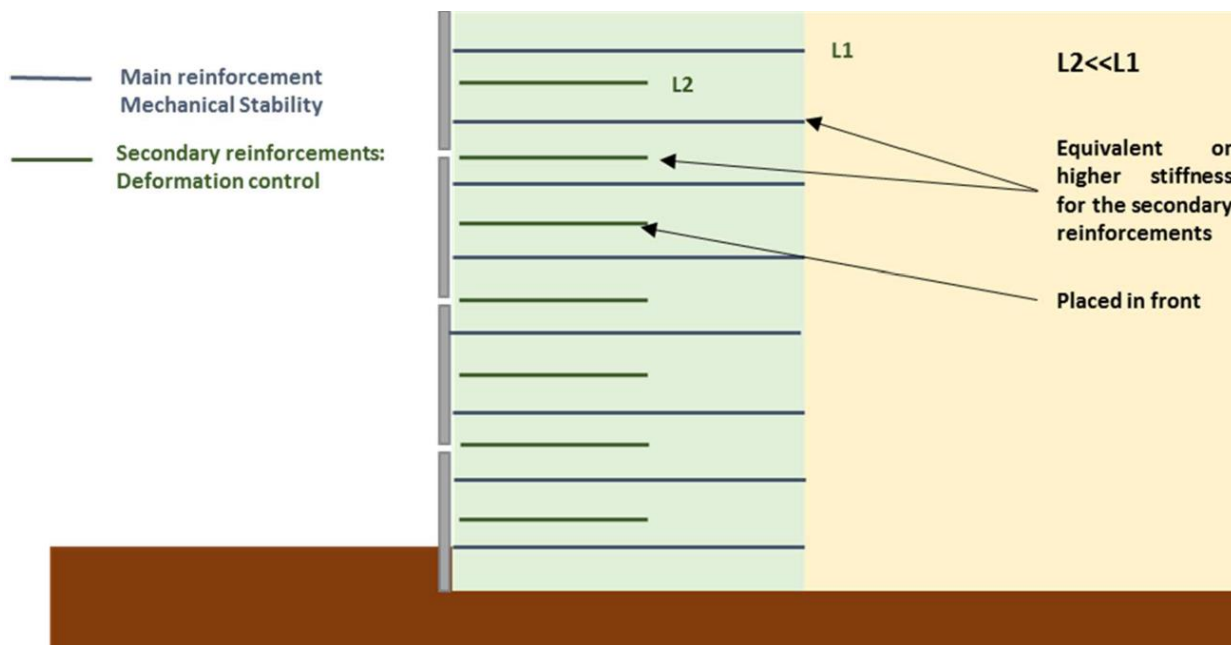


Figura 9. Disposição dos reforços no corpo do aterro. FONTE: Freyssinet Tierra Armada Perú S.A.C.



Figura 10. Disposição dos reforços geossintéticos secundários no corpo do aterro reforçado. FONTE: Freyssinet Terra Armada Perú S.A.C.



Figura 11. Disposição dos reforços geossintéticos primários no corpo do aterro reforçado. FONTE: Freyssinet Terra Armada Perú S.A.C.

Para conexão entre os módulos (painéis) e os reforços, dispositivos de conexão são previstos de modo a garantir a fixação com elevada resistência. O modelo de ancoragem das fitas se assemelha ao sistema Terra Armada convencional executado no Brasil com escamas de concreto.

Contraventamentos e gabaritos de madeira são posicionados à frente de toda a contenção com objetivo ainda de minimizar deformações e manter a verticalidade da mesma.



Figura 12. Muro de contenção em reforçado finalizado. FONTE: Freyssinet Tierra Armada Perú S.A.C.

#### 2.1.4. Material de Aterro

Algumas características do material de aterro são essenciais para bom desempenho da compactação e estabilidade interna da contenção. Diferente da maioria dos solos brasileiros, neste caso havia menos de 1% de matéria orgânica, o grau de compactação especificado em projeto foi de noventa e cinco por cento do Proctor Modificado, sempre com necessidade de umedecer o material. O Aterro foi disposto em camadas de trinta centímetros de espessura.

Materiais finos passantes na peneira #200 eram menos de 5%. Conforme estabelece a ABNT NBR 16920-1 foram avaliadas por equilíbrio limite internamente a ruptura dos reforços e seu arrancamento. Os casos de análise foram os seguintes: em caso de operação dos equipamentos em cargas distribuídas, pontuais e logo sobre a face do muro.

### 3. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS

A contenção assumiu consideravelmente quaisquer assentamento tanto no aterro reforçado quanto no paramento. Não houve complicações quanto à sismicidade local ou carga de trabalho dos equipamentos previstos.

No entanto, comparativamente deve-se avaliar os métodos de dimensionamento, investigação geotécnica e tecnologia construtiva. Notou-se certa simplicidade nos métodos investigativos, e para solos tropicais heterogêneos, a investigação deverá ser o mais precisa possível, dentro da viabilidade técnica e econômica de cada obra.

Apesar de haver uma investigação realizada neste caso com informações de campo em termos de formação geológica e sísmica, não houve a realização de ensaios geotécnicos que possibilitassem determinar com maior precisão os parâmetros de resistência dos solos analisados. Tampouco notou-se quaisquer referências de instrumentação no muro após sua conclusão.

Apesar de se haver considerável controle de qualidade de execução, o que seria um desafio em obras de menor porte no Brasil, os solos tropicais carecem de maior precisão na análise dos dados devido seu comportamento e formação totalmente heterogêneos. A instrumentação da contenção em solo brasileiro é essencial para entender o aprimoramento fornecido pelo uso das geotiras associadas a um paramento semiflexível,

Nota-se que ainda devido a experiência atual, a verticalização total de arrimos em solos tropicais é descartada devido o baixo atrito destes. No entanto, o modelo se adequaria às tecnologias brasileiras atuais, desde que observado o devido controle de qualidade de compactação de aterro, bem como sua correta caracterização de jazida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) “LRFD Bridge Design Specifications, 2010”
- Associação Brasileira de Normas Técnica. ABNT NBR 16920-1 Muros e taludes em solo reforçado, parte 1: Solos reforçados em Aterros.
- The Federal Highway Administration (FHWA) “Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Volume I”, Publicación No FHWA-NHI-10-024.
- Backfill and Compaction for Structures Construction Specification, 240K-C2-CS-15-013 REV. C1.
- Mechanically Stabilized Earth Wall Design and Supply Specification, 240K-C2-SP-15-015 REV. 0
- General Site Conditions Design Criteria, 240K-C2-DC-10-002 REV. 3T
- Geotechnical investigation, VP-10C00088-000-1-ITE-004 REV 0.
- Terzaghi, K., Peck, R.B. (1987) Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed., McGraw Hill, New York, NY, USA, 685 p.
- 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>
- VERTEMATTI, J.C. Manual Brasileiro de Geossintéticos. Editora Edgard Blucher. São Paulo, 2004.
- YOSHIOKA, B., Favero, A., Gutierrez, N., & Espessato, A. (2022). Análise da sensibilidade dos parâmetros de resistência do solo na estabilidade de um muro em solo reforçado com geogrelha, em solo argiloso. <https://doi.org/10.4322/cobramseg.2022.0375>
- Meneguete, D. S., & Salgado, N. G. de P. (2016). Estruturas de contenção de solo reforçado: como se comporta a tração no reforço. Revista Mosaicum, 23. <https://doi.org/10.26893/rm.v12i23.116>
- Santos, C. E. dos, Guedes, E. de S. R., Rocha, E. de P. L., Lima, G. P. L., Moura, G. de J., Santos, I. S. dos, Barros, J. H. M., & Santos, M. de J. (2021). CAPACIDADE DE CARGA DE SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICOS/SOIL LOAD CAPACITY REINFORCED WITH GEOSYNTHETICS. Brazilian Journal of Development, 7(1). <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-788>
- José Orlando Avesani Neto, & Regis Eduardo Geroto. (2016). Diretrizes Básicas para Concepção de Muros de Solo Reforçado de Grandes Alturas. Anais Do XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica Dos Solos e Engenharia Geotécnica. <https://doi.org/10.20906/cps/cb-07-0016>
- 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](https://doi.org/10.14195/2184-8394_100_12)
- Riccio, M. (2007). COMPORTAMENTO DE UM MURO DE SOLO REFORÇADO COM SOLOS FINOS TROPICAIS. In Território, Meio Ambiente e Conflitos: estudo de caso do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba.
- Koerner, R. M. (1986). Designing with geosynthetics.
- Goulart, J., Portelinha, F., & Avesani Neto, J. (2017). PROCESSO CONSTRUTIVO E DESEMPENHO DE UMA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO FEITA EM SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICO. Anais Do Workshop De Tecnologia De Processos E Sistemas Construtivos, I. <https://doi.org/10.17648/tecsic-2017-72115>.
- Pitanga, H., Gourc, J.-P., & Vilar, O. (2009). Resistência ao cisalhamento de interface entre geossintéticos de reforço e solo de cobertura de aterros sanitários. Geotecnia, 116. [https://doi.org/10.14195/2184-8394\\_116\\_2](https://doi.org/10.14195/2184-8394_116_2)