

REVISÃO LITERÁRIA SOBRE APLICAÇÃO DE GEOGRELHA COMO MATERIAL DE REFORÇO PARA ESTABILIDADE DE TALUDE

Vanessa Mendez Gomes¹
Luciléia Marcon²
Natássia Cardoso Bilésimo³

Resumo

Os desastres causados devido à movimentação de terra ainda desafiam a engenharia civil, principalmente a área da infraestrutura, a qual se dedica a encontrar soluções para os problemas que afetam a sociedade, como é o caso das estruturas de contenção. E, nos últimos anos, percebeu-se que o uso da geogrelha como material de reforço, conferiu novos parâmetros de estabilidade à estrutura de contenção. Por conseguinte, este estudo tem por finalidade reunir informações técnicas sobre a aplicação de geogrelha como material de reforço, contidas em artigos desenvolvidos na última década. Foi possível observar, dentre os sete artigos estudados, que as características do solo, do material das geogrelhas e a interação desses materiais, apontou grande influência sobre a estabilidade global e os fatores de segurança.

Palavras-Chave: Geogrelha; Estabilidade de taludes; Deslizamentos.

LITERARY REVIEW ON THE APPLICATION OF GEOGRID AS A REINFORCEMENT MATERIAL FOR SLOPE STABILITY

Abstract:

Disasters caused by earthmoving still challenge civil engineering, especially the area of infrastructure, which is dedicated to finding solutions to problems that affect society, such as containment structures. And, in recent years, it has been understood that the use of geogrid as a reinforcement material has provided new stability parameters to the containment structure. Therefore, this study aims to gather technical information on the application of geogrid as a reinforcement material, contained in articles developed in the last decade. It was possible to observe, among the seven articles studied, that the characteristics of the soil, the material of the geogrids and the interaction of these materials, had a great influence on global stability and safety factors.

Keywords: Geogrid; Slope stability; Landslide.

1. INTRODUÇÃO

O uso de estruturas de solo reforçado com a utilização de geogrelhas é uma

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Criciúma. Vanessa.mg@aluno.ifsc.edu.br

² Engenheira Civil, Mestre, Docente da área de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Criciúma. lucileia.marcon@ifsc.edu.br

³ Engenheira Civil, Doutoranda, Acadêmica do Programa de Pós Graduação em Ciências e Engenharia dos materiais (PPGCEM) UNESC. natassiabilesimo@gmail.com

das soluções construtivas aplicadas para reduzir a possibilidade de movimentação de terra e viabilizar obras de infraestruturas que estão cada vez mais presentes nas grandes cidades devido ao desenvolvimento demográfico e à intensificação do movimento citadino. Dado isso, entende-se então, a importância do conhecimento técnico deste modelo construtivo para o avanço de tecnologias ligadas à segurança e infraestrutura das grandes cidades.

Neste âmbito, observa-se até o presente momento, que ainda há na bibliografia científica, espaço para a realização de pesquisas que busquem complementar as informações quanto à aplicação de sistemas de contenção de solo reforçado com geogrelhas. O domínio do conhecimento das propriedades desses materiais por parte dos profissionais que lidam diretamente com projetos de estabilidade ainda se apresenta aquém se comparado com a velocidade de inovação e das formas de utilização de geossintéticos (Lachouski, 2021).

Este estudo evidencia a necessidade latente de sistematização dos conhecimentos na área, e que além das informações assimiladas no decorrer da última década à tomada de decisão dos profissionais que visam amenizar o impacto ambiental, de custo, rapidez e versatilidade dos produtos geossintéticos.

A falta de informações aprofundadas sobre o tema aliada à carência de domínio técnico sobre os materiais geossintéticos, principalmente do tipo geogrelha, podem acarretar projetos superdimensionados, insustentáveis e com possíveis falhas na concepção das estruturas. Tão importante quanto o seu levantamento, tem-se a disseminação das suas especificidades e correlações com os possíveis movimentos de terra, visto que ela pode indicar uma solução viável frente a um problema de estabilidade de solos.

1.1. DESLIZAMENTOS

Deslizamentos, movimentos de massa ou rompimentos de taludes, como pode se chamar, podem acontecer, pela execução de cortes nos maciços. Segundo (SAMIA, et al. 2017 pg 16-24) os deslizamentos representam um dos desastres que mais afetam a população das grandes cidades. Sendo que a movimentação de terra, que cria taludes íngremes e desprovidos de vegetação, é uma das principais causas da desagregação da superfície do solo. (FERNANDES, 2004).

Varnes (1978) propôs no relatório final do grupo de trabalho Working Party for world landslide Inventory a sistematização e caracterização dos movimentos de terra segundo o Quadro 01.

Quadro 01 - Classificação abreviada de movimentos de massa por Varnes (1978).

TIPOS DE MOVIMENTO	TIPO DE MATERIAL		
	ROCHA	Predominantemente grosseiro	Predominantemente fino
QUEDAS	Queda de rochas	Queda de detritos	Queda de solo
TOMBAMENTOS	Tombamento de rochas	Tombamento de detritos	Tombamento de solo
ESCORREGAMENTOS	Rotacional	Escorregamento de detritos	Escorregamento de solo
	Translacional		
ESPALHAMENTOS LATERAIS	Espalhamento de rocha	Espalhamento de detritos	Espalhamento de solo
CORRIDA	Corrida de rochas (rastejo profundo)	Corrida de detritos (rastejo de solo)	Espalhamento de solo
COMPLEXOS	Combinação de dois ou mais tipos principais de movimento		

Fonte: Adaptado VARNES, 1978 apud THE GEOLOGICAL SOCIETY, s. d. tradução Silva, J. K.

De acordo com Samia et al. (2017) os deslizamentos são reconhecidos

mundialmente como um dos maiores tipos de desastres naturais devido ao efeito destrutivo à sociedade e ao meio ambiente. Regularmente o Brasil é atingido por tais desastres que podem ocorrer devido a aspectos como a geologia, geomorfologia, meteorologia e a antropogenia.

1.2. ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO - TERRA ARMADA

As características como topografia, geomorfologia, presença de vegetação e atividade antrópica em relevos são fatores que interferem na estabilidade dos taludes. Os taludes artificiais modificam parâmetros como declividade, resistência ao cisalhamento, propriedades físicas, capacidade de retenção de água no solo e regime climático (HENSHAW et al., 2012; FAN; LAI, 2014).

Porém, quando há necessidade de realizar aberturas em terreno natural ou quando não há espaço disponível para manter uma diferença de nível na superfície, isso remete à execução de estruturas de contenção. Estas podem ser classificadas como temporárias ou permanentes, sendo a última a mais comum. Dentre as estruturas de contenção permanente destacam-se os muros de gravidade, muros de gabião, muros do tipo cribwall, muros de flexão, muros de flexão com contrafortes e os de solo reforçado (PELAQUIM, 2021).

Além disso, a resistência do solo ao cisalhamento é definida como a tensão máxima cisalhante que o solo pode suportar sem sofrer ruptura (BRAIDA et al., 2007) precisa ser considerada para garantir a estabilidade do talude. Uma das formas para ter-se esta garantia é incorporar camadas horizontais de geossintético em aterros, de forma que, obtém-se uma massa de solo reforçado (BATHURST, 2013).

1.3. GEOSSINTÉTICOS/GEOGRELHA

Dentre as definições existentes do termo geossintético destacam-se a de Erlich (2009) que determina que o termo provém da junção de “geo”, referindo-se à terra, e “sintético”, referindo-se aos materiais poliméricos empregados na sua fabricação, e a elaborada na NBR ISO 10318/2021 (Geossintéticos – Termos e Definições) “geossintéticos” é um termo genérico que descreve um produto em que ao menos um de seus componentes é produzido a partir de um polímero sintético ou natural, sob a forma de manta, tira ou estrutura tridimensional, utilizado em contato com o solo ou outros materiais, em aplicações da engenharia civil.

Segundo Vertematti (2004) as diferentes funções dos geossintéticos podem ser evidenciadas através do Quadro 02 a seguir.

Quadro 02 - Organização de seções e subseções.

Funções dos vários geossintéticos nos projetos de engenharia							
Geossintético	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Erosão	Reforço	Impermeabilização
Geotêxtil	X	X	X	X	X	X	X
Geogrelha	X	-	-	-	-	X	-
Geomembrana	X	-	-	-	-	-	X
Georrede	-	X	-	X	-	-	-
Geocompostos argilosos	-	-	-	-	-	-	X
Geocélula	-	X	-	-	X	X	-
Geotubo	-	-	-	X	-	-	-
Geofibras	-	-	-	-	-	X	-

Fonte: Vertematti (2004).

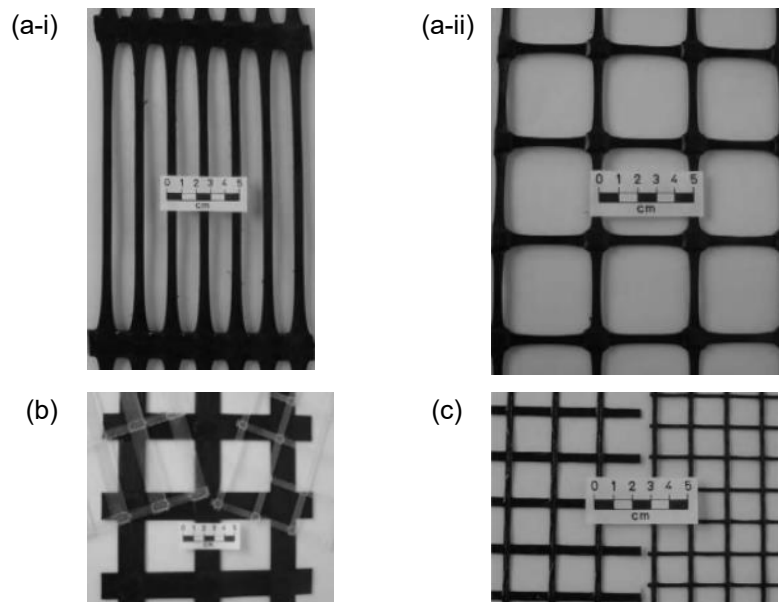
Desde os anos de 1980, taludes em solo reforçado com geossintéticos são construídos no Brasil (EHRlich e BECKER, 2009). A rapidez no desenvolvimento do mercado de geossintéticos no Brasil tornou a geogrelha o material mais empregado no reforço de solos por representar uma alternativa mais barata e de fácil execução se comparado às soluções tradicionais existentes.

Segundo a NBR ISO 10318/2021 as geogrelhas podem ser constituídas por uma malha aberta e regular de elementos de tração completamente conectados, que podem ser unidos por extrusão, solda ou “interpooling” ou entrelaçamento. A geogrelha quando inserida em taludes de terra, especificamente no aterro, promove a redistribuição das tensões e deformações induzidas, permitindo assim, a utilização de estruturas mais íngremes com volume reduzido de aterro compactado além da prevenção contra possíveis movimentações de terra. O ganho de resistência induzido pela inserção da geogrelha se dá pela elevada resistência a tração e baixa deformabilidade do material (KOERNER, 1998).

Desta forma, as geogrelhas atuam como uma armadura do solo, garantindo assim, um aumento de resistência a tração e uma boa interação ao composto solo-reforço devido à estrutura de malha. As geogrelhas para reforço normalmente são fabricadas através do uso de polímeros como o polietileno de alta densidade (PEAD), o poliéster (PET) e o polipropileno (PP) (TEIXEIRA, 2003).

As geogrelhas também podem ser classificadas a partir do seu processo de fabricação podendo ser extrudadas (uniaxial ou biaxial), soldadas ou tecidas como ilustrado na Figura 01.

Figura 01 - Tipos de Geogrelha: (a) Extrudada - (i) uniaxial, (ii) biaxial; (b) Soldada; (c) Tecida.



Fonte: (Shukla e Yin, 2006 - modificado).

2. DESENVOLVIMENTO

Neste estudo foi realizada uma revisão literária a fim de contextualizar, de forma a reunir informações técnicas, normativas e práticas publicadas ao decorrer da última década que possam contribuir para equipes técnica e acadêmica e propagar

informação sobre a aplicação adequada de geogrelhas como solução para a estabilidade de taludes em solo reforçado.

Os artigos foram selecionados dos bancos de dados das ferramentas de pesquisa científica Scopus, Elsevier e diversas revistas científicas a fim de selecionar artigos com relevância na comunidade acadêmica que representassem avanços a aplicação de geogrelha como reforço estrutural em taludes publicados entre 2013 e 2023 nos idiomas português e inglês.

A partir da seleção supracitada foram escolhidos sete artigos relacionados na Quadro 3 abaixo, e realizados seus respectivos resumos técnicos.

Quadro 3 – Artigos selecionados para revisão.

Título	Autores	Ano de Publicação	Banco de Dados
Role of Geogrid reinforcement and its diverse applications in the geotechnical engineering and allied fields: a-state-of-the-art review.	Kiran Prakash K, Deendayal Rathod & Kasinathan Muthukkumaran.	2023	Australian Journal of Civil Engineering
Stability of MSW Landfill Slopes Reinforced with Geogrids	KESKIN, Menmet Salih e KEZER, Sedat	2022	Department of Civil Engineering, Dicle University, 21280 Diyarbakir, Turkey
Comparação entre as técnicas de estabilização química e reforço com geossintético na melhoria da resistência ao cisalhamento de solo com baixa capacidade de suporte.	Alexandre de Souza Júnior , Carina Silvani, Eduardo Antonio Guimarães Tenório, Jonny Dantas Patrício, Kênia Araújo de Lima Scariot, Lêda Christiane de Figueiredo Lopes Lucena.	2021	Revista Principia - Periódicos Instituto Federal da Paraíba.
Resistencia e dilatância de interface areia-geogrelha extrudada com uso de equipamento de pequeno porte.	Maria Gabriela Guevara Rodriguez e Fernando Henrique Portelinha.	2017	TECSIC 2017 – GT de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos da ANTAC
Análise do comportamento de estruturas de contenção reforçadas por geogrelha e blocos articulados de concreto.	Paulo Rogério Gomes Lima Junior.	2016	COBRAMSEG 2016 Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
Estudo das aplicações de geossintéticos em obras civis: análise de caso com geogrelha	Carlos Alberto Ortiz Hadlich, Felipe Montanarini Tavano, Luís Henrique Diniz Kaimoto, Matheus Tomé Sá César de Camargo, Fernando Luiz Lavoie e José Orlando Avesani Neto.	2015	VII Congresso Brasileiro de Geossintéticos e VIII congresso brasileiro de geotecnia ambiental
Ideas for improved geotechnical structures for natural disaster mitigation	Heerten G. e Vollmert L.	2013	18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Challenges and Innovations in Geotechnics, ICSMGE 2013

Fonte: Autora (2023).

2.1. LITERATURA

2.1.1. ROLE OF GEOGRID REINFORCEMENT AND ITS DIVERSE APPLICATIONS IN THE GEOTECHNICAL ENGINEERING AND ALLIED FIELDS: A-STATE-OF-THE-ART REVIEW. - Kiran Prakash K, Deendayal Rathod & Kasinathan Muthukkumaran - 2023

O projeto apresentou uma visão global de estudos de caso envolvendo reforço de geogrelhas em grandes projetos discutindo as tendências e oportunidades atuais para o desenvolvimento futuro de novas tecnologias geotécnicas. Os autores analisaram uma literatura variada envolvendo interações entre uma ampla gama de materiais de geogrelha (polipropileno, polietileno e poliéster) e diferentes tipos de solos (coesivos e não coesivos). Outrossim, foram evidenciadas também, as vantagens do uso de geogrelhas com boa resistência a tração em face à outras tecnologias de contenção como estabilização química, substituição do maciço terroso por solos com características mais adequadas e soluções equivalentes.

A aplicação de geossintéticos em áreas com propensão a sismicidade é estudada na geotecnia e recentemente foi comprovado que o gabião, reforços de geogrelha e estaca-prancha garantiram resiliência contra terremotos, como visto no estudo de Chaudhary et al. (2018). Neste viés muitas pesquisas foram conduzidas com a realização de ensaios laboratoriais que identificassem e se aproximassem das condições reais de tensão aplicadas ao maciço de solo. Foram realizados testes de centrífuga, simulações de modelos digitais de pequena escala que apontaram uma significativa redução na profundidade da zona de tensão e a importância do uso de geogrelhas mais rígidas para a resistência à níveis de tensão de sobrecarga.

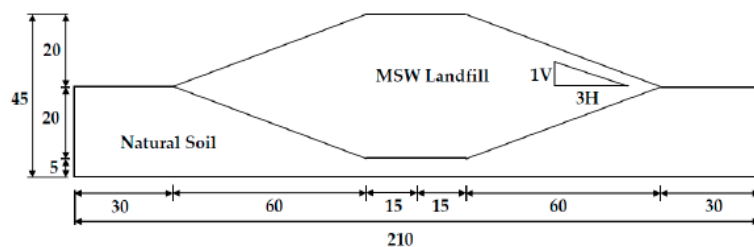
As análises de estabilidade foram realizadas através do método de equilíbrio limite ou coeficiente de pressão passiva do solo com o intuito de identificar o momento de condução causado pelo peso da massa deslizante que forma um ciclo de escorregamento ao longo da encosta. Esta análise permite identificar o ponto de cruzamento da geogrelha e a linha de deslizamento de falha com o propósito de conceder ao sistema de contenção uma resistência adicional tornando o sistema estável. Na análise e dimensionamento do aterro é necessário comprovar a estabilidade rotacional, estabilidade de deslizamento lateral e estabilidade de extrusão para alcançar fatores de segurança adequados.

Por conseguinte, foi observado que a resistência ao arrancamento e a resistência à tração foram os dois fatores mais importantes que contribuem para a geogrelha efeito de reforço máximo.

2.1.2. STABILITY OF MSW LANDFILL SLOPES REINFORCED WITH GEOGRIDS - KESKIN, Menmet Salih e KEZER, Sedat - 2022

Segundo os autores da pesquisa foi realizada uma análise de estabilidade de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos (RSU). Foram elaboradas análises usando método de elementos finitos e o método do equilíbrio limite para ambas as condições de solo não-reforçado e solo reforçado com geogrelhas a fim de investigar os efeitos dos parâmetros de tensão de cisalhamento, o peso unitário do solo e os parâmetros do modelo de material. Foram analisados os aspectos de estabilidade do solo a partir de um modelo com 210 m de comprimento e 45m de altura como representado na figura 02.

Figura 02 - Geometria do Aterro para proporção de 1V x 3H.



Fonte: (KESKIN, Menmet Salih e KEZER, Sedat, 2023)

Foram adotadas as características presentes no Quadro 04 a seguir obtidos a partir de estudos anteriores

Quadro 04 - Parâmetros do Solo

Parâmetros	Solo	RSU
Peso unitário, γ (kN/m ³)	17.0	9.0
Módulo de elasticidade, E (kPa)	14,000	6500
Coefficiente de Poisson, ν (-)	0.25	0.45
Ângulo de atrito interno, ϕ (°)	25	15
Coesão, c (kPa)	15.0	10.0
Ângulo de dilatação, ψ (°)	0.0	0.0

Fonte: (KESKIN, Menmet Salih e KEZER, Sedat, 2023)

Quanto as propriedades do material da geogrelha o autor utilizou o produto dos fatores de elasticidade do Módulo de Young “E” e a área da seção transversal “A” da ancoragem no valor de 1100 kN/m para modelar a geogrelha. O estudo foi conduzido através de uma comparação entre os resultados obtidos através da análise do solo reforçado e não reforçado realizada pelo método do equilíbrio limite através do software SLOPE/W e o método dos elementos finitos pelo software PLAXIS.

O modelo geométrico do aterro de RSU foi criado no programa de computador PLAXIS em formato bidimensional. As análises de taludes foram realizadas de acordo com condições de deformação plana. Na modelagem foram escolhidos elementos triangulares com 15 nós para obter mais resultados precisos e sensíveis

No método de equilíbrio limite pelo software SLOPE/W assumiu-se que o círculo deslizante foi formado em uma determinada superfície, os valores de Fator de Segurança foram obtidos comparando as forças que deslizam ao longo desta superfície com as forças que resistem o deslize. Nesta análise foi utilizado o método de estabilidade por fatia e modelo de superfície de deslizamento circular.

De acordo com os resultados obtidos nas análises não reforçada e reforçada, o fator de segurança da inclinação do aterro de RSU muda dependendo do ângulo de atrito interno, coesão, peso unitário e parâmetros do modelo de material dos resíduos sólidos. Taludes reforçados comportam-se de forma semelhante a um material compósito devido à resistências de interligação e fricção que ocorrem entre os reforços e o material residual. Com o uso de reforços de geogrelha, a estabilidade das encostas melhora, enquanto o fator de segurança aumenta em 1,86 vezes. O número ideal de geogrelhas e o espaçamento vertical necessário para diferentes alturas, ângulos de inclinação e diferentes índices e parâmetros de resistência ao cisalhamento do sólido o material residual pode ser obtido por modelagem numérica de encostas de aterros de RSU.

2.1.3. COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA E REFORÇO COM GEOSSINTÉTICO NA MELHORIA DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE SOLO COM BAIXA CAPACIDADE DE SUPORTE - Alexandre de Souza Júnior [1], Carina Silvani [2], Eduardo Antonio Guimarães Tenório [3], Jonny Dantas Patrício [4], Kênia Araújo de Lima Scariot [5], Lêda Christiane de Figueiredo Lopes Lucena [6] – 2020

Os autores realizaram uma análise de resistência ao cisalhamento de um solo no seu estado natural de baixa capacidade de suporte com a utilização da técnica de estabilização química e do uso de materiais de reforço (geotêxtil não tecido e geogrelha). Através do ensaio triaxial do tipo não adensado e não drenado foi avaliado o comportamento mecânico do solo. Assim, foi proposta a estabilização química do solo em face a técnica de reforço com geossintéticos.

Foram utilizadas amostras deformadas coletadas no complexo habitacional aluísio Campos na cidade de campina grande (PB). Após uma análise inicial, constatou-se que as amostras apresentavam grande predominância de argila com teores expressivos de finos na distribuição dos tamanhos dos grãos.

O procedimento de estabilização química deu-se através da adição de cimento Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI) na proporção de 0%, 5% e 7% e cal hidratada nas proporções de 0%, 3%, 4%, 5% e 6%. Ademais, na estabilização com reforço foi utilizado um geotêxtil não-tecido GEOFORT GF 10/200 e a geogrelha STRATGRID SG350 caracterizadas, respectivamente pelo Tabela 01 e Tabela 02.

Tabela 01 - Especificações STRATGRID SG350.

Propriedades	Norma	Unidade	SG350
Força máxima	ASTM D6637/2015	kN/m	73,0
Resistência à tração - 2% de tensão	ASTM D6637/2015	kN/m	7,0
Resistência à tração - 5% de tensão	ASTM D6637/2015	kN/M	24,5
Resistência à tração - 10% de tensão	ASTM D6637/2015	kN/m	52,5
Tamanho da abertura	Medido	mm	21,6/15,2x14,0

Fonte: JUNIOR, Alexandre de souza, et.al.(2020).

Tabela 02 – Especificações GEOFORT Linha GF.

Propriedades	Norma	Unidade	GF 10/200
Espessura	ABNT NBR ISO 9863-1/2013	mm	1,4
Gramatura	ABNT NBR ISO 9864/2013	g/m ²	200
Resistência à tração em faixa larga (transversal)	ABNT NBR ISO 10319/2013	kN/m	10
Alongamento na transversal	ABNT NBR ISO 10319/2013	%	50
Resistência à tração em faixa larga (longitudinal)	ABNT NBR ISO 10319/2013	kN/m	9
Alongamento na longitudinal	ABNT NBR ISO 10319/2013	%	50
Resistência ao rasgo trapezoidal (transversal)	ASTM D4533/2015	N	280
Resistência ao rasgo trapezoidal (longitudinal)	ASTM D4533/2015	N	310
Resistência ao punçonnemento CBR	ABNT NBR 12236/2013	kN	1,8
Resistência ao punçonnemento estático	ASTM D4833/2013	N	450
Permeabilidade	ASTM D4491/2014	cm/s	0,39
Abertura aparente	ASTM D4751/2012	mm	0,22

Fonte: JUNIOR, Alexandre de souza, et.al.(2020).

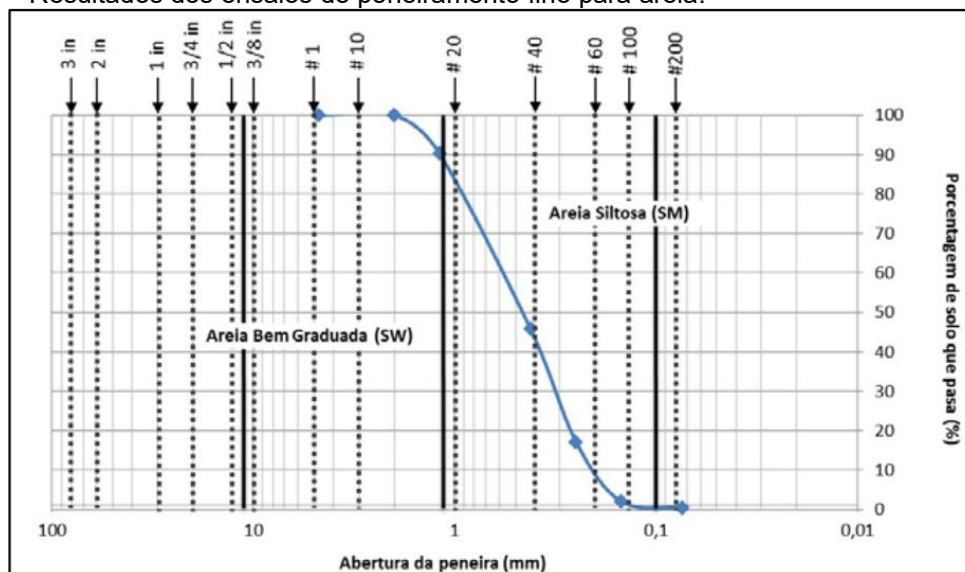
Foi possível observar que a amostra de solo quimicamente estabilizado com teor de 7% de cimento apresentou uma ação cimentante nas partículas do solo, a qual resultou em um sistema rígido, interconectado e resistente.

Em suma, a inserção de geotêxtil não tecido apresentou resultados como boas alternativas a serem consideradas porém a estabilização química do solo apresentou melhores resultados em questão de comportamento mecânico. Esta melhoria foi observada pelo aumento na resistência de aproximadamente 6,5% enquanto o solo reforçado com geossintéticos apresentou um aumento de apenas 2,6% para o mesmo solo ambos sob tensão confinante de 400 KPa.

2.1.4. RESISTENCIA E DILATÂNCIA DE INTERFACE AREIA-GEOGRELHA EXTRUDADA COM USO DE EQUIPAMENTO DE PEQUENO PORTE. - RODRIGUEZ, Maria Gabriela Guevara e PORTELINHA, Fernando Henrique – 2017

Neste estudo os autores realizaram ensaios de arrancamento com dois geossintéticos, uma geogrelha extrudada biaxial de polietileno de alta densidade (PEAD) e uma geogrelha tecida uniaxial de poliéster (PET). O estudo foi elaborado com o uso de areia bem graduada (SW), como representado na Figura 03, após ensaios de vazios máximo e mínimo e de massa específica dos sólidos com o propósito de determinar a compactidade relativa da amostra.

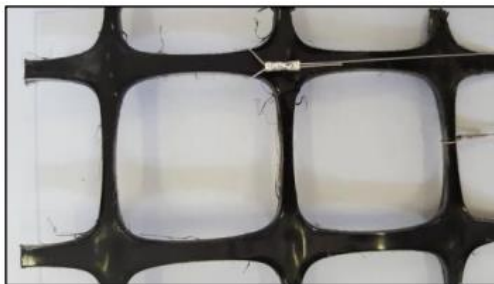
Figura 03 – Resultados dos ensaios de peneiramento fino para areia.



Fonte: (RODRIGUEZ, Maria Gabriela e PORTELINHA, Fernando Henrique - 2017)

No programa experimental foram utilizados 2 tipos de geossintéticos. Uma geogrelha tecida uniaxial de poliéster (PET) e uma geogrelha extrudada biaxial de polietileno de alta densidade (PEAD), representada na Figura 04 abaixo.

Figura 04 – Geogrelha extrudada de polietileno de alta densidade (PEAD).



Fonte: (RODRIGUEZ, Maria Gabriela e PORTELINHA, Fernando Henrique - 2017)

Os autores puderam observar que existe uma proporcionalidade entre as tensões de arrancamento e o aumento da tensão confinante, o que era esperado. Em comparação com os resultados de tensão de arrancamento da geogrelha tecida, as tensões de arrancamento da geogrelha extrudada foram significativamente superiores.

A envoltória de resistência obtida apresentou valores coerentes nos ensaios, que proporcionou a verificação de um maior resultado de desenvolvimento na combinação entre geogrelha extrudada e o solo com índice de vazios médio que apresentou uma tensão de arrancamento de 140 Kpa, 16% superior ao arranjo da PEAD extrudada com o solo de índice de vazios máximo e 40% maior que o sistema com solo que apresentou índice de vazios mínimo.

Ademais, os autores observaram que ocorreu uma melhora no desempenho da resistência da interface devido a maior resistência e menor deformação da geogrelha extrudada em relação à geogrelha tecida.

2.1.5. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO REFORÇADAS POR GEOGRELHA E BLOCOS ARTICULADOS DE CONCRETO – JUNIOR, Paulo Rogério Gomes Lima - 2016

Junior (2016) analisou a viabilidade e vantagens da inserção de geogrelhas e Estruturas de Contenção em Solo Reforçado (ECSR) em conjunto com faceamento de blocos segmentais de concreto. Foram apresentados resultados característicos do dimensionamento de 2 muros distintos pelo tipo de solo presente no aterro, sendo um composto por um solo coesivo, classificado como argilo-arenoso e o outro caracterizado como solo arenoso, isento de coesão.

Tomou-se como base os parâmetros hiperbólicos conservativos de diversos solos propostos por Duncan et.al (1980) apud Ehrlich (2009). Com o propósito de realizar a análise foram utilizados os parâmetros referentes a um solo coesivo argilo arenoso e um solo não coesivo (areia). As características desses solos estão descritas na Tabela 03 abaixo:

Tabela 03 : (a) Solo argilo arenoso (b) solo arenoso.

Características do solo de enchimento		Características do solo de enchimento	
Descrição do solo	areia argilosa	Descrição do solo	areia
Coesão	$C^f = 14\text{kpa}$	Coesão	$C^f = 0$
Angulo de atrito	$\Phi^f = 33^\circ$	Angulo de atrito	$\Phi^f = 39^\circ$
Peso específico	$\gamma = 19\text{kN/m}^3$	Peso específico	$\gamma = 23\text{kN/m}^3$
Módulo tangente inicial	$K = 150$	Módulo tangente inicial	$K = 450$
Módulo expoente	$n = 0,60$	Módulo expoente	$n = 0,40$
*O solo de fundação apresenta os mesmo parâmetros do solo de enchimento.		*O solo de fundação apresenta os mesmo parâmetros do solo de enchimento.	

(a)

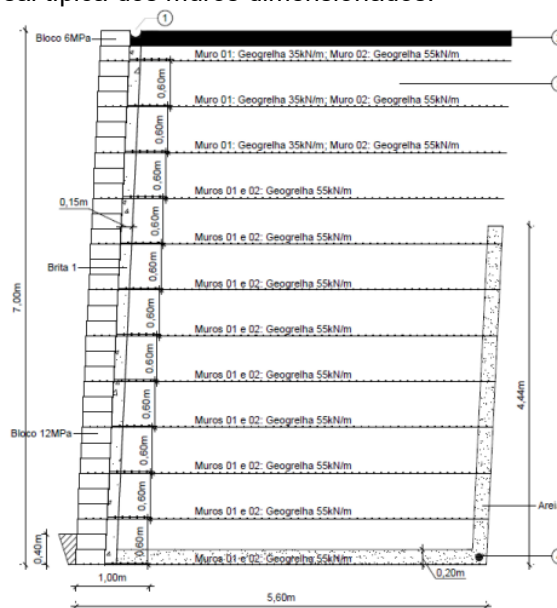
(b)

Fonte: (JUNIOR, Paulo Rogério Gomes Lima, 2016 - Adaptada).

Foi determinada, também, a utilização de geogrelhas de PVA, para ambos os cenários de solo arenoso e argilo arenoso, com comprimento de 5,6 m para todas as camadas de reforço a fim de evitar o arrancamento do material na zona resistente. Foram empregadas 12 geogrelhas aplicadas com espaçamento constante de 60 cm à exceção da última camada que em relação ao topo apresenta um espaçamento de 40 cm totalizando os 7 metros do muro de contenção.

Nas 3 primeiras camadas superiores foram selecionadas geogrelhas de PVA com resistência ao cisalhamento de 35 MPa , porém, devido a maior necessidade de propriedade resistiva ao cisalhamento foram aplicadas geogrelhas com resistência característica de 55 MPa nas camadas de 1 à 9.

Figura 05 - Seção transversal típica dos muros dimensionados.



Fonte: (JUNIOR, Paulo Rogério Gomes Lima, 2016).

Fundamentado nos cálculos de dimensionamento de Rankine (1857) e Ehrlich e Mitchell (1994), o autor realizou uma análise comparativa do comportamento mecânico das geogrelhas inseridas no sistema de contenção de ambas as estruturas.

De acordo com JUNIOR (2016) foi possível chegar a conclusões em relação ao impacto das tensões atuantes sobre as geogrelhas em cada camada, o fator de segurança estimado na camada e, por fim, a elaboração gráfica do sistema de contenção de ambas as estruturas.

Por conseguinte, o autor pode inferir que o solo granular garantiu um melhor

desempenho, quando comparado ao solo coesivo, devido a interação do sistema de contenção (geogrelha) e o solo. Destaca-se neste estudo o significativo impacto das características de tamanho dos grãos e coesão do solo na distribuição das tensões atuantes no sistema e os fatores de segurança.

2.1.6. ESTUDO DAS APLICAÇÕES DE GEOSSINTÉTICOS EM OBRAS CIVIS: ANÁLISE DE CASO COM GEOGRELHA – HADLICH, Carlos Alberto Ortiz, et al. - 2015

Neste artigo os autores consideraram um estudo de caso de um muro de arrimo de 12 m de altura reforçado com geogrelha do tipo PET (poliéster) localizado na cidade de São Paulo – SP. O estudo apresenta a parametrização do solo realizada a fim de avaliar características como ângulo de atrito, peso específico, coesão e a influência sobre o comportamento do maciço reforçado. A estrutura estudada foi elaborada com altura de até 12 m reforçado com geogrelhas com camadas espaçadas a 60cm e comprimento de 20 m.

Os autores analisaram a estabilidade externa do sistema solo reforçado considerando a estrutura como um muro de gravidade e verificando a sua estabilidade contra deslizamento, tombamento, capacidade de carga e estabilidade global. Outrossim, foram verificadas a estabilidade interna do maciço reforçado onde houveram verificações de angulação, de ruptura e arrancamento do reforço.

Com o propósito de refinar o dimensionamento foi realizada a parametrização de solo avaliando o solo da obra, um solo granular, um solo siltoso e um solo argiloso. De mesmo modo, para obter a resistência à tração do projeto os autores aplicaram os fatores de redução parciais da geogrelha indicado pelo fabricante com os parâmetros revelados no Quadro 05, a seguir:

Quadro 05 - Fator de redução geogrelha tipo PET.

F _{cr}	1,5	Fator Parcial para fluência a tração
F _{mr}	1,10	Fator de redução Parcial para danos mecânicos de instalação
F _{cl}	1,05	Fator de redução parcial para degradação ambiental
F _m	1,0	Fator de redução parcial para incertezas estatísticas na determinação da resistência do geossintético.

Fonte: (HADLICH, Carlos alberto Ortiz. Et al. 2015).

Com a finalidade de especificar apenas a variável de resistência das geogrelhas tipo PET ao longo da altura do muro os autores deliberaram por manter os valores de espaçamento vertical e comprimento dos elementos de reforço.

A partir deste dimensionamento foi possível observar que o peso do solo sobre a geogrelha corroborou para um aumento na eficiência da ancoragem do material ao solo. Deste modo foi possível inferir que, apesar do acréscimo de empuxo, as camadas superiores apresentam uma menor relação entre o comprimento da geogrelha e a altura da contenção. Quanto ao solo verifica-se que a característica de ângulo de atrito foi o parâmetro que mais impactou o comprimento do elemento de reforço.

2.1.7. IDEAS FOR IMPROVED GEOTECHNICAL STRUCTURES FOR NATURAL DISASTER MITIGATION – HEERTEN G. (Naue GmbH & Co. KG, Germany), VOLLMERT L. (BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG, Germany) - 2013

O artigo apresentou uma análise histórica das variadas aplicações dos geossintéticos em correlação à desastres naturais que ocorreram em diversas partes do mundo, os quais estabeleceram a aplicação de geossintéticos como parte da elaboração de planos de emergência e solução. No caso das geogrelhas foram apresentadas as aplicações em um aterro ferroviário na cidade de Kobe, no Japão após um terremoto atingir a região.

Segundo Herteen e Vollmert (2013) as geogrelhas aplicadas em reforço de solo são materiais poliméricos sintéticos com propriedades termoplásticas e viscoelásticas. O coeficiente parcial de segurança para fluência a longo prazo se faz importante como fator de redução para calcular a resistência de projetos com o uso de reforço por elemento geossintético baseado na resistência à tração característica a curto prazo estimada para um determinado produto de reforço por meio de ensaios.

Tatsuoka (2009) descreveu o recente código de design desenvolvido para estruturas ferroviárias japonesas após o terremoto de Kobe, que apresenta uma abordagem que desconsidera o fator de redução de fluência para cargas sísmicas em estruturas de solo reforçado (GRS).

Considerar geossintéticos para o projeto e construção de aterros em áreas de suscetíveis a terremotos pode melhorar consideravelmente a função das estruturas. É trabalho da comunidade acadêmica em engenharia de geossintéticos compartilhar com o público os avanços que essa tecnologia pode proporcionar aos bens de consumo e de vida em casos de desastres naturais.

2.2. RESULTADOS

Foi possível observar que dentre os artigos estudados destacaram-se alguns parâmetros que apresentam significativo impacto no estudo e aplicação desta tecnologia. São eles características como o tipo de solo, tipo de geossintético e geogrelha, interação solo-geogrelha e a aplicabilidade em áreas passíveis de movimentação de solo.

A análise feita a partir do tipo de solo apresentou um consenso dentre os autores diante dos diversos tipos de ensaios e estudos realizados como é possível observar no Quadro 06.

Quadro 06 – Resultados por análise de solo

Autor	Ano	Tipo de análise	Conclusão
PRAKASH.K, et al.	2023	Revisão bibliográfica	Através do coeficiente de pressão passiva do solo puderam identificar o momento de condução causado pelo peso da massa deslizante que forma um ciclo de escorregamento ao longo da encosta.
KESKIN e KEZER	2022	Análise Computacional	Características do solo como o ângulo de atrito interno, coesão e peso unitário podem causar variação no fator de segurança da inclinação do aterro de RSU.
JUNIOR, et al	2020	Análise de resistência ao cisalhamento	Para solos argilosos com baixa capacidade de suporte os autores observaram que a técnica de estabilização química apresentou um melhor comportamento mecânico quando comparado com as soluções de geossintéticos.
RODRIGUEZ e PORTELINHA	2017	Análise de dilatância e resistência ao arrancamento.	Após os ensaios de dilatância e de arrancamento foi possível observar que o desenvolvimento da geogrelha extrudada foi muito maior quando combinada a areia (SW) com índice de vazios médios.
JUNIOR	2016	Análise computacional de estabilidade	Após as análises o autor pode observar que o solo granular conferiu um melhor desempenho quando comparado ao solo coesivo, devido as características de tamanho dos grãos e a coesão do solo na distribuição das tensões atuantes no sistema e os respectivos fatores de segurança.

Fonte: A autora.

Noutro viés, alguns autores destacaram a influência do tipo de geossintético e geogrelha utilizada a fim de discorrer sobre as melhorias este componente confere à estabilidade global do sistema de contenção. Foram relacionados no Quadro 07 abaixo algumas dessas inferências.

Quadro 07 – Resultados por análise de tipo de geossintético e geogrelha

Autor	Ano	Tipo de análise	Conclusão
JUNIOR, et al	2020	Análise de resistência ao cisalhamento	O autor pode observar que a resistência máxima foi maior para o solo com geotêxtil, quando comparada ao solo referência e a geogrelha.
RODRIGUEZ e PORTELINHA	2017	Análise de dilatância e resistência ao arrancamento	A partir dos resultados estudados foi possível concluir que a geogrelha extrudada PEAD apresentou melhor desempenho em questão da tensão de arrancamento além de uma melhora na resistência da interface devido a maior resistência e menor deformação.
HADLICH,C et al.	2015	Metodologia de cálculo para dimensionament o de muros de solo reforçado	Durante o estudo os autores notaram uma influência direta entre o a característica de ângulo de atrito do solo e o comprimento da geogrelha tipo PET levando em conta os fatores de redução para fluência a tração, danos mecânicos de instalação, degradação ambiental e incertezas estatísticas na determinação da resistência do geossintético.

Fonte: A autora.

Os autores também notaram a influência da interação das características individuais dos materiais no sistema como um todo através da análise de comportamento do sistema e correlação com a ancoragem, tensão de arrancamento e tensão confinante, apresentado na Quadro 08 abaixo:

Quadro 08 – Resultados por análise de interação solo-geogrelha.

Autor	Ano	Tipo de análise	Conclusão
PRAKASH.K, et al.	2023	Revisão bibliográfica	Os autores observaram que a resistência ao arrancamento e a resistência a tração foram os fatores que mais contribuíram para o efeito de reforço máximo a geogrelha no sistema.
KESKIN e KEZER	2022	Análise Computacional	Os autores constataram que os taludes reforçados com geogrelhas apresentam comportamento de material compósito devido as resistências de interligação e fricção que ocorrem entre a geogrelha e o solo.
HADLICH,C et al.	2015	Metodologia de cálculo para dimensionamento de muros de solo reforçado	Os autores apresentaram a correlação entre o peso do solo sobre a geogrelha e o aumento na eficiência de ancoragem do sistema.
RODRIGUEZ e PORTELINHA	2017	Análise de dilatação e resistência ao arrancamento.	Os autores puderam observar a existência de uma proporcionalidade entre as tensões de arrancamento e a tensão confinante do sistema reforçado com geogrelhas.

Fonte: A autora.

Por fim os artigos estudados também evidenciaram as vantagens do emprego desse tipo de tecnologia para a prevenção de desastres naturais que atinge diversas partes do mundo. Como é possível observar no Quadro 09 abaixo:

Quadro 09 – Resultados por análise de prevenção a desastres naturais.

Autor	Ano	Tipo de análise	Conclusão
PRAKASH.K, et al.	2023	Revisão bibliográfica	Os autores observaram que os reforços de geogrelha garantem boa resiliência contra terremotos. Também foi relatado que a partir da análise do método de equilíbrio limite é possível identificar o momento de condução causado pelo peso da massa deslizante que forma um ciclo de escorregamento ao longo da encosta. Esta análise ajuda a estabelecer o comprimento da geogrelha pelo ponto do cruzamento do material e a linha de deslizamento.
KESKIN e KEZER	2022	Análise Computacional	A análise que levou em consideração o modelo de superfície de deslizamento circular pelo método de estabilidade de fatias apresentou boa estabilidade do sistema com geogrelhas.
HADLICH,C et al.	2015	Metodologia de cálculo para dimensionamento de muros de solo reforçado	Após o estudo de estabilidade do sistema solo reforçado considerando a estrutura como um muro de gravidade e verificando a sua estabilidade contra deslizamento, tombamento, capacidade de carga e estabilidade global foi possível observar que o sistema com geogrelhas apresentou uma boa eficiência de ancoragem.
HEERTEEN e VOLLMERT	2013	Análise das formas de mitigação de desastres naturais.	Os autores analisaram as diferentes formas de mitigação e desastres naturais e evidenciaram a necessidade de compartilhar os avanços da tecnologia de reforço por geogrelha pode representar em cenários de desastres naturais.

Fonte: A autora.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos estudos foi possível compreender os parâmetros que mais influenciam na estabilidade do talude e por conseguinte na mitigação da ocorrência de deslizamentos. Conclui-se que para a melhor aplicação da geogrelha na estabilidade de taludes o profissional deve considerar o tipo de solo, o material da geogrelha, e a interação desses materiais nas condições de movimento de solo.

Foi consenso entre os artigos que as condições e características do solo que melhor recebe a geogrelha é o solo com maior percentual arenoso garantindo o ângulo de atrito e a resistência a tração, além de distribuir melhor as tensões pela geogrelha se comparado à solos moles.

Também é um aspecto a ser estudado o material da geogrelha a ser aplicada ao talude, sendo as geogrelhas PEAD e PET as mais empregadas atualmente. As geogrelhas atuam principalmente no beneficiamento da resistência a tração e na estabilidade do plano de deslizamento.

Ademais, faz-se necessária verificação da associação dos dois materiais haja vista que o sistema trabalha em forma de compósito sofrendo influência das tensões de arrancamento, tensão confinante e do peso do solo sobre a geogrelha a fim de garantir uma melhor ancoragem do sistema.

Destaca-se possibilidade de futuros estudos com o propósito de comparar os tipos de geogrelha em um âmbito econômico.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. ABNT NBR 7181. — Solo – **Análise granulométrica** — Rio de Janeiro, 1984-e, 13p. Disponível em: <https://www.gedweb.com.br/home/ifsc>. Acesso em: 20 out. 2023.
- BATHURST, R. J. Traduzido por: Maia, C. A. P. Recomendação IGS Brasil – IGSR 002-1: 2013. **Funções dos geossintéticos**, 2013.
- BELTRAN, L.; CRUDEN, D.M.; KRAUTER, E.; LEFÈBVRE, G.; TER-STEPANIAN, G.I.; ZHOUYUAN, Z. **Multilingual Landslide Glossary; Canadian Geotechnical Society**: Richmond, BC, Canada, 1993; ISBN0-920505-10-4.
- BRAIDA, J. A. et al. **Coesão e atrito interno associados aos teores de matéria orgânica e de água de um solo franco arenoso**. *Ciência Rural*, v. 37, n. 6, p.1646-1653, 2007.
- BS 8006 (1995). **“Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills”** British Standard Institution, pg 161.
- CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. Landslides Types and Processes. In: **LANDSLIDES: INVESTIGATION AND MITIGATION**, Washington D. C., USA. Special Report 247... Transportation Research Board, National Academy of Science, 1996, p. 36-75.
- DE SOUZA JÚNIOR, Alexandre et al. **Comparação entre as técnicas de estabilização química e reforço com geossintético na melhoria da resistência ao cisalhamento de solo com baixa capacidade de suporte**. *Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, n. 57, p. 134-149, 2021.
- DOS SANTOS, B. C. C.; DE ASSUNÇÃO, J. V.; ALMEIDA, E. L. de S.; DE OLIVEIRA, C. B. **Geotecnia aplicada a taludes : Geotechnics applied to slopes**. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 3607–3621, 2022. DOI: 10.34188/bjaerv5n4-013. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/53403>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- EHRlich, M., & BECKER, L. (2009). **Muros e taludes de solo reforçado**. Editora Oficina de Textos. São Paulo. Disponível em: [Minha Biblioteca]. Acesso em: 06 jun. 2023.
- FAN, C.; LAI, Y.F. **Influence of the spatial layout of vegetation on the stability of slopes**. *Plant and Soil*, v. 377, n. 1-2, p. 83-95, 2014.
- FERNANDES, L. S. (2004). **Avaliação de mantas comerciais na vegetação de taludes em corte de estrada**. Dissertação (Pós Graduação em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, UFV, Minas Gerais.
- HADLICH, Carlos Alberto Ortiz et al. **Estudo das aplicações de geossintéticos em obras civis: Análise de Caso com Geogrelha**. 304 f. Trabalho de Graduação. Curso

de Engenharia Civil, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul. 2014.

HEERTEN G, VOLLMERT L. **Ideas for improved geotechnical structures for natural disaster mitigation**. 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris, France. IOS Press: 1809-1812

HENSHAW, A. J.; THORNE, C. R.; CLIFFORD, N. J. **Identifying causes and controls of river bank erosion in a British upland catchment**. Catena, n. 1, v. 100, p. 107-119, 2012.

IGS BRASIL (Brasil). **International Geosynthetics Society (IGS) (org.). Classificação dos Geossintéticos**. [S. L.], 2021. 2 p. Marianna J.A. Mendes. Disponível em: <https://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/2020/04/1.pdf>. Acesso em: 26 de junho de 2023.

IGS. **Associação Brasileira de Geossintéticos. Os Geossintéticos**. 2018. Disponível em: <https://igsbrasil.org.br/material-tecnico/> . Acesso em: 09 de maio de 2023

JÚNIOR, Paulo Rogério Gomes Lima; DE SOUZA, Rafaela Faciola Coelho. **Análise do comportamento de estruturas de contenção reforçadas por geogrelha e blocos articulados de concreto**. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica O Futuro Sustentável do Brasil passa por Minas COBRAMSEG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil © ABMS, 2016

KESKIN, Mehmet Salih; KEZER, Sedat. **Stability of MSW landfill slopes reinforced with geogrids**. Applied Sciences, v. 12, n. 22, p. 11866, 2022

KOERNER, G. R.; HSUAN, G.; KOERNER, R. M. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**. 1998.

LACHOUSKI, R. L. (2021) **Aplicação de Geossintéticos em Engenharia Geotécnica: da Análise de 32 casos de obras para Soluções em Engenharia**. Florianópolis

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MOTA, Gisele Machado. **Comparação de métodos de dimensionamento de muros em solo reforçado através de programas computacionais**. 2011. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/120108>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

NEVES, Luis Fernando de Seixas (2010). **Dicionário de engenharia geotécnica e fundações**. São Paulo.

PELAQUIM, Flávia Gonçalves Pissinati. **Geotecnia aplicada à estabilidade de encostas e taludes**. São Paulo: Conteúdo Saraiva, 2021. Livro digital. Disponível em: [Minha Biblioteca]. Acesso em: 20 jun. 2023.

POPPER, Karl S. **A lógica da pesquisa científica**. Tradução de Leonidas Hegenberg, Octanny Silveira da Mota. 2. ed. São Paulo: Cultrix, 1975a. Parte I, Capítulos 1 e 2, Parte II, Caps. 3, 4, 5 e 6.

PRAKASH K Kiran , RATHOD Deendayal & MUTHUKKUMARAN Kasinathan. **Role of Geogrid reinforcement and its diverse applications in the geotechnical engineering and allied fields: a-state-of-the-art review**, Australian Journal of Civil Engineering, DOI: 10.1080/14488353.2023.2205674 (2023)

RODRIGUEZ, Maria Gabriela Guevara; PORTELINHA, Fernando Henrique. **Resistencia e dilatância de interface areia-geogrelha extrudada com uso de equipamento de pequeno porte**. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS. 2017.

SAMIA, J., TEMME, A., BREGT, A., WALLINGAB, J., GUZZETTIE, F., ARDIZZINEE, F., & ROSS, M. (2017). **Characterization and quantification of path dependency in landslide susceptibility**. *Geomorphology*, p.16 – 24.

SHUKLA, S.K. & YIN, J. (2006). **Fundamentals of geosynthetic engineering**. Taylor & Francis/Balkema, AK Leiden, Netherlands, 401p.

TEIXEIRA, Sidnei Helder Cardoso. **Estudo da interação solo-geogrelha em testes de arrancamento e a sua aplicação na análise e dimensionamento de maciços reforçados**. 2003. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. doi:10.11606/T.18.2003.tde-07042006-114840. Acesso em: 2023-10-31

VARNES, D. J. Slope movement types and processes. Traduzido por: Silva, J. K. In: **LANDSLIDES: ANALYSIS AND CONTROL**, Washington D. C., USA. Special Report 176. Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, 1978, p. 11-33.

VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**/ José Carlos Vertematti. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, Brasil, 2004. P. 44.