

ESTUDO DA ERODIBILIDADE DE SOLOS COM COBERTURA DE GEOSSINTÉTICOS EM LABORATÓRIO

Santos, R. C. M.¹, Silva, M. E. W. C.¹, Luz, M. P.¹, Mendes, T. A.²Merabet Jr., J. C. F.³

1 Escola de Politécnica e de Artes

Pontifícia Universidade Católica de Goiás

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG)

3 Universidade Federal de Goiás (UFG)

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi analisar a erodibilidade de um solo em duas situações: solo descoberto e com cobertura de geossintético, ambas utilizando o Simulador de Chuvas (SC) em laboratório. Para esse fim, realizou-se ensaios com amostras de solo coletadas na Usina Hidrelétrica de Itumbiara (Eletrobras Furnas), onde já se tem pesquisas concluídas e em andamento, para análise de resultados quanto à eficácia da cobertura do solo com o geossintético a ser estudado. Utilizou-se uma caixa acrílica com dimensões de 0,50 m x 0,50 m x 0,30 m (0,25 m²) e SC portátil por aspersão com inclinação de 5° e um geossintético flexível tridimensional com reforço metálico. Conclui-se que, com os resultados obtidos, possibilitou detectar vantagens e desvantagens do uso do geossintético, limitadas as condições de contorno do ensaio realizado. Pode-se concluir ainda que o solo protegido com geossintético adequado diminui a infiltração da água da chuva no solo e aumenta o escoamento superficial, mas reduz a perda de massa nos primeiros 40 minutos, comprovando a eficiência de proteção, desde que o geossintético esteja em contato com a superfície de solo durante todo o evento chuvoso.

Palavras-chave: Erosão pluvial. Erodibilidade dos solos. Geossintéticos. Escoamento Superficial.

ABSTRACT: The objective of this work was to analyze the erodibility of a soil in two situations: uncovered soil and with geosynthetic coverage, both using the Rainfall Simulator (SC) in the laboratory. To this end, tests were carried out with soil samples collected at the Itumbiara Hydroelectric Power Plant (Eletrobras Furnas), where research has already been completed and is in progress, for analysis of results regarding the effectiveness of covering the soil with the geosynthetic to be observed. . An acrylic box with dimensions of 0.50 m x 0.50 m x 0.30 m (0.25 m²) was used, with a portable sprinkling SC at a 5° inclination and a three-dimensional flexible geosynthetic with metallic reinforcement. It is concluded that, with the results obtained, it is possible to detect advantages and durability of the use of the geosynthetic, limited to the boundary conditions of the test carried out. It can also be concluded that the soil protected with adequate geosynthetic reduces the infiltration of rainwater into the soil and increases surface runoff, but reduces mass loss in the first 40 minutes, proving the efficiency of protection, as long as the geosynthetic is in contact with the soil surface throughout the rainy event.

Keywords: Rain erosion. Soil erosion. Geosynthetics. Surface runoff.

1. Introdução

A erosão é um fenômeno natural, sendo um processo composto por dois estágios: destacamento de partículas individuais do solo ou rocha e seu transporte por agentes erosivos, como a água e o vento (Morgan, 1995). Esse processo é um grande problema mundial que acontece em várias regiões do planeta, e em países tropicais esse problema é ainda maior, devido ao alto índice pluviométrico, acarretando inúmeros tipos de danos ambientais como: assoreamento de canais, deposição de sedimentos fluviais e sedimentação de reservatório, podendo assim causar perdas consideráveis.

A ação antrópica tem acelerado esses problemas ambientais podendo afetar quantitativamente os fenômenos do ciclo hidrológico. A perda da cobertura vegetal contribui com o surgimento de ravinas e voçorocas aumentando a percolação no solo. A vegetação auxilia na interceptação da água da chuva, reduzindo o escoamento superficial e diminuindo os processos erosivos (MENDES *et al.*, 2021).

Vertematti (2015), Melo (2016) e Melo (2020) têm utilizado em seus estudos materiais geossintéticos para prevenção e contenção de processos erosivos. Esse material é utilizado para fazer a cobertura de taludes e/ou solos descobertos em margens de rios e reservatórios, a fim de minimizar o carreamento dos grãos de solo pelo escoamento superficial.

Para se analisar a eficiência de materiais geossintéticos, com relação ao combate e prevenção de erosões, tem sido realizados estudos com o uso de Simuladores de Chuvas (SCs) em laboratório, no qual os pesquisadores como Mendes (2019) e Melo (2020) variaram suas inclinações de ensaio para análise da erodibilidade, sendo que Mendes (2019), em sua pesquisa, analisou solos descobertos e com plantio de gramíneas, e Melo (2020) analisou solos descobertos e com cobertura de geossintéticos.

Mendes *et al.* (2021) destacam que os SCs permitem analisar a infiltração e escoamento superficial em ambientes monitorados, sob uma ampla faixa de condições de contorno, controlando a intensidade, tamanho e uniformidade das gotas de chuva, o que permite analisar os resultados das alterações de condições do talude frente à erodibilidade.

2. Referencial teórico

A erosão superficial surge do fluxo da água da chuva que não infiltra no solo, sendo associada ao seu transporte, podendo ser do material solto, pelo impacto das gotas de chuva, conhecido como efeito *splash*, como também das partículas extraídas pela força trativa desenvolvida entre a água e solo. Esse tipo de erosão depende tanto de fatores externos, como cobertura do solo, inclinação do terreno e clima, quanto de fatores internos, como tipo de solo, estrutura e umidade, aspectos estes normalmente naturais. No entanto, a frequente intervenção do homem de maneira inadequada, causando mudanças na condição do solo, pode se tornar o fator de maior relevância para esse processo (CAMAPUM *et al.*, 2006).

De acordo com Sales *et al.* (2017) a erosão linear, também conhecida como erosão em sulcos, pode ser observada pela cicatrização no solo, onde a água concentrada em determinados pontos, forma canais, que ao se aprofundar gera um desprendimento de partículas potencializado pelo fluxo da água, diferente do escoamento laminar que consiste no salpicamento das gotas de chuva. À medida que essas partículas de solo são desprendidas, aumentando o tamanho dos sulcos no solo e gerando um grande volume de material erodido, tem-se a formação das ravinas.

Essas ravinas, quando em estágio avançado de desagregação, chegando a atingir o lençol freático culminam em voçorocas, pois geram um grande volume de massa. São vários os fatores que aceleram as voçorocas, dentre eles pode-se citar o material geológico, topografia, uso do solo e volume de enxurrada, pois alteram a intensidade de desenvolvimento (SALES *et al.*, 2017).

Com a realização dos ensaios, em laboratório, é possível monitorar e identificar os valores de perdas parcial e total do solo analisado sem cobertura e as influências com a aplicação do geossintético empregado.

3. Materiais e Métodos

3.1 Local de Estudo e Coleta do Material

O local de estudo escolhido para esse trabalho foi a Usina Hidrelétrica de Itumbiara (Eletrobras Furnas) localizada no Rio Paranaíba, na divisa entre os estados de Goiás e Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas: 18 °23 '12.1 "S 49 °03 '28.7 "W, região que

apresenta processos erosivos que são influenciadas pelo clima úmido com alta pluviosidade, relevo, geologia e também, pela ação antrópica (ocupação), levando em consideração estudos que já foram desenvolvidos nesta região, como: Carneiro, Luz e Silva (2022) e Vilhena (2020), sendo possível a comparação de resultados obtidos.

Foram coletadas amostras deformadas seguindo as recomendações da NBR 9.604 (ABNT, 2016), para a realização dos ensaios de caracterização: Massa Específica NBR 6458 (ABNT, 2016), Limite de Liquidez NBR 6459 (ABNT, 2017), Limite de Plasticidade NBR 7180 (ABNT, 2016), Análise Granulométrica NBR 7181 (ABNT, 2018), para identificar as características do solo e os ensaios especiais em solos: Compactação NBR 7182 (ABNT, 2016), Massa Específica com emprego da Balança Hidrostática NBR 16867 (ABNT, 2020), que foram realizados no laboratório de solos da Eletrobras Furnas.

3.2 *Geossintéticos*

Foi utilizado um geossintético flexível tridimensional, fabricado a partir de filamentos grossos de polipropileno fundidos nos pontos de contato e um reforço metálico em malha hexagonal de dupla torção com dimensão de 0,50 x 0,50 m.

Os ensaios das propriedades físicas foram realizados no laboratório de Geossintéticos da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades físicas do geossintético. Fonte: Melo (2020).

Ensaio	Norma	Valor Médio	C. V. (%)	D. P.
M_A (g/m ²)	NBR 9864 (ABNT, 2013)	1545	3,85	59,5
Espessura (mm)	NBR 9863 (ABNT, 2013)	10,33	5,5	0,57
Transmissividade (m ² /s)	D 4716 (ASTM, 2013)	9,55E-03	14,3	1,37E-03
Permissividade (s-1)	D4491/D4491M-22 (ASTM, 2022)	7,71	2,14	0,16
Permeabilidade (cm/s)	D4491/D4491M-22 (ASTM, 2022)	7,97	2,14	0,17

3.3 *Ensaio Experimentais com o Simulador de Chuva*

Na realização dos ensaios foi utilizado o Simulador de Chuva (SC) do laboratório da Eletrobras Furnas, desenvolvido por Mendes (2019), sendo o mesmo equipamento utilizado por Melo (2020). A parte do modelo físico denominada de caixa acrílica, local no equipamento que deve ser disposta as amostras de solo deformadas, foi a de Mendes (2019), que verificou o tamanho mínimo necessário desse recipiente (0,50 m x 0,50 m x

0,30 m - 0,25 m²) que pudesse receber as chuvas simuladas, sem que as condições de fronteiras e fator escala da caixa acrílica influenciassem no resultado do ensaio.

Com relação às características das chuvas simuladas foi utilizado o bico aspersor: ¼”-10SQ-HHS de pulverização quadrada de ângulo aberto, produzido pela Spraying System Company, e a pressão de serviço de 70 kPa, que segundo Mendes (2019) e Melo (2020) foi a que melhor representou as características das chuvas simuladas, obtendo de acordo com Mendes (2019) coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) superiores a 70 %, e com uma adequada distribuição do tamanho das gotas de chuva, em uma faixa de intensidade entre 86 e 220 mm/h, sendo que para chuvas constantes só foram obtidos estes parâmetros para as chuvas de 220 mm/h que serão utilizadas nesse trabalho.

Segundo Mendes (2019), as condições ideais do gerador de chuva do SC foram estabelecidas para uma área igual ou inferior de 1,0 m². Utilizou-se assim, uma caixa acrílica com dimensões de 0,50 m x 0,50 m x 0,30 m (0,25 m²) e considerando eventos de chuva com períodos de retorno de 10 a 100 anos., tendo como base a equação da chuva (*i-d-f*) para Goiânia – GO proposta por Costa e Prado (2003). Com o modelo físico proposto e calibrado por Mendes *et al.* (2019), tornou-se possível a utilização de resultados com energia cinética, velocidade terminal da gota de chuva e distribuição do tamanho de gotas.

Para o presente estudo foram estabelecidos dois cenários. No Cenário 1 foi realizado ensaio com o solo descoberto e inclinação de 5° e Cenário 2, solo coberto com uso de geossintético e inclinação de 5°. Todos os ensaios foram realizados sob chuva constante de 220 mm/h, aplicada em um período de uma hora. As amostras de solo utilizadas para os ensaios com SC foram moldadas sob carregamento estático, com o auxílio de uma prensa hidráulica (Figura 1) na caixa acrílica do SC, no laboratório de materiais da Eletrobras Furnas. O material foi compactado com 3 camadas de 10 cm de altura, $e = 1$ (índice de vazio) e $w = 25$ % (umidade ótima).



Figura 1: Prensa hidráulica (Máquina de ensaios em compressão/tração, prensa fabricante Maruto, capacidade de carga: 500 tf)

Os passos de preparação e moldagem das amostras indeformadas que antecedem a realização dos ensaios no SC (Cenário 1 e Cenário 2) são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2: Sequência de preparação e moldagem das amostras.

<p>Passo 1: Separar manualmente com o auxílio de uma enxada o material a ser utilizado em cada ensaio, aproximadamente 14 sacos de 10 kg;</p> <p>Passo 2: Deixar o material secar ao ar, de 1 a 2 dias até chegar na sua umidade higroscópica;</p> <p>Passo 3: Desfazer os torrões e passar na peneira de 4,8 mm;</p> <p>Passo 4: Determinar a umidade higroscópica do solo, conforme NBR 6457 (ABNT, 2016);</p> <p>Passo 5: Caso necessário, realizar a correção de umidade, com o objetivo de se alcançar a umidade estabelecida para o ensaio ($w = 25 \pm 1\%$);</p> <p>Passo 6: Pesar o solo e separar as quantidades destinadas para cada camada, aproximadamente 44,06 kg/camada valor esse obtido através de relações de índices físicos a fim de garantir a qualidade da compactação com um índice de vazios mais próximo de 1;</p> <p>Passo 7: Colocar a caixa acrílica na prensa hidráulica;</p> <p>Para a 1ª camada:</p> <p>Passo 8: Colocar na caixa o solo referente à camada;</p> <p>Passo 9: Desmanchar os torrões de solo, caso haja, e depois conferir a altura;</p> <p>Passo 10: Compactar a camada de solo em uma velocidade de +/- 5 a 8 mm/min com auxílio de corpos de prova, atuador hidráulico e prensa hidráulica (Figura 1);</p> <p>Passo 11: Escarificar a camada compactada, com o auxílio de uma espátula em sentido diagonal espaçados com aproximadamente 2 a 4 cm, para receber a próxima;</p> <p>Para a 2ª camada:</p> <p>Repetir os Passos 8, 9, 10 e 11;</p> <p>Para a 3ª camada (última camada):</p> <p>Passo 12: Colocar o colarinho na caixa acrílica;</p> <p>Repetir os Passos 8, 9, 10;</p> <p>Passo 13: Como o auxílio do prumo de centro, posicionar a caixa acrílica + solo no SC, de modo que seu centro geométrico coincida com o eixo do aspersor;</p> <p>Passo 14: Proteger o solo com papel filme, evitando a troca de umidade do material com o meio;</p> <p>Passo 15: Deixar o material em repouso por dois dias após a moldagem, tempo ideal para o equilíbrio da amostra total, para uma melhor uniformização entre as umidades das camadas (Figura 2).</p>



Figura 2: Solo moldado na caixa acrílica colocado no SC.

A Figura 3 representa a realização do ensaio no SC para o Cenário 1, com a aplicação de chuva no decorrer de 60 minutos, sendo que a água com o material carreado foi coletada a cada 1 minuto durante os primeiros 5 minutos, e depois a cada 5 minutos até os 60 minutos finais.



Figura 3: Simulador de chuva - Cenário 1.

Todo o material (solo + água) que foi carreado e retido pela calha coletora, na qual possui três orifícios de saída que são conectados por mangueiras, direcionados para o recipiente (balde) posicionado abaixo do SC (Figura 4). Esse material recolhido foi pesado logo após a realização do ensaio (Figura 4) e em seguida deixado em repouso até que seus sedimentos decantem, a fim de possibilitar a retirada do excesso de água, de tal forma que a perda de sedimentos seja a mínima possível.



Figura 4: Balde localizado abaixo do SC para captação do material e depois pesado.

Ao término de cada ensaio foram retiradas amostras indeformadas do topo, meio e base, para a determinação da massa específica aparente, pelo método da balança hidrostática NBR 16867 (ABNT, 2020), conforme Figura 5.



Figura 5: Balança Hidrostática. Fonte: Imagem da Internet, <https://www.todamatéria.com.br/hidrostatica>

O material que foi deixado em repouso foi transferido para bandejas para secagem em estufa a 105 °C (Figura 6).



Figura 6: Foto das bandejas com solo na estufa.

A Figura 7 representa o ensaio no SC para o Cenário 2, o qual seguiu a mesma sequência de preparação, moldagem e execução do Cenário 1, sendo que nesse cenário o geossintético foi fixado sobre o solo, com o auxílio de grampos (Figura 8).



Figura 7: Simulador de chuva - Cenário 2.

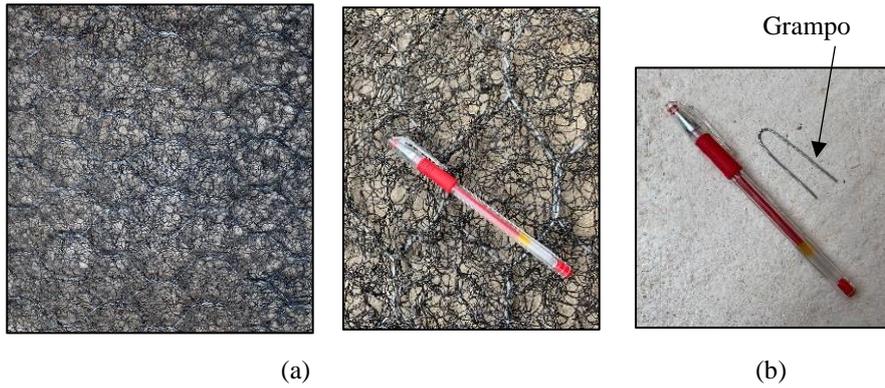


Figura 8: a) Manta de geossintético flexível tridimensional com reforço metálico em malha hexagonal de dupla torção com dimensão de 0,50 x 0,50 m e b) grampo para fixação da manta no solo.

A eficiência de proteção foi calculada pela razão entre o solo carregado com geossintético e o peso de solo carregado sem proteção, apresentada na Equação 1:

$$E = 1 - \left(\frac{\text{peso de solo carregado com geossintético}}{\text{peso de solo carregado sem proteção}} \right) * 100 \quad (1)$$

Com as amostras indeformadas de solo retirada da caixa acrílica, no topo, meio e base, determinou-se respectivamente, a massa específica aparente, pelo método da balança hidrostática, conforme NBR 16867 (ABNT, 2020), a fim de confirmar o índice de vazios esperado após a moldagem do material, sendo $e = 1$.

4. Resultados e Discussão

Os resultados dos ensaios de caracterização e ensaios especiais realizados são apresentados na Figura 9 e Tabela 3.

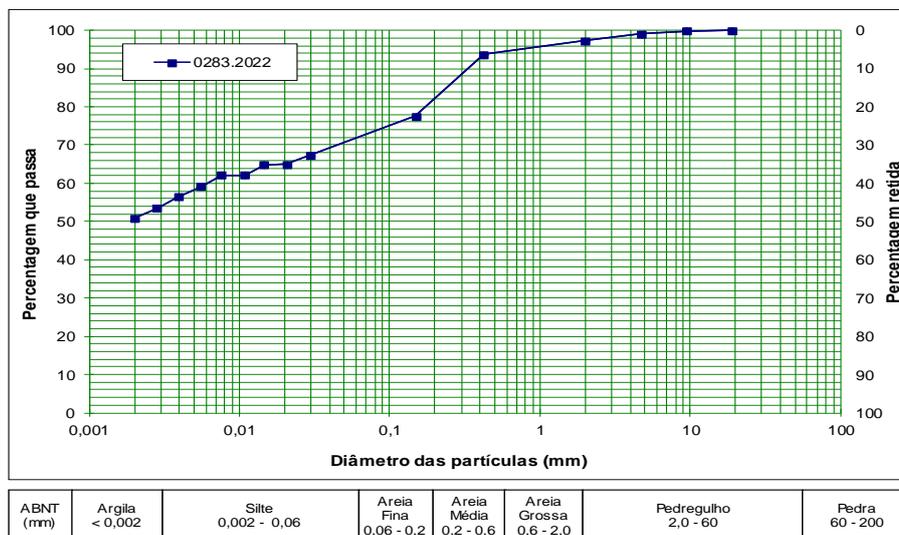


Figura 9: Curva granulométrica

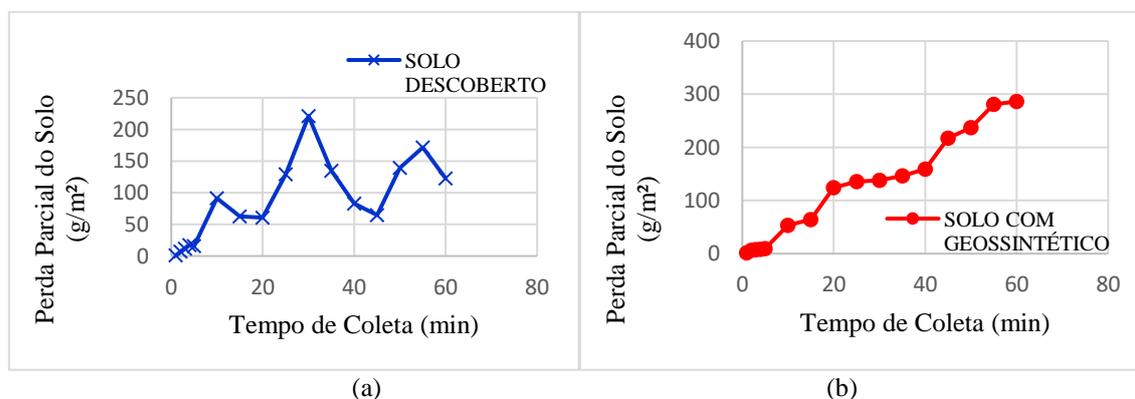
Tabela 3: Resultado dos Ensaio

Limite de Liquidez (LL)	Limite de Plasticidade (LP)	Índice de Plasticidade (IP)	Massa específica dos grãos	Umidade Ótima	Massa específica seca máxima
46 %	29 %	17 %	2,818 g/cm ³	24 %	1,589 g/cm ³

Argila	Silte	Areia fina	Areia média	Areia grossa	Pedregulho
50,62 %	16,72 %	13,22 %	13,52 %	3,22 %	3,20 %

Os resultados obtidos através da realização dos ensaios, possibilitou a classificação do material ensaiado como uma argila silto-arenosa, por meio da análise dos percentuais de sua faixa granulométrica. Sendo também classificado como CL-ML pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).

A Figura 10 apresenta os valores obtidos de perda de solo para os ensaios realizados nos Cenário 1 e 2. A partir dos resultados fica clara a irregularidade de carreamento do solo no Cenário 1, e a relativa linearidade do Cenário 2, sinalizando para um comportamento mais regular no segundo caso, o que é esperado para um solo com cobertura. Fato este também observado no trabalho de Melo (2020). Isso ocorre porque o solo sem cobertura sofre o processo erosivo de forma mais intensa, desenvolvendo sulcos com mais rapidez que ficam mais profundos com o tempo e alteram a forma com que o fluxo escoar pela superfície do solo, gerando oscilações no perfil de carreamento do solo, com momentos de estabilização, formação de novos sulcos e assim sucessivamente. No caso do solo com cobertura esse processo acontece mais forma branda devido à proteção oferecida pelo geossintético, retardando o desenvolvimento das feições erosivas.

**Figura 10:** Perda parcial de solo durante o ensaio com SC: a) Cenário 1 e b) Cenário 2.

Apresenta-se, na Figura 11, os valores obtidos de perda acumulada de solo, dos ensaios realizados com os Cenários 1 e 2, considerando as mesmas condições de inclinação, compactação, umidade e intensidade de chuva.

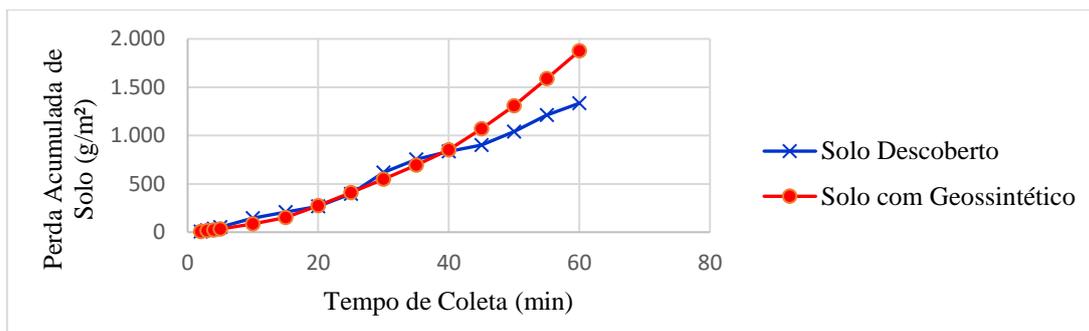


Figura 11: Gráfico comparativo das perdas acumuladas de solo entre os ensaios com simulador de chuva.

Com aproximadamente 40 minutos de ensaio percebeu-se que houve um despreendimento do geossintético ao solo, não ficando totalmente em contato com o solo, implicando em uma elevação nos valores de carregamento do solo e comprometendo o desempenho do Cenário 2, com cobertura de geossintético, conforme corroborado pelos dados apresentados na Tabela 4, onde é clara a inversão da eficiência, passando esta a ser negativa para os 20 minutos finais de ensaio.

Tabela 4: Comparativo das perdas de solo entre os ensaios com simulador de chuva e eficiência da cobertura do solo com geossintético.

Tempo de Coleta (min)	Perda Acumulada de solo (g/m²)		Eficiência (%)
	Cenário 1	Cenário 2	
1	0,92	1,40	-52,2
2	7,88	7,76	1,5
3	19,76	15,16	23,3
4	37,16	23,32	37,2
5	52,84	33,04	37,5
10	144,04	86,08	40,2
15	206,72	150,36	27,3
20	267,36	274,36	-2,6
25	396,80	410,16	-3,4
30	617,96	548,44	11,2
35	752,92	694,64	7,7
40	835,68	853,64	-2,1
45	900,40	1.070,96	-18,9
50	1.039,80	1.308,20	-25,8
55	1.211,16	1.589,20	-31,2
60	1.333,96	1.875,56	-40,6

A média da eficiência da cobertura do solo entre os tempos de 2 a 35 minutos foi de 18 %, mostrando que o desempenho da proteção do solo com o uso do geossintético também depende do sistema de fixação, não apenas da cobertura. Sabe-se que o primeiro valor de eficiência é passível de erro, pois há muito pouco material carregado e pequenas diferenças serão mais significativas. Fato este, reforçado para os minutos finais do ensaio em que a média de eficiência cai para -23,7 %. Nos estudos de Melo (2020), a massa de solo carregado foi de 521,34 g/m², o que levou a uma eficiência da proteção de 64 %. A

Tabela 5 apresenta os resultados dos índices vazios calculados indiretamente a partir do método da balança hidrostática, sendo possível aferir que as amostras foram reconstituídas praticamente nas mesmas condições e próximas do índice de vazios objetivo, $e = 1$.

Tabela 5: Resultado do índice de vazios.

Local da amostra	Cenário 1			Cenário 2		
	γ_g (g/cm ³)	γ_s (g/cm ³)	e	γ_g (g/cm ³)	γ_s (g/cm ³)	e
Topo	2,818	1,232	1,29	2,818	1,274	1,21
Meio	2,818	1,352	1,08	2,818	1,349	1,09
Base	2,818	1,385	1,03	2,818	1,36	1,07

A Tabela 6 apresenta o percentual de infiltração de água no solo nos dois cenários, enquanto a Figura 12 apresenta os resultados de escoamento superficial acumulado para os dois cenários. No Cenário 1 a infiltração da água do solo foi de 10,1 %; 5,6 %, 4,8 % respectivamente, quanto no Cenário 2 foi de 8,1 %; 4,8 %; 4,0 %, refletindo em um escoamento superficial acumulado 61 % maior, em média, para o solo com geossintético.

Tabela 6: Umidade do solo (%) após o ensaio com simulador de chuva e densidade.

Local da amostra	Cenário 1			Cenário 2		
	Umidade de Moldagem	Umidade após ensaio	Infiltração	Umidade de Moldagem	Umidade após ensaio	Infiltração
3ª Camada	26,2	36,3	10,1	26,2	34,3	8,1
2ª Camada	25,8	31,4	5,6	26,1	30,9	4,8
1ª Camada	25,2	30,0	4,8	26,1	30,1	4,0

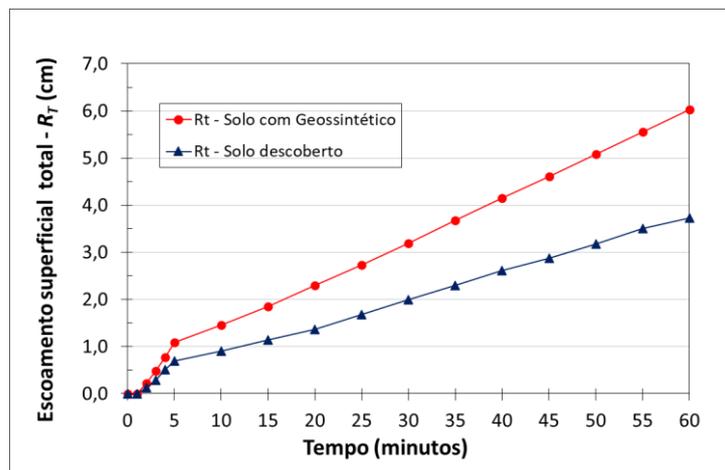


Figura 12: Escoamento superficial acumulado

Esses resultados comprovam a eficiência do uso do geossintético em reduzir a perda de massa de solo, mesmo sob uma geração de maior escoamento, devido aos seguintes fatores: o geossintético amortece o impacto das gotas de chuva, que causam o desprendimento do solo. Além disso, o escoamento produzido no geossintético não atinge

a superfície do solo de maneira efetiva, reduzindo o desprendimento e o carreamento de partículas contidas na matriz de solo e o carreamento das partículas destacadas pelas gotas de chuva. Essa análise é corroborada quando o geossintético se desprende. Percebe-se que a tendência do escoamento não altera, mas há o aumento da perda de massa porque o escoamento superficial começa atingir efetivamente a matriz do solo, carreando as partículas soltas que estavam retidas pelo geossintético e, possivelmente, arrancando novas partículas da matriz do solo.

Cabe salientar que, quanto maior for o escoamento numa dada área de solo, maior será a altura de fluxo, fator que contribui para o amortecimento do impacto das gotas de chuva e reduz o desprendimento de solo, sendo outro fator auxiliar na redução da perda massa para o Cenário 2 até o momento do desprendimento do geossintético foi inferior quando comparado ao ensaio com solo descoberto. Confirmando também a hipótese de que o Cenário 2 conduziu a maior quantidade de sedimentos carregados, devido à má fixação do geossintético na superfície da amostra de solo (problemas na execução do sistema de proteção da cobertura superficial, que deve ser considerado na situação real, ou seja, de campo).

5. Conclusão

Conclui-se que a aplicação do geossintético se mostra eficiente na diminuição da infiltração e contenção dos sedimentos, isso quando fixado de forma correta, seguindo as orientações do fabricante, garantindo o contato do geossintético com a superfície do solo. Caso não haja tal garantia o uso do geossintético se torna não atrativa, por ser um material de alto custo e nesse caso sem nenhum benefício em sua aplicação.

Como forma de melhoria e continuidade na pesquisa, sugere-se para trabalhos futuros o estudo de diferentes inclinações de ensaio, atentando-se com a uniformidade das unidades de ensaio. Realizar a avaliação de melhores metodologias de fixação da superfície do geossintético, aumentando o comprimento do grampo, sua distribuição ou até mesmo substituindo-os.

Os autores são gratos aos professores da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, em especial a nossa orientadora e amiga Profa. Dra. Marta Pereira da Luz, nosso muito obrigado pelo conhecimento transmitido, confiança e compreensão e nossos professores Prof. MSc. Murilo Meiron e Prof. MSc. Flávio Ricardo Leal da Cunha, que nos apoiaram

e incentivaram em nossos estudos. À Eletrobras Furnas, PD.0394-1705/2017 (P&D+I Sedimentos ANEEL), e toda equipe técnica que nos auxiliaram fazendo possível a realização de nossa pesquisa, em especial: Jaqueline R. Ferreira, Helmar Antônio Cortes, Ademar F. Santana, Edson Luiz A. da Cruz, Vander Oliveira e Silva, Luciano F. Ribeiro, Davi Wilquer M. Pires, Valeria D. da Silva e Joaquim Luiz da Conceição. À equipe do Laboratório de Geossintéticos da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - EESC/USP, sinceros agradecimentos ao Prof. Jefferson Lins. Os agradecimentos também são estendidos à empresa SETE Engenharia, em especial Eng. MSc. Douglas M. A. Bittencourt e Eng. Antônio Luciano E. Fonseca, na liberação para realização dos ensaios e incentivo em nossos estudos.

6. Referências

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 16867. Solo - Determinação da massa específica aparente de amostras Indeformadas – Método da balança hidrostática. 2020, RJ, p. 5.
2. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15856: Geomembranas e produtos correlatos - Determinação das propriedades de tração. 2010 RJ, p. 13.
3. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6457. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2017, RJ, p. 8.
4. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6458. Grãos de Pedregulho Retidos na Peneira de Abertura 4.8 mm – Determinação da Massa Específica, da Massa Específica Aparente e da Absorção de Água. 2016, RJ, p. 10.
5. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6459. Solo – Determinação do Limite de Liquidez. 2017, RJ, p. 5.
6. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7180. Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. 2016, RJ, p. 3.
7. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7181. Solo – Análise Granulométrica. 2018, RJ, p. 12.
8. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7182. Solo – Ensaio de Compactação. 2016, RJ, p. 9.
9. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 9863: Geossintéticos - Determinação da espessura a pressões especificadas. Parte 1: Camada única. 2021, RJ, p. 6.
10. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 9864: Geossintéticos – Método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos. 2013, RJ, p. 2.
11. ASTM - American Society for Testing and Materials, ASTM D4491/D4491M-22, Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity. West Conshohocken, PA, 2022.
12. ASTM - American Society for Testing and Materials, ASTM D4716-08, Standard Test Method for Determining the (In-plane) Flow Rate per Unit Width and Hydraulic Transmissivity of a Geosynthetic Using a Constant Head. West Conshohocken, PA, 2013.

13. CAMAPUM DE CARVALHO, J., SALES, M. M., MORTARI, D., FÁZIO, J. A., MOTTA, N. O. & FRANCISCO, R. A. (2006). Processos Erosivos. Processos Erosivos no Centro Oeste Brasileiro, J. Camapum de Carvalho, M. M. Sales, N. M. Souza & M. T. S. Melo (orgs.), Universidade de Brasília, Editora FINATEC, Brasília, DF, p. 39-91.
14. CARNEIRO, E. V.; LUZ, M. P.; SILVA, M. E. W. C. Análise do comportamento de erodibilidade de solos expostos em taludes. (2022) Escola Politécnica, Iniciação Científica, PUC Goiás, Goiânia, GO.
15. COSTA, A. R.; PRADO, L. A. Espacialização de Chuvas Intensas para o Estado de Goiás e o Sul de Tocantins. Revista de Engenharia Agrícola, v.23, n.2, p. 268-276, 2003.
16. MELO, J. F. G. (2016). Utilização de Geossintético no Controle da Erosão. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 61 p.
17. MELO, M. T. S. (2020). Utilização de geossintéticos para controle de erosão superficial hídrica em face de talude. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-161/20, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 152 p.
18. MENDES, T. A. (2019). Modelagem física e numérica da infiltração e escoamento em superfícies não saturadas e com cobertura vegetativa. 2019. 255 f. Tese de Doutorado, Publicação G.TD158/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
19. MENDES, T. A.; ALVES, R. D.; GITIRANA JR, G. D. F. N; PEREIRA, S. A. D. S.; REBOLLEDO, J. F. R.; DA LUZ, M. P. (2021). Evaluation of Rainfall Interception by Vegetation Using a Rainfall Simulator. Sustainability 2021, 13, 5082. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13095082.pdf>. Acesso em: 23 de nov. 2022.
20. MENDES, T. A.; PEREIRA, S. A. D. S.; REBOLLEDO, J. F. R.; GITIRANA JR, G. D. F. N.; MELO, M. T. D. S.; LUZ, M. P. D. (2021). Development of a Rainfall and Runoff Simulator for Performing Hydrological and Geotechnical Tests. Sustainability 2021, 13, 3060. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13063060.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2022.
21. MORGAN, R.P.C., 1995c. Soil Erosion and Conservation. Longman Group Limited, London, 1995.
22. SALES, M. M.; CAMAPUM DE CARVALHO, J.; MASCARENHA, M. M. D. A.; LUZ, M. P. D.; SOUZA, N. M. D. & ANGELIM, R. R. (orgs.), Erosão em Borda de Reservatório. Goiânia: Gráfica UFG, 2017. xxxiv, 587 p.
23. VERTEMATTI, J. C. (2015). Manual Brasileiro de Geossintéticos – MBG. 2ª Ed. Editora Blucher. São Paulo, SP, 570 p.
24. VILHENA, R. M.; MASCARENHA, M. M. D. A.; ANGELIM, R. R.; SIMÕES, T. da R.; de OLIVEIRA, R. B.; da LUZ, M. P. Evaluation of lime-treated lateritic soil for reservoir Shoreline stabilization. Water, Switzerland, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w12113141>. Acesso em: 09 jan. 2023.