

Degradação de um geotêxtil tecido de polipropileno em teste de exposição de campo na zona costeira de Natal/RN

Rayanne Karlla Santos da Silva 1

Doutoranda, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, rayanne.silva@estudante.ufscar.br

Wagner José Opolski 2

Mestrando, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, wagneropolski@gmail.com

José Ivan de Medeiros 3

Docente, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, ivan.medeiros@ufrn.br

Fernando Henrique Martins Portelinha 4

Docente, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, fportelinha@ufscar.br

Fagner Alexandre Nunes de França 5

Docente, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, fagnerfranca@ufrn.edu.br

RESUMO: O uso crescente de geotêxteis em projetos de proteção costeira faz emergir a preocupação com sua durabilidade, especialmente devido à exposição direta a agentes de degradação. Apesar de estudos atuais tratarem dessa temática, impasses são observados quanto aos reduzidos testes de exposição em campo e variadas metodologias de ensaios que divergem quanto aos procedimentos adotados. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho concerne em analisar a degradação de geotêxteis tecidos de polipropileno através de testes de exposição em campo na zona costeira de Natal/RN. Utilizando diretrizes das normas ASTM D5970 e ASTM D1435, os geotêxteis foram expostos em cinco condições diferentes, incluindo mesas de compensado naval e areia. Ensaios de tração foram realizados após exposições de 42, 84 e 176 dias, enquanto dados ambientais foram coletados do Instituto Nacional de Meteorologia e medições pontuais de temperatura e radiação UV foram feitas no local. Os resultados mostraram degradação em todos os períodos analisados, com maior impacto nas amostras expostas em areia. Após 176 dias, houve uma degradação média de 11 kN/m em relação às amostras originais. Esses achados são essenciais para o adequado dimensionamento de projetos de proteção costeira, uma vez que traz luz aos aspectos de durabilidade de geotêxteis de polipropileno.

PALAVRAS-CHAVE: Deterioração, Geossintéticos, Intemperismo Natural, Radiação UV, Resistência à tração.

ABSTRACT: The increasing use of geotextiles in coastal protection projects raises concerns about their durability, especially due to direct exposure to degradation agents. Although current studies address this issue, impasses are observed regarding the limited field exposure tests and various testing methodologies that differ in the adopted procedures. In this sense, the objective of this work is to analyze the degradation of woven polypropylene geotextiles through field exposure tests in the coastal zone of Natal/RN. Using guidelines from ASTM standards D5970 and D1435, the geotextiles were exposed under five different conditions, including plywood tables and sand. Tensile tests were performed after exposures of 42, 84, and 176 days, while environmental data were collected from the National Institute of Meteorology and spot measurements of temperature and UV radiation were taken on-site. The results showed degradation in all analyzed periods, with a greater impact on samples exposed to sand. After 176 days, there was an average degradation of 11 kN/m compared to the original samples. These findings are essential for the proper design of coastal protection projects, as they shed light on the durability aspects of polypropylene geotextiles.

KEYWORDS: Degradation, Geosynthetics, Natural Weathering, UV Radiation, Tensile Strength.

1 INTRODUÇÃO

Elementos poliméricos como geossintéticos vem ganhando notoriedade ao passo em que substituem materiais tradicionais da construção civil e desempenham importante solução nas obras de infraestrutura. Atualmente, conforme Carneiro et al. (2018) os geotêxteis são os mais empregados devido a ampla gama de funcionalidades.

Dentre essas funcionalidades enquadra-se o controle de erosão em obras de proteção costeira, na qual os sacos de geotêxteis preenchidos com areia (geobags) atuam semelhante ao enrocamento em quebra-mares, molhes e diques. Elias et al. (2022) destacam as vantagens acerca desse emprego, levando em consideração a permeabilidade desse tecido polimérico que permite o fluxo de água e retêm os materiais dos quais são preenchidos, indicando que a característica mais atraente do uso de geotêxteis é a possibilidade de enchimento in situ do tubo com materiais disponíveis no local.

Em contrapartida, Marques et al. (2014) trazem pontos negativos acerca dessa aplicação, uma vez que os polímeros costumam ter baixa resistência a oxidação, alertando que o contato prolongado com líquidos (como água do mar) pode desestabilizar as cadeias poliméricas além da ação térmica pela temperatura e foto-oxidação, via radiação ultravioleta que podem provocar um complexo mecanismo de reação em cadeia.

Para avaliar o real impacto dessa deterioração dos geotêxteis ao intemperismo natural, estudos de campo vem sendo conduzidos. Porém, muitas alternâncias são observadas entre as metodologias de preparação das amostras, exposição em campo e realização dos testes de resistência.

Dierickx e Van Den Berghe (2004) por exemplo, para a preparação dos corpos de prova seguiram o pressuposto da EN 20139 (1992) e não utilizaram norma específica para a configuração da exposição de campo e determinação da tração.

Santos (2020) por sua vez procedeu com as recomendações da ASTM D5079 (2016), ASTM D1435 (2013) no que tange a exposição em campo e ASTM 5310:06 (2008) para os testes de tração.

Carneiro e Lopes (2017) não fazem menção a manejo de normas para a etapa de exposição em campo, entretanto constata o emprego da EN ISO 10319 (2016) para rompimento de corpo de prova por tração.

Em virtude das diferentes metodologias de ensaio apresentadas, o seguinte questionamento foi realizado: Existe alguma influência do tipo de superfície na resposta de deterioração via ensaio de tração de geotêxteis submetidos a ensaios de exposição de campo? Nesse contexto, o objetivo deste trabalho se propõe em avaliar a durabilidade dos geotêxteis via ensaio de exposição de campo em ambiente costeiro, alterando as superfícies de exposição.

2 METODOLOGIA

Este item contempla a metodologia de realização da pesquisa, incluindo as etapas de caracterização do ensaio, preparação das amostras, procedimentos da exposição em campo, ensaios de tração e tratamento estatístico de dados.

2.1 Caracterização do ensaio

Na condução do estudo foi utilizado como material base geotêxtil tecido de polipropileno, na cor branca, de resistência a tração nominal igual a 50 kN/m.

Com o intuito de atingir o objetivo da pesquisa e analisar a durabilidade dos geotêxteis em exposição de campo para diferentes superfícies, cinco locais de exibição foram previstos, incluindo mesas em compensado naval e uma caixa de areia.

A mesa 1, denominada GB6, tem como característica a cor de superfície preta e a inclinação na latitude, com aproximadamente 6° em relação a horizontal. A mesa 2, intitulada como GB45 também tem a cor preta de superfície, entretanto possui inclinação de 45° em relação a horizontal.

Os grupos GW6 e GW45 são as mesas com tampo branco, inclinadas na latitude e a 45°, respectivamente. E, por fim, a exposição GS é feita com o geotêxtil sobrejacente a areia, disposta em uma caixa de PVC preta, a 0° da horizontal.

2.2 Preaparação das amostras

Para obtenção das amostras a preparação seguiu as diretrizes da ABNT NBR ISO 9862 (2013), com o intuito de obter retângulos nas dimensões de 35 cm x 60 cm. Para tanto, a bobina de geotêxtil foi aberta e as duas primeiras voltas descartadas, cortou-se a frio, no sentido transversal o tamanho total necessário para obtenção dos 30 retângulos nas dimensões padrão, sendo também desprezados os 100 mm externos das extremidades.

2.3 Procedimentos da exposição em campo

O conjunto foi disposto em ambiente costeiro na cidade de Natal, capital do Rio Grande de Norte, com coordenadas de 5° 47' 42'' de latitude sul e 35° 12' 34'' de longitude oeste. O local de fixação do equipamento foi o Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (DOL/UFRN).

As mesas em madeira, confeccionadas em compensado naval, tinham dimensões de 2,20 m x 0,80 m e as superfícies foram pintadas com tinta própria para madeira seguindo as recomendações do fabricante para as etapas de preparação da superfície, pintura e secagem. No caso das caixas de PVC, com dimensões internas de 40 cm x 75 cm, foi utilizado areia como material de preenchimento a qual foi coletada a 600m do DOL/UFRN. Todo o aparato montado pode ser visualizado conforme a Figura 1.



Figura 1. Equipamento de ensaio de campo. Autores (2022).

O período de exposição foi dividido em três etapas distintas para monitorar o efeito da resistência mecânica via ensaio de tração dos geotêxteis. A Tabela 1 contém um resumo dos grupos e períodos de exposição.

Tabela 1 : Grupos de exposição. Fonte: Autores (2022).

Grupo	Superfície	Tempo de exposição (em dias)
G0	Amostra virgem	0
GB6	Mesa preta	42, 84, 176
GB45		42, 84, 176
GW6	Mesa branca	42, 84, 176
GW45		42, 84, 176
GS	Areia	42, 84, 176

A caracterização do ambiente de cada período de exposição para avaliar o impacto do intemperismo natural foi efetuada com o auxílio dos boletins meteorológicos fornecidos pelo INMET com estação meteorológica automática e convencional, ambas localizadas na UFRN.

2.4 Ensaios de tração

A metodologia utilizada para analisar a durabilidade dos geotêxteis se configura na resistência mecânica via ensaio de tração de faixa estreita, sendo o teste governado pela ASTM D5035 (2008). Em parceria com o Laboratório de Geotecnia e Geossintéticos da Universidade Federal de São Carlos (LabGeo / UFSCar) os testes de tração de faixa estreita foram realizados seguindo as diretrizes de 5cm de largura, velocidade de 300 mm/min e distância entre mordentes de 7,5cm.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico estão contidos os principais resultados da pesquisa incluindo as discussões dos dados. Inicialmente é feita a caracterização das condições ambientais para que, sequencialmente, as informações dos ensaios de tração sejam contextualizadas.

3.1 Caracterização das condições ambientais

As principais informações sobre temperatura e radiação para os três períodos de tempo estão sintetizadas na Tabela 2.

Tabela 2 : Caracterização ambiental de temperatura e radiação. Fonte: Autores (2022).

DIAS DE EXPOSIÇÃO	TEMPERATURA MÉDIA °C	RADIAÇÃO GLOBAL MÁXIMA DIÁRIA (kJ/m ²)	RADIAÇÃO GLOBAL ACUMULADA (kJ/m ²)
42	29,37	3133,95	94739,05
84	29,03	3133,95	182755,33
176	27,47	4301,10	298705,89

O primeiro tempo de exposição de 42 dias teve início em 22/01/2022 perdurando até 04/03/2022 e a grande característica desse período são as temperaturas mais elevadas, com média de 29,37°C justificadas pela presença do solstício de verão no hemisfério sul.

O segundo período, compreendendo 84 dias de exposição, com duração até 15/04/2022 tem como aspecto uma sensível redução na temperatura média, quando comparada aos primeiros 42 dias, justificada pela presença do equinócio de outono no hemisfério sul, com início em 21/03/2022. Nessa estação as horas do dia e da noite são iguais, diminuindo o tempo de ensolação em comparação ao solstício de verão. A radiação global máxima diária do segundo período é a mesma do primeiro, tendo ocorrido no mês de fevereiro.

A exposição total finaliza aos 176 dias, em 16/07/2022 com a temperatura média reduzindo em quase 2°C em relação ao período 1. Isso porque além do equinócio de outono, houve a inclusão de parte do solstício de inverno, iniciado em 21/06/2022, com uma forte característica de redução da temperatura. A Figura 2 sintetiza a variação de temperatura, radiação global máxima diária, pluviosidade e umidade relativa.

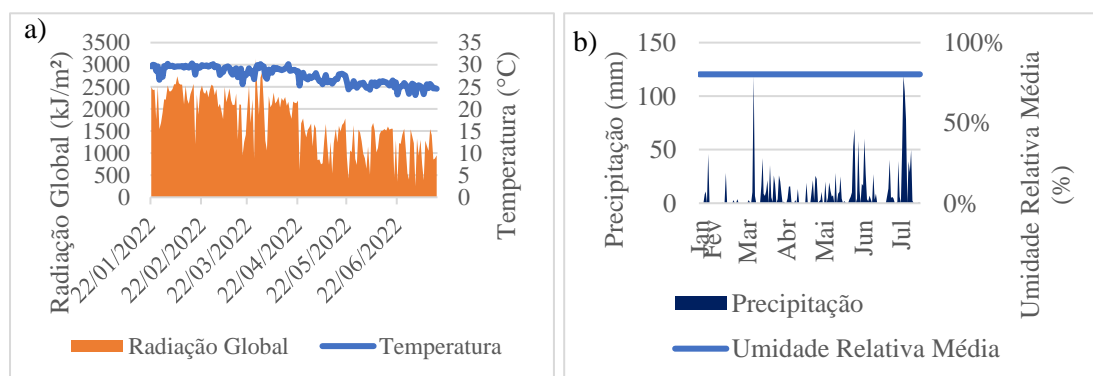


Figura 2. a) Variação de temperatura e radiação; b) Pluviosidade e umidade Relativa Média. Adaptado de INMET (2022).

Pela análise da Figura 2.b pode-se compreender a variação de precipitação nos períodos de exposição. No intervalo 1 houve pouca intensidade pluviométrica, com máxima de 40 mm em janeiro. Em contrapartida

nos períodos 2 e 3 a frequência de pluviosidade foi mais acentuada, sendo as maiores incidências no intervalo de maio a julho, com máxima próximo a 120 mm. Essa característica é típica da região nordeste, cujo solstício de inverno normalmente é marcado pela redução das temperaturas e aumento dos índices pluviométricos.

3.2 Ensaios de tração

Os dados dos ensaios de tração e as respectivas análises estatísticas serão apresentados abaixo subdivididos nos 3 períodos de exposição.

3.2.1 Durabilidade no período 1

Os ensaios de tração foram realizados nos 6 corpos de prova resultantes de cada um dos grupos de amostras. Escolheu-se então a curva mais representativa do grupo para confeccionar a Figura 3 que reúne a relação tensão x deformação de todas as condições impostas na exposição de campo.

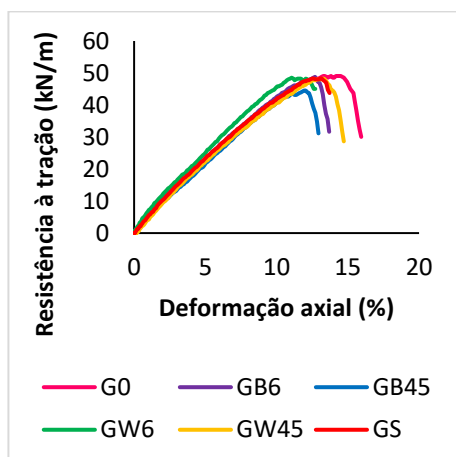


Figura 3. Relação entre as curvas de tensão x deformação da amostra virgem frente aos grupos de exposição do período 1. Fonte: Autores (2022).

Pela representação acima (Figura 5) a amostra virgem tem resistência semelhante a indicada pela ABNT NBR ISO 10319 (2013) de 50 kN/m e os demais grupos permeiam este valor. Nota-se que a condição preta a 45° apresentou menor resistência a tração e a branca a 45°, juntamente com a areia, maior resistência.

O teste de Shapiro-Wilk conduzido resultou em todas as amostras seguindo uma distribuição normal, com isso foi possível traçar os intervalos de confiança com o auxílio da distribuição t student, ilustrada na Tabela 3.

Tabela 3 : Determinação do intervalo de confiança do período 1. Fonte: Autores (2022).

Grupo	Média (\bar{x})	Desvio padrão (s)	Intervalo de Confiança
G0	49,70	1,908483	$47,70 < \bar{x} < 51,71$
GB6	46,84	1,531518	$45,24 < \bar{x} < 48,45$
GB45	45,19	1,570872	$43,54 < \bar{x} < 46,84$
GW6	47,58	1,162389	$46,14 < \bar{x} < 49,02$
GW45	48,45	1,809115	$46,55 < \bar{x} < 50,35$
GS	48,72	2,162804	$46,45 < \bar{x} < 50,98$

Nota-se o grupo GB45 como destaque no que tange a degradação, estando fora do intervalo de confiança da amostra virgem, o que indica que houve degradação mais pronunciada, seguido do grupo GB6. As amostras advindas de GW6, GW45 e GS obtiveram maiores valores de resistência a tração, sendo GS o destaque com maior porcentagem dentro do intervalo de confiança de G0.

Pela análise dos dados pode-se inferir que a baixa pluviosidade do período, somado a altas temperaturas e radiações globais foram condicionantes para a ocorrência da degradação visualizada pela perda de resistência a tração.

O comparativo entre superfícies indica que a mesa em tampo preto acelerou o processo de degradação e em relação à inclinação não houve nítida influência. Esse destaque aos grupos GB6 e GB45 pode ser justificado pela cor do tampo, visto que os materiais absorvem luz e os elétrons passam a oscilar e emitir energia em forma de calor, o que é transmitido da mesa para as amostras.

O estudo laboratorial de Carneiro et al. (2021) ratificam essa análise. Na ocasião identificou-se que a radiação UV foi a principal responsável pela degradação nos testes de intemperismo, tendo seu efeito mais acentuado em virtude da elevação da temperatura ou uso de irradiâncias UV mais altas.

3.2.2 Durabilidade no período 2

Para o período 2 também foi desenvolvida a Figura 4 que relaciona a tensão x deformação para uma curva representativa de cada condição de superfície.

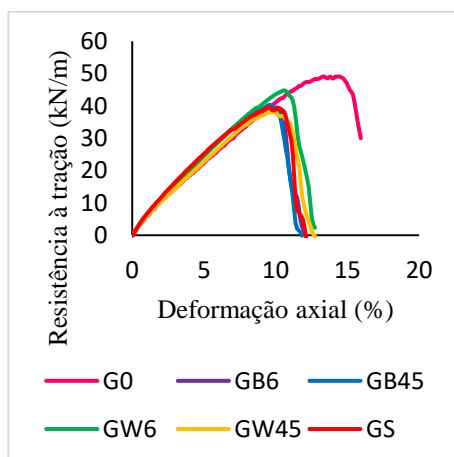


Figura 4: Relação entre as curvas de tensão x deformação da amostra virgem frente aos grupos de exposição do período 2. Fonte: Autores (2022).

Em linhas gerais as amostras apresentam boa concordância no que tange as curvas de tensão x deformação com exceção de GW6 que obteve menor deterioração, com resistência mais próxima à da amostra virgem. O grupo GB degradou quase que uniformemente com bastante similaridade entre GB6 e GB45 e além disso, em GW45 há um sutil achatamento indicando menor resistência e maior degradação.

Como procedimento de análise estatística, os resultados do teste de Shapiro-Wilk apontaram a normalidade da distribuição e através da matriz de T Student foi possível tratar os dados em função de intervalos de confiança exibidos na (Tabela 4).

Tabela 4 : Determinação do intervalo de confiança do período 2. Fonte: Autores (2022).

Grupos	Médias (\bar{x})	Desvios-padrão (s)	Intervalos de confiança
G0	49,70	1,908483	$47,70 < \bar{x} < 51,71$
GB6	39,99	1,830967	$38,07 < \bar{x} < 41,91$
GB45	40,11	1,061045	$39,00 < \bar{x} < 41,23$
GW6	43,47	1,066221	$42,35 < \bar{x} < 44,59$
GW45	39,81	1,330333	$38,42 < \bar{x} < 41,21$
GS	40,85	2,254022	$38,49 < \bar{x} < 43,22$

Pela análise da Tabela 4 é possível perceber que houve degradação em todos os grupos uma vez que nenhuma condição se enquadra no intervalo de confiança de G0. Além disso, diferentemente do período 1, em que as amostras expostas em superfície preta haviam obtido menores resistências, o grupo GW45 se concretizou com menor média de 39,81 kN/m.

No período 2 é identificado maior influência da inclinação da mesa no que tange os corpos de prova de GW, isso porque a amostra branca inclinada na latitude apresentou intervalo de confiança iniciando em 42,35 KN/m destoando da branca inclinada a 45° com intervalo de confiança terminando em 41,21 kN/m. Em

contrapartida, nos corpos de prova expostos em superfície preta a inclinação não promoveu influência significativa nos resultados.

A areia, que havia apresentado maior resistência no período 1, continuou como uma das médias que menos sofreu degradação, se deteriorando um pouco mais apenas que a condição GW6 com a maior média de resistência de 46,47 kN/m.

Analisando os dois períodos de exposição, ambos com 42 dias, é válido destacar que os geotêxteis, no período 1, obtiveram uma perda de resistência média de 2,34 kN/m em relação ao valor médio da amostra virgem. Em contrapartida, entre 04/03/2022 até 15/04/2022 os corpos de prova degradaram em média 6,50 kN/m, quase três vezes mais do que no período anterior, sendo a perda de resistência média total do período 2 de 8,86 kN/m. Esse condicionante pode ser reflexo da associação dos fatores de intemperismo natural como radiação, oxidação, precipitação, dentre outros.

3.2.3 Durabilidade no período 3

Com o intuito de identificar o comportamento geral das condições em relação a amostra virgem a Figura 5 foi desenhada conforme abaixo. O mesmo procedimento de seleção do gráfico mais representativo dos corpos de prova foi realizado para a confecção da imagem.

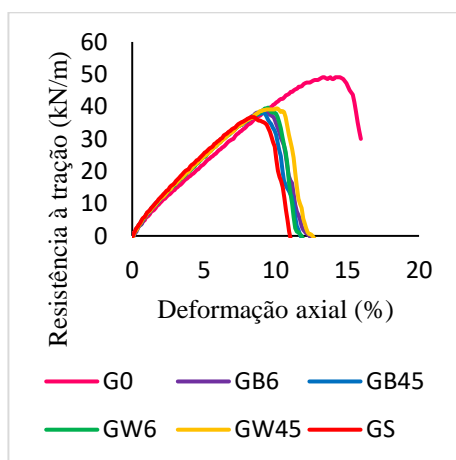


Figura 5: Relação entre as curvas de tensão x deformação da amostra virgem frente aos grupos de exposição do período 3. Fonte: Autores (2022).

No geral, independente das condições, as amostras se degradaram de forma similar ao serem expostas ao intemperismo natural, com perda de resistência média de 10 kN/m. Um pequeno destaque pode ser dado ao grupo GS com leve achatamento na curva tensão x deformação indicando menor valor de resistência a tração.

No tratamento estatístico de dados, os testes de Shapiro-Wilk apontaram a normalidade da distribuição e pelo desconhecimento do desvio padrão a matriz de T Student foi utilizada para tornar possível a escrita das informações em função de intervalos de confiança ilustrados na Tabela 5.

Tabela 5 : Determinação do intervalo de confiança do período 1. Fonte: Autores (2022).

Grupos	Médias (\bar{x})	Desvios-padrão (s)	Intervalos de confiança
G0	49,70	1,908483	47,70 < \bar{x} < 51,71
GB6	38,75	1,622968	37,05 < \bar{x} < 40,46
GB45	37,64	1,415072	36,15 < \bar{x} < 39,12
GW6	39,82	1,562251	38,18 < \bar{x} < 41,46
GW45	39,20	0,994369	37,97 < \bar{x} < 40,44
GS	36,70	1,371108	35,26 < \bar{x} < 38,14

Conforme indica a Figura 5 e a Tabela 5, o grupo que mais sofreu degradação ao final do período de 176 dias foi GS. Esse fato pode ter sido condicionado em virtude do arranjo das caixas de PVC preenchidas com areia, tendo em vista que na composição a drenagem da água não era permitida, permanecendo sobre a superfície dos geotêxteis e infiltrando na areia, o que gerou o aquecimento da água e consequentemente dos geossintéticos além de potencializar a absorção de radiação.

O segundo grupo com menor resistência a tração e conseqüentemente maior deterioração foram as amostras expostas em mesa preta, entretanto não foi percebido influência significativa da inclinação para potencializar o efeito da degradação, a diferença de resistência entre os materiais inclinados na latitude e aqueles a 45° foi de apenas 1,11 kN/m. Esse fato é válido para as cores das superfícies, pois apesar das pretas apresentarem maior degradação, a diferença entre o grupo de GB e GW foi de 1,32 kN/m, o que demonstra que para o período de tempo analisado as superfícies não foram condicionantes para a degradação.

4 CONCLUSÃO

A partir desse estudo que objetivou analisar a durabilidade de geotêxteis tecidos de PP é possível concluir:

- A condição de exposição que mais sofreu degradação foi o geotêxtil em contato com a areia;
- Não houve grande influência entre a inclinação das superfícies em relação a aceleração da degradação;
- Não houve grande influência entre a cor das superfícies em relação a aceleração da degradação;
- No geral todas as amostras, independente da superfície de exposição convergiram quanto ao grau de deterioração;
- Foi percebido que a combinação de fatores de intemperismo pode acarretar maiores níveis de degradação do que apenas itens isolados;
- O período em que as amostras mais degradaram foi o 2;
- Ao final do tempo total de exposição, as amostras perderam cerca de 11 KN/m de resistência em relação a amostra virgem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM International (2016). ASTM D 5079 - *Standard practice for deterioration of geotextiles from outdoor exposure*; Philadelphia.
- ASTM International (2013). ASTM D 1435 - *Standard practice for Outdoor weatherung of plastics*. Philadelphia.
- ASTM International (2008). ASTM D 5035-06 *Standard test method for breaking force and elongation of textile fabrics (Strip method)*. Philadelphia.
- Carneiro, J. R.; Lopes, M. L (2017). Natural weathering of polypropylene geotextiles treated with different chemical stabilisers. *Geosynthetics International*, v. 24, n. 6, pp. 544–553.
- Carneiro, J. R.; Carlos, D. M.; Lopes, M. L (2021). Laboratory Degradation of a Reinforcement PET-PP Geocomposite Under Accelerated Weathering Conditions. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, v. 7, n. 3, pp. 1–11.
- Dierickx, W.; Van Den Berghe, P (2004). Natural weathering of textiles used in agricultural applications. *Geotextiles and Geomembranes*, v. 22, n. 4, pp. 255–272.
- Elias, T.; Geetha, T.; Shirlal, K. G (2022). Effect of armour unit layers and placement mode in the determination of stability of geotextile sand container (GSC) breakwaters. *Geotextiles and Geomembranes*, v. 50, n. 3, pp. 444–454.
- EN International (1992). EN 20139 - *Textiles—Standard Atmospheres for Conditioning and Testing*. Brussels.
- EN International (2005). EN ISO 9862, *Geosynthetics – Sampling and Preparation of Test Specimens*. Brussels.
- Marques, A. R.; Patrício P. S. O.; Santos, F. S.; Monteiro, M. L.; Urashima, D. C.; Rodrigues, C. S (2014). Effects of the climatic conditions of the southeastern Brazil on degradation the fibers of coir-geotextile: Evaluation of mechanical and structural properties. *Geotextiles and Geomembranes*, v. 42, n. 1, pp. 76–82.
- Santos, E. W. C (2020). *Avaliação da degradação de um geotêxtil tecido submetido ao intemperismo do ambiente costeiro em Natal/RN*. 2020. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN, 104p.