



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

RENAN PEREIRA LAMPREIA

**DEGRADAÇÃO DE GEOTÊXTEIS POR RADIAÇÃO
ULTRAVIOLETA: REVISÃO DA LITERATURA**

NATAL-RN

2019

Renan Pereira Lampreia

Degradação de geotêxteis por radiação ultravioleta: revisão da literatura

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Artigo Científico, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França

Natal-RN

2019

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Lampreia, Renan Pereira.

Degradação de geotêxteis por radiação ultravioleta: revisão da literatura / Renan Pereira Lampreia. - 2019.

21 f.: il.

Artigo científico (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil. Natal, RN, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França.

1. Geotêxteis - TCC. 2. Exposição - TCC. 3. Degradação - TCC. 4. Radiação UV - TCC. I. França, Fagner Alexandre Nunes de. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 624.137.4

Renan Pereira Lampreia

Degradação de geotêxteis por radiação ultravioleta: revisão da literatura

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Artigo Científico, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 18 de junho de 2019:

Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França – Orientador

Prof^a. Dra. Viviane Muniz Fonseca – Examinadora interna

Eng. Ewerton Weynemi Cavalcante dos Santos – Examinador externo

Natal-RN

2019

RESUMO

Os geotêxteis apresentam diversas aplicações em obras de engenharia civil, como terraplenagem, serviços de drenagem e reforço de estruturas. Seu crescente uso está relacionado com as vantagens técnicas proporcionadas, de facilidade e rapidez de execução, além das vantagens econômicas, devido ao baixo custo e benefícios ambientais. Por apresentarem baixos impactos ao meio, representam uma excelente alternativa aos métodos construtivos tradicionais. Esses materiais tendem a apresentar sensibilidade aos agentes degradantes, como a radiação ultravioleta. Sob ação dessa radiação, os geotêxteis podem sofrer alterações em sua estrutura polimérica, apresentando falhas em serviço e comprometendo seu funcionamento. Alterações de coloração, diminuição da espessura, despolimerização e diminuição na resistência à tração são consequências provenientes da degradação por raios ultravioleta. Diante da ascensão no uso desses materiais poliméricos, sob condições de exposição ao meio, evidencia-se a necessidade de investigar a capacidade que esses geossintéticos tem de suportar as condições de exposição aos raios ultravioleta e as demais condições climáticas a que são submetidos. Afim de obter resultados, análises e observações quanto ao nível de degradação que determinado geotêxtil pode atingir, este artigo apresenta diversos casos de estudos de degradação de geotêxteis por radiação ultravioleta, sob diversas condições de exposição, em diferentes localidades geográficas. Desse modo, pode-se inferir os melhores geotêxteis a serem aplicados em determinado local, no intuito de atender as funcionalidades da obra e suportar bem aos agentes degradantes, durante sua vida útil.

Palavras-chave: exposição, geotêxteis, degradação, radiação UV.

ABSTRACT

Geotextiles have several applications in civil engineering works, such as earthworks, drainage services and reinforcement of structures. Its increasing use is related to the technical advantages provided, of ease and speed of execution, besides the economic advantages, due to the low cost and environmental benefits because they have low impacts in the environment, representing an excellent alternative to the traditional constructive methods. These materials tend to exhibit sensitivity to degrading agents, such as ultraviolet radiation. Under the action of this radiation, the geotextiles can undergo changes in their polymer structure, presenting failures in service and compromising their operation. Alterations of staining, decrease of thickness, depolymerization and decrease in the tensile strength are consequences from degradation by ultraviolet rays. In view of the increase in the use of these polymeric materials, under conditions of exposure to the medium, it is evident the need to investigate the ability of these geosynthetics to withstand the conditions of exposure to ultraviolet rays and other climatic conditions to which they are submitted. In order to obtain results, analyzes and observations regarding the level of degradation that determined geotextile can reach, this article presents several cases of geotextile degradation studies by ultraviolet radiation under different exposure conditions in different geographical locations. In this way, it is possible to infer the best geotextiles to be applied in a certain place, in order to attend the functionalities of the work and to support well to the degrading agents, during its life.

Keywords: exposure, geotextiles, degradation, UV radiation.

1 INTRODUÇÃO

Os geotêxteis apresentaram um bom desenvolvimento comercial, em meados da década de 1970, em aplicações de terraplanagem. Posteriormente, estendeu-se para fins em obras de drenagem no uso de drenos e filtros e, também, em aplicações de reforço em estruturas de contenção (LEFLAIVE, 1984).

Diante do crescente uso de geotêxteis em obras geotécnicas ao longo do tempo, cria-se uma preocupação quanto a sua capacidade de atender aos requisitos mínimos de vida útil de projeto, tornando-se essencial averiguar sua durabilidade. Segundo Gourc e Delmas (2017), ainda há resistência por parte dos profissionais de engenharia quanto ao uso dos materiais poliméricos a longo prazo, uma vez que, são céticos em relação a durabilidade desses produtos.

De acordo com Rollin (1999), a durabilidade de um geotêxtil está relacionada com as variações das propriedades do material polimérico selecionado para desempenhar as funções de reforço, separação, filtração, drenagem ou proteção. Ele defende que, para estimar a vida útil de um geotêxtil, torna-se necessário analisar as propriedades das fibras e o estado de danificação a estrutura do geotêxtil.

Inúmeros fatores contribuem para a degradação dos geotêxteis. Luz solar, altas temperaturas, oxigênio, contato com a água e ambientes que apresentam pH ácido ou alcalino são alguns dos exemplos. A radiação solar, principalmente a radiação ultravioleta, é prejudicial aos geossintéticos e traz efeitos mais severos. No fenômeno da fotodegradação, a radiação UV atinge a superfície dos materiais poliméricos, podendo impulsionar reações em cadeia que resultam na ruptura da estrutura do material, se a energia da radiação UV em questão for semelhante ou superior à energia de ligação química da estrutura do polímero. Eles ainda acrescentam que devido à quebra de interações intermoleculares entre cadeias poliméricas, há o aumento da distância entre elas e, conseqüentemente, uma redução na atração intermolecular. Isso leva a um inchaço e amolecimento do material polimérico, facilitando novos ataques químicos (GUIMARÃES et al., 2015).

Koerner (apud BARTHU, 2015) destacou que a região UV é a parte mais sensível do espectro que causa degradação. No entanto, a luz visível e a porção infravermelha da luz servem como fontes de calor que levam a um efeito sinérgico. Ele também relatou que a localização geográfica, temperatura, cobertura de nuvens, vento e umidade são fatores importantes no processo de degradação por UV.

Ogawa et al. (2017) relatam que, locais próximos a linha do Equador, há uma maior incidência de raios UV se comparada a locais mais afastados. A altitude e o tipo de solo do local também interferem na intensidade de raios UV incidentes sobre a superfície terrestre.

A partir desse contexto, este artigo busca revisar casos de degradação de geotêxteis por radiação ultravioleta em diferentes locais geográficos, no intuito de elencar as diferenças climáticas a que os materiais poliméricos foram expostos, o tempo de incidência e a intensidade de raios UV. Em torno disso, busca-se comparar os resultados obtidos em ensaios nas diferentes pesquisas explanadas, fazendo análises e observações quanto ao uso de diferentes tipo de geotêxteis e componentes poliméricos aliado a perda de resistência à tração, diferenças na gramatura e coloração, bem como, outras conseqüências degradantes. Portanto, busca-se montar um acervo que possibilite uma melhor análise e interpretação da correta aplicação dos geotêxteis em obras de engenharia civil.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Geossintéticos – definição, tipos, funções e vantagens

Os geossintéticos apresentam uma vasta diversidade e aplicabilidade em obras do campo da Engenharia Civil. De acordo com a NBR ISO 10318-1:2018, os geossintéticos (GSY) são conceituados como produtos em que ao menos um de seus componentes é fabricado a partir de um polímero sintético ou natural. Esses produtos podem ser encontrados na forma de tira, manta ou estrutura dimensional e são aplicados na engenharia civil, no contato com o solo ou outros materiais.

Carneiro (2009) aborda o aspecto estrutural para dividir os geossintéticos em Geotêxteis, Geomembranas e produtos relacionados (Geomantas, Geotubos, Geogrelhas, Geocélulas, dentre outros).

São materiais que, dependendo do tipo, podem ter a funcionalidade de filtração, drenagem, proteção, reforço, separação, impermeabilização e controle de erosão. No quadro 1, é possível observar os principais tipos de geossintéticos com as funções que possam vir exercer.

Quadro 1 - Funções dos vários geossintéticos em projetos de engenharia.

Geossintéticos	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Erosão	Reforço	Impermeabilização
Geotêxtil	X	X	X	X	X	X	X*
Geogrelha	X					X	
Geomembrana	X						X
Georrede		X		X			
Geocomposto argiloso							X
Geocélula		X			X	X	
Geotubo				X			
Geofibras						X	

* Quando impregnado com material asfáltico

Fonte: Vertematti et al. (2004).

Quanto a sua produção, os geossintéticos podem ser manufaturados a partir de diferentes tipos de polímeros, cada qual com características distintas que influenciam diretamente no seu desempenho. Sua matriz polimérica pode ser misturada ou formulada com aditivos que cumprem diferentes funcionalidades, como estabilizadores térmicos, antioxidantes, protetores contra radiação UV, dentre outros (GREENWOOD et al., apud, MILAGRES, 2016).

Os aditivos desempenham uma importante função na melhora das propriedades, no processamento e na eficiência dos materiais poliméricos. Eles devem ser de tal forma a não prejudicar as propriedades dos polímeros, possuindo boa resistência a extração, sendo estáveis e eficientes no desempenho de suas funções (CARNEIRO, 2009). Dentre os tipos de aditivos existentes, podemos citar os estabilizantes UV, antioxidantes, estabilizantes térmicos, plastificantes e pigmentos. Os estabilizantes UV são aditivos que atuam para retardar as reações químicas provocadas pela incidência aos raios UV. O Chimassorb 944 é um exemplo de aditivo

que funciona como estabilizador UV, mas também protege os polímeros da oxidação induzida pela temperatura.

Os pigmentos são aditivos adicionados aos geossintéticos para lhes conferirem cor. Dependendo do pigmento, há proteção contra agentes degradantes, como a radiação ultravioleta. O Negro de fumo é um dos aditivos intitulado como pigmento. Ele fornece cor e opacidade para proteger os materiais poliméricos da ação dos raios UV. Para seu bom desempenho, este aditivo deve estar bem disperso e uniformizado ao longo do material (CARNEIRO, 2009).

No quadro 2, são mencionados os principais polímeros utilizados na fabricação dos diferentes tipos de geossintéticos.

Quadro 2 – Principais polímeros usados na fabricação de geossintéticos.

Matérias-primas	Sigla das matérias-primas
Poliamida	PA
Policloreto de Vinila	PVC
Poliéster	PET
Polietileno	PE
Polietileno expandido	EPS
Polietileno de Alta Densidade	PEAD
Polipropileno	PP

Fonte: adaptado de Vertematti (2004).

Com relação as matérias-primas poliméricas que compõem os geotêxteis, Koerner (2012) destaca que o PP é o polímero mais utilizado na produção de geotêxteis, chegando a 85% de sua totalidade. Ele ainda acrescenta que o PET é o segundo polímero mais utilizado na fabricação de geotêxteis, chegando a 12% da totalidade.

Os geossintéticos, incluindo os geotêxteis, vêm sendo cada vez mais utilizados na construção civil e em obras de caráter ambiental. Costa (1999) relata que a utilização desses insumos data da década de 50 e constitui-se prática generalizada e crescente no campo geotécnico.

Segundo Carneiro (2009), as principais razões para o aumento do uso desses produtos incluem vantagens técnicas, como a rapidez e simplicidade de aplicação, vantagens econômicas, devido ao baixo custo, e benefícios ambientais por provocarem baixos impactos ao meio ambiente. Logo, pode-se dizer que os geossintéticos representam uma excelente alternativa aos métodos construtivos tradicionais.

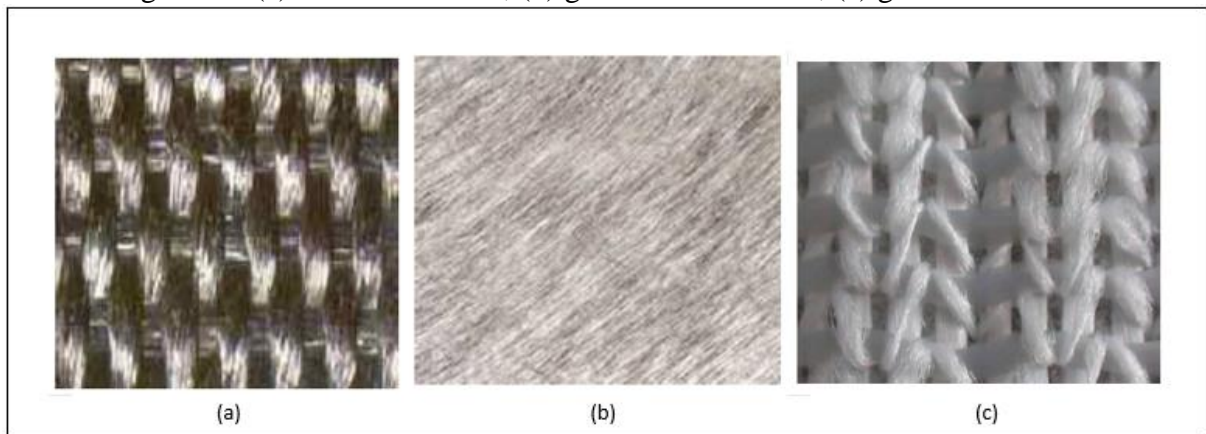
2.2 Geotêxteis

Costa (1999) relata que os geotêxteis foram os primeiros a serem empregados em obras geotécnicas, constituindo-se já naquela época como os materiais mais utilizados da família dos geossintéticos. A NBR ISO 10318-1:2018 define os geotêxteis como um material têxtil plano, permeável e polimérico (artificial ou natural). Em função do arranjo estrutural de suas fibras, eles podem ser do tipo tecido, não tecido ou tricotado. Sua aplicabilidade na engenharia civil e geotécnica se dá no contato com o solo ou outros materiais.

Com relação aos tipos de geotêxteis, a NBR ISO 10318-1 (2018) define-os:

- Geotêxtil tecido (GTX-W) é aquele produzido pelo entrelaçamento, de dois ou vários conjuntos de filamentos, fios, laminetes ou outros elementos. Seu entrelace se dá em ângulo reto;
- Geotêxtil não tecido (GTX-NW) é fabricado com fibras, filamentos ou outros elementos orientados de forma aleatória ou direcional, interligados a partir de processos mecânicos, químicos ou térmicos;
- Geotêxtil tricotado (GTX-K) é produzido pelo entrelaçamento de um ou vários fios, filamentos ou outros elementos.

Figura 1 – (a) Geotêxtil tecido; (b) geotêxtil não tecido; (c) geotêxtil tricotado.



Fonte: adaptado de Greenwood (2012).

Na figura 1, são identificados os diferentes tipos de geotêxteis existentes, a partir da representação de suas estruturas poliméricas. No tocante aos polímeros mais empregados na fabricação de geotêxteis, Koerner, apud Pinto et al. (2005) relata que o polietileno é o polímero mais sensível a captação dos raios ultravioletas, absorvendo comprimento de ondas na faixa de 300nm. Em seguida vem o poliéster (325nm) e o polipropileno, captando comprimentos de onda na faixa de 370nm. Entender as especificações técnicas de cada geotêxtil tanto pela sua origem, quanto pelas suas propriedades físicas e mecânicas, é de suma importância para um correto emprego numa obra.

2.3 Durabilidade e degradação dos geossintéticos

A durabilidade dos geossintéticos pode ser definida como a capacidade que os materiais detêm de manter determinadas propriedades ao longo do tempo, sendo uma característica essencial para definição de melhor uso dos geossintéticos e, também, o maior fator limitante ao seu emprego. Ele destaca que durante o tempo de serviço, esses insumos podem estar sujeitos à ação de condições adversas e degradantes, a partir de agentes físicos (radiação, temperatura), químicos (água, ácidos, poluentes atmosféricos) e biológicos (CARNEIRO, 2009).

Acerca da degradação dos materiais poliméricos, Matheus (2002) entende como qualquer reação química de ordem destrutiva, causada por agentes químicos e/ou físicos. Ele ainda ressalta que a degradação causa uma modificação nas propriedades dos geossintéticos, deteriorando-as.

De acordo com Pinto et al. (2005), os sistemas de degradação dependem primordialmente do material constituinte, do tempo de exposição ao meio e das condições do ambiente exógeno. Ele ainda acrescenta que os polímeros podem degradar-se por inchamento e/ou dissolução. A ruptura de ligações na cadeia polimérica, perante ação de reações químicas,

temperaturas elevadas e radiação, associa-se à redução na resistência mecânica do material, em virtude da perda do peso molecular. Tal processo degradador causa modificações irreversíveis nas propriedades desses materiais, incluindo o aspecto visual.

Diante de inúmeras causas de degradação dos geossintéticos, há evidências de que o fator ambiental mais nocivo a esses materiais poliméricos é a radiação solar, em especial a radiação ultravioleta presente no espectro solar (ROSA, apud PINTO, 2006). Os polímeros reagem de maneira diferente à fotodegradação, podendo-se ter variações de sensibilidade a tal efeito, que resultam das diferenças em suas estruturas moleculares e composições químicas.

O quadro 3 apresenta os diferentes comprimentos de onda dos diferentes tipos de radiação provenientes da energia solar:

Quadro 3 – Comprimentos de onda da luz solar.

Radiação	Comprimento de onda (nm)
Ultravioleta C	< 290
Ultravioleta B	290 a 315
Ultravioleta A	315 a 400
Visível	> 400

Fonte: Pinto et al. (2005).

Comprimentos de onda menores que 290nm são totalmente absorvidos pela camada de ozônio presente na atmosfera terrestre, não chegando na superfície (AGNELLI, 1999). A radiação ultravioleta A proporciona alguns danos aos polímeros, enquanto a radiação ultravioleta B causa severos danos a esses materiais (KOERNER, apud PINTO et al., 2005).

Os polímeros que constituem os geossintéticos apresentam sensibilidades degradadoras à radiação UV de diferentes comprimentos de onda. Essas sensibilidades são causadas em decorrência das diferenças de estruturas moleculares e composições químicas presentes nos materiais poliméricos. (BENJAMIM et al., 2007).

Esses materiais poliméricos sob ação da radiação ultravioleta tendem a sofrer inúmeras reações químicas oxidantes, propiciando falhas prematuras em serviço. Essas reações associadas a absorção de radiação UV provocam a redução no peso molecular e alteração na estrutura química (RABELLO e WHITE, 1997).

Acerca da radiação ultravioleta, ela fornece energia suficiente para causar a formação de radicais livres que, associado ao oxigênio presente na atmosfera, provocam a foto-oxidação dos polímeros. Salienta-se ainda, que a intensidade de radiação UV incidente na superfície terrestre, varia de acordo com a localização geográfica, condições meteorológicas e a época do ano (CARNEIRO, 2009).

Oliveira et al. (2010) acrescentam outras consequências originadas pela degradação do material, como: perda de brilho, mudança na coloração, perda de transparência e formação de fissuras. Ainda salientam que a durabilidade dos geossintéticos depende também de aspectos como a profundidade de degradação, deterioração superficial e presença de estabilizantes.

2.4 Avaliação da degradação de geotêxteis

Para compreender os mecanismos de degradação aos quais os geotêxteis sofrem, torna-se de extrema importância realizar ensaios que quantifiquem e qualifiquem o nível de deterioração desses materiais e as alterações de propriedades.

Sobre os modos de ensaios de degradação Pinto et al. (2005) aborda dois. Quando o ensaio é realizado colocando-se os materiais em contato direto com o meio externo, associando-os ao processo de intemperismo natural, denomina-se como Ensaio de Degradação Natural. A

outra forma trata-se quando o ensaio é realizado em laboratório, sob ações degradantes preestabelecidas, associado ao intemperismo artificial. A esse ensaio, denomina-se Ensaio de Degradação Acelerada e buscam-se correlações dos resultados obtidos com as condições encontradas no meio natural.

Em torno das condições de degradação no laboratório, Carneiro (2009) acrescenta que essas, são conseguidas pelo aumento da concentração do agente degradante e pelo aumento da temperatura. Os ensaios de campo geralmente são longos (meses ou anos), o que levou o desenvolvimento de processos em laboratório.

Os ensaios de degradação natural em geotêxteis geralmente são realizados segundo a ASTM D 5970 – *Standard Test Method for Deterioration of Geotextiles from Outdoor Exposure*. A norma oferece diretrizes sobre as características do local de ensaio, bem como, tipo e tempo de exposição, direção e angulação de exposição e cuidados básicos. No final de cada período de exposição (1, 2, 4, 8, 12 e 18 meses), as propriedades dos corpos de prova são analisadas e comparadas em relação as propriedades do corpo de prova do geotêxtil sem degradação (MILAGRES, 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho baseou-se na pesquisa por artigos que apresentassem testes que avaliassem a degradação de geotêxteis, sob variadas condições climáticas e de incidência UV, como também, em situações de obras com a exposição desses materiais poliméricos à radiação ultravioleta para a boa funcionalidade da construção.

A pesquisa deu-se a partir do meio eletrônico do Portal de Periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior), do Ministério da Educação (MEC). O período de busca estende-se até ao ano de 2018, sendo utilizadas palavras-chave “geotextile degradation”, “geotextile uv degradation”, “geotextile uv radiation” e “geotextile photo aging”. O modo avançado de busca automática realizado a partir do sistema da CAPES, utilizou operadores lógicos “AND” e “OR”. Não houve limitação quanto ao idioma e a data inicial do período de busca. Foi utilizado o operador de busca “contém”, para a pesquisa retornar títulos ou assuntos condizentes com as palavras-chave pesquisadas.

Os documentos (artigos, teses e dissertações) selecionados foram identificados quanto ao método de exposição do material polimérico ser de exposição em campo e foram divididos quanto ao tipo de geotêxtil (tecido, não tecido). Dessa forma, explanam-se os polímeros que compõem os geotêxteis, o local que ocorreram os ensaios, o tempo de exposição dos materiais a radiação UV, os testes a que foram submetidos e as respectivas análises dos resultados.

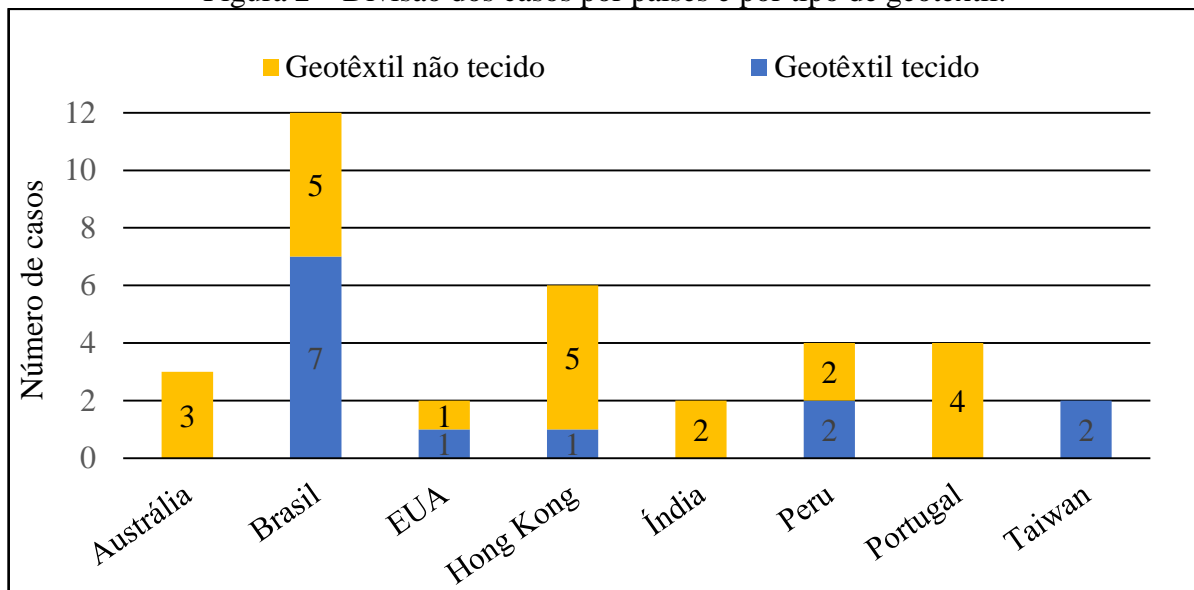
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da pesquisa realizada, identificou-se 64 documentos (teses, artigos e dissertações) afins com a temática deste artigo. Desses arquivos, 23 continham pesquisas e ensaios sobre exposição de campo de geotêxteis à radiação ultravioleta, ao qual foram constatados 35 estudos de casos.

Esses estudos serão explanados e analisados a seguir, evidenciando as características de exposição, os geotêxteis e polímeros utilizados, bem como, as consequências que as amostras foram submetidas pós período máximo de exposição aos raios UV.

Na figura 2, os casos analisados foram desmembrados por países, no intuito de formar um mapa de ocorrências de estudos.

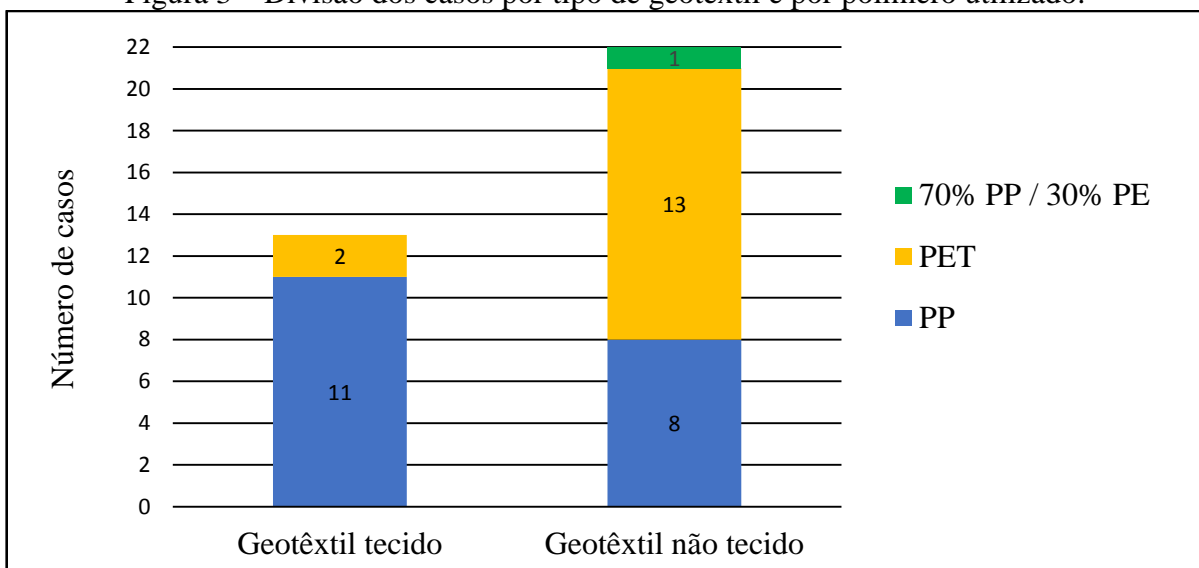
Figura 2 – Divisão dos casos por países e por tipo de geotêxtil.



Fonte: Autor (2019).

Na figura 3, o desmembramento deu-se por tipo de geotêxtil e por polímero utilizado. A partir daí, pode-se observar quais geotêxteis e matérias-primas mais empregadas nas pesquisas analisadas posteriormente.

Figura 3 – Divisão dos casos por tipo de geotêxtil e por polímero utilizado.



Fonte: Autor (2019).

Analisando a figura 3, observa-se que a maioria dos casos de estudos utilizaram o polipropileno ou o poliéster como polímero predominante nos geotêxteis. É importante ressaltar, a presença de um caso de geotêxtil misto, com 70% de polipropileno e 30% de polietileno.

O quadro 4 explana as diferentes condições de exposição de campo a raios UV que os geotêxteis foram submetidos, ao longo dos testes. Características como latitude, longitude, altitude, radiação solar acumulada, temperatura média e precipitação são elencadas. Essas características de cada localidade são primordiais para averiguar o nível de degradação que cada geotêxtil pode atingir durante a exposição.

Quadro 4 – Condições de exposição de ensaios em campo.

(continua)

CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO							
Item	Caso de estudo	Local	Tempo de exposição	Ensaios	Latitude/ Longitude/ Altitude/ Inclinação	Radiação solar acumulada	Temperatura média / Pluviometria acumulada
1	Pinto et al. (2005)	Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil	6 meses	3 e 6 meses	21°45' S 41°18' O 11 m 21°45'	-	-
2	Pinto et al. (2006)	Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil	420 dias	90, 180 e 420 dias	21°45' S 41°18' O 11 m 21°45'	-	≅ 22 °C ≅ 1850 mm
3	Filho (2016)	Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil	2 anos	2 anos	21°48' S 41°19' O 14 m 21°48'	13 GJ/m ²	23,4 °C 1487,8 mm
4	Brand e Pang (1991)	North Point - Hong Kong	9 meses	1, 3, 6 e 9 meses	Inclinação de 45° S	-	≅ 23,0 °C ≅ 2300 mm
5	Fernandes (2018)	Natal/RN - Brasil	4 meses	1, 2 e 4 meses	5°47'42" N 35°12'13" O	2,62 GJ/m ²	25,7°C 2119,4 mm
6	Medeiros (2017)	Natal/RN - Brasil	1 mês	1 mês	5°50'02" S 35°12'13" O	-	27,0 °C
7	Silva (2018)	Natal/RN - Brasil	2 meses	2 meses	5°77'93" S 35°20' O	95,2 MJ/m ²	26,3 °C 643,0 mm
8	Guimarães et al. (2016)	Varginha/MG - Brasil	90 dias	90 dias	-21,5490°S -45,4194°O 925 m 22°N	1135,04 MJ / m ²	17,8 °C 153,0 mm
9	Milagres (2016)	Varginha/MG - Brasil	62 dias	35, 51 e 62 dias	-21,5490°S -45,4194°O 925 m 22°N	1158,67 MJ/m ²	23,62 °C
10	Grubb et al. (2000)	Vijus, Pataz - Peru	12 meses	1, 2, 3, 6 e 12 meses	Inclinação: 7°45'S Altitude: 1250 m	-	27,9 °C 617,0 mm
11	Grubb et al. (2000)	Mina Huaron, Huayllay - Peru	12 meses	1, 2, 3, 6 e 12 meses	Inclinação: 11°S Altitude: 4600 m	-	7,2 °C 1159,0 mm
12	Grubb et al. (2000)	Georgia, Atlanta - EUA	12 meses	1, 2, 3, 6 e 12 meses	33°46' N 84°23' O 315 m 33°46' N	-	16,5 °C 814,00 mm
13	Hsieh e Wang. (2003)	Wuchi, Taichung - Taiwan	12 meses	1, 2, 4, 8 e 12 meses	24°15'N 120°31'L 3 m	279,14 MJ/m ²	1301,0 mm
14	Gibbs et al. (2014)	Gold Coast, QLD - Austrália	12 meses	3, 6 e 12 meses	Inclinação de 45°	6,64GJ/m ²	25,2 °C 1674mm

Fonte: Autor (2019).

Quadro 4 – Condições de exposição de ensaios em campo.

CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO							
Item	Caso de estudo	Local	Tempo de exposição	Ensaios	Latitude/ Longitude/ Altitude/ Inclinação	Radiação solar total	Temperatura média / Pluviometria acumulada
15	Gibbs et al. (2014)	Perth, WA - Austrália	12 meses	3, 6 e 12 meses	Inclinação de 45°	6,97GJ/m ²	25,4 °C 887mm
16	Gibbs et al. (2014)	Adelaide, SA - Austrália	12 meses	3, 6 e 12 meses	Inclinação de 45°	6,46GJ/m ²	23,8 °C 325mm
17	Barthu (2015)	Mumbai - Índia	12 meses	1,3 6 e 12 meses	Inclinação de 45°	6,48GJ/m ²	-
18	Carneiro et al. (2016)	Ilha do Pico - Portugal	36 meses	6, 12, 24 e 36 meses	38°25'N 28°24'O 24 m 30 °S	-	-
19	Carneiro et al. (2005)	Pedras Rubras, distrito do Porto - Portugal	12 meses	3, 6, 9 e 12 meses	41°20'N 8°69'O 70 m 30 °S	-	-
20	Carneiro et al. (2005)	Pedras Rubras, distrito do Porto - Portugal	12 meses	6 e 12 meses	41°20'N 8°69'O 70 m 30 °S	-	-
21	Carneiro (2009)	Moreira da Maia, distrito do Porto - Portugal	36 meses	6,12,18,24,30 e 36 meses	41°13'N 8°39'O 49 m 30 °S	15,09 GJ/m ²	17,7 °C 2421,30 mm
22	Lodi et al. (2008)	Ilha Solteira/SP - Brasil	4 meses	1,2 e 4 meses	20°25'23''S 51°21'22''O 335m	2,2GJ/m ²	26,0 °C 59,0 mm
23	Lodi et al. (2008)	Ilha Solteira/SP - Brasil	2 meses	1 e 2 meses	20°25'23''S 51°21'22''O 335m	694,67 MJ/m ²	26,0 °C 59,0 mm

Fonte: Autor (2019).

A partir do quadro 4, obtém-se o local de ocorrência de cada pesquisa e as condições de exposição em campo dos materiais poliméricos. Todas essas características são resumidas na primeira coluna do quadro supracitado através de identificações por números, a serem utilizados posteriormente, no quadro 5.

O quadro 5 interliga-se ao quadro anterior a partir da sua primeira coluna 'Item', em que os números representam cada condição de exposição explanadas no quadro 4, que os geotêxteis foram submetidos.

Nesse quadro são abordadas, sucintamente, as conclusões de cada estudo de caso pesquisado. Relata-se também, os polímeros e aditivos utilizados na fabricação dos geotêxteis, bem como, o tipo de cada geotêxtil.

Quadro 5 – Elementos e conclusões dos estudos de exposição em campo de geotêxteis.

(continua)

Item	Geotêxtil	Polímeros / Aditivos	Conclusões
1	Tecido	PP	Após 6 meses de exposição: Sem mudança visível na textura do material; Sem perda de massa do geotêxtil; Por análise microscópica verificou-se que, houve sensível dilatação das fibras do geotêxtil, gerando pequena retração do geotêxtil; verificou-se uma redução na resistência à tração de 8,9% (45,8KN/m para 42,1KN/m).
2	Tecido	PP / Antioxidantes	Após 420 dias de exposição: Por análise microscópica verificou-se que, houve sensível dilatação das fibras do geotêxtil, gerando pequena retração do geotêxtil; As duas amostras apresentaram redução de resistência de 18,28% e de 12,5%, respectivamente; Houve enrijecimento do geotêxtil.
3 – A	Tecido	PP	Após 2 anos de exposição: Redução menor que 2% na gramatura das amostras. O material degradado absorve cada vez menos radiação UV em relação ao material intacto
3 – B	Tecido	PET	Após 2 anos de exposição: Aumento da gramatura das amostras em até 5,7%. Isso pode ser explicado devido ao processo de colmatação que ocorreu ao longo da exposição.
4 – A	Tecido	PP / Anti-UV	Gramatura inicial: 333g/m ² e espessura de 2,28mm; Cor cinza; ph médio da chuva = 5,3 (chuva ácida); A resistência à tração, após exposição de 9 meses, reduziu 85,5%.
4 – B	Não tecido	PET	Gramatura inicial das duas amostras: 162g/m ² e 214g/m ² ; Espessura de 1,52mm e 1,92mm; Cor marrom; ph médio da chuva = 5,3; A resistência à tração das amostras, após 9 meses de exposição, reduziu 65,9% e 44,7%, respectivamente;
4 – C	Não tecido	PET / Anti-UV	Gramatura inicial das amostras: 147g/m ² e 216g/m ² e espessura de 1,26mm e 1,79mm; Cor Marrom; ph médio da chuva = 5,3; A resistência à tração das amostras, após 9 meses de exposição, reduziu 57,8% e 45,0%,
4 – D	Não tecido	PP	Gramatura inicial das duas amostras: 141g/m ² e 204g/m ² ; e espessura de 1,19mm e 1,59mm; Cor Branca; ph médio da chuva = 5,3; As amostras, após nove meses de exposição, estavam completamente degradadas. Ambas atingiram seu maior nível de degradação aos 6 meses de exposição.
4 – E	Não tecido	PP / Anti-UV	Gramatura inicial das amostras: 138g/m ² e 198g/m ² ; Espessura inicial de 0,38mm e 0,54mm; Cor cinza; ph médio da chuva = 5,3; A resistência à tração das amostras, após 9 meses de exposição, reduziu 63,5% e 80,2%, respectivamente.
4 – F	Não tecido	70% PP, 30% PE/ Anti-UV	Gramatura inicial das amostras: 103g/m ² e 187g/m ² ; Espessura inicial de 0,48mm e 0,86mm; Cores Azul e branco; Ph médio da chuva = 5,3; A resistência à tração das amostras, após 9 meses de exposição, reduziu 32,2% e 45,75%, respectivamente.
5	Não tecido	PET / Anti-UV	Após 4 meses de exposição, a resistência à tração da amostra reduziu 48,42%; A gramatura média apresentou aumento de 1,7% (276,40g/m ² para 281,10 g/m ²);
6	Não tecido	PET	Após 1 mês de exposição, houve enrijecimento das amostras e a gramatura média reduziu 2,8%.
7	Tecido	PP	Após 2 meses de exposição, a resistência à tração diminuiu 20,68%, para áreas de dunas. Na região de controle, houve redução de 16,4%. A gramatura reduziu 6,65% para a região de dunas e 5,16% para a região de controle.

Fonte: Autor (2019).

Quadro 5 – Elementos e conclusões dos estudos de exposição em campo de geotêxteis.

(continua)

Item	Geotêxtil	Polímeros / Aditivos	Conclusões
8	Tecido	PP	Gramatura: 273g/m ² e 0,96mm de espessura; A resistência à tração, após 90 dias de exposição, teve uma redução de 8,3% em relação a resistência de referência
9	Tecido	PP/Negro de fumo; Anti-UV	A amostra 1 tem mais aditivo anti-UV que a amostra 2. Após 62 dias de exposição, a resistência à tração das amostras 1 e 2 reduziu 12,98% e 19%, respectivamente.
10 - A	Tecido	PP/ Negro de fumo	Após exposição de 12 meses, as amostras 1 e 2 apresentaram alterações na gramatura de 180,0g/m ² para 179,1g/m ² e de 260g/m ² para 269,9g/m ² , respectivamente. Os valores de resistência retidos dos geotêxteis variaram aproximadamente 64 a 95% e 49 a 122%
10 - B	Não tecido	PET	Após 12 meses de exposição, as amostras 1 e 2 apresentaram alterações na gramatura de 420,0g/m ² para 420,1g/m ² e de 550g/m ² para 585,7g/m ² , respectivamente. A resistência retida variou aproximadamente 64 a 82% e 70 a 98%
11 - A	Tecido	PP/ Negro de fumo	Após exposição de 12 meses, as amostras 1 e 2 apresentaram alterações na gramatura de 180,0g/m ² para 175,9g/m ² e de 260g/m ² para 261,0g/m ² , respectivamente. Os valores de resistência retidos dos geotêxteis foram um pouco maiores (10 a 15%) em relação aos valores de Vijus.
11 - B	Não tecido	PET	Após 12 meses de exposição, as amostras 1 e 2 estavam totalmente degradadas. Após exposição de 6 meses, as amostras 1 e 2 apresentaram alterações na gramatura de 420g/m ² para 414,7 e de 550g/m ² para 571,7g/m ² .
12 - A	Tecido	PP / Negro de fumo	Após exposição de 12 meses, as amostras 1 e 2 apresentaram alterações na gramatura de 180,0g/m ² para 177,6g/m ² e de 260g/m ² para 265,4g/m ² , respectivamente. Os valores de resistência retidos dos geotêxteis foram um pouco maiores (10 a 15%) em relação aos valores de Vijus.
12 - B	Não tecido	PET	Após exposição de 12 meses, as amostras 1 e 2 apresentaram alterações na gramatura de 420g/m ² para 425,0 e de 550g/m ² para 577,2g/m ² , respectivamente.
13 - A	Tecido	PP / Negro de fumo e antioxidantes	Cor preta; resistência à tração virgem: 70KN/m; O efeito de intemperismo nas propriedades de engenharia de geotêxtil de polipropileno foi muito menor do que o associado ao geotêxtil de poliéster. Isso pode estar relacionado à resina de polipropileno contendo 2% de negro de fumo e 1% de antioxidantes para a produção das fibras.
13 - B	Tecido	PET	Cor branca; resistência à tração: 150KN/m; O efeito de intemperismo nas propriedades de engenharia de geotêxtil de polipropileno foi muito menor do que o associado ao geotêxtil de poliéster. Isso pode estar relacionado à resina de polipropileno contendo 2% de negro de fumo e 1% de antioxidantes para a produção das fibras.
14	Não tecido	PET	Após 12 meses de exposição, as 5 amostras tiveram a resistência média à tração reduzida em 49,5%, em relação a resistência da amostra virgem.
15	Não tecido	PET	Após 12 meses de exposição, as 5 amostras tiveram a resistência média à tração reduzida em 59,5%, em relação a resistência da amostra virgem.
16	Não tecido	PET	Após 12 meses de exposição, as 5 amostras tiveram a resistência média à tração reduzida em 53,2%, em relação a resistência da amostra virgem.

Fonte: Autor (2019).

Quadro 5 – Elementos e conclusões dos estudos de exposição em campo de geotêxteis.

Item	Geotêxtil	Polímeros / Aditivos	Conclusões
17 - A	Não tecido	PET	Gramatura inicial das amostras 1, 2 e 3: 100g/m ² , 280g/m ² e 550g/m ² , respectivamente. Espessura inicial das amostras 1, 2 e 3: 1,2 mm, 2,1 mm e 4,0 mm, respectivamente. Após 12 meses de exposição, as amostras 1, 2 e 3 apresentaram redução de resistência à tração de 69%, 57% e 50%, respectivamente.
17 - B	Não tecido	PP	Gramatura inicial das amostras 1, 2 e 3: 75g/m ² , 150g/m ² e 225g/m ² , respectivamente. Espessura inicial das amostras 1, 2 e 3: 1,2 mm, 1,2 mm e 1,60 mm, respectivamente. Após 12 meses de exposição, as amostras 1, 2 e 3 apresentaram redução de resistência à tração de 71%, 63% e 96%, respectivamente.
18	Não tecido	PP / 0,4% de C944	Houve alteração na cor do geotêxtil, passando de branco para cinza; A gramatura, após 36 meses de exposição, aumentou 9,13%; Aumento na espessura; Após 36 meses de exposição, a resistência à tração do geotêxtil reduziu 59,4%. Sem o 0,4% de C944, o geotêxtil estaria destruído após 12 meses de exposição.
19	Não tecido	PP	Após 12 meses de exposição, o geotêxtil adquiriu coloração cinza (antes era branco). Até 6 meses de exposição, os materiais não apresentavam sinais visíveis de degradação. Aos 9 meses, o geotêxtil libertava pequenos pedaços de fibras, indicando alguma despolimerização. Após 12 meses de exposição, a estrutura polimérica encontrava-se bastante danificada; a espessura, diminuiu 25,68% (de 3,31mm para 2,46mm); a resistência à tração diminuiu 94%.
20	Não tecido	PP / 0,2% e 0,4% de C944	As amostras com C944 (0,2% e 0,4%) apresentavam uma cor cinzenta após 6 e 12 meses de exposição, respectivamente. A espessura não sofreu alterações e os materiais não apresentavam quaisquer sinais visíveis de degradação. Quanto a resistência à tração, o geotêxtil com 0,2% de C944 apresentou uma redução de 46,7%. Já o geotêxtil com 0,4% de C944 apresentou uma redução de 34,3%.
21	Não tecido	PP / C944 e Negro de fumo	A cor dos geotêxteis (originalmente branca) ficou cinzenta durante a exposição. Os geotêxteis de cor preta não sofreram alterações de cor. Ao fim de 12 meses de exposição, os geotêxteis sem C944 estavam muito danificados: os materiais estavam muito frágeis e libertavam uma grande quantidade de fibras degradadas, o que resultou numa redução da sua espessura. Após 36 meses de exposição, restavam apenas algumas amostras dos geotêxteis brancos, enquanto todas amostras pretas seguiam intactas a olho nu. A amostra B2-280 (branca) apresentava 18,4% de resistência residual, enquanto a amostra P2-280 (preta) 61% de resistência residual.
22 - A	Não tecido	PET	Após 4 meses de exposição, a gramatura diminuiu quase 16% (passando de 615g/m ² para 518 g/m ²); Com relação a resistência à tração, no sentido transversal, o decréscimo foi de 15,2%
22 - B	Não tecido	PP	Após 4 meses de exposição, a gramatura aumentou 5,5% (passando de 650g/m ² para 686 g/m ²); Com relação a resistência à tração, no sentido transversal, o decréscimo foi de 32%;
23	Não tecido	PET	Gramatura inicial das amostras 1, 2 e 3: 171, 280 e 450 (g/m ²). Após 2 meses de exposição, houve redução na gramatura de 12,3%, 28,6% e 11,2%, respectivamente, nas amostras 1, 2 e 3. Quanto a resistência à tração, as amostras 1, 2 e 3 apresentaram redução, no sentido longitudinal, de 37%, 48,2% e 20,55%, respectivamente. No sentido transversal, as reduções foram de 53,5%, 52,1% e 39,3%.

Fonte: Autor (2019).

A partir da análise do quadro 5, pode-se observar os resultados provenientes de vários processos de degradação sofrido pelos diferentes tipos de geotêxteis e suas composições poliméricas, ao longo do tempo. Com essas conclusões, é possível averiguar o comportamento dos geotêxteis frente a exposição em campo aos raios ultravioleta e outros agentes degradantes, como também, os efeitos proporcionados pela presença de aditivos que podem retardar a degradação do material.

Os itens 1 e 2 do quadro 5 representam pesquisas realizadas por Pinto et al., sob as mesmas condições geográficas, mas em anos distintos. Pode-se observar que, mesmo o item 2 tendo mais que o dobro de tempo de exposição que o material do item 1, o geotêxtil a base de polipropileno deteriorou-se apenas um pouco mais que o geotêxtil exposto por 6 meses. Essa degradação não muito diferente de ambas amostras pode ser motivada pela presença de aditivos antioxidantes, visto que, são aditivos usados para proteger os polímeros da degradação oxidante, tanto durante o processamento, como durante o tempo de serviço.

O item 4 do quadro 5 subdivide-se em diferentes casos, com diferentes polímeros e/ou presença de componentes aditivos, mas todos sob as mesmas condições de exposição. Representado por Brand e Pang (1991), pode-se notar que todos os geotêxteis perderam força e se tornaram mais frágeis após a exposição direta. O caso envolvendo geotêxtil não tecido de polipropileno sem inclusão de aditivos (item 4-D), foi mais suscetível a degradação aos raios UV, uma vez que, aos seis meses o material polimérico já estava degradado por quase completo.

Comparando ao item 4-E, em que há presença de aditivo estabilizador UV, percebe-se que após 9 meses de exposição, os materiais ainda não degradaram por completo. Esse fator indica que o aditivo anti-UV atuou bem na sua funcionalidade, retardando a degradação do material. O item 4-F foi o que obteve melhor comportamento frente a exposição aos raios UV, obtendo uma menor degradação em relação aos demais casos do mesmo item. Analisando o caso 9, nota-se também, que a presença de aditivos na composição do material polimérico influencia diretamente no seu desempenho. As duas amostras apresentam a mesma quantidade de negro de fumo, mas diferentes concentrações de estabilizantes UV. A amostra com maior quantidade de aditivo anti-UV se sobressai em relação a outra, degradando de forma mais lenta.

Os casos 10, 11 e 12 e suas subdivisões, foram pesquisas realizadas por Grubb et al. (2000). Os itens 10-B e 11-B, dizem respeito a testes realizados com geotêxteis não tecido a base de poliéster. Pode-se analisar que os geotêxteis localizados na Mina Huaron (item 11-B) tiveram uma degradação bem mais acentuada do que os da cidade de Vijus (item 10-B), degradando-se totalmente aos 6 meses de exposição. Isso pode ser explicado devido a altitude de 4600m, que pode influenciar na degradação do material. Devido a não obtenção de dados de radiação solar acumulada, fica incoerente analisar os resultados e alinhá-las ao agente degradante da radiação UV. Todos os casos de Grubb et al. (2000) obtiveram variações na gramatura das amostras. O aumento de gramatura em algumas amostras, pode ser explicado pelo acúmulo de sujeiras, como também, pela presença do orvalho e altos índices pluviométricos.

Os itens 14, 15 e 16, representados pelas pesquisas de Gibbs et al. (2014), foram realizadas em diferentes localidades da Austrália, mas em condições semelhantes de radiação solar acumulada e temperatura média. Desse modo, torna-se possível analisar comparativamente os casos. O item 15, de maior radiação solar acumulada e maior temperatura média, foi o que apresentou maior degradação em relação aos outros casos. O de menor degradação foi o item 14, que apesar de ter sido o segundo maior em radiação solar acumulada, foi o caso em que houve maior índice pluviométrico, 1674mm. Isso dá quase duas vezes mais que a pluviometria do caso 15 e em torno de cinco vezes mais a quantidade que choveu no caso 16. Pode-se concluir que a radiação UV influi diretamente no desempenho do geotêxtil, mas que também depende de outros fatores como pluviometria e presença de nuvens.

Os casos 19 e 20, foram realizados por Carneiro et al. (2005) e obtiveram o mesmo tempo máximo de exposição à radiação solar. Realizando-se uma análise comparativa entre ambos, infere-se que a presença de aditivos estabilizantes como o Chimassorb 944 (C 944) altera o desempenho do

geotêxtil. Enquanto no caso do geotêxtil não tecido a base de polipropileno a resistência à tração diminuiu 94%, no ensaio do mesmo geotêxtil com presença de C 944 houve apenas a redução de 46,7% e 34,3%, para concentrações respectivas de 0,2% e 0,4% de C 944. Além da notória melhora nas propriedades mecânicas, observa-se também, que a presença do aditivo protegeu o geotêxtil de forma a conseguir manter sua espessura e a não ocorrência de despolimerização de suas fibras. Isso não ocorreu no geotêxtil sem aditivo, que após 12 meses de exposição, apresentava alto grau de degradação em suas fibras e redução de espessura.

5 CONCLUSÃO

A partir do que foi explanado neste artigo, torna-se possível concluir que os materiais poliméricos apresentam comportamento diversificado quando expostos a radiação UV e a diferentes condições climáticas e geográficas. Fatores como incidência de radiação solar acumulada, pluviosidade e temperatura média do ambiente, influenciam diretamente no desempenho do geotêxtil quanto a suas propriedades mecânicas, físicas e químicas.

Nota-se também, que a degradação atinge maiores níveis para condições de temperatura e radiação solar acumulada mais altas. O fato da degradação dos geotêxteis avançar ao longo de maiores tempos de exposição, faz dos aditivos um importante aliado na tentativa de retardar sua deterioração. Há relação direta da presença de aditivos nos materiais poliméricos com o melhor desempenho nas propriedades.

Diante do exposto, o artigo evidenciou diversos casos de estudo de degradação de geotêxteis por radiação ultravioleta, em várias partes do mundo. Desse modo, propiciou-se análises e comparações entre os diferentes casos, no intuito de obter informações de qual tipo de geotêxtil torna-se melhor empregar numa obra, dependendo da localidade e condições climáticas da região.

REFERÊNCIAS

- AGNELLI, J. A. M. **Curso sobre Degradação, Estabilização e Envelhecimento de Polímeros**. 1999. 209f. Associação Brasileira de Polímeros. 1999.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D5970: Standard test methods for deterioration of geotextiles from outdoor exposure**. West Conshohocken, Pennsylvania, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10318-1: Geossintéticos – Parte 1: Termos e definições**. Rio de Janeiro, 2018.
- BARTHU, V. G. **Degradation of Mechanical Properties of Geotextiles and Geomembranes Exposed to Outdoor Solar Radiation under Various Exposure Conditions—Part I: Results of UV-Degradation**. 2015. 12f. Journal of Geological Resource and Engineering 4 (2015) 173-184, Mumbai, 2015.
- BENJAMIM, C. V. S. et al. **Investigação do dano mecânico aos raios ultravioleta em geotêxteis expostos a condições de campo**. 2007. 8f. 50° Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Geossintéticos 2007, e 60° Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, REGEO 2007, Recife, Brasil, 18-21 Junho, 2007.
- BRAND, E. W., PANG, P. L. R. **Durability of geotextiles to outdoor exposure in Hong kong**. 1991. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 117, No. 7, July, 1991.

CARNEIRO, J. R. C., ALMEIDA, P. J., LOPES, M. L. **Durabilidade de Geotêxteis Expostos a Diversos Factores Climatéricos.** 2005. 10f. Artigo Técnico Científico – Universidade do Porto, Porto, 2005.

CARNEIRO, J. R. C., MORAIS, M., LOPES, M. L. **Degradação de Geotêxteis de Polipropileno em Ambiente Marinho** 2016. 6f. 10.as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP, ISBN 978-989-99439-1-9, Porto, 2016.

CARNEIRO, J. R. C. **Durabilidade de materiais geossintéticos em estruturas de carácter ambiental – A importância da incorporação de aditivos químicos.** 2009. 602f. Tese de Doutoramento – Universidade do Porto, Portugal, 2009.

COSTA, C. M. L. **Fluência de Geotêxteis.** 1999. 116f. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

FERNANDES, I. C. **Avaliação da degradação por intemperismo de Geotêxteis submetidos às condições climáticas de NATAL/RN.** 2018. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

FILHO, J. L. E. D. **Comportamento geomecânico e de durabilidade de formas têxteis tubulares aplicadas em obras hidráulicas.** 2016. 243f. Tese de Doutoramento - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

GIBBS, D. T., AUSTIN, R. A., SMITH, D. M. **Durability of polyester geotextiles subjected to Australian Outdoor and Accelerated Weathering.** 2014. 9f. Presented at the 7th International Congress on Environmental Geotechnics, Melbourne, Australia, 2014.

GOURC, J. P., DELMAS, P. **Retour sur des ouvrages avec geosynthétiques toujours em service apres plusieurs decennies: The behaviour of "alive" earthworks with geosynthetics after several decades.** 2017. 43f. 11èmes Rencontres Géosynthétiques – du 7 au 9 mars 2017, Lille, 2017.

GREENWOOD, J. H.; SCHROEDER, H. F. E.; VOSKAMP, W. **Durability of Geosynthetics.** CUR. 2012. 295f. committee C 187– Building e Infrastructure, 2012.

GRUBB, D.G., DIESING, W.E., III, CHENG, S.C.J. **Comparison of Geotextile Durability to Outdoor Exposure Conditions in the Peruvian Andes and Southeastern USA.** 2000. 23f. Geosynthetics International, Vol. 7, No. 1, pp. 23-45, 2000.

GUIMARÃES, M. G. A., et al. **Durability of a polypropylene Woven geotextile under Climatic and Chemical Agents.** 2015. 11f. Academic Star Publishing Company, 2015

GUIMARÃES, M. G. A. et al. **Degradation of polypropylene woven geotextile: tensile creep and weathering.** 2016. Geosynthetics International, v. 24, n. 2, 2016.

HSIEH, C. and WANG, J. B. **The Degradation Behavior Of Geotextile In Ocean Environments.** 2003. 10f. National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan, 2003.

KOERNER, R. M. **Designing with Geosynthetics** Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 2012. 761f. 6Th Edition, Volume 1. Upper Saddle River, New Jersey: Xlibris Corporation. 2012.

- LEFLAIVE, E. **Géotextiles et Géomembranes**. 1984. 10f. Comité Français des Géotextiles et Géomembranes, BP 79, 92105 Boulogne-Billancourt Cedex – p. 69 à 78, 1984.
- LODI, P. C. et al. **Weathering degradation of polyester and polypropylene geotextiles**. 2008. 5f. Proceeding of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics, June 17 - 20, 2008 Shanghai, China, 2008.
- LODI, P. C. et al. **Analysis Of Mechanical And Physical Properties On Geotextiles After Weathering Exposure**. EuroGeo4 Paper number 203
- MATHEUS, E. **Efeitos do envelhecimento acelerado e do dano mecânico induzido no desempenho e durabilidade de alguns geossintéticos**. 2002. 324f. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- MEDEIROS, M. A. **Degradação de geotêxteis não-tecidos em ambiente costeiro**. 2017. 20f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- MILAGRES, B. V. **Degradação de Geotêxteis frente a elementos climáticos em ensaios de campo e laboratório: realidade climática local**. 2016. 136f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.
- OGAWA, M. M et al. **Os efeitos da exposição à radiação ultravioleta ambiental**. 2017. Disponível: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAeiqAAJ/ultravioleta>. Acesso em 25 abr 2019.
- OLIVEIRA, C. F. P. et al. - **Fotodegradação de compósitos de poliestireno/argila montmorilonita: efeito do tipo de argila e presença de sal**. 2010. 9f. Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2010.
- PINTO, V. C. **Estudo da degradação de geotêxteis tecido**. 2006. 133f. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2006.
- PINTO, V. C., MAIA, P. C. A. e VALINHO, R. F. **Avaliação da degradação de geotêxteis tecidos**. 2005. 12f. IV COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Salvador-BA, 2005.
- RABELLO, M. S. e WHITE, J. R. **Fotodegradação do Polipropileno: Um processo essencialmente heterogêneo**. 1997. 11f. Artigo Técnico Científico, 1997.
- ROLLIN, A. L. **Comportement à long terme des géotextiles et des géomembranes**. 1999. 11f. Ingénieries – EAT 1999, Géosynthétiques - Matériaux et applications – p. 77 à 87, Quebec, 1999.
- SILVA, B. O. F. **Degradação de Geotêxteis em Área de Dunas**. 2018. 20f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- VERTEMATTI, J. C. (Coord.). **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. São Paulo: Ed. Edgar Blücher, 2004.