

AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE GEOSINTÉTICOS ATRAVÉS DE EQUIPAMENTO DE DEGRADAÇÃO EM LABORATÓRIO

Evaluation of geosynthetics durability by laboratory degradation procedures

Paulo Cesar de Almeida Maia*

Raquel Ofrante Salles**

Gustavo de Castro Xavier***

RESUMO – Este trabalho visa a apresentação dos resultados de ensaios em equipamento de degradação de grandes dimensões desenvolvido na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Faz-se uma revisão sobre os diferentes tipos de equipamentos utilizados para estudo da degradação de materiais geotécnicos. Apresentam-se considerações sobre os critérios para definição do tipo de ensaio de degradação em função do tipo de material a ser estudado. Mostra-se uma descrição detalhada do equipamento desenvolvido. São apresentados resultados de um programa experimental de verificação do funcionamento do equipamento para um material geossintético. Os resultados mostram que o equipamento é satisfatório para o estudo da durabilidade de materiais geotécnicos, especialmente para amostras de grande volume.

SYNOPSIS – This work presents the results of tests in a large scale degradation equipment developed at the *Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro* (UENF). A review is provided of different types of equipment utilized for degradation studies of geotechnical materials. Criteria are considered for definition of the type of degradation test as a function of the material type. A detailed description is made of the developed equipment. Results of an experimental program for verification the equipment functionality for study of geosynthetic material are presented. The results show that the equipment is satisfactory for durability study of geotechnical materials, especially for samples of large volume.

PALAVRAS CHAVE – Geotêxtil, degradação, equipamento de grandes dimensões.

1 – INTRODUÇÃO

O estudo da degradação de materiais geotécnicos é empregado na obtenção de informações sobre o comportamento a longo prazo devido aos efeitos da degradação. Estes estudos são empregados em função do tipo de material. Considerando as características de durabilidade e a composição, pode-se classificar os materiais de construção em 5 grandes grupos (Quadro 1). Vários destes materiais são empregados frequentemente em obras geotécnicas.

* Professor Associado, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, E-mail: maia@uenf.br

** Doutorado em Engenharia Civil, COPPE-UFRJ, E-mail: raquel_ofrante@drm.rj.gov.br

*** Professor Associado, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, E-mail: gxavier@uenf.br

Quadro 1 – Classificação dos materiais mais utilizados na construção civil segundo as características de durabilidade.

Materiais de Construção	
Metálicos	Metais
Não-metálicos	Materiais Cerâmicos
	Materiais Rochosos
	Vidro
Poliméricos	Geossintéticos
	Tintas
	Vernizes
Compósitos	Aglomerantes Naturais
	Argamassas
	Cimento-Amianto
	Materiais Betuminosos
Fibras Naturais	Madeira

Os mecanismos de degradação dependem do tipo de material e do meio ambiente de exposição. Para os materiais geotécnicos, os mecanismos de natureza física e química são os mais observados (Maia, 2001). A degradação física pode ser caracterizada pela fragmentação dos materiais em virtude de agentes mecânicos, sem que ocorra variação química. A degradação química provoca modificações na composição química do material. Esta degradação ocorre, preferencialmente, em meios úmidos.

Apesar dos agentes de degradação atuarem de forma distinta, no meio natural é freqüente a sobreposição dos efeitos e a interação entre os mecanismos físicos e químicos. Assim, espera-se que um mecanismo de degradação esteja associado a outro, acelerando a degradação do material. Os principais mecanismos de degradação de natureza física e química em materiais geotécnicos são: abrasão, desagregação por crescimento de cristais, expansão devido a efeitos térmicos, fraturamento por alívio de tensões, hidrólise e oxidação.

O procedimento a ser empregado para avaliar a durabilidade de materiais geotécnicos depende do objetivo da pesquisa e do tipo de material que será estudado. A Figura 1 apresenta uma classificação dos principais tipos de ensaios utilizados para avaliar a degradação de materiais geotécnicos (Salles, 2006).

O principal objetivo dos ensaios de degradação é submeter o material à exposição no campo e/ou no laboratório, para posterior determinação da variação das propriedades de interesse, seja física, química e/ou mecânica.

Nos procedimentos diretos o material é exposto diretamente a diferentes mecanismos de degradação, buscando simular as condições do meio ambiente exógeno. Os procedimentos indiretos não submetem o material diretamente à degradação. Neste caso, a avaliação da degradação é feita através de resultados de ensaios que refletem indiretamente a resistência do material à degradação.

Para a utilização de procedimentos diretos para o estudo da durabilidade faz-se necessário a utilização de metodologias específicas para cada caso de estudo. Diferentes metodologias para



Fig. 1 – Classificação dos ensaios para avaliação da degradação (Salles, 2006).

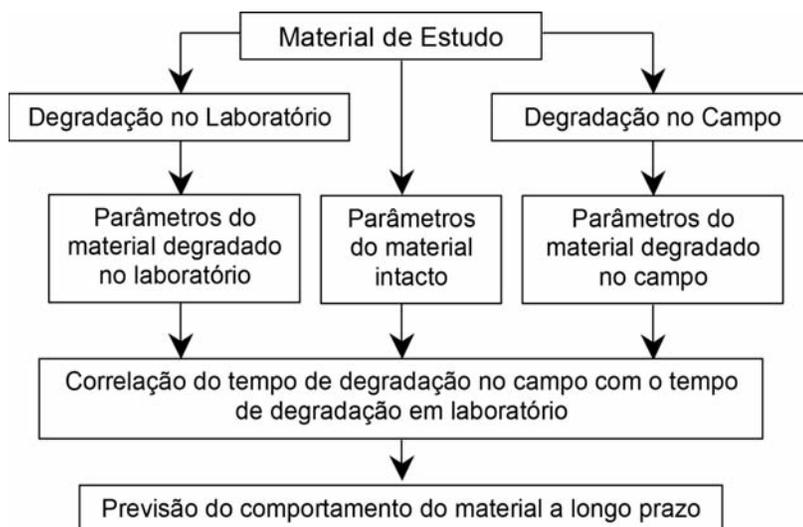


Fig. 2 – Metodologia generalizada para avaliação da durabilidade.

avaliação da durabilidade são propostas pela literatura (Minette, 1982; Frazão, 1993; Maia, 2001; Pinheiro e Maia, 2004; Salles e Maia, 2004; Cunha Pinto, 2006). No entanto, uma metodologia generalizada pode ser representada pelo organograma mostrado na Figura 2.

Na obtenção do material de estudo para avaliação da durabilidade pode-se considerar duas classes de materiais: uma, relativa a obras recentes ou em andamento e outra, relativa a obras antigas (Maia *et al.*, 2002).

No primeiro caso, existe a disponibilidade do material intacto, mas não do material degradado naturalmente. Em tal caso, pode-se produzir amostras com degradação natural, através da exposição do material aos agentes atmosféricos. Todavia, o tempo necessário para produção de amostras representativas da degradação natural pode inviabilizar a análise.

No segundo caso, existe a disponibilidade do material degradado naturalmente, mas, normalmente, não se dispõe do material intacto usado na fase de construção. Assim, deve-se procurar um material intacto semelhante ao utilizado na fase de construção da obra.

Para a previsão do comportamento do material a longo prazo, visando uma estimativa da durabilidade, faz-se necessária uma extrapolação de resultados experimentais, obtidos a partir de ensaios em amostras com degradação induzida de forma acelerada no laboratório. No entanto, as condições de degradação no laboratório não são idênticas às condições de campo.

Para a previsão da durabilidade de materiais geotécnicos sujeitos à degradação natural, deve-se, inicialmente, simular esta degradação no laboratório. Tal simulação deve ser acelerada permitindo o estudo em tempo viável. Deve, também, simular os mesmos mecanismos de degradação que o material sofre no campo. Na previsão, determina-se o tempo de degradação acelerada, no qual a amostra degradada no laboratório tem o mesmo comportamento da amostra degradada naturalmente no campo.

Assim, conhecida a relação entre o tempo de degradação no laboratório e o tempo de degradação natural, pode-se prever, por extrapolação ou interpolação, o tempo necessário de degradação no laboratório para um tempo de degradação natural desejado. Vale lembrar que, o comportamento do material pode ser definido por vários parâmetros, obtidos a partir de diferentes ensaios (Minette, 1982; Maia, 2001).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é a apresentação de um equipamento de degradação de grandes dimensões capaz de submeter amostras de grandes volumes a diferentes processos e mecanismos de degradação.

2 – PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

O objetivo principal do uso de procedimentos de degradação em laboratório é a aceleração dos mecanismos de degradação que o material poderá sofrer durante a sua vida útil. A literatura apresenta vários procedimentos de degradação como por exemplo: lixiviação contínua, ciclagem de umidade, condensação e radiação ultravioleta, aquecimento e névoa salina (Salles, 2006). Esses procedimentos de laboratório simulam as condições de degradação no campo através da mobilização simultânea de um ou dois mecanismos de degradação. Na maior parte deles, associa-se a variação de umidade com outro mecanismo (lixiviação, variação de temperatura, ultravioleta, teor de sais e outros). Assim, nenhum dos procedimentos de laboratório possibilita expor os corpos de prova a todos os mecanismos de degradação. No entanto, alguns destes procedimentos podem ser representativos das condições de degradação no campo, desde que o procedimento do ensaio seja o preponderante de campo. Destaca-se que um dos ensaios mais representativo das condições de degradação natural em estudos geotécnicos é, provavelmente, o ensaio de lixiviação contínua (Maia, 2001; Cunha Pinto, 2006).

A literatura apresenta alguns ensaios de laboratório destinados ao estudo da degradação de materiais.

2.1 – Exposição à lixiviação contínua

O ensaio de lixiviação contínua simula a condição de alteração provocada pelo processo de carreamento dos elementos constituintes dos materiais. O equipamento mais utilizado para ensaios de lixiviação contínua é o extrator Soxhlet. O equipamento Soxhlet permite submeter amostras de

pequenos volumes a períodos controlados de variação de temperatura, de precipitação e de flutuação do nível da solução de lixiviação. Um equipamento de grandes dimensões, capaz de acomodar amostras até 600N é descrito por Maia (2001). Além do equipamento Soxhlet, existe o equipamento intemperizador (Hypolito e Valarelli, 1972), que consiste essencialmente em dois conjuntos: o primeiro conjunto é responsável pela preparação de fluido que irá percolar a amostra, e o segundo conjunto é responsável pela interação fluido-amostra.

2.2 – Exposição à ciclagem de umedecimento e secagem

O ensaio de ciclagem de umedecimento e secagem simula a condição de degradação provocada pelas variações sazonais de umidade e temperatura no campo. Os resultados indicados na literatura mostram que o ensaio pode ser representativo das condições de degradação no campo (Minette, 1982). O ensaio de ciclagem mais comum é o de umedecimento em água natural, ou destilada, seguido de secagem ao ar, ou em estufa (ABNT, 1992a). O tempo necessário para o umedecimento e para a secagem depende do tipo do material, podendo ser previamente definido através das curvas de variação da umidade com o tempo, obtidas a partir de ensaios de absorção e de secagem (Frazão, 1993). As curvas referidas possibilitam a definição dos tempos mínimos de umedecimento e de secagem que melhor representem os estados saturado e seco do material. Outras soluções como o etilenoglicol, sulfato de sódio ou magnésio também são utilizadas para saturação da amostra.

2.3 – Exposição à condensação e radiação ultravioleta

O ensaio de condensação e radiação ultravioleta simula a condição de alteração provocada pela exposição do material a raios solares e variações sazonais de umidade. No ensaio, as amostras são submetidas a ciclos de condensação e de exposição à radiação ultravioleta, ambos sob temperatura controlada.

2.4 – Exposição à estufa

No ensaio, as amostras são inseridas em estufa a temperatura e tempo pré-definidos e, posteriormente, faz-se a verificação das alterações no comportamento, através de ensaios de caracterização ou resistência.

2.5 – Exposição à névoa salina

No ensaio de exposição à névoa salina, os corpos de prova devem ser dispostos na câmara de maneira que não haja contato entre eles, permitindo livre acesso da solução a todos os corpos de prova e, ainda, que a solução escorrida de um corpo de prova não goteje sobre os outros. A temperatura deve ser mantida em $35\pm 2^{\circ}\text{C}$, a pressão de ar comprimido entre 70 e 170kPa e a solução de ensaio a 5% de cloreto de sódio (NaCl), com pH entre 6,5 e 7,2 (ABNT, 1983). Dentro da câmara de teste, a solução salina é borrifada usando o princípio de injeção através de um bico pulverizador localizado no topo da câmara. Vale ressaltar que, o bico pulverizador deve ser posicionado de forma que o jato de solução não atinja diretamente os corpos de prova.

3 – EQUIPAMENTO DE DEGRADAÇÃO

De fato, existem diferentes mecanismos de degradação presentes no processo de envelhecimento natural dos materiais. Isto se justifica pela presença de significativo número de fatores que interferem no mecanismo de degradação. Estes fatores podem ser intrínsecos ao material ou extrínsecos. Deste modo, nenhum ensaio que simule unicamente um processo de

degradação deverá simular corretamente os mecanismos de degradação do meio, mesmo que a resposta final seja similar.

Neste sentido, foi implementado um equipamento de degradação de grandes dimensões, com o objetivo de degradar de forma acelerada amostras de material com grandes volumes e considerando diferentes mecanismos de degradação, tornando possível simular de maneira mais representativa as condições de degradação no campo. O equipamento desenvolvido é capaz de submeter amostras de grandes volumes (até 500 litros) a simultâneos mecanismos de degradação.

No equipamento, as amostras são submetidas à variação de temperatura e umidade através de dois processos de lixiviação com água destilada e posterior secagem parcial. São considerados dois níveis de temperatura da água de lixiviação que são escolhidos de acordo com o gradiente de temperatura desejado. É realizado ainda um processo de ventilação para secagem natural do material e um de resfriamento. A Figura 3 apresenta o esquema de funcionamento do equipamento de degradação.

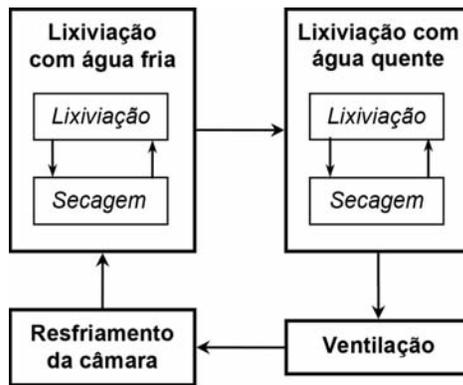


Fig. 3 – Esquema de funcionamento do equipamento de degradação.

O controlador geral do sistema de controle está ligado aos quatro processos de degradação. Estes quatro processos de degradação são executados sequencialmente e ao final do último processo se completa um ciclo de ensaio. O número de ciclos é definido pelo usuário. A Figura 4 mostra uma vista lateral e uma vista frontal do equipamento de degradação.



(a) Vista lateral



(b) Vista frontal

Fig. 4 – Fotos do equipamento de degradação.

A Figura 5 mostra um esquema do equipamento de degradação implementado. O equipamento é constituído, basicamente, por uma câmara de degradação, dois sistemas independentes de lixiviação, um sistema de refrigeração da câmara de degradação e um sistema de controle.

Cada sistema de lixiviação possui um reservatório inferior d'água com temperaturas diferentes e controlados por sistemas de bombeamento independentes.

A lixiviação das amostras é feita por circulação d'água dos reservatórios inferiores para a câmara de degradação através de bombas centrífugas localizadas na parte inferior dos reservatórios d'água, que lançam a água de lixiviação para conjuntos de aspersores, localizados no topo da câmara de degradação.

Existem dois conjuntos de aspersores, um para cada sistema de lixiviação. Os aspersores provocam a lavagem homogênea e contínua sem concentração de jatos d'água nas amostras. O retorno da água para o reservatório é feito por gravidade.

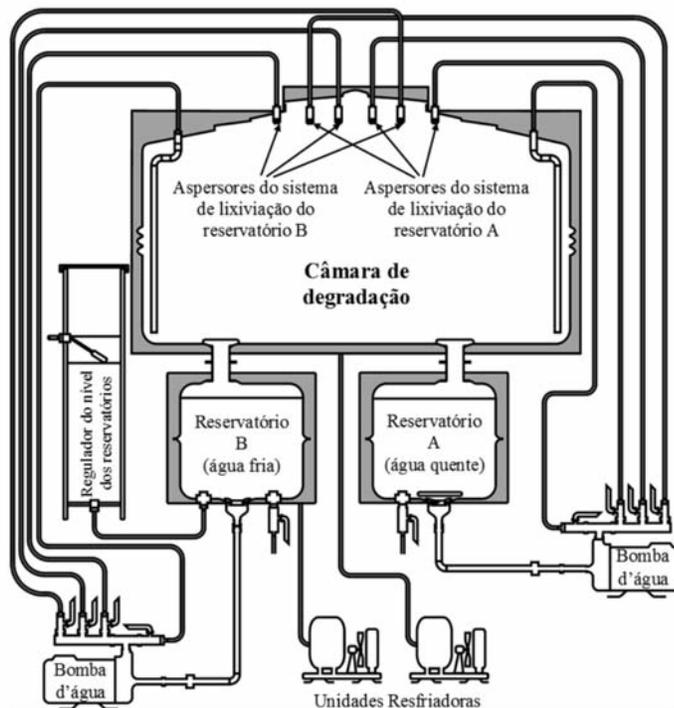


Fig. 5 – Projeto esquemático do equipamento de degradação.

O controle de temperatura dentro dos reservatórios tem o objetivo de provocar gradientes térmicos enquanto as amostras são lixiviadas. Para isto, existem diferentes mecanismos de controle de temperatura:

- (i) Reservatório A: a água é aquecida até a temperatura desejada, com temperatura máxima da ordem de 90°C, através de resistência blindada localizada no interior do reservatório. Esse reservatório é isolado termicamente com refratários cerâmicos;
- (ii) Reservatório B: a água é mantida com temperatura próxima da temperatura ambiente (21°C), através de um sistema de refrigeração. O sistema de refrigeração é constituído por serpentinas posicionadas externamente aos reservatórios. Esse reservatório é isolado termicamente por uma camada de poliuretano.

As temperaturas dos reservatórios A e B são monitoradas por termopares conectados ao sistema de controle. O abastecimento de água no equipamento é feito por um destilador d'água. A água destilada entra no equipamento através de uma boia reguladora de nível, que determina o nível d'água no interior do reservatório B.

O nível d'água máximo dentro da câmara do equipamento ocorre quando após o funcionamento de um dos sistemas de lixiviação, toda a água da câmara de degradação retorna para o respectivo reservatório d'água. O nível d'água mínimo é aquele que não provoca a cavitação dos sistemas de bombeamento. A determinação do nível adequado é feita experimentalmente e sempre buscando o maior volume d'água para cada reservatório.

No topo da câmara de degradação há uma abertura por onde as amostras são inseridas para o ensaio. Os reservatórios A e B foram feitos em aço inoxidável e possuem altura e largura iguais a 30 cm e comprimento igual a 55 cm, correspondendo a um volume igual a 49,5 litros.

Foram colocados três aspersores para lixiviação das amostras, em cada sistema de lixiviação. Para que as amostras fossem lavadas de forma homogênea, os aspersores foram dispostos simetricamente e de forma intercalada. Os aspersores foram conectados ao sistema de bombeamento através de mangueira de silicone de 6,25 cm.

4 – MATERIAL E PROCEDIMENTO DE ENSAIO DE DEGRADAÇÃO

Apresenta-se a seguir alguns resultados e discussões em um programa experimental para verificação da eficiência do equipamento.

O material de estudo foi escolhido em função da necessidade de se avaliar o desempenho do equipamento de degradação de grandes dimensões desenvolvido. Para isto, foram adotados os seguintes critérios para seleção dos materiais de estudo:

- (i) Homogeneidade: procurou-se obter um material cujo nível de heterogeneidade não interferisse nos procedimentos de degradação;
- (ii) Caracterização: o material selecionado deveria possuir suas características já definidas;
- (iii) Degradação: o material deveria ter resultados de ensaios de degradação no laboratório e especialmente no campo;
- (iv) Volume: as amostras deveriam ter dimensões compatíveis com o equipamento implementado.

Baseado nos critérios de seleção, o material utilizado na presente pesquisa foi o geotêxtil tecido, produzido a partir de laminetes de polipropileno. O material utilizado foi produzido especialmente para a pesquisa e se diferencia essencialmente pela quantidade de aditivos anti-oxidantes, sendo o Geotêxtil A com o dobro da quantidade de aditivo do Geotêxtil B.

O material foi objeto de estudo da dissertação de mestrado de Cunha Pinto (2006). Nesta pesquisa, o autor utilizou diferentes procedimentos de degradação no laboratório para a previsão de comportamento a longo prazo. Os procedimentos de degradação no laboratório utilizados por Cunha Pinto (2006) foram: lixiviação contínua, ciclagem por umedecimento e secagem e condensação e exposição à radiação ultravioleta B.

Estes tipos de geotêxteis podem ser utilizados em obras de controle de erosão em margens de lagos e rios, em drenagem subterrânea, em revestimento de reservatórios, em controle de erosão em taludes, na construção de barragens, canais e reservatórios, desempenhando a maior variedade de funções, tais como: separação, filtração, drenagem, proteção, contenção e reforço.

No equipamento de degradação foram degradadas amostras com 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 horas de funcionamento do equipamento. No equipamento, cada ciclo de degradação consistiu de um período de 1 hora de lixiviação com água a 21°C, um período de uma hora de lixiviação com

água a 70°C e um período de resfriamento. Cada período de lixiviação consiste de intervalos de lavagem e secagem de 15 minutos cada e de forma intercalada. O resfriamento ocorre em tempo suficiente para baixar a temperatura da câmara de degradação para a temperatura ambiente.

5 – RESULTADOS OBTIDOS

Apresenta-se a seguir os resultados e discussões referentes ao programa experimental para verificação da eficiência do equipamento. As Figuras 6 e 7 apresentam a variação da carga de tração na ruptura vs. tempo de degradação dos Geotêxteis A e B, degradados no campo e no laboratório, respectivamente. Os ensaios foram executados sob um estado de deformação controlada em corpos de prova com 5cm de largura (ASTM D4632-14, 2014).

Nota-se que os procedimentos de degradação no campo e no laboratório influenciam na variação do comportamento da carga de tração dos geotêxteis. Além disto, a magnitude das variações das cargas de tração com o tempo de degradação no campo ou no laboratório são diferentes.

Os valores da carga de tração na ruptura do Geotêxtil A (Figura 6) aumentam para baixos níveis de degradação e reduzem para elevados níveis de degradação no equipamento. Este comportamento foi verificado também no material degradado naturalmente no campo e pelos outros procedimentos de degradação no laboratório. No entanto, ressalta-se que a ciclagem de umedecimento e secagem foi o processo de degradação no laboratório que provocou maiores modificações nos valores da carga de tração em menor tempo de ensaio.

Verifica-se que a tendência de variação da carga de tração na ruptura dos Geotêxteis A e B são similares, em baixos níveis de degradação (Figuras 6 e 7). No entanto, em elevados níveis de degradação, observa-se que apenas a degradação no campo provoca comportamentos similares nos geotêxteis.

Dos resultados apresentados nota-se que a tendência de variação da carga de tração na ruptura do material degradado no campo ou no laboratório mostrou-se similar para os dois geotêxteis estudados. Isto indica que o procedimento de degradação no equipamento simula satisfatoriamente a forma de variação da carga de tração com o tempo de degradação do material.

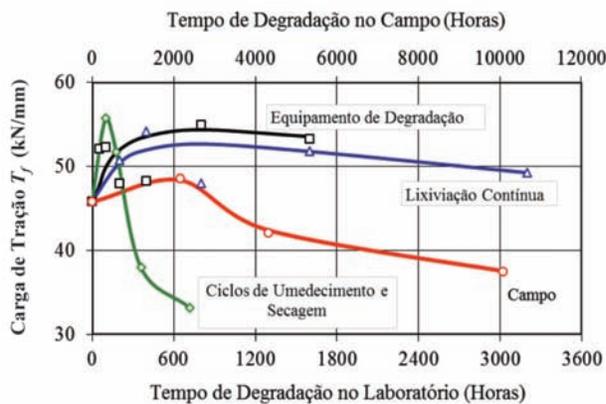


Fig. 6 – Carga de tração na ruptura vs. tempo de degradação no campo e no laboratório do Geotêxtil A.

As Figuras 8 e 9 apresentam as variações da força de puncionamento em diferentes níveis de degradação no campo e no laboratório para os geotêxteis estudados. O ensaio de puncionamento utilizado foi do tipo mini-CBR (ASTM D6241-15, 2015).

Nota-se que os procedimentos de degradação no campo e no laboratório influenciam na variação da carga de puncionamento dos geotêxteis. Além disto, a magnitude das variações da carga de puncionamento com o tempo de degradação no campo ou no laboratório são diferentes. No entanto, nota-se que o comportamento do material degradado por lixiviação contínua e no equipamento desenvolvido mostra variações semelhantes da força de puncionamento com o tempo de degradação, ou seja, redução da força de puncionamento na fase inicial de degradação e posterior aumento com tendência a estabilização da força para maiores tempos de degradação.

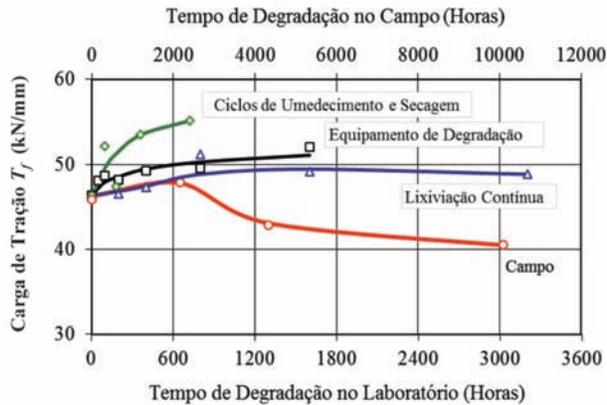


Fig. 7 – Carga de tração na ruptura vs. tempo de degradação no campo e no laboratório do Geotêxtil B.

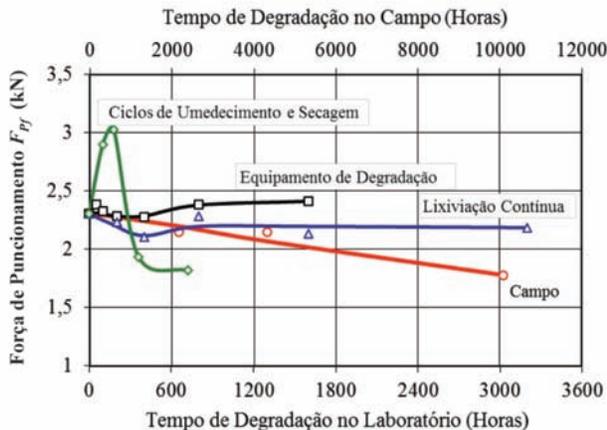


Fig. 8 – Força de puncionamento na ruptura vs. tempo de degradação no campo e no laboratório, Geotêxtil A.

Observa-se também que os valores da força de puncionamento na ruptura dos geotêxteis degradados naturalmente no campo reduzem com o tempo de degradação. Particularmente para o Geotêxtil B, pouca modificação da resistência à tração é notada na fase inicial de degradação.

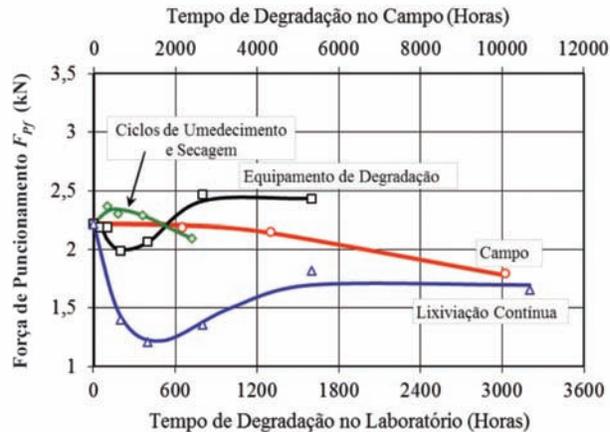


Fig. 9 – Força de puncionamento na ruptura vs. tempo de degradação no campo e no laboratório, Geotêxtil B.

A variação da força de puncionamento com o tempo de degradação nos geotêxteis submetidos a ciclos de umedecimento e secagem não segue a mesma variação observada nos outros procedimentos de degradação. Esse comportamento sugere a pouca representatividade do procedimento de umedecimento e secagem para avaliação da degradação destes materiais.

Os resultados apresentados nas Figuras 8 e 9 sugerem que a degradação natural no campo ainda se encontra na fase de redução da força de puncionamento, exigindo maiores tempos de exposição no campo para definição do comportamento a longo prazo. No entanto pode-se considerar que os procedimentos de degradação por lixiviação podem representar a condição natural de campo.

Os resultados indicam que o tipo de material não influenciou significativamente na variação da carga de tração ou da força de puncionamento com o tempo de degradação natural no campo. No entanto, a variação destas propriedades com o tempo de degradação no laboratório é significativamente afetada pelo tipo de material. Especial atenção deve ser dada no uso de procedimento de umedecimento e secagem que gera variações por vezes não representativas das do campo.

6 – CONCLUSÕES

A implementação de um equipamento de grandes dimensões capaz de submeter amostras de grandes volumes a diferentes processos de degradação concomitantemente é fundamental para o estudo da durabilidade de materiais geotécnicos.

Uma metodologia para avaliação da degradação de materiais geotécnicos foi aplicada em dois geotêxteis tecidos e mostrou-se eficiente a partir do momento em que foi possível obter dados representativos da tendência de comportamento do material.

Os resultados apresentados mostram que o comportamento e alterabilidade do material estudado depende do processo de degradação. Isso se justifica sobretudo pelos mecanismos de degradação associados a cada procedimento de ensaio que promovem a degradação de forma diferenciada tanto no que diz respeito à velocidade de variação das propriedades quanto à forma e magnitude das variações. Como era de se esperar, o tipo de material também influencia significativamente o comportamento de alterabilidade para os diferentes processos de degradação. No caso em particular, a quantidade de aditivo foi o fator que gerou a mudança de comportamento.

O equipamento de degradação reproduziu o padrão de variação das propriedades de forma similar ao procedimento de degradação por lixiviação. Isso já era de se esperar tendo em vista que

o equipamento promove a degradação fundamentalmente por lixiviação. Neste sentido o funcionamento do equipamento é satisfatório.

É importante ressaltar que se faz necessária a implementação de estudos mais profundos para se definir os procedimentos para avaliação da durabilidade de materiais geotécnicos com maior confiabilidade.

7 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, FAPERJ, Furnas, Huesker e UENF pelo fomento e apoio à pesquisa.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT MB 964/79 (1979). *Determinação da Resistência ao Choque*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 8094/83 (1983). *Material metálico revestido e não-revestido – Corrosão por exposição à névoa salina*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 6465/84 (1984). *Agregados: Determinação da Abrasão Los Angeles*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 12696/92 (1992a). *Agregados – Verificação de comportamento mediante ciclagem artificial água-estufa*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 12042/92 (1992b). *Materiais inorgânicos - Determinação do desgaste por abrasão*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 12764/92 (1992c). *Rochas para revestimento – Determinação da resistência ao impacto do corpo duro*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 12768/92 (1992d). *Rocha para revestimento - Análise petrográfica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 13818/97 (1997). *Placas cerâmicas para revestimento. Especificações e métodos de ensaio. Anexo H: Determinação da Resistência ao Ataque químico*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

ASTM C88-63 (1963). *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*. Annual Book of ASTM Standards.

ASTM D4632-14 (2014). *Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles*. Annual Book of ASTM Standards.

ASTM D4644-08 (2008). *Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks*. Annual Book of ASTM Standards.

ASTM D6241-15 (2015). *Standard Test Method for Static Puncture Strength of Geotextiles and Geotextile-Related Products Using a 50-mm Probe*. Annual Book of ASTM Standards.

Cunha Pinto, V. (2006). *Estudo da degradação de geotêxteis tecidos*. Dissertação de Mestrado. Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. 150p.

EN 1097-1 (2011). *Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the resistance to wear (micro-Deval)*. CEN, Brussels, Belgium.

- Frazão, E.B. (1993). *Metodologia para avaliação da alterabilidade de rochas a partir de estudo experimental em amostras de basalto da U.H.E. de Três Irmãos*. Tese de Doutorado. Escola de Eng. de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil. 175p.
- Hypolito, R.; Valarelli, J.V. (1972). *Alteração experimental de diabásio*. Semana Paulista de Geologia Aplicada, São Paulo, Associação Paulista de Geologia Aplicada, n.º 4, pp. 103-122.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1981). *Rock Characterization Testing and Monitoring - ISRM Suggested Methods*, Ed. E.T. Brown, Pergamon Press, Oxford, 212p.
- Maia, P.C.A. (2001). *Avaliação do comportamento geomecânico e de alterabilidade de enrocamentos*. Tese de Doutorado. Departamento de Eng. Civil da PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil. 336p.
- Maia, P.C.A.; Sayão, A.S.F.J.; Nunes, A.L.L.S.; Antunes, F.S. (2002). *Avaliação experimental da alteração de enrocamentos*. Solos e Rochas, Revista Latino-americana de Geotecnia, ABMS/ABGE, v. 24, n. 2, pp. 129-139.
- Minette, E. (1982). *Quantificação geomecânica e de alterabilidade de um diorito*. Dissertação de Mestrado. PUC-Rio, RJ. 262p.
- Pinheiro, A.D.; Maia, P.C.A. (2004). *Avaliação experimental da durabilidade de materiais cerâmicos vermelhos*. I Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, São Carlos-SP, ABMS. 6p.
- Salles, R.O. (2006). *Durabilidade de geossintéticos em equipamento de degradação em laboratório*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 106p.
- Salles, R.O.; Maia, P.C.A. (2004). *Avaliação experimental de rochas ornamentais do norte do estado do Rio de Janeiro*. I Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, São Carlos-SP, ABMS. 6p.