

A DURABILIDADE DOS GEOSSINTÉTICOS: ESTIGMA OU FATOR DE SUSTENTABILIDADE

The durability of geosynthetics: stigma or sustainability factor

Maria da Graça Lopes^a, Madalena Barroso^b

^a Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal.

^b Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal

RESUMO – Este artigo pretende mostrar que, paralelamente ao sucesso da utilização dos geossintéticos em inúmeras aplicações, estes tiveram sempre de superar grandes desafios/estigmas para se impor no mercado, muitos deles relacionados com a sua durabilidade: numa 1ª fase era questionado se a sua durabilidade seria suficiente, tendo em consideração a vida útil das obras geotécnico-ambientais em que eram (e são) aplicados e mais recentemente, questionando a sua durabilidade excessiva, pondo em causa a sua sustentabilidade. Assim, pretende-se mostrar que a durabilidade dos geossintéticos é e sempre foi um fator de sustentabilidade e desmistificar esse estigma.

ABSTRACT – This paper intends to show that in parallel with the success of the use of geosynthetics in numerous applications, significant challenges/stigmas to impose themselves on the market had to be overcome, many regarding queries on durability: first, querying if the geosynthetics durability would be sufficient to go along with the service life of the geoenvironmental applications in which they were (and are) used. More recently querying their excessive durability, undermining its sustainability. Thus, it is intended to show that the durability of geosynthetics is and has always been a sustainability factor and to demystify that stigma.

Palavras Chave – Geossintéticos, durabilidade, sustentabilidade.

Keywords – Geosynthetics, durability, sustainability.

1 – INTRODUÇÃO

Os geossintéticos (geotêxteis, geogrelhas, georredes, geomembranas, geossintéticos bentoníticos, geocompósitos, etc.) são materiais sintéticos, fabricados a partir de polímeros distintos (dependendo da sua estrutura molecular, processo de fabrico e aditivos utilizados) usados em inúmeras aplicações de engenharia, com várias funções (separação, filtro, dreno, proteção, controle de erosão, estabilização, reforço e barreira). Os geotêxteis são usados principalmente como separação, filtro, reforço ou dreno. As geogrelhas são usadas como reforço para melhorar a resistência do solo ou de outros materiais. As georredes são usadas para drenagem. As geomembranas e geossintéticos bentoníticos são usados como barreiras em obras hidráulicas e armazenamento de resíduos. Um geocompósito, consistindo na combinação de um ou mais geossintéticos, pode desempenhar diferentes funções dependendo da aplicação e dos materiais que o incorporam.

O primeiro geotêxtil foi usado na construção de estradas nos Estados Unidos da América em 1920 (Keller e Berry, 2017). O primeiro geotêxtil para controle de erosão foi usado em 1950 na Flórida por Barrett (Barret, 1966). Em 1960, os geotêxteis foram extensivamente usados para

E-mails: graca.lopes@isel.pt (M. Lopes), mbarroso@lnec.pt (M. Barroso)

ORCID: orcid.org/0000-0002-6852-7955 (M. Lopes), orcid.org/0000-0002-0862-055X (M. Barroso)

controle de erosão, tanto na Europa como nos EUA. Em 1970, Giroud usou geotêxteis tecidos e não-tecidos como um filtro no paramento de montante da barragem de terra de Valcros (Giroud, 1992). Em 1971, Wager iniciou o uso de geotêxteis tecidos como reforço para aterros construídos em solos moles (Holtz e Massarsch, 1976).

A Figura 1(a) mostra como foi no início a evolução do mercado dos geossintéticos. A Figura 1(b) mostra como nos dias de hoje o mercado dos geossintéticos ainda não parou de crescer, perspetivando-se uma taxa de crescimento de 5,7% até ao final da atual década.

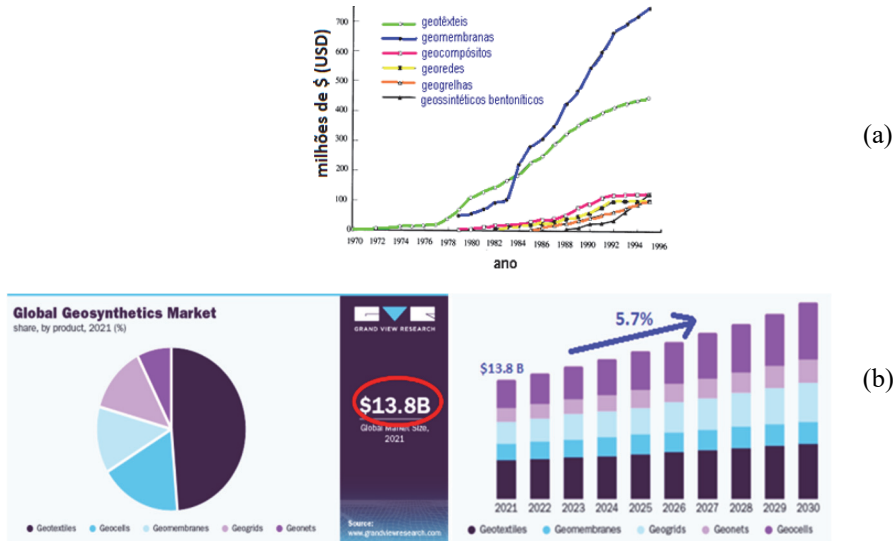


Fig. 1 – A evolução histórica do mercado dos geossintéticos e perspetiva futura.

Face a estes dados, pode afirmar-se que os geossintéticos tiveram um desenvolvimento extremamente rápido e diversificado (veja-se na Figura 1(a) a multiplicidade de materiais geossintéticos desenvolvidos). Mas, neste percurso de sucesso os geossintéticos tiveram de superar vários estigmas/desafios para se impor no mercado e substituir os materiais naturais ou, juntamente com estes, melhorar o comportamento das obras onde foram aplicados.

2 – O SUCESSO E OS DESAFIOS DOS GEOSSINTÉTICOS

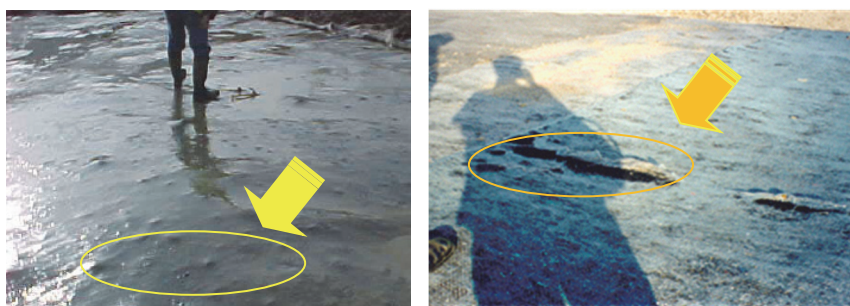
Nas últimas cinco décadas o emprego de geossintéticos tem vindo sempre a crescer, não só no número de aplicações e diversidade de campos de aplicação, mas também na importância do papel (funções) que têm vindo a desempenhar nas obras onde são incorporados, em áreas tão distintas como obras subterrâneas, obras hidráulicas, obras de suporte, obras de controlo da erosão, infraestruturas rodoviárias e ferroviárias e armazenamento de resíduos (Figura 2).



Fig. 2 – Diversidade de campos de aplicação dos geossintéticos (Guler, 2021; IGS, 2021).

Os geossintéticos começaram por desempenhar funções secundárias, mas pelo seu desempenho ao longo dos anos, conquistaram o papel principal em muitas obras de engenharia, aumentando a importância das funções desempenhadas (separação, filtro, dreno, proteção, controle de erosão, estabilização, reforço e barreira). Como referido anteriormente, neste percurso foi necessário superar vários desafios/estigmas, para se impor no mercado, contribuindo para melhorar o comportamento das infraestruturas onde são aplicados, nomeadamente sobre:

- qualidade do seu fabrico, para não pôr em causa o seu futuro desempenho
- suscetibilidade a danos físicos (Figura 3(a)) durante o seu transporte e aplicação, sendo necessário garantir a sua integridade nesse período, para não comprometer o seu desempenho durante a sua vida útil
- desconhecimento de instrumentos de dimensionamento
- desconhecimento do seu comportamento sob determinadas condições de utilização
- durabilidade, nomeadamente devido à:
 - suscetibilidade a ataques químicos (hidrólise e oxidação). Quanto à hidrólise é necessário cuidado ao especificar geossintéticos para ambientes com $\text{pH} \geq 9$. Relativamente à oxidação, para as poliolefinas (PP e PE), existem aditivos (antioxidantes e estabilizadores de UV) para retardar ou impedir que este fenómeno ocorra
 - suscetibilidade aos ultravioletas (Figura 3(b)). Existem estabilizadores (e.g. negro de carbono) para retardar ou impedir que este fenómeno ocorra. Em muitas aplicações os geossintéticos ficam cobertos, pelo que esta garantia se circunscreve ao período de armazenamento e instalação



(a)

(b)

Fig. 3 – Suscetibilidade dos geossintéticos a danos físicos (a) e aos UV (b).

Contudo, a maior parte dos problemas relatados envolvendo a aplicação de geossintéticos são sobretudo devido à má seleção, ao incorreto dimensionamento ou à deficiente técnica de aplicação destes materiais e não devido a problemas de durabilidade, até porque a sua vida útil pode ser aumentada, bastando para tanto juntar alguns aditivos durante o fabrico.

3 – A INCERTEZA DA VIDA ÚTIL DOS GEOSSINTÉTICOS

Devido ao estigma da perda no desempenho a longo prazo dos geossintéticos, inúmeros estudos de envelhecimento acelerado e ensaios forenses foram realizados, mas mais do que estes, o desempenho real nas diversas obras em que os geossintéticos foram aplicados, mostram que os receios existentes eram infundados (Figura 4):

- Quando utilizados com a função de separação em infraestruturas rodoviárias, os geossintéticos têm mostrado o seu bom desempenho por mais de 30-40 anos. Em camadas

betuminosas, os geossintéticos reduzem os custos de manutenção e proporcionam uma vida útil duas a três vezes superior à da mesma instalação sem geossintéticos

- Na função de reforço em estruturas de suporte têm demonstrado terem uma vida útil de 50 anos, ou mais
- Em canais, estações de tratamento de águas residuais e outras infraestruturas similares, os geossintéticos também mostraram ter uma vida útil de décadas (30-40 anos)
- Em aterros de resíduos (perigosos, industriais ou domésticos) são usados quase todo o tipo de geossintéticos e em grande escala, protegendo as águas subterrâneas, o meio ambiente e a saúde humana. Por exemplo, a expectativa de vida útil das barreiras geossintéticas (vulgarmente designadas por geomembranas) em aterros de resíduos é de mais de quatro séculos.

- em infraestruturas rodoviárias > 40 anos



- em estruturas de suporte > 50 anos



- em canais, estações de tratamento de águas > 30-40 anos



Fig. 4 – Durabilidade dos geossintéticos em diferentes aplicações (Guler, 2021; IGS, 2022; IGS, 2021; GSI, sem data).

Contudo, como todos materiais de engenharia, devem ser usados apropriadamente. Deve haver um projeto específico para cada tipo de obra e local, cumprimento rigoroso das especificações de construção e proteção adequada dos geossintéticos pós-construção. A sua seleção também deve ser efetuada com base nas propriedades de engenharia necessárias e não apenas no preço.

Quando se pensava que o estigma da incerteza da vida útil dos geossintéticos tinha sido superado, este tema surge de novo, mas agora colocando o problema de forma inversa, ou seja, o receio da durabilidade dos geossintéticos ser excessiva, pondo em causa a sua sustentabilidade.

4 – A DURABILIDADE E A SUSTENTABILIDADE DOS GEOSSINTÉTICOS

As enormes quantidades de plástico produzidas no mundo, a dependência da população em relação a esse material, o seu elevado tempo de decomposição e a incapacidade de lidar apropriada e ecologicamente com esses materiais têm alarmado organismos internacionais, ONGs, ativistas, membros da sociedade civil e governos (eCycle, sem data). Por isso, é muito importante fazer a distinção dos plásticos que são realmente necessários para a sociedade e quais os que são realmente descartáveis e definir abordagens diferentes para cada grupo.

Nos dias que correm, o plástico é visto por alguns como um material problemático. Parece que se vive numa época de “PLASTICOFOBIA”. No entanto, o momento é de crescente importância e presença de materiais sintéticos/plásticos em áreas como a medicina, eletrônica, aeronáutica, indústria automobilística, alimentar, vestuário, calçado, entre outras, com inúmeros benefícios para a sociedade (Callapez, 2019). Para evitar o sentimento populista de “colocar todos os produtos sintéticos no mesmo saco”, é necessário um entendimento adequado desses materiais para alcançar uma imagem positiva e um desenvolvimento sustentável e inovador daqueles que sejam considerados absolutamente necessários.

Assim, para os geossintéticos é fundamental mostrar, por um lado a sua importância e, em muitos casos, a sua imprescindibilidade nas obras em que são aplicados (e a importância vital dessas obras para a humanidade) e, por outro lado, demonstrar que, relativamente a outras soluções alternativas, são mais sustentáveis.

No ano 2015 os Estados-membros da Organização das Nações Unidas (ONU) aprovaram a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável para os 15 anos seguintes, que estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Figura 5).



Fig. 5 – ODS - Objetivos de desenvolvimento sustentável (ONU, 2015).

Dixon *et al.* (2017) foram os primeiros autores a mencionar a agenda 2030 e o papel que os geossintéticos poderiam desempenhar para alcançar alguns destes objetivos. Seguidamente mostra-se como os geossintéticos podem ser importantes para atingir alguns destes objetivos (IGS, 2021a).

4.1 – A importância dos geossintéticos na agricultura (ODS 2)

Com a previsão da população mundial ultrapassar os 10 mil milhões até 2100, é vital para um mundo saudável, melhorar a eficiência agrícola e controlar os gases nocivos das operações agrícolas. Os geossintéticos na agricultura podem contribuir, nomeadamente (IGS, 2021a):

- protegendo contra a erosão do solo, por meio da inclusão de geotêxteis de coco e juta que se degradam e, no caso da juta, evitam que os pesticidas sejam libertados nas águas de irrigação
- protegendo os tubos de drenagem, ajudando os agricultores a manter adequados grau de saturação e estabilização do solo
- atuando como cobertura do solo:
 - controlam o crescimento das culturas. Os geotêxteis não tecidos podem permitir a livre circulação da água, ar, fertilizantes e nutrientes, enquanto fornecem um ambiente que evita o excesso de água e aceleram o crescimento das culturas;
 - protegem contra as pragas, excesso de vento e sol, durante o crescimento e armazenamento
- reduzindo a infiltração de água, prevenindo a erosão das margens e melhorando a qualidade da água nas pisciculturas
- atuando como barreiras impermeáveis na criação de ambientes para a agricultura urbana

4.2 – A importância dos geossintéticos na preservação da água (ODS 6)

A escassez de água é um problema global. Em 2015, as Nações Unidas revelaram que a escassez de água afetava dois quintos da população mundial. A solução está num melhor controle do armazenamento e da distribuição da água. Os geossintéticos (sobretudo na sua função de barreira) desempenham um papel fundamental na captura, transporte, armazenamento e distribuição de água potável em barragens, canais, reservatórios e condutas, nomeadamente (IGS, 2021a):

- impedindo as fugas quando as geomembranas são usadas como barreira em canais (está comprovado que os revestimentos com geomembranas têm 10 vezes menos fugas do que os revestimentos em betão)
- possibilitando o transporte de água em túneis hidráulicos
- preservando a qualidade e o abastecimento de água, evitando a sua contaminação, quando utilizados como revestimento e cobertura de reservatórios
- necessitando de uma menor quantidade de água para a sua produção (dos geossintéticos) relativamente a soluções alternativas (por exemplo a indústria do betão é o segundo maior consumidor de água depois da agricultura)

4.3 – A importância dos geossintéticos no desenvolvimento económico (ODS 8 e ODS 9)

O uso de geossintéticos em aplicações de engenharia civil muitas vezes fornece benefícios financeiros, reduzindo o custo de materiais naturais, reduzindo o desperdício e geralmente proporcionando um uso mais eficiente dos recursos em comparação com soluções tradicionais baseadas em solo, betão e aço (Jones, 2015). Em muitos casos, o benefício económico é tal que o uso de geossintéticos tornou-se a prática mais comum, podendo contribuir nomeadamente (IGS, 2021a):

- gerando redução de custos ao:
 - reduzir a quantidade ou a necessidade de usar solos em obras de engenharia civil
 - acelerar a construção
 - melhorar o desempenho a longo prazo, reduzindo as reparações e as perturbações associadas
 - melhorar a sustentabilidade
- contribuindo para o crescimento económico no âmbito de grandes investimentos em infraestruturas de engenharia civil
- protegendo a economia, mitigando as catástrofes naturais e as perdas económicas resultantes

- contribuindo para a realização de economias significativas no plano ambiental, incluindo uma maior rapidez construtiva e a redução do uso de materiais e de manutenções

4.4 – A importância dos geossintéticos nas infraestruturas de transporte (ODS 9)

No mundo atual, infraestruturas de transporte eficazes e modernas podem quebrar barreiras entre línguas e culturas, assim como criar oportunidades. Um mundo unido é um mundo melhor. Seja unindo áreas isoladas ao resto do mundo, abrindo possibilidades económicas a pessoas anteriormente excluídas, ou aumentando a produtividade por meio da redução dos tempos de transporte, os geossintéticos podem contribuir, nomeadamente (IGS, 2021a):

- facilitando a construção de estradas: na separação de camadas e na estabilização da base da infraestrutura, para além de assegurarem simultaneamente a drenagem lateral
- podendo ser usados para separar e reforçar as camadas de suporte das ferrovias, promovendo uma boa drenagem, prevenindo a contaminação do balastro e dissipando as tensões associadas ao movimento e ao peso dos comboios

4.5 – A importância dos geossintéticos na proteção do ambiente (ODS 13 e ODS 15)

A gestão criteriosa de resíduos, o emprego de métodos construtivos racionais e sensatos e a prevenção da contaminação da água, devido à erosão e à infiltração, são essenciais para a prosperidade do nosso planeta. Os geossintéticos estão na vanguarda em termos de ajuda à preservação da qualidade do ambiente, assegurando a proteção contra a contaminação, abaixo e acima da superfície do solo, e contribuindo para uma melhoria constante dos métodos construtivos com reduzida pegada ecológica (emissão de dióxido de carbono). Os geossintéticos podem contribuir, nomeadamente (IGS, 2021a):

- evitando a contaminação causada pelos resíduos, quando usados como barreiras em aterros sanitários
- evitando a infiltração de água e a migração de gás nos sistemas de cobertura dos aterros de resíduos
- evitando a contaminação causada por resíduos radioativos através do seu armazenamento temporário impermeabilizando-os com geomembranas
- reduzindo os riscos ambientais associados às atividades mineiras, por meio do seu uso em sistemas de impermeabilização em pilhas de lixiviação, barragens de rejeitados, lagoas e canais
- facilitando o tratamento de águas residuais quando usados em leitos de macrófitas
- promovendo a desidratação de lamas por meio de tubos de geotêxtil
- reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, durante a construção de obras, por permitirem o uso conjunto com materiais naturais de origem local

4.6 – A importância dos geossintéticos na mitigação de catástrofes naturais (ODS 15)

Inundações, deslizamentos de terra e secas podem causar mortes e devastações. À medida que a população, os aglomerados populacionais e as alterações climáticas aumentam, a Terra vai sofrer pressões nunca sentidas. Os geossintéticos podem contribuir, nomeadamente (IGS, 2021a):

- prevenindo a erosão costeira e ajudando a criar unidades hidráulicas de absorção de energia, estáveis sob a ação do seu peso, estruturalmente seguras (adequadas) para zonas costeiras
- providenciando ao longo do litoral um ambiente de recife artificial com geotêxteis, seguro para os humanos, ao mesmo tempo em que atraem plantas e animais marinhos logo após a construção
- protegendo contra inundações enquanto parte integrante de barragens novas ou reabilitadas, atuando como filtros horizontais ou verticais, reforçando os diques de proteção, protegendo a superfície contra a erosão e prevenindo os danos causados por animais escavadores

- fornecendo uma proteção a curto prazo contra inundações utilizando conjuntamente solos locais
- protegendo contra deslizamentos de terra, prevenindo a erosão do solo e reforçando, estabilizando e consolidando os taludes suscetíveis a terremotos, ventos fortes ou à erosão por rios
- podendo funcionar como soluções técnicas para monitorização contínua durante eventos climáticos extremos, combinando, por exemplo, geotêxteis com fibras óticas, permitindo medir a temperatura ou detetando precocemente zonas instáveis.

4.7 – A sustentabilidade das soluções com geossintéticos

Após mostrar a importância dos geossintéticos para o desenvolvimento sustentável do nosso planeta, em cerca de metade dos objetivos (ODS 2, 6, 8, 9, 13 e 15) considerados fundamentais, é agora importante mostrar a sustentabilidade das soluções com geossintéticos relativamente a soluções alternativas tradicionais, nomeadamente usando outros materiais manufaturados (o betão) ou materiais naturais (solos).

Existem inúmeras abordagens válidas que podem ser usadas para avaliar a sustentabilidade de uma determinada solução de engenharia, incluindo aspetos sociais, ambientais e económicos. No entanto, como os acordos e metas internacionais são definidos com base nas emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE), essa é uma medida (pragmática) que pode ser usada para avaliar se os geossintéticos constituem uma solução de engenharia sustentável (Dixon *et al.*, 2017).

Pode-se definir Sustentabilidade como a capacidade do ser humano interagir com o mundo, preservando o meio ambiente para não comprometer os recursos naturais das gerações futuras (Wikipédia, sem data) e definir-se Carbono Incorporado (CI) como a soma do impacto de todas as emissões de gases de efeito estufa atribuídas a um material ao longo de seu ciclo de vida (abrange desde a sua extração, ao fabrico, aplicação (ou construção), manutenção, até o fim da vida útil e o seu descarte) (Koerner *et al.*, 2019).

O método da pegada de carbono permite quantificar as emissões totais de GEE (independentemente do tipo de gás emitido, que se pode converter em dióxido de carbono equivalente) causadas direta e indiretamente por uma pessoa, organização, evento ou produto. A pegada de carbono cobre todas as emissões ao longo da vida de um produto, serviço ou solução, sendo CI um indicador das emissões de carbono acumuladas na solução adotada (Dixon *et al.*, 2017).

A Figura 6 mostra um exemplo de como se pode quantificar o CI de um material geossintético.

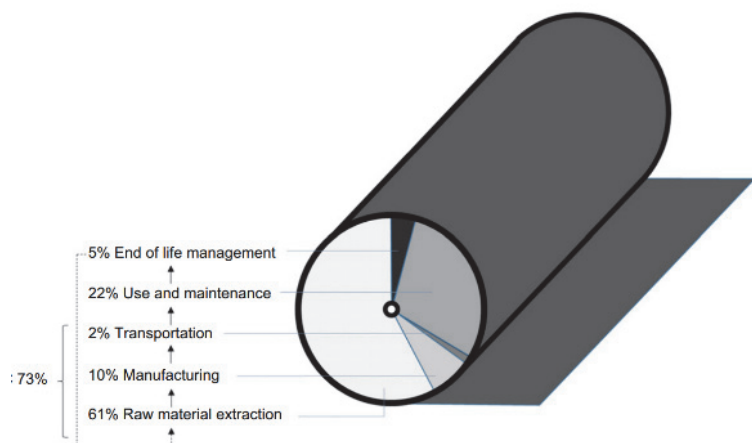


Fig. 6 – Exemplo de quantificação de CI de um geossintético (Dixon *et al.*, 2017)

A comparação da pegada de carbono calculada para as diferentes soluções alternativas pode ser usada para selecionar a opção mais "sustentável". A título de exemplo mostra-se na Figura 7 a comparação da pegada de carbono de uma cobertura de um aterro de resíduos, efetuada de forma tradicional (usando diferentes camadas de solo) e uma cobertura efetuada com geomembrana exposta, tendo-se concluído que se obtém uma redução de 82% da pegada de carbono na cobertura com geomembrana exposta (Koerner *et al.*, 2019).

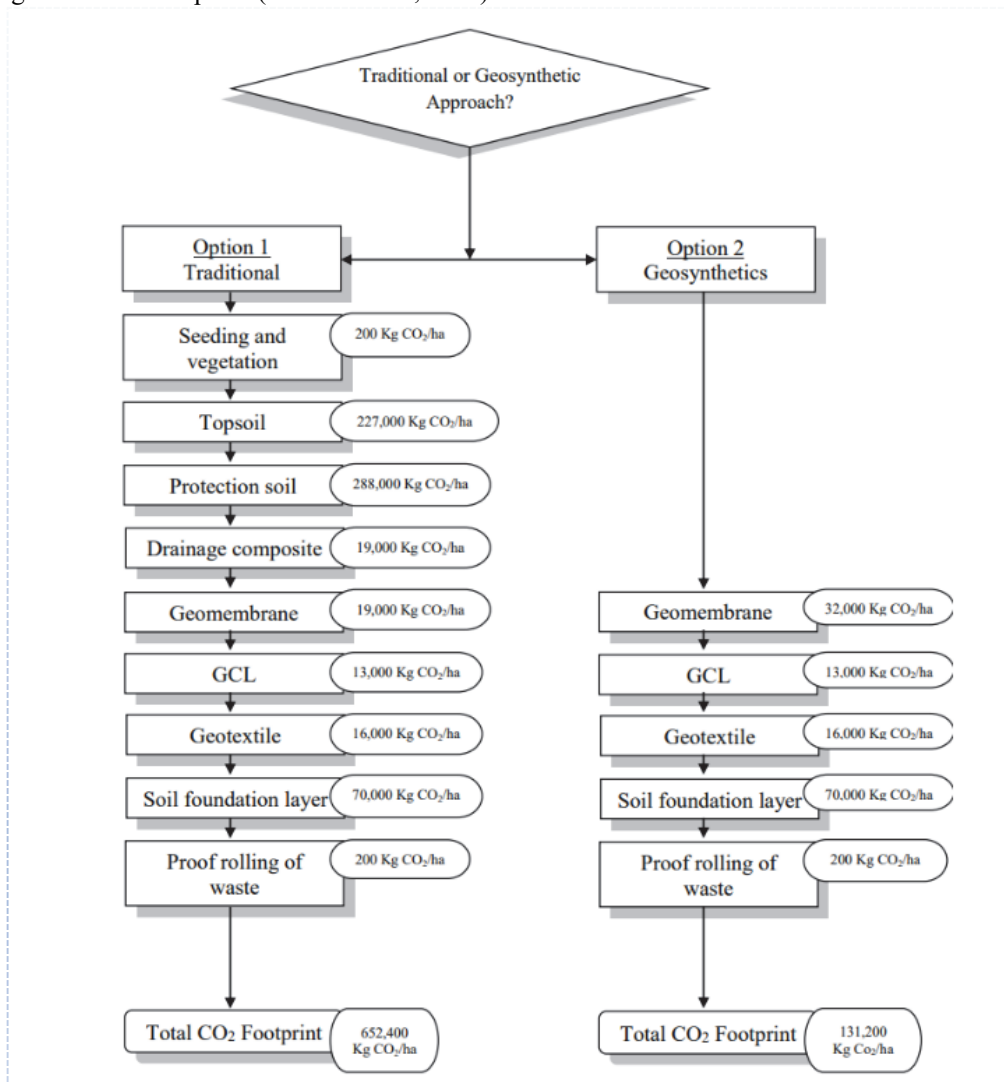


Fig. 7 – Comparação da pegada de carbono de uma cobertura de aterro de resíduos tradicional versus uma cobertura com geossintéticos (Koerner *et al.*, 2019)

A Associação Europeia dos Fabricantes de Geossintéticos solicitou um estudo sobre a sustentabilidade de soluções que usam materiais de construção tradicionais versus soluções com geossintéticos. As conclusões da análise efetuada são relatadas por Stucki *et al.* (2011). O estudo forneceu informações qualitativas e quantitativas abrangentes sobre a sustentabilidade de materiais de construção geralmente aplicados (betão) versus geossintéticos. A motivação foi fornecer aos membros daquela Associação as ferramentas que poderiam usar para comunicar os benefícios dos

geossintéticos aos donos de obra, projetistas e empreiteiros. Foram considerados quatro tipos de aplicação: filtração; estabilização de fundações; drenagem de aterros de resíduos; e muros de contenção. Mas outros estudos têm sido reportados para outras aplicações de geossintéticos (Dixon *et al.*, 2017).

De uma forma geral pode concluir-se que os geossintéticos são importantes para o desenvolvimento sustentável porque, como referido por Koerner (2012):

- podem substituir matérias-primas escassas
- podem simplificar os projetos combinando os geossintéticos com o solo ou outros materiais
- podem tornar possíveis projetos anteriormente impossíveis
- têm normalmente um custo competitivo relativamente a soluções alternativas tradicionais
- têm uma pegada de carbono muito inferior à de soluções alternativas tradicionais

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo pretendeu-se mostrar a importância dos geossintéticos e em muitos casos a sua imprescindibilidade nas obras em que são aplicados (e a importância vital dessas obras para a humanidade). Pretendeu-se, igualmente, demonstrar que, relativamente a outras soluções alternativas, a solução com geossintéticos é mais sustentável:

- mostrou-se como os geossintéticos podem contribuir para a sustentabilidade do planeta em áreas fundamentais (e tão diversificadas) como a agricultura, preservação da água, desenvolvimento económico, infraestruturas de transportes, proteção do meio ambiente e na mitigação de catástrofes naturais, em conformidade com os objetivos de desenvolvimento sustentável definidos pela ONU, em 2015
- mostrou-se como a sustentabilidade das soluções com geossintéticos relativa a outras soluções alternativas tradicionais (com betão ou solo), pode ser comprovada através da pegada de carbono
- mostrou-se que uma das maiores contribuições dos geossintéticos para a sustentabilidade é a sua durabilidade, pois esta propriedade permite aumentar o desempenho (e reduzir a necessidade de manutenção) e a vida útil das obras de engenharia em que são inseridos, economizando-se recursos, custos e tempo

A preservação do ambiente como um todo e, especificamente, dos seus recursos naturais é da maior importância para as gerações atuais e futuras. Neste contexto, os geossintéticos podem fornecer soluções de engenharia sustentáveis para problemas geotécnicos e geoambientais, reduzindo o consumo de materiais naturais e causando menor impacto no ambiente.

Grande parte do ruído negativo sobre o uso de plásticos baseia-se na desinformação. Existe uma enorme discrepância, por exemplo, entre os materiais de plástico que flutuam no oceano, e os geossintéticos (plásticos) que realmente protegem a vida marinha, prevenindo por exemplo a erosão costeira.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barret, R.J. (1966). *Use of plastic filters in coastal structures*. Proceedings of the 16th International Conference Coastal Engineers, Tokyo, September. <https://doi.org/10.9753/icce.v10.61>

Callapez, M.E. (2019). *Plástico nosso de cada dia. Um olhar sobre as histórias dos plásticos*. SIC notícias, 20 de junho.

Dixon, N.; Fowmes, G.; Frost, M. (2017). *Global challenges, geosynthetic solutions and counting carbon*. GeosyntheticsInternational, 24, (5), pp. 451–46. <https://doi.org/10.1680/jgein.17.00014>

- eCycle (sem data). *Impactos do plástico no meio ambiente*. Acedido em 19/01/2023. [<https://www.ecycle.com.br/tempo-de-decomposicao-do-plastico>].
- Giroud, J.P. (1992). *Geosynthetics in dams. Two decades of experience*. Geotechnical Fabrics Report 10 (10):5, July/August.
- GSI (sem data). *Liner & installation for wastewater*. Geosynthetics.com.
- Guler, E. (2021). *Geosynthetic Functions*. IGS University Online Lecture Series.
- Holtz, R.D.; Massarsch, K.R. (1976). *Improvement of the stability of an embankment by piling and reinforced Earth*. Proceedings of the 6th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vienna, Austria, vol. 1.2.
- IGS (2021). *Retrofitting Irrigation Canals with Geosynthetics: Seepage Control*. Technical Committee on Hydraulics (TC-H).
- IGS (2021a). *Preparar o terreno para um futuro promissor como é que os geossintéticos servem a sociedade após meio século*. Ebook, versão portuguesa. Comissão Portuguesa de Geossintéticos. Acedido em 23 de janeiro de 2023. [https://www.geosyntheticsociety.org/wp-content/uploads/2021/10/IGS_Ebook_Portuguese_V4.pdf]
- IGS (2022). *Fonctions des Géosynthétiques*. Leaflets.
- Jones, D.R.V. (2015). *Using geosynthetics for sustainable development*. Proceedings of the 2nd International GSI-Asia Geosynthetics Conference, Seoul, Korea.
- Keller, G.R.; Berry, J. (2017). *History of geosynthetics use on national forest roads*. Geosynthetics. ATA Publications, June.
- Koerner, R.M. (2012). *Designing with Geosynthetics*. 6th ed, Xlibris, Bloomington, IN, USA.
- Koerner, R.M.; Koerner J.R.; Koerner G.R. (2019). *Relative sustainability (i.e., embodied carbon) calculations with respect to applications using traditional materials versus geosynthetics*. GSI White Paper #41. Geosynthetic Institute.
- ONU (2015). *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e os seus 17 ODS*. Cimeira de Nova Iorque. Resolução tomada a 25 de setembro.
- Stucki, M.; Büsser, S.; Itten, R.; Frischknecht, R.; Wallbaum, H. (2011). *Comparative Life Cycle Assessment of Geosynthetics Versus Conventional Construction Materials*. Report for the European Association of Geosynthetic Manufacturers. ESU-services GmbH and ETH Zürich, Uster, Switzerland.
- Wikipédia (sem data). *Sustentabilidade*. Acedido em 26 de setembro 2022. [<https://pt.wikipedia.org/wiki/Sustentabilidade>].