

AValiação Técnica, Econômica e Ambiental do Uso de Bolsas de Geotêxtil em Obras de Proteção Fluvial

Bruna Todescan ¹; Wladimir Caressato Junior ²; Gabriel Diniz Lima ³; Mariana Rodrigues Ribeiro dos Santos ⁴

RESUMO – Eventos de inundação e processos erosivos têm se intensificado em função das mudanças climáticas, demandando soluções de proteção fluvial cada vez mais eficientes. Entretanto, métodos convencionais, como enrocamentos e estruturas rígidas em concreto, frequentemente apresentam elevados custos de implantação, grande demanda logística e impactos ambientais significativos. Nesse contexto, o presente trabalho avalia técnica, econômica e ambientalmente o uso de bolsas de geotêxtil como alternativa para obras de proteção fluvial. A metodologia adotada baseou-se em revisão bibliográfica sobre critérios de dimensionamento e estabilidade aplicáveis às bolsas de geotêxtil, seguida da definição de uma seção típica de proteção marginal e posterior comparação com uma solução convencional equivalente em enrocamento. As análises comparativas indicaram redução aproximada de 39% nos custos de implantação, redução de 47% no prazo executivo e diminuição de 34% nas emissões de CO₂ equivalente (CO₂e). Além dos ganhos econômicos e ambientais, a solução apresentou vantagens relacionadas à simplicidade executiva, ao aproveitamento de materiais disponíveis localmente e à redução da necessidade de transporte de grandes volumes de rocha. Os resultados demonstram que a utilização de bolsas de geotêxtil constitui uma alternativa tecnicamente viável e alinhada aos princípios de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID).

Palavras-Chave – Proteção fluvial, Bolsas de geotêxtil, LID.

ABSTRACT– Flood events and erosion processes have intensified due to climate change, demanding increasingly efficient river protection solutions. However, conventional methods, such as riprap and rigid concrete structures, often involve high implementation costs, significant logistical demands, and considerable environmental impacts. In this context, the present study evaluates the technical, economic, and environmental performance of geotextile bags as an alternative solution for river protection works. The adopted methodology was based on a literature review regarding design and stability criteria applicable to geotextile bags, followed by the definition of a typical riverbank protection cross-section and its comparison with an equivalent conventional riprap solution. The comparative analyses indicated an approximate 39% reduction in implementation costs, a 47% reduction in construction time, and a 34% decrease in CO₂ equivalent (CO₂e) emissions. In addition to the economic and environmental benefits, the proposed solution presented advantages related to construction simplicity, the use of locally available materials, and the reduction in transportation requirements for large rock volumes. The results demonstrate that the use of geotextile bags constitutes a technically feasible alternative aligned with the principles of Low Impact Development (LID).

Key-words – River protection, Geotextile bags, LID.

1) TDM Geossintéticos Brasil, Pç. Emilio Marconato, 1.000 – Distrito Industrial, Jaguariúna-SP, 13916-074, Brasil. btodescan@tdmbrasil.com.br

2) TDM Brasil, Pç. Emilio Marconato, 1.000 – Distrito Industrial, Jaguariúna-SP, 13916-074, Brasil. wcaressato@tdmbrasil.com.br

3) FECFAU-UNICAMP, R. Saturnino de Brito, 224 – Cidade Universitária, Campinas-SP, 13083-889, Brasil. g176543@dac.unicamp.br

4) FECFAU-UNICAMP, R. Saturnino de Brito, 224 – Cidade Universitária, Campinas-SP, 13083-889, Brasil. mrrs@unicamp.br

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas transcendem o aquecimento global, impactando severamente a disponibilidade hídrica em meios urbanos, que funcionam como epicentros onde esses efeitos são amplificados. O cenário atual é marcado por um paradoxo hídrico: a intensificação de chuvas extremas que sobrecarregam sistemas de drenagem e a ocorrência de estiagens severas que ameaçam a segurança das populações. Segundo o IPCC (2021), a influência humana aquece a atmosfera de forma inequívoca, resultando em alterações persistentes nos padrões do clima que exigem abordagens integradas para enfrentar incertezas crescentes.

Nesse contexto, a proteção das margens fluviais torna-se uma atividade vital para promover a resiliência urbana e aproximar as cidades do cumprimento do ODS 11. Entretanto, a engenharia enfrenta um desafio econômico: modelos preditivos indicam a necessidade de extensas proteções, mas as soluções convencionais (baseadas em estruturas rígidas de concreto ou rocha, por exemplo) demandam orçamentos elevados que podem inviabilizar a execução em regiões com recursos limitados.

Para contornar esse obstáculo, a utilização de bolsas de geotêxtil surge como uma alternativa que permite reduzir custos ao utilizar materiais disponíveis na região do projeto. Ao permitir o preenchimento com o próprio solo local, essa tecnologia reduz drasticamente a necessidade de transporte, diminuindo a emissão de gases de efeito estufa (CO₂e) e a pegada ambiental da obra.

Diante da insuficiência das infraestruturas convencionais, emerge um novo paradigma focado em soluções que integrem a funcionalidade dos ecossistemas ao planejamento urbano. Conforme defendido por Mosisa *et al.* (2025), o uso de abordagens adaptativas para restaurar e proteger ecossistemas é fundamental para proporcionar bem-estar humano e benefícios à biodiversidade simultaneamente. A Figura 1 demonstra uma proteção fluvial tradicional em enrocamento paralela às bolsas de geotêxtil.



Figura 1 – (a) Solução tradicional em enrocamento e (b) alternativa com bolsas de geotêxtil.

Além dos aspectos econômicos e ambientais relacionados à redução de emissões, soluções baseadas em geossintéticos preenchidos com solo local favorecem a integração da obra ao ambiente natural. Diferentemente de estruturas rígidas, as bolsas de geotêxtil permitem o acúmulo de sedimentos e o estabelecimento gradual da vegetação (Figura 1b), contribuindo para a recuperação paisagística das margens e para a criação de micro-habitats, aspectos importantes em projetos de revitalização fluvial.

METODOLOGIA

A base metodológica desta pesquisa estrutura-se em uma abordagem técnico-comparativa, dividida em etapas que integram critérios de dimensionamento hidráulico-geotécnico à análise de sustentabilidade ambiental. Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre a utilização de

bolsas de geotêxtil em obras de proteção fluvial, contemplando critérios de dimensionamento, estabilidade e recomendações executivas aplicadas a estruturas hidráulicas.

Em seguida, estabeleceram-se os critérios de projeto para o dimensionamento da estrutura, aplicando métodos de equilíbrio limite para avaliação da estabilidade interna e externa da solução, incluindo verificações de deslizamento, tombamento e estabilidade global, além de critérios de equivalência para substituição de estruturas convencionais em enrocamento, conforme as metodologias propostas por Pilarczyk (2000) e Caressato Junior et al. (2024).

Posteriormente, foram compiladas as considerações executivas e logísticas, com foco nas especificações granulométricas do material de preenchimento das bolsas, buscando garantir características drenantes e minimizar a plasticidade do solo, priorizando-se a utilização de materiais disponíveis localmente.

Por fim, conduziu-se uma análise comparativa entre a solução proposta e uma seção convencional equivalente em enrocamento, envolvendo aspectos relacionados a custos, prazo executivo e emissões de CO₂e. A avaliação ambiental foi desenvolvida com base nas recomendações da EPA e normas ISO, analisando a aderência da tecnologia aos princípios de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) e sua contribuição para estratégias de resiliência urbana e preservação dos recursos hídricos.

BOLSAS DE GEOTÊXTIL

Segundo Koerner (1994), as bolsas de geotêxtil comumente são em Poliéster (PET) ou Polipropileno (PP), conforme a Figura 2. Utiliza-se geotêxtil tecido, empregando um processo de costura com linha de alta tenacidade, garantindo alta resistência e durabilidade (Fierro, 2024).

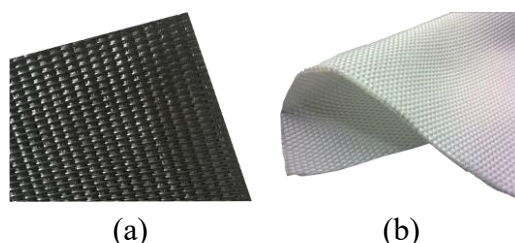
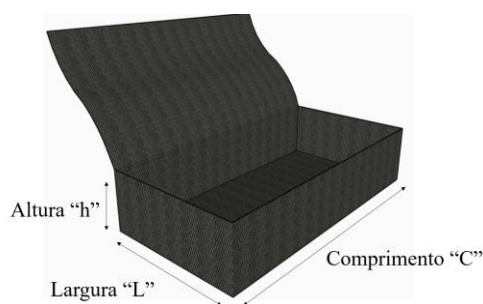


Figura 2 – Geotêxtil Tecido de (a) Polipropileno PP e (b) Poliéster PET. (Fonte: Caressato, 2024).

A Figura 3 apresenta dimensões diversas possíveis de se fabricar. A bolsa é preparada para resistir a danos de instalação e possui durabilidade suficiente para projetos de proteção fluvial.



C (m)	L (m)	h (m)	Volume (m ³)	Material
5,00	2,40	1,0	12,00	PET
5,00	2,40	1,0	12,00	PP
4,50	2,30	1,0	10,35	PET
4,50	2,30	1,0	10,35	PP
0,94	0,94	1,0	0,88	PP

Figura 3 – Dimensões típicas das bolsas de geotêxtil.

MATERIAL DE PREENCHIMENTO

Segundo Caressato *et al.* (2024), é preferível que o material de preenchimento das bolsas de geotêxtil seja majoritariamente granular, evitando-se utilizar materiais com teor excessivo de finos e material orgânico. Uma possível referência de materiais pode ser:

- Solos que não excedam 20-30 % de material passante na peneira #200 (0,075 mm);
- Solos que não excedam 10% de partículas acima de 75 mm;
- Areia, brita ou brita com areia;
- Materiais de boa drenagem;
- Solos não plásticos (N.P.).

Tais limitações ocorrem em decorrência do material de preenchimento da bolsa de geotêxtil ser a estrutura de suporte, não devendo variar excessivamente em serviço, seja em volume ou em capacidade de suporte.

A Figura 4 resume o processo construtivo das bolsas de geotêxtil e o processo de preenchimento (sem a necessidade de equipamento de bombeamento) com material drenante.



Figura 4 – (a) Montagem, (b) preenchimento e (c) fechamento das bolsas.

DIMENSIONAMENTO DAS BOLSAS DE GEOTÊXTEL

Diâmetro de rocha equivalente para uma bolsa de geotêxtil

Segundo Pilarczyk (2000), ao considerar a bolsa de geotêxtil equivalente a uma “rocha artificial” é possível avaliar este elemento com um bloco, que deve sua estabilidade ao baixo centro de gravidade próprio e diminutas pressões transmitidas ao subleito. A Equação 1 descreve o cálculo do diâmetro equivalente.

$$D = \sqrt[3]{\frac{M}{\rho_s}} = \sqrt[3]{\frac{W}{\gamma_s}} \quad (1)$$

Onde,

- D : diâmetro equivalente [m];
- M : massa de enchimento do saco de geotêxtil [kg];
- ρ_s : massa específica do material [kg/m³];
- W : peso de enchimento do saco geotêxtil [kN];
- γ_s : peso específico do enchimento volumétrico [kN/m³].

O dimensionamento pode ser realizado considerando os parâmetros supracitados correspondentes ao material de preenchimento, substituindo o material rochoso.

Avaliação de custos

Comprando a solução proposta na Figura 6 a uma equivalente em enrocamento para um comprimento de proteção de 5 km, é possível observamos uma redução de 39% nos custos ao utilizar bolsas de geotêxtil, conforme apontado na Figura 7.

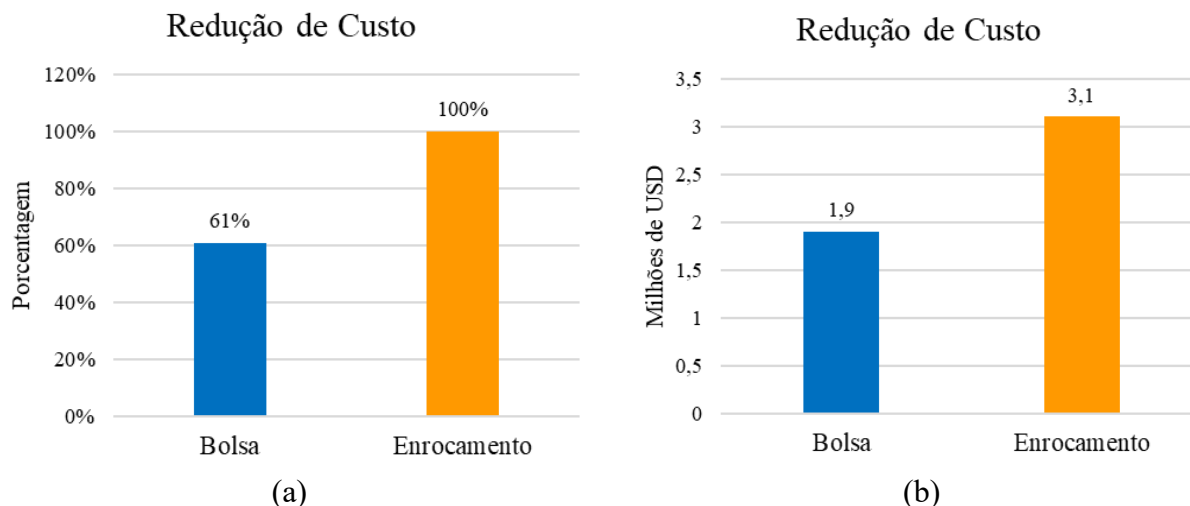


Figura 7 – Redução de custos: (a) em porcentagem e (b) em milhões de dólares.

Avaliação de tempo

Já em relação aos prazos, como apontam as Figura 8 e 9, nota-se uma redução de 46,7% no tempo total de execução da obra quando utilizadas as bolsas de geotêxtil.

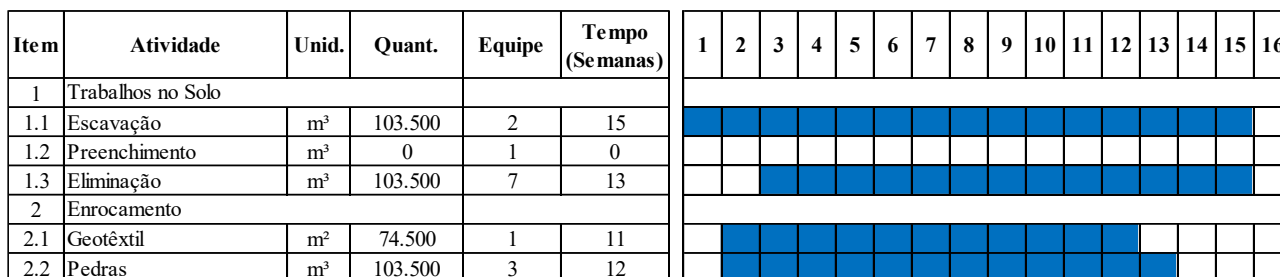


Figura 8 – Cronograma de obras da solução em enrocamento (aproximadamente 15 semanas).

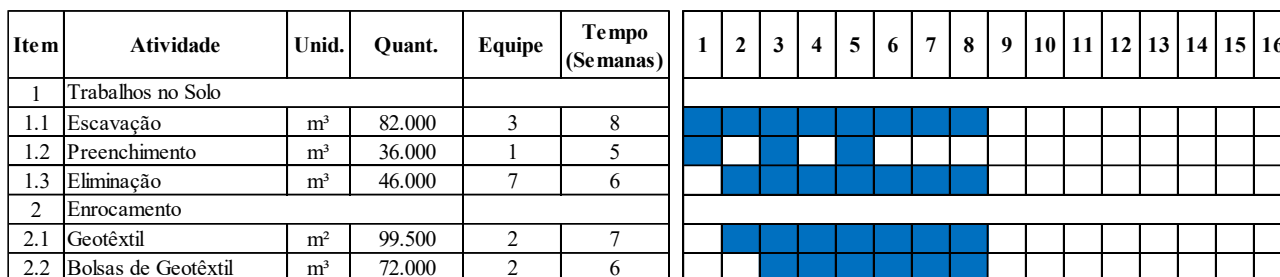


Figura 9 – Cronograma de obras da solução em bolsa de geotêxtil (aproximadamente 8 semanas).

Avaliação da redução na emissão de gás carbônico

Finalmente, considerando o consumo de combustíveis e as emissões oriundas dos processos de fabricação e transporte dos materiais geossintéticos, seguindo recomendações da EPA e ISO, foi possível identificar uma redução de 34% em toneladas métricas de CO₂e ao utilizar as bolsas de geotêxtil na construção, em substituição ao enrocamento, conforme a Figura 11.

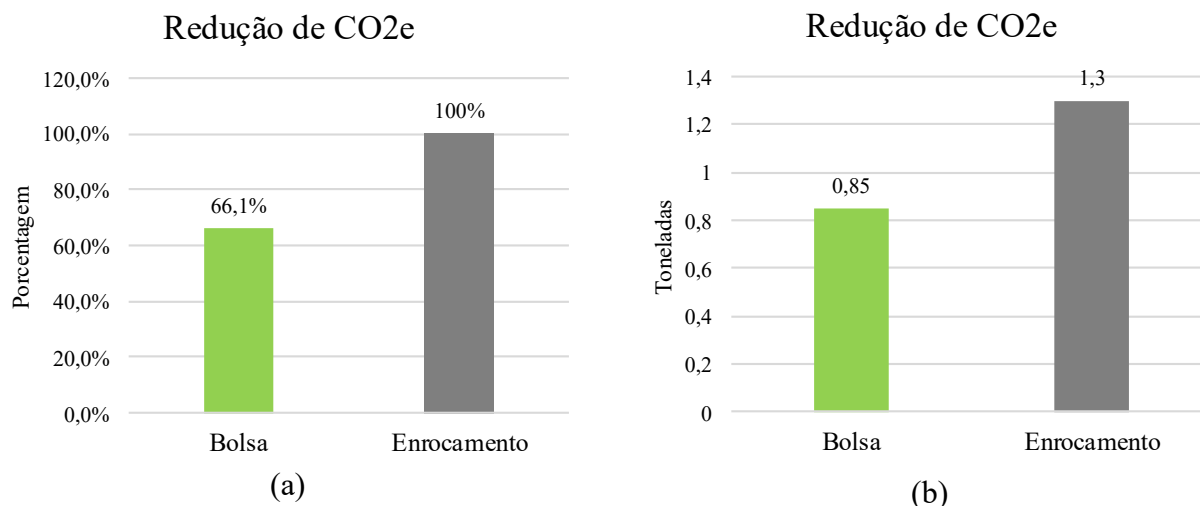


Figura 10 – Redução de emissões de CO₂e: (a) em porcentagem e (b) em toneladas.

Segundo Yang et al. (2022), o Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) é definido como uma estratégia de gestão de águas pluviais que busca replicar o ciclo hidrológico natural, priorizando a conservação de recursos no local e o uso de controles descentralizados para reduzir o escoamento superficial e a poluição difusa. A utilização das bolsas de geotêxtil caracteriza-se como uma solução LID ao permitir a integração da funcionalidade ecossistêmica ao projeto, reduzindo a pegada de carbono e a necessidade de infraestruturas cinzas convencionais que agredem o balanço hidrológico local.

EXPERIÊNCIAS DE PROTEÇÕES COM USO DE BOLSAS DE GEOTÊXTEL

Atualmente já existem diversos projetos desenvolvidos e aplicados considerando o uso de bolsas de geotêxtil como revestimento de proteção de margens de rios, onde se tem alguns exemplos demonstrados na continuação.



Figura 11 – Rio Zarumilla, Peru. (a) Uso de fôrma e escavadeira para preenchimento. (b) Parte de vários quilômetros de margem com bolsas de geotêxtil.



(a)



(b)

Figura 12 – La Puntilla, Lambayeque, Peru. (a) Proteção completa. (b) Processo de preenchimento com cascalho e areia.



(a)



(b)

Figura 13 – Corrales, Peru. (a) Proteção mista, com uso de geocélulas e bolsas de geotêxtil. (b) Vista da proteção completa.

CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram ganhos expressivos relacionados à construtibilidade da solução, com redução aproximada de 39% nos custos e diminuição do prazo executivo de 15 para 8 semanas de obra. A simplicidade do processo construtivo, associada ao uso de materiais localmente disponíveis e à menor dependência de logística pesada, contribui diretamente para a viabilização técnica e operacional de obras de proteção fluvial em diferentes contextos.

Além disso, é possível concluir que a utilização de bolsas de geotêxtil para proteção de margens fluviais supera a função de mera alternativa econômica, consolidando-se como uma estratégia de infraestrutura resiliente, com diminuições nos impactos ambientais, quando comparadas às soluções tradicionais.

A redução identificada de 34% nas emissões de toneladas métricas de CO₂e, em comparação ao enrocamento convencional, evidencia o potencial da tecnologia na mitigação dos impactos climáticos operacionais.

Ao priorizar o uso de solo local e minimizar a necessidade de exploração de pedreiras e transporte pesado, a solução enquadra-se nos preceitos de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), conforme definido por Yang, Zhang e Krebs (2022). Esta abordagem não apenas replica uma resposta hidrológica mais natural e menos invasiva aos ecossistemas ribeirinhos, mas também oferece uma via viável para que cidades, especialmente no "Sul Global", alcancem metas estabelecidas na Agenda 2030.

Em suma, a viabilização destes projetos contribui diretamente para o ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), ao proteger recursos hídricos; para o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ao promover resiliência frente a inundações; e para o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao descarbonizar processos da engenharia civil tradicional.

Sob a perspectiva da revitalização fluvial, a utilização de bolsas de geotêxtil também apresenta potencial para promover maior integração paisagística e ecológica das intervenções. A possibilidade de utilização de solo local, associada ao desenvolvimento espontâneo da vegetação e à formação de habitats ao longo das margens, favorece processos naturais de recuperação ambiental, aproximando a infraestrutura hidráulica das soluções baseadas na natureza (Nature-based Solutions).

Finalmente, entende-se que a integração de geossintéticos de alta performance é um passo fundamental para uma engenharia de infraestrutura que harmonize segurança técnica com responsabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARESSATO JUNIOR, W.; GIRELI, T. Z.; ROJAS, G. S. F. *Critérios de dimensionamento para a utilização de bolsas de geotêxtil de alta resistência para proteção costeira*. II Simpósio Nacional de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica (FluHidros) e XVI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos (ENES), ABRHidro, 2024. Campinas, Brasil.

FIERRO, G. (2024). *Resistance and Durability of High Strength Geotextile Bags for Hydraulic Works*. Geoamericas, 2024. Toronto, Canada.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO (2018). *ISO 14064-1: Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*. Geneva (Standard).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO (2006). *ISO 14040: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. Switzerland (Standard).

IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2021.

KOERNER, R. M. *Designing with Geosynthetics*. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1994.

MOSISA, G. B. et al. *Nature-based solutions to combat global change in urban ecosystem: lessons from global and regional perspectives*. Urban Climate, v. 61, p. 102456, 2025.

PILARCZYK, K. (2000). *Geosynthetics and Geosystems in Hydraulics and Coastal Engineering*. A. A. Balkema, pp. 69-216, Rijkswaterstaat, Delft, Netherlands (2000)

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks*. Washington, D.C., 2024.

YANG, W.; ZHANG, J.; KREBS, P. *Low impact development practices mitigate urban flooding and non-point pollution under climate change*. Journal of Cleaner Production, v. 347, p. 131320, 2022.