# MAPEAMENTO GLOBAL SOBRE GEOMEMBRANAS, TANQUES FLEXÍVEIS E RESERVATÓRIOS REVESTIDOS POR MEIO DO SOFTWARE VOSVIEWER

Vitória Bernardo de Souza Moreno* – Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
vitoriamorenoeng@gmail.com
Nayara Carina de Oliveira – Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
nayaracoliveira1@gmail.com
Juliana Rosa Carrijo Mauad – Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
julianacarrijo@ufgd.edu.br
Mariana Lara Menegazzo – Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
marianamenegazzo@ufgd.edu.br
Daniele Menezes Albuquerque – Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
DanieleAlbuquerque@ufgd.edu.br

**RESUMO**

Este trabalho realizou um mapeamento cienciométrico da produção científica global sobre geomembranas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), tanques flexíveis e reservatórios revestidos, utilizando o software VOSviewer. A amostragem bibliográfica foi recuperada por meio de uma equação booleana estruturada e processada segundo parâmetros rigorosos de reprodutibilidade na base Scopus, analisando redes de coautoria, liderança institucional, influência de pesquisadores e coocorrência de palavras-chave. Estados Unidos, Canadá e China destacaram-se como os principais polos de produção e citação, enquanto o Geoengineering Centre at Queen's-RMC apresentou maior centralidade institucional. O Brasil registrou participação expressiva por meio de redes nacionais consolidadas (USP, Instituto Mauá de Tecnologia e UNESP) e grupos emergentes (UFGD). A análise de modularidade revelou três agrupamentos temáticos principais: durabilidade de materiais, contenção ambiental e infraestrutura agrícola e aquícola. Os dados de distribuição temporal indicam que, enquanto a geotecnia e a contenção ambiental constituem a massa crítica consolidada da disciplina, as aplicações aquícolas orientadas à biossegurança e à conservação hídrica configuram uma frente recente de expansão.

**Palavras-chave:** Geossintéticos; Geotecnia ambiental; Mapeamento bibliométrico; PEAD; Aquicultura sustentável.

**ABSTRACT**

This study conducted a scientometric mapping of global scientific literature on HDPE geomembranes, flexible tanks, and lined ponds using VOSviewer software. Bibliographic metadata were retrieved through a structured Boolean search query and processed following rigorous standards to ensure reproducibility in the Scopus database, analyzing co-authorship networks, institutional leadership, author influence, and keyword co-occurrence. The United States, Canada, and China emerged as major research hubs, with institutional prominence from the Geoengineering Centre at Queen's-RMC. Brazil contributed through established national research groups (USP, Instituto Mauá de Tecnologia, and UNESP) alongside emerging initiatives (UFGD). Network modularity analysis identified three main thematic clusters: material durability, environmental containment, and agricultural/aquaculture infrastructure. Temporal distribution metrics indicate that while geotechnical and environmental containment studies represent the consolidated core of the field, aquaculture applications focused on biosecurity and water conservation constitute a recent expansion frontier.

**Keywords:** Geosynthetics; Geoenvironmental engineering; Bibliometric mapping; HDPE; Sustainable aquaculture.

## 1. Introdução

As barreiras sintéticas flexíveis, como geomembranas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), tanques elevados e reservatórios revestidos (*lined ponds*), são importantes para a engenharia civil, geotécnica e ambiental, pois reduzem a contaminação do solo e das águas subterrâneas. Sua aplicação também se expandiu na aquicultura intensiva, especialmente no cultivo de camarão-branco-do-pacífico (*Penaeus vannamei*) e tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), em sistemas de bioflocos (BFT) e recirculação de água (RAS).

Apesar dessa expansão, a literatura permanece dispersa entre ciência dos materiais, geotecnia ambiental, engenharia sanitária e aquicultura, dificultando a identificação de redes de colaboração e temas emergentes (Koerner; Koerner, 2006; Emerenciano *et al.*, 2017; Lodi *et al.*, 2020; Pritchard, 1969; Callon; Courtial; Laville, 1991).

Nesse contexto, este estudo objetiva mapear a produção científica global sobre geomembranas, tanques flexíveis e reservatórios revestidos por meio do VOSviewer, analisando a cooperação internacional, a atuação institucional, a influência dos autores e os principais eixos temáticos (Van Eck; Waltman, 2010).

## 2. Referencial teórico

### 2.1 Barreiras Sintéticas Poliméricas – Propriedades, Durabilidade e Vida Útil do PEAD

As geomembranas e mantas sintéticas flexíveis são geossintéticos utilizados como barreiras de baixíssima condutividade hidráulica ($10^{-11}$ a $10^{-13}$ m/s) (Rowe, 2005). Entre os materiais empregados, o Polietileno de Alta Densidade (PEAD ou HDPE — *High-Density Polyethylene*) destaca-se pela elevada cristalinidade (45% a 60%) e resistência a agentes químicos, lixiviados e radiação ultravioleta (Koerner; Koerner, 2006; Brachman; Rowe, 2011).

Apesar de sua resistência, a exposição prolongada a agentes ambientais e solicitações físicas provoca degradação termo-oxidativa e física do PEAD (Abdelaal; Rowe, 2014). Esse processo compreende três estágios: (i) Depleção de Antioxidantes, caracterizada pelo consumo ou

lixiviação dos estabilizadores, avaliada pelo Tempo de Indução à Oxidação (OIT — *Oxidative Induction Time*); (ii) Tempo de Indução, período em que a matriz permanece desprotegida antes da clivagem das cadeias moleculares; e (iii) Degradação das Propriedades Mecânicas, marcada pela redução da resistência ao fissuramento sob tensão (*Stress Crack Resistance* — SCR) e da deformação na ruptura (Abdelaal; Rowe, 2014; Rowe, 2005; Kobelnik *et al.*, 2021). Assim, prever a vida útil (*service life*) é fundamental para a pesquisa em engenharia de geossintéticos.

## 2.2 Infraestrutura Geotécnica Ambiental e Aquícola: Tanques Flexíveis e Reservatórios Revestidos

A aplicação histórica das geomembranas concentrou-se na geotecnia ambiental tradicional, atuando como revestimento de fundo e cobertura (*composite liners*) em aterros sanitários e bacias de contenção de rejeitos de mineração para mitigação da migração de contaminação orgânica e inorgânica (Rowe, 2005; Abdelaal & Rowe, 2014). Contudo, a necessidade de eficiência hídrica impulsionou a expansão das mantas poliméricas para a infraestrutura agrícola e científica por meio de reservatórios revestidos (lined ponds), tanques elevados flexíveis e lonas sintéticas (Lavoie *et al*., 2019; Lodi *et al*., 2020), conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1 – Aplicações de geomembranas em estruturas aquícolas: (A) viveiro de carcinicultura revestido com geomembrana de PEAD durante processo de higienização; (B) reservatório estanque para contenção hídrica em estufa agrícola
Fonte: Adaptado de Lavoie et al. (2022).

Na carcinicultura e piscicultura intensivas, o uso de revestimentos sintéticos promove avanços operacionais, econômicos e ambientais. A superfície impermeável do PEAD reduz a erosão dos taludes e a ressuspensão de sedimentos, evita o contato da água com solos ácidos ou contaminados e facilita a higienização, a remoção do lodo e a desinfecção entre ciclos, aumentando a biossegurança (Emerenciano *et al.*, 2017; Lodi *et al.*, 2020). Embora exija investimento inicial, o revestimento reduz perdas de água por infiltração, custos de bombeamento e manutenção estrutural, melhorando a eficiência produtiva (Boyd *et al.*, 2020; Suplicy, 2020).

Além disso, geomembranas e tanques flexíveis viabilizam Sistemas de Recirculação em Aquicultura (RAS) e a Tecnologia de Bioflocos (BFT), favorecendo o reúso de até 90% a 95% da água e reduzindo a captação em comparação aos viveiros escavados (Avnimelech, 2015; Ray & Lotz, 2017). Esses sistemas também contribuem para a conservação hídrica e a adaptação às mudanças climáticas, especialmente diante de secas extremas e precipitações irregulares (Boyd *et al.*, 2020), conforme demonstrado na Figura 2.



Figura 2 – Sistemas de produção aquícola com recirculação e bioflocos: (A) sistema de recirculação de água de alta tecnologia e água clara para produção de tilápias; (B) sistema de bioflocos (BFT), sem troca de água, instalado em estufa na região subtropical do Brasil
Fonte: Adaptado de Zimmermann, Kiessling e Zhang (2023).

Nesse contexto, este mapeamento cienciométrico justifica-se pela necessidade de compreender como a produção científica sobre revestimentos poliméricos têm evoluído do setor geotécnico tradicional para o domínio aquícola e ambiental, identificando lacunas do conhecimento que possam orientar futuras pesquisas. Para o cenário nacional e, em especial, para o estado de Mato Grosso do Sul (MS) — polo produtor de piscicultura em rápida expansão —, o aprofundamento dessas investigações é estratégico para o fomento de modelos de tanques

flexíveis adaptados a produtores regionais e fortalecimento de políticas públicas de segurança hídrica no agronegócio.

### 2.3 Cienciometria e Análise de Redes de Conhecimento Científico via VOSviewer

A cienciometria configura-se como um ramo da bibliometria voltado ao estudo quantitativo da atividade científica, permitindo mapear a estrutura do conhecimento, compreender a evolução temporal e identificar polos emergentes (Pritchard, 1969; Callon; Courtial; Laville, 1991). Ao analisar grandes volumes de metadados, a cienciometria fundamenta-se em leis empíricas bibliométricas, tais como a Lei de Lotka (produtividade de autores), a Lei de Bradford (dispersão de periódicos) e a Lei de Zipf (frequência de palavras-chave).

Para a visualização gráfica e estrutural de domínios científicos complexos, destaca-se o uso do software VOSviewer (*Visualization of Similarities*) (Van Eck; Waltman, 2010). A ferramenta aplica o algoritmo de normalização por força de associação (*Association Strength*) e técnicas de mapeamento VOS para posicionar nós em um espaço bidimensional, no qual a distância entre itens reflete sua afinidade intelectual ou força de citação/coocorrência (Van Eck; Waltman, 2010). O VOSviewer viabiliza a geração de redes de coautoria (*co-authorship*), citação/acoplamento bibliográfico (*bibliographic coupling*) e coocorrência de palavras-chave (*co-occurrence*).

## 3. Método de pesquisa

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo cienciométrico e bibliométrico, de caráter descritivo e quantitativo, desenvolvido com o objetivo de mapear a produção científica relacionada às geomembranas, aos tanques flexíveis e aos reservatórios revestidos. A amostragem foi fundamentada no levantamento sistemático de metadados de publicações científicas indexadas na base de dados internacional Scopus (Elsevier), selecionada em razão de sua ampla cobertura da produção científica nas áreas de engenharia, ciências ambientais, geotecnia e ciências agrárias.

A coleta dos dados foi realizada em 28 de setembro de 2026, considerando publicações compreendidas entre 1980 e 2026. A busca resultou em 523 registros. A estratégia de busca foi estruturada a partir de três eixos temáticos: (i) geomembranas, geossintéticos e polietileno de alta densidade (PEAD), associados a aspectos de durabilidade, envelhecimento e degradação dos materiais; (ii) aplicações em geotecnia e engenharia ambiental, incluindo sistemas de contenção, aterros e lixiviados; e (iii) aplicações hidráulicas, agrícolas e aquícolas, contemplando tanques flexíveis, reservatórios revestidos, aquicultura e qualidade da água. Os termos relacionados a esses eixos foram combinados por meio de operadores booleanos na base Scopus.

Os registros obtidos foram exportados em formato **.csv**, contendo os metadados bibliográficos disponíveis, incluindo informações sobre autores, afiliações, títulos, periódicos, ano de publicação, citações e palavras-chave. Os dados foram posteriormente organizados para o processamento bibliométrico. A conferência dos registros com base no identificador EID da Scopus não identificou documentos duplicados no conjunto analisado. O DOI não foi utilizado isoladamente como critério de duplicação, considerando que parte dos registros não apresentava esse identificador e que foram observadas ocorrências de DOI repetido no conjunto de dados.

O processamento dos dados e a construção das redes bibliométricas foram realizados no software VOSviewer, versão 1.6.20. Entre os procedimentos realizados, foram analisadas as relações entre países, instituições e autores, além da coocorrência de palavras-chave, permitindo identificar padrões de colaboração e agrupamentos temáticos na produção científica analisada.

Na configuração utilizada no VOSviewer, foi considerado o limite máximo de 25 autores por documento, como forma de desconsiderar documentos com número elevado de autores. Entretanto, a conferência dos 523 registros exportados demonstrou que o documento com maior número de autores apresentava 14 autores. Portanto, nenhum registro foi excluído da amostra em função desse critério.

Para a análise dos autores, foram considerados o número de documentos, o número de citações e a Força Total de Ligação (*Total Link Strength* – TLS). A TLS representa a intensidade acumulada das conexões de determinado item com os demais elementos da rede. Neste estudo, esse indicador foi interpretado como uma medida de conectividade e intensidade das relações

dentro da rede, não sendo utilizado isoladamente como medida de qualidade ou influência científica.

A análise de coocorrência de palavras-chave foi utilizada para identificar os principais termos associados à temática investigada e sua organização em agrupamentos temáticos (clusters). A interpretação desses agrupamentos considerou a frequência de ocorrência das palavras-chave e a intensidade das relações estabelecidas entre os termos na rede produzida pelo VOSviewer.

Por meio desse procedimento, foi possível caracterizar a distribuição da produção científica, as relações entre pesquisadores e instituições e os principais eixos temáticos associados às geomembranas, aos tanques flexíveis e aos reservatórios revestidos.

## 4. Resultados e discussão

### 4.1 Análise da Produção Geográfica e Colaboração Internacional

A distribuição espacial e a rede de coautoria transnacional evidenciam a hegemonia dos Estados Unidos, Canadá e China na produção científica sobre geomembranas e reservatórios revestidos, conforme ilustrado na Figura 3.

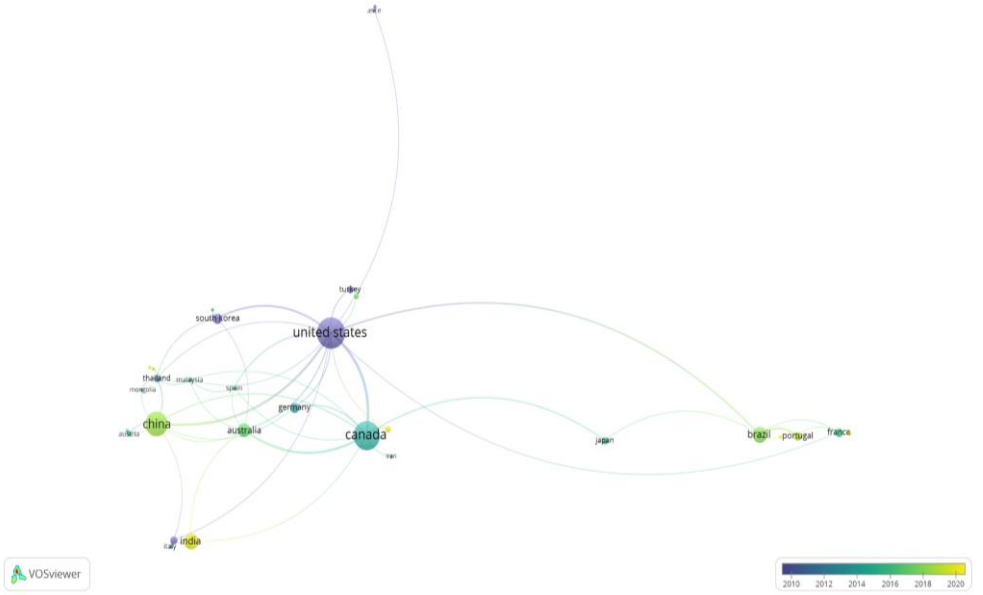



Figura 3 – Rede de colaboração e densidade geográfica da produção científica por países. Nota: O tamanho dos nós reflete o volume total de documentos publicados. As linhas representam parcerias diretas em coautoria internacional. O gradiente em verde/roxo destaca os polos de maior densidade de citações (EUA e Canadá). Países como Brasil, Colômbia, Indonésia e Etiópia aparecem como nós secundários ou isolados no dataset devido à predominância de redes internas de cooperação
Fonte: Elaborado pelos autores via VOSviewer (2026).

A liderança dos Estados Unidos e do Canadá fundamenta-se em uma trajetória histórica de regulamentação ambiental rigorosa para a contenção de resíduos perigosos e mineração. Essa demanda impulsionou a criação de centros tecnológicos pioneiros dedicados à previsão de vida útil (*service life*) e ao comportamento de longo prazo de geossintéticos. Já a proeminência da China está diretamente associada aos investimentos maciços em obras públicas de infraestrutura hidráulica, canais de transposição de água, barragens e reservatórios agrícolas desenvolvidos nas últimas duas décadas.

O Brasil e Portugal figuram em uma rede de colaboração secundária. A análise detalhada da posição brasileira indica que, embora o país possua grupos de pesquisa consolidados em geotecnia ambiental e aquicultura, esses centros atuam predominantemente por meio de parcerias nacionais intramuros (entre universidades brasileiras) e publicações regionais. Essa característica explica a posição isolada ou de fraco acoplamento transnacional do nó "Brazil" nas redes de coautoria internacional do VOSviewer, a despeito do volume relevante de citações obtido por pesquisadores nacionais em periódicos internacionais indexados.

### 4.2 Liderança Institucional e Centros de Excelência

A análise das organizações de pesquisa confirma a elevada concentração da produção e do impacto científico em poucos centros globais de excelência, ao mesmo tempo em que mapeia a contribuição de instituições brasileiras. A Tabela 1 apresenta o volume de documentos, o total de citações e a centralidade de rede (TLS) das principais instituições. Para sanar ambiguidades de estimativa, todos os indicadores foram extraídos como números inteiros exatos.

Tabela 1 – Principais instituições de pesquisa em geomembranas, tanques flexíveis e reservatórios revestidos

| Instituição / Departamento | País | Docs. | Citações | TLS |
|---|---|---|---|---|
| **Geoengineering Centre at Queen's-RMC** | Canadá | 57 | 2019 | 87 |
| **Geosynthetic Research Institute (GSI) / Drexel Univ.** | EUA | 11 | 252 | 20 |
| **Hohai University (College of Water Conservancy)** | China | 6 | 58 | 6 |
| **Instituto Mauá de Tecnologia (Engenharia Civil)** | Brasil | 4 | 51 | 8 |
| **Universidade de São Paulo (EESC-USP)** | Brasil | 4 | 27 | 8 |
| **Univ. Fed. da Grande Dourados (UFGD - LMCA / NUPAQ)** | Brasil | 2 | 66 | 6 |

Nota: Docs. = Número total de documentos indexados no dataset; Citações = Total de citações acumuladas; TLS = Total Link Strength (Força Total de Ligação). Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados bibliométricos extraídos do VOSviewer e nos dados em CSV exportados da base Scopus (2026).

.

O Geoengineering Centre at Queen's-RMC (Canadá) destaca-se isoladamente na liderança mundial, acumulando 57 documentos, 2.019 citações e TLS de 87, impulsionado pelas investigações fundamentais sobre envelhecimento e deformação de geomembranas em aterros sanitários. O Geosynthetic Research Institute (GSI / Drexel University, EUA) consolida-se como a segunda principal referência, com 11 documentos e 252 citações.

No cenário nacional, o Instituto Mauá de Tecnologia e a Universidade de São Paulo (EESC-USP) exercem papel de liderança na caracterização física, mecânica e de durabilidade de geossintéticos. A Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), embora apresente um volume modesto de publicações (N = 2), registra expressivo impacto relativo (66 citações e TLS de 6). A atuação da UFGD decorre da convergência interdisciplinar entre o Laboratório de Materiais Cerâmicos Avançados (LMCA) e o Núcleo de Pesquisa em Aquicultura

(NUPAQ), conectando a caracterização de polímeros ao monitoramento óptico da qualidade da água em tanques aquícolas revestidos.

### 4.3 Autores Mais Influentes e Redes de Coautoria

A análise de produtividade e citação dos autores, apresentada na Tabela 2, reflete a estrutura de liderança intelectual no domínio dos geossintéticos. Em atendimento às recomendações de precisão e individualização dos dados bibliométricos, os pesquisadores Robert M. Koerner e George R. Koerner foram devidamente separados e apresentados em entradas independentes.

Tabela 2 – Pesquisadores de maior impacto na literatura cienciométrica analisada

| Autor | Afiliação Principal | Docs. | Citações | TLS |
|---|---|---|---|---|
| **Rowe, R. Kerry** | Queen's University (Canadá) | 57 | 2019 | 87 |
| **Brachman, Richard W. I.** | Queen's University (Canadá) | 12 | 523 | 27 |
| **Rimal, S.** | Queen's University (Canadá) | 8 | 415 | 21 |
| **Abdelaal, Fady B.** | Queen's Univ. / Cairo Univ. | 12 | 249 | 26 |
| **Bouazza, Abdelmalek** | Monash University (Austrália) | 6 | 112 | 30 |
| **Koerner, Robert M.** | Geosynthetic Institute (EUA) | 6 | 180 | 12 |
| **Koerner, George R.** | Geosynthetic Institute (EUA) | 5 | 72 | 8 |
| **Kobelnik, Marcelo** | UNESP (Brasil) | 9 | 113 | 42 |
| **Lavoie, Fernando Luiz** | USP / Instituto Mauá (Brasil) | 9 | 116 | 39 |
| **Valentin, Clever A.** | USP (Brasil) | 9 | 111 | 39 |
| **Da Silva, Jefferson L.** | EESC-USP (Brasil) | 9 | 97 | 32 |
| **Lodi, Paulo César** | UNESP (Brasil) | 5 | 34 | 11 |

Nota: Docs. = Número de documentos; Citações = Contagem total de citações; TLS = Total Link Strength (Força Total de Ligação). Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados bibliométricos extraídos do VOSviewer e nos dados em CSV extraídos da base Scopus (2026).

O pesquisador R. Kerry Rowe (Queen's University) desponta como a figura central da rede global, coautorando a maioria das publicações de alto impacto sobre depleção de antioxidantes (OIT), migração de contaminantes e vida útil do PEAD. Ele é seguido por colaboradores diretos como Richard Brachman, S. Rimal e Fady B. Abdelaal. A comunidade norte-americana é reforçada pelos trabalhos seminais de Robert M. Koerner (pioneiro na normatização de geossintéticos via GSI) e George R. Koerner, cujas conexões e redes de citação estão representadas na Figura 4.

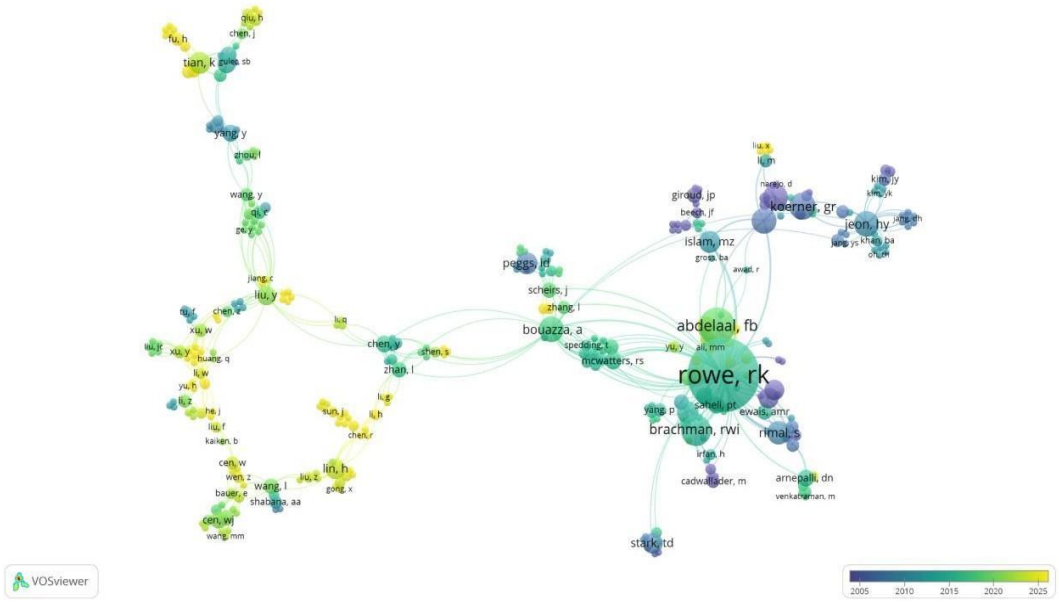



Figura 4 – Rede de coautoria e citação dos pesquisadores no VOSviewer. Nota: O tamanho dos círculos é proporcional ao volume de citações acumuladas pelo autor. Os arcos conectores indicam parcerias diretas em coautoria. Destaca-se o cluster denso ao redor de R. Kerry Rowe (azul) e o cluster brasileiro interconectado unindo pesquisadores da UNESP, USP e Instituto Mauá (verde)

Fonte: Elaborado pelos autores via VOSviewer (2026).

A rede brasileira apresenta elevada coesão interna, liderada por Marcelo Kobelnik, Fernando Luiz Lavoie, Clever Aparecido Valentin, Jefferson Lins da Silva e Paulo César Lodi. Esses pesquisadores formam um núcleo especializado na avaliação do desempenho térmico, mecânico e de resistência ao fissuramento sob tensão (SCR) de geomembranas submetidas às condições climáticas e operacionais brasileiras.

### 4.4 Mapeamento Temático e Tendências

A análise de coocorrência de palavras-chave, fundamentada no algoritmo de normalização por Força de Associação e otimização de modularidade, agrupou o domínio intelectual em três clusters temáticos principais, conforme sintetizado na Tabela 3.

Tabela 3 – Frequência, força de ligação e classificação dos termos nos clusters temáticos

| Palavra-chave (Keyword) | Ocorrências | TLS | Cluster Temático Principal |
|---|---|---|---|
| **geomembrane** | 119 | 507 | Cluster 1 – Geotecnia e Materiais |
| **geosynthetics** | 89 | 494 | Cluster 1 – Geotecnia e Materiais |
| **landfills / landfill** | 46 | 197 | Cluster 2 – Aterros e Contenção |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **hdpe geomembrane** | 43 | 153 | Cluster 1 – Matriz Polimérica e PEAD |
| **durability** | 34 | 166 | Cluster 1 – Durabilidade e Envelhecimento |
| **diffusion / coefficient** | 26 | 141 | Cluster 1 – Transporte de Contaminantes |
| **antioxidant depletion** | 17 | 93 | Cluster 1 – Estabilidade Oxidativa (OIT) |
| **water quality** | 11 | 33 | Cluster 3 – Aquicultura e Qualidade da Água |
| **aquaculture** | 9 | 37 | Cluster 3 – Sistemas de Cultivo em Tanques |
| **flexible tank / biofloc** | 8 | 40 | Cluster 3 – Reservatórios e Tanques Flexíveis |

Nota: TLS = Total Link Strength (Força Total de Ligação na rede de coocorrência). Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados bibliométricos extraídos do VOSviewer e nos dados em CSV extraídos da base Scopus (2026). .

A interpretação das redes de palavras-chave exige distinguir o volume acumulado histórico da efetiva tendência de crescimento temporal dos eixos de pesquisa, conforme demonstrado na Figura 5.

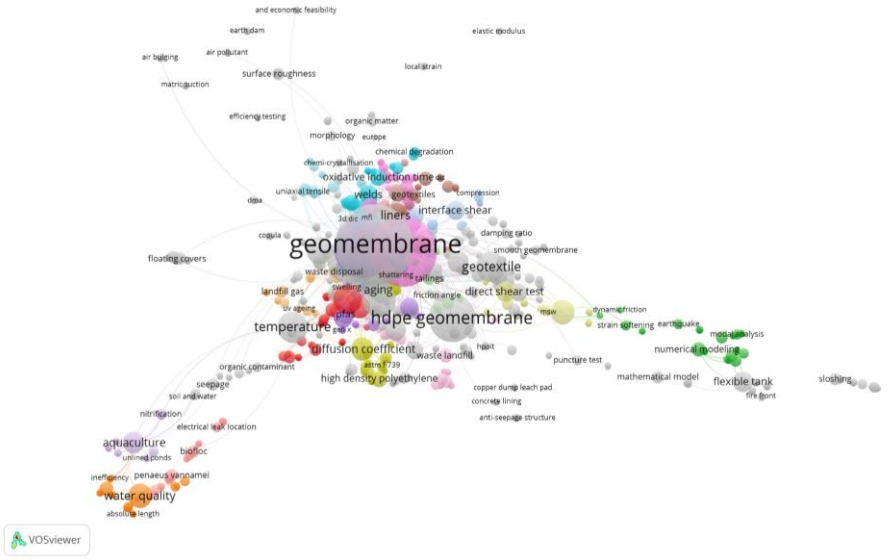



Figura 5 – Mapa de rede de coocorrência de palavras-chave e agrupamentos temáticos (Network Visualization. Nota: O tamanho dos nós é proporcional à frequência de ocorrência do termo. As cores indicam os clusters de modularidade: Cluster 1 em Vermelho (Durabilidade, PEAD e Propriedades do Material), Cluster 2 em Verde (Aterros Sanitários e Contenção de Lixiviados) e Cluster 3 em Azul (Aquicultura, Bioflocos e Qualidade da Água). A espessura das linhas reflete a força de coocorrência entre os termos.
Fonte: Elaborado pelos autores via VOSviewer (2026).

O Cluster 1 (Vermelho — Geotecnia, Matriz Polimérica e Durabilidade) concentra a maior massa crítica de termos (geomembrane, 119 ocorrências; geosynthetics, 89; durability, 34; antioxidant depletion, 17). Esse agrupamento reflete o alicerce teórico sobre a degradação termo-oxidativa e a previsão de vida útil do PEAD (Rowe, 2005; Kobelnik *et al.*, 2021). O Cluster 2 (Verde — Aterros e Contenção Ambiental) reúne descritores voltados à engenharia

sanitária e barreiras de contenção (landfills, 46 ocorrências; leachate; containment), articulando-se às aplicações clássicas descritas na Seção 2.2. Por sua vez, o Cluster 3 (Azul — Infraestrutura Aquícola, Qualidade da Água e Tanques Flexíveis) agrupa termos como water quality (11 ocorrências), aquaculture (9), flexible tank e biofloc (8). Sob a ótica algorítmica do VOSviewer, a formação desse grupo como um cluster autônomo — a despeito do volume modesto em relação ao núcleo geotécnico — deve-se à elevada densidade de conexões internas e forte afinidade conceitual entre esses descritores.

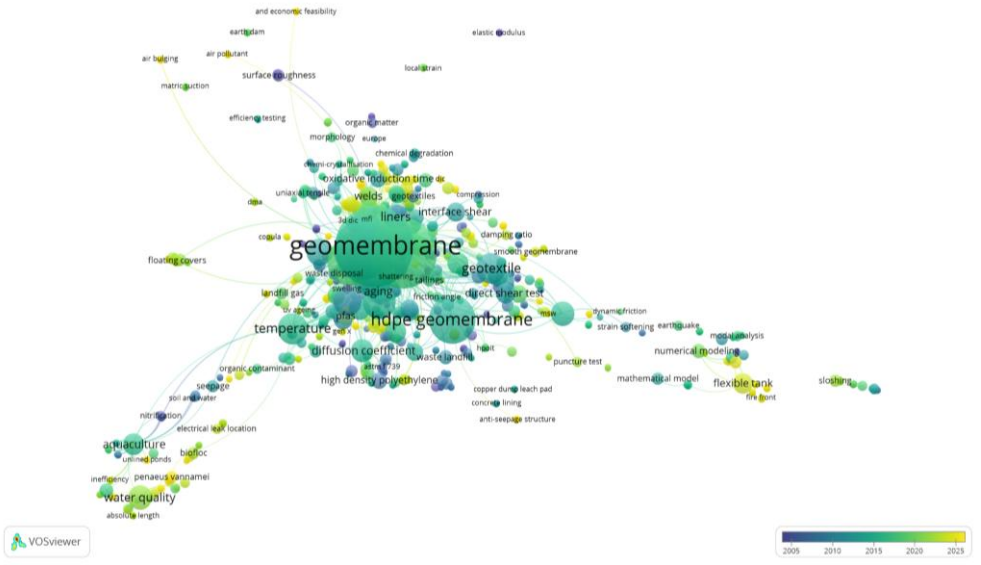



Figura 6 – Distribuição temporal da coocorrência de palavras-chave (Overlay Visualization). Nota: O gradiente de cor representa o ano médio de publicação (Average Publication Year — APY) associado a cada termo. Tons escuros/azuis identificam os temas consolidados e históricos (pré-2017: landfill, durability, diffusion). Tons claros/amarelos destacam a fronteira emergente de pesquisa (2019–2026: biofloc, water quality, flexible tank, aquaculture).
Fonte: Elaborado pelos autores via VOSviewer (2026).

Como demonstrado na Figura 6, analisou-se a distribuição temporal dos termos via *Overlay Visualization* para comprovar a hipótese de emergência e expansão temática. Enquanto os termos dos Clusters 1 e 2 apresentam Ano Médio de Publicação (*Average Publication Year* — APY) concentrado entre 2010 e 2017, os termos do Cluster 3 (biofloc, water quality, flexible tank, aquaculture) concentram-se predominantemente na janela recente de 2019 a 2026. Esse dado temporal demonstra que a aplicação de geomembranas e tanques flexíveis na aquicultura não compete em volume histórico acumulado com a geotecnia ambiental tradicional, mas configura uma efetiva fronteira de expansão e diversificação tecnológica recente, impulsionada pelas demandas de biossegurança, economia de água e sistemas fechados de cultivo (Avnimelech, 2015; Emerenciano *et al.*, 2017; Lavoie *et al.*, 2022).

### 4.5 Limitações do Estudo

Os achados deste mapeamento cienciométrico devem ser interpretados considerando delimitações metodológicas específicas: (1) Restrição de Bases de Dados: A amostragem restringiu-se aos metadados indexados na base Scopus. Embora ampla, a escolha pode omitir patentes, teses, relatórios técnicos industriais e periódicos regionais não indexados; (2) Estratégia de Busca e Idioma: O uso exclusivo de descritores em inglês inseridos no campo Title, Abstract, Keywords pode introduzir viés linguístico, desconsiderando publicações tecnológicas locais redigidas em português, espanhol ou chinês; (3) Métricas Bibliométricas: As ferramentas cienciométricas (VOSviewer) mensuram volume, citação e conectividade estrutural, fornecendo um panorama da organização do conhecimento, mas sem avaliar diretamente o mérito técnico individual ou o rigor experimental de cada artigo analisado.

## 5. Considerações finais

O mapeamento cienciométrico permitiu caracterizar a organização da produção científica sobre geomembranas, tanques flexíveis e reservatórios revestidos, evidenciando a distribuição geográfica, institucional e autoral da literatura analisada e os principais agrupamentos temáticos associados ao campo.

Os resultados indicaram participação destacada dos Estados Unidos, Canadá e China na produção científica analisada. Entre os pesquisadores, R. Kerry Rowe apresentou o maior número de documentos, citações e força total de ligação entre os autores considerados. No Brasil, destacaram-se grupos vinculados à USP, Instituto Mauá de Tecnologia, UNESP e UFGD, demonstrando a inserção de instituições brasileiras nas redes relacionadas ao estudo das geomembranas.

A análise de coocorrência identificou três principais agrupamentos temáticos, relacionados à geotecnia, materiais poliméricos e durabilidade; à contenção de resíduos e aplicações ambientais; e às aplicações aquícolas, qualidade da água e tanques flexíveis. Esses resultados demonstram que, embora os estudos sobre propriedades e durabilidade das geomembranas

permaneçam centrais, a literatura também contempla aplicações associadas à infraestrutura hidráulica, agrícola e aquícola.

Dessa forma, o estudo contribui para a compreensão da estrutura temática e das redes de colaboração presentes na produção científica sobre o tema, podendo subsidiar a identificação de pesquisadores, instituições e linhas de investigação relevantes para trabalhos futuros. Ressalta-se, entretanto, que os resultados devem ser interpretados considerando as limitações inerentes à utilização de uma única base de dados e aos indicadores bibliométricos empregados

## Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Grande Dourados (PPGCTA/UFGD) pelo suporte acadêmico e institucional, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento e apoio concedidos para o desenvolvimento deste trabalho.

## Referências

ABDELAAL, F. B.; ROWE, R. K. Antioxidant depletion in an HDPE geomembrane with a hindered amine light stabilizer in landfill leachate and water. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 42, n. 4, p. 387–401, 2014.

AVNIMELECH, Y. **Biofloc technology**: a practical guide book. 3. ed. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2015.

BOYD, C. E. et al. Water quality management in pond aquaculture. **Aquaculture**, v. 520, p. 734975, 2020.

BRACHMAN, R. W. I.; ROWE, R. K. Wrinkles in HDPE geomembranes having different surface colors. **Geosynthetics International**, v. 18, n. 6, p. 441–463, 2011.

CALLON, M.; COURTIAL, J. P.; LAVILLE, F. Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: the case of polymer chemistry. **Scientometrics**, v. 22, n. 1, p. 155–205, 1991.

EMERENCIANO, M. G. C. et al. Biofloc technology (BFT): a tool for water quality management in aquaculture. In: TUTU, H. (ed.). **Water Quality**. Rijeka: InTech, 2017. p. 301–320.

KOBELNIK, M. et al. Thermal and mechanical characterization of HDPE geomembranes used in environmental protection. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 143, n. 2, p. 1125–1134, 2021.

KOERNER, R. M.; KOERNER, G. R. Lifetime prediction of exposed HDPE geomembranes. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 24, n. 4, p. 240–252, 2006.

LAVOIE, F. L. et al. Evaluation of exhumed HDPE geomembranes used as liner in Brazilian shrimp farming ponds. **Case Studies in Construction Materials**, v. 16, e00809, 2022.

LAVOIE, F. L. et al. Performance and durability evaluation of HDPE geomembranes subjected to oxidative

induction testing. **Polímeros**, v. 29, n. 3, e2019035, 2019.

LODI, P. C. et al. Analysis of mechanical and physical properties of geomembranes used in agricultural and environmental engineering. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 8, p. 550–557, 2020.

PRITCHARD, A. Statistical bibliography or bibliometrics? **Journal of Documentation**, v. 25, n. 4, p. 348–349, 1969.

RAY, A. J.; LOTZ, J. M. Comparing biofloc, clear-water, and hybrid recirculating nursery systems. **Aquacultural Engineering**, v. 77, p. 1–9, 2017.

ROWE, R. K. Long-term performance of contaminant barrier systems. **Géotechnique**, v. 55, n. 9, p. 731–778, 2005.

SUPLICY, F. A review of the environmental impacts of freshwater aquaculture in Brazil. **Reviews in Aquaculture**, v. 12, n. 4, p. 2246–2260, 2020.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.

ZIMMERMANN, S.; KIESSLING, A.; ZHANG, J. The future of intensive tilapia production and the circular bioeconomy without effluents: Biofloc technology, recirculation aquaculture systems, bio-RAS, partitioned aquaculture systems and integrated multitrophic aquaculture. **Reviews in Aquaculture**, v. 15, n. S1, p. 22–31, 2023.

**Observação sobre o uso de Inteligência Artificial (IA):** Em conformidade com as diretrizes do III Simpósio de Engenharias Integradas (SEIN UFGD), os autores declaram que utilizaram ferramentas de Inteligência Artificial generativa apenas para apoio à redação, revisão textual e adequação às normas da ABNT. Os dados, tabelas, quadros e imagens foram produzidos a partir dos metadados processados no VOSviewer, sem geração ou manipulação por IA. Os autores assumem integral responsabilidade pelo conteúdo submetido.VOSviewer. Os autores assumem integral e exclusiva responsabilidade pelo conteúdo submetido.