

CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



CABOS DE POLIÉSTER DESCOMISSIONADOS DE PLATAFORMAS OFFSHORE: ANÁLISE DE NOVAS TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.9.26.I-014>

Leonardo Tavares Nelo (*), Ana Lúcia Nazareth da Silva, Mayara Amario

* Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (PEA/UFRJ) – Rio de Janeiro, RJ, Brasil; leonardotn@poli.ufrj.br.

RESUMO

O avanço do descomissionamento *offshore* no Brasil impõe desafios ambientais críticos, especialmente na gestão de cabos de ancoragem de poliéster (PET) de alta tenacidade. Este estudo tem como objetivo fomentar a economia circular no setor por meio da análise técnica e estratégica de rotas de reciclagem para esses materiais. A metodologia envolveu prospecção bibliográfica, levantamento de dados setoriais em Programas de Descomissionamento de Instalações (PDI) da ANP e registros da Marinha do Brasil, análise *SWOT* e o desenvolvimento de um Índice de Viabilidade Estratégica (IVE) com suporte de inteligência artificial generativa. Foram avaliadas cinco tecnologias: agregado em concreto, reforço em argamassa, fiação têxtil, misturas poliméricas e reciclagem química via glicólise. O levantamento em nove unidades revelou um volume residual projetado de 193.565m e 3.337t de cabos. A mensuração pelo IVE indicou maior equilíbrio estratégico com pontuação 3,75 para o reforço em argamassa, fiação têxtil e misturas poliméricas. O uso em concreto e a reciclagem química obtiveram IVE igual a 3,50, limitados, respectivamente, pela carência regulatória e pelo estágio laboratorial inicial. Conclui-se que a tecnologia ideal depende do objetivo estratégico: a construção civil prioriza o consumo de grandes volumes, enquanto as indústrias têxtil e química oferecem máxima valorização econômica (*upcycling*). A viabilidade industrial plena requer a superação de lacunas normativas e o desenvolvimento de projetos-piloto industriais.

PALAVRAS-CHAVE: Cabos de Poliéster, Descomissionamento, Economia Circular, Reciclagem, Plataformas Offshore.

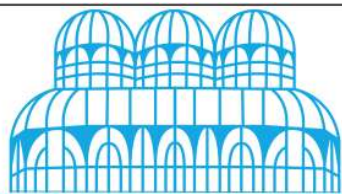
ABSTRACT

The advancement of offshore decommissioning in Brazil imposes critical environmental challenges, especially in the management of high-tenacity polyester (PET) mooring ropes. This study aims to promote the circular economy in the sector through the technical and strategic analysis of recycling routes for these materials. The methodology involved bibliographic prospection, sector data collection from ANP's Installation Decommissioning Programs (PDI) and Brazilian Navy records, SWOT analysis, and the development of a Strategic Viability Index (SVI) supported by generative artificial intelligence. Five technologies were evaluated: aggregate in concrete, fiber reinforcement in mortar, textile spinning, polymer blends, and chemical recycling via glycolysis. The survey of nine units revealed a projected residual volume of 193,565 m and 3,337 t of ropes. The SVI measurement indicated a higher strategic balance with a score of 3.75 for fiber reinforcement in mortar, textile spinning, and polymer blends. The use in concrete and chemical recycling obtained an SVI of 3.50, limited, respectively, by regulatory gaps and the initial laboratory stage. It is concluded that the ideal technology depends on the strategic objective: civil construction prioritizes high-volume consumption, while the textile and chemical industries offer maximum economic valuation (*upcycling*). Full industrial feasibility requires overcoming normative gaps and developing industrial pilot projects.

KEY WORDS: Polyester ropes, decommissioning, circular economy, recycling, offshore platforms.

INTRODUÇÃO

O Brasil tem consolidado sua relevância na produção global de petróleo, mantendo-se na 8ª posição do ranking mundial com uma produção média de 3,4 milhões de barris por dia em 2024 (IBP, 2025). Esse desempenho é impulsionado pelo avanço da exploração *offshore* em águas ultraprofundas na camada do Pré-Sal, que demanda uma infraestrutura de suporte colossal. As estruturas *offshore* destinadas à exploração de petróleo e gás natural evoluíram de plataformas fixas em águas rasas para sistemas flutuantes operando em águas profundas e ultraprofundas (GOURVENEK, STURT, *et al.*, 2022). Além das unidades principais, essas instalações são compostas por uma série de estruturas submersas, incluindo sistemas de ancoragem, que conectam as unidades flutuantes ao leito marinho



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Estima-se a entrada em operação de 38 Unidades Estacionárias de Produção (UEP), predominantemente do tipo *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO), até o ano de 2032 (EPE, 2023). Contudo, essa expansão ocorre simultaneamente ao declínio produtivo de campos maduros, o que precipita a necessidade de desmobilização e remoção de estruturas que atingiram o término de sua vida útil técnica e econômica.

O descomissionamento *offshore*, regido pela Resolução nº 834 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), configura-se como uma etapa crítica do ciclo de vida dos ativos. A magnitude do problema é evidenciada pelo 'Painel Dinâmico de Descomissionamento de Instalações de Exploração e Produção' da ANP, que aponta um investimento de R\$ 73,36 bilhões nos processos de descomissionamento; somente para as atividades de remoção de linhas, prevêem-se aportes de R\$ 13 bilhões entre 2025 e 2029 (ANP, 2020a).

O processo impõe desafios não apenas logísticos, mas também ambientais, devido à obrigatoriedade da gestão de resíduos sólidos em conformidade com as melhores práticas de mitigação de impactos no ecossistema marinho. Dentre os materiais de difícil destinação, destacam-se os sistemas de ancoragem compostos por cabos de poliéster fabricados com poli(tereftalato de etileno) (PET) de alta tenacidade (SUDAIA, BASTOS, *et al.*, 2018). Embora apresentem propriedades mecânicas superiores, essenciais para a estabilidade em lâminas d'água profundas, a estrutura química e a morfologia fibrosa desses materiais impõem severas restrições aos processos convencionais de reciclagem e biodegradação.

A ausência de uma rota de destinação final economicamente viável e ambientalmente segura para os cabos de poliéster pode transformar um passivo operacional em um gargalo para a sustentabilidade da indústria de óleo e gás. Nesse contexto, a transição para modelos de economia circular tem motivado a investigação de rotas de valorização para esses cabos. Estudos recentes exploram o reaproveitamento do PET de alta tenacidade como agregado miúdo em matrizes cimentícias, reforço fibroso em argamassas, produção de fios têxteis, misturas poliméricas com polietileno e reciclagem química do polímero. Entretanto, a literatura ainda carece de análises comparativas que confrontem essas rotas sob prismas técnicos e estratégicos. Não basta identificar a viabilidade laboratorial, também é necessário avaliar a escalabilidade e os riscos de cada tecnologia.

Diante disso, este trabalho visa analisar e comparar cinco tecnologias de reciclagem de cabos de poliéster por meio da metodologia *SWOT* (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) e uma análise multicritério. O estudo também investiga o volume residual projetado a partir dos Programas de Descomissionamento de Instalações (PDIs) publicados pela ANP, fornecendo subsídios para a tomada de decisão estratégica e para o fomento de políticas de logística reversa no setor de petróleo e gás natural.

OBJETIVOS

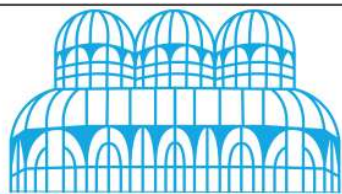
Esta pesquisa tem como objetivo fomentar a economia circular no setor *offshore* brasileiro, buscando mitigar os impactos ambientais do descomissionamento por meio da análise de novas tecnologias de reciclagem para cabos de poliéster. Para tanto, o estudo fundamenta-se na análise da infraestrutura do setor, no levantamento da quantidade de cabos de poliéster descomissionados e na identificação de tecnologias de reciclagem. A abordagem metodológica compreende uma prospecção bibliográfica de estudos recentes, a estruturação de uma análise *SWOT* das tecnologias e uma análise multicritério auxiliada por Inteligência Artificial generativa. Ao avaliar comparativamente os desempenhos e as limitações de cada aplicação, o trabalho visa evidenciar a lacuna existente entre o potencial de circularidade desses materiais e a realidade do setor de Petróleo e Gás Natural no país.

METODOLOGIA

A metodologia será baseada nas seguintes etapas:

Prospecção Bibliográfica

A busca foi realizada em 31 de março de 2026, por meio do recurso de pesquisa avançada da base de dados Google Acadêmico (*Google Scholar*). A estratégia empregou a *string* 'Recycling of Mooring Ropes' configurada sob o parâmetro de correspondência exata ('com a frase exata'), com o campo de recuperação definido para o corpo integral do texto ('em qualquer lugar do artigo'). Como critério de inclusão, estabeleceu-se um recorte temporal restrito ao intervalo entre os anos de 2021 e 2026.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



A seleção dos estudos foi baseada na leitura dos títulos e resumo dos trabalhos identificados, sendo selecionados aqueles com aderência direta ao tema reciclagem de cabos de poliéster descomissionados. O número de publicações relevantes foi limitado, resultando em um conjunto final de apenas cinco estudos. Em seguida os trabalhos selecionados foram analisados integralmente, com foco nas tecnologias de reciclagem propostas, nos aspectos de desempenho técnico e nas limitações operacionais apresentadas.

Levantamento de Dados do Setor *Offshore* Brasileiro

A etapa de coleta de dados visou dimensionar o potencial de geração de resíduos provenientes do descomissionamento. Utilizaram-se duas fontes primárias: (i) Distribuição das plataformas de petróleo por bacia registradas pela Marinha do Brasil; e os (ii) Programas de Descomissionamento de Instalações (PDI) divulgados pela ANP. A partir desses documentos, verificou-se a extensão linear e a massa de cabos de poliéster de 9 unidades com desmobilização aprovada.

Análise *SWOT* das Tecnologias de Reciclagem

As rotas tecnológicas identificadas na literatura foram submetidas a uma análise *SWOT* (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*), conduzida para identificar as particularidades operacionais de cada processo, bem como as oportunidades e ameaças externas. Para assegurar a comparabilidade, adotaram-se quatro dimensões analíticas transversais: eficiência técnica, impacto ambiental, viabilidade econômica e maturidade de mercado (TRL).

Avaliação Multicritério das Tecnologias de Reciclagem

A organização técnica das dimensões analíticas e a mensuração das variáveis para a avaliação multicritério contaram com o suporte da ferramenta de Inteligência Artificial (IA) generativa Gemini (Google). A ferramenta auxiliou na atribuição de pesos e notas, variando de 1 (desempenho insuficiente ou barreiras críticas) a 5 (desempenho excepcional ou prontidão tecnológica), para a composição do Índice de Viabilidade Estratégica (IVE), calculado pela **equação 1**.

$$\bullet \quad \text{IVE} = (\text{ET} + \text{IA} + \text{VE} + \text{TRL}) / 4 \quad \text{equação (1)}$$

Onde: **ET** é a Eficiência Técnica; **IA** o Impacto Ambiental; **VE** a Viabilidade Econômica; e **TRL** a Maturidade de Mercado. Os outputs gerados pela IA foram revisados e validados manualmente pelo autor para garantir que as métricas estivessem ancoradas nos dados experimentais dos cinco estudos selecionados.

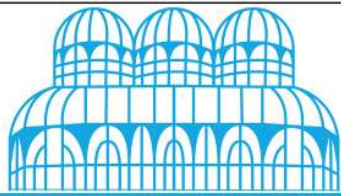
RESULTADOS

Levantamento de Dados do Setor *Offshore* Brasileiro

A infraestrutura *offshore* brasileira é composta majoritariamente por plataformas do tipo fixa, semissubmersível (SS) e unidades do tipo *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO), distribuídas principalmente nas bacias de Campos e Santos, operando sob contrato de exploração. A principal operadora nacional é a Petrobras, embora outras empresas também atuem no setor, como a Shell, 3R Petroleum, Petrosynergy, Enauta, Eneva e Imetame (FGV ENERGIA, 2024). A tabela 1 apresenta a quantidade de plataformas de petróleo conforme registro da Marinha do Brasil.

Tabela 1. Quantidade de plataformas de petróleo por bacia.
Fonte: MARINHA DO BRASIL, 2025

Tipo Plataforma \ Bacia	Ceará	Potiguar	Sergipe/ Alagoas	Camamu (Bahia)	Espírito Santo	Campos	Santos	Maranhão	Total
Fixa (em op.)	-	4	-	1	2	13	1	-	21
Fixa (fora op.)	9	25	25	-	-	5	1	-	65
SS (em op.)	-	-	1	-	1	16	2	-	20
SS (fora op.)	-	-	-	-	-	5	-	-	5
FPSO (em op.)	-	-	-	-	6	18	31	-	55
FPSO (fora op.)	-	-	-	-	-	4	1	-	5
Navio Sonda	-	-	-	-	1	8	19	-	29
Total	9	29	26	1	10	69	55	1	200



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Os dados apresentados na Tabela 1 evidenciam o avanço da exploração *offshore* com a presença de navios sondas, além da significativa quantidade de unidades em operação e fora de operação, indicando um cenário crescente de descomissionamento no país. Esse contexto implica na geração de volumes expressivos de resíduos, dentre os quais se destacam os cabos de poliéster utilizados nos sistemas de ancoragem. A Figura 1 ilustra de forma esquemática essas estruturas e seus respectivos sistemas de ancoragem.

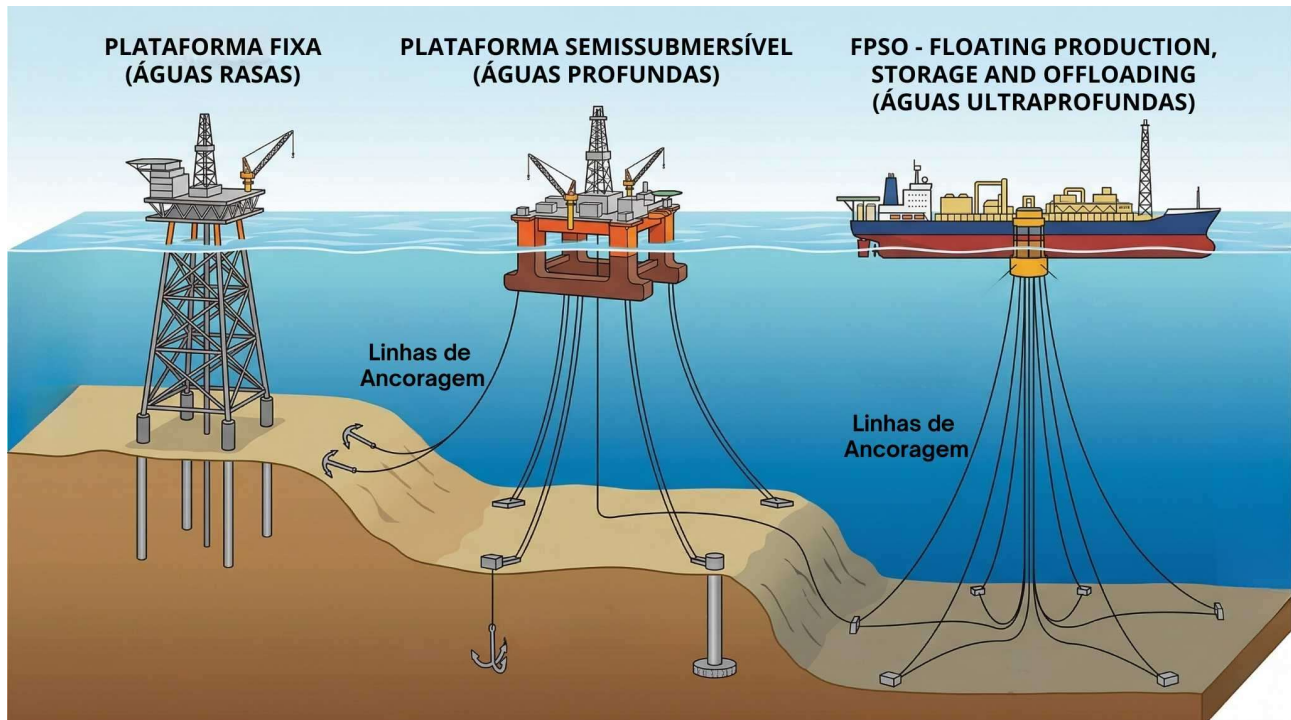


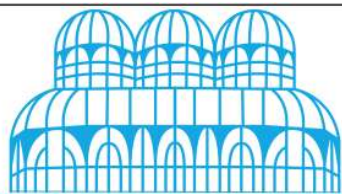
Figura 1: Esquema representativo das estruturas exploração de petróleo e gás natural (sem escala).
Fonte: Gerada pelo Google Gemini (2026), editada pelo autor no software Canva.

No Brasil, o descomissionamento teve seu regulamento técnico estabelecido pela ANP, através da Resolução nº 817, que determina obrigatoriedade na remoção integral das instalações e a vedação ao alijamento no ambiente marinho, salvo exceção que deve ser justificada e aprovada pelas autoridades competentes (ANP, 2020b). Ao final do ciclo operacional, recomenda-se a remoção dessas estruturas, conforme diretrizes internacionais de descomissionamento, com o objetivo de mitigar impactos ambientais e restabelecer as condições originais do leito marinho.

A análise dos Programas de Descomissionamento de Instalações (PDI), disponibilizados publicamente pela ANP, permitiu identificar nove plataformas com dados sobre cabos de poliéster. As informações incluem comprimento total e, quando disponível, massa dos materiais conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Síntese dos dados extraídos dos PDIs.
Fonte: ANP, 2024

NOME	TIPO	UF	BACIA	OPERADOR	ANO Publicação	CABO DE POLIÉSTER	
						COMP. (m)	PESO (t)
<u>FPSO Capixaba</u>	FPSO	ES	CAMPOS	Petrobras	2021	16.929	408
<u>FPSO Pioneiro de Libra</u>	FPSO	RJ	SANTOS	Petrobras	2021	22.860	135
<u>P-26</u>	SS	RJ	CAMPOS	Petrobras	2021	19.948	345
<u>FPSO Cidade de Niterói</u>	FPSO	RJ	CAMPOS	Petrobras	2022	34.510	967
<u>FPSO Fluminense</u>	FPSO	RJ	CAMPOS	Shell	2022	7.704	-
<u>FPSO Petrojarl I</u>	FPSO	RJ	SANTOS	Enalta	2022	17.600	-
<u>FPSO Cidade de Santos</u>	FPSO	RJ	SANTOS	Petrobras	2023	35.000	1.033
<u>FPSO ESPÍRITO SANTO</u>	FPSO	ES	CAMPOS	Shell	2023	23.860	-



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



NOME	TIPO	UF	BACIA	OPERADOR	ANO Publicação	CABO DE POLIÉSTER	
						COMP. (m)	PESO (t)
P-19	SS	RJ	CAMPOS	Petrobras	2023	15.154	449
Total						193.565	3.337*

- Peso não informado nos documentos oficiais;

*Total sem contabilizar o peso dos cabos de poliéster de três unidades

Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam volumes expressivos de cabos de poliéster, concentrados nas bacias de Campos e Santos. Em alguns casos, os comprimentos ultrapassam trinta quilômetros por unidade, evidenciando o potencial significativo de geração de resíduos. Esse cenário reforça a necessidade de desenvolvimento de rotas tecnológicas para reaproveitamento desses materiais, especialmente considerando as restrições ambientais associadas ao descarte no ambiente marinho.

Embora o descarte desses materiais gere impactos negativos, a demanda do setor petrolífero impulsiona inovações tecnológicas focadas em gestão de resíduos e reciclagem. Diante desse cenário, a seção seguinte detalha as tecnologias que vêm sendo estudadas como soluções para essa problemática.

Prospecção Bibliográfica das Tecnologias de reciclagem de cabos de poliéster

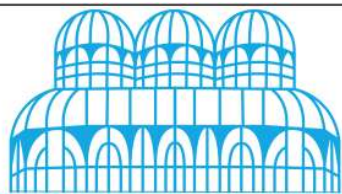
O resultado da revisão bibliográfica evidenciou diversidade de áreas e finalidades para o reaproveitamento do cabo de poliéster, o que reflete a busca contínua por soluções eficientes. Cinco tecnologias de reciclagem identificadas na revisão bibliográfica serão detalhadas a seguir: (1) Substituição parcial do agregado miúdo na produção de concreto; (2) Uso como reforço fibroso em argamassa; (3) Produção de fio para indústria têxtil; (4) Fusão com polietileno para o desenvolvimento de novos materiais; e (5) Reciclagem química via glicólise. Essa variedade de aplicações demonstra a versatilidade do resíduo, que pode ser redirecionado para diferentes cadeias produtivas, agregando valor e contribuindo para a economia circular.

Na incorporação do resíduo como agregado miúdo para produção de concreto, o objetivo foi desenvolver e avaliar as propriedades dos concretos formulados com resíduos de cabos de poliéster, comparados a corpos de prova de concretos de traço padrão utilizados como referência. Ensaios foram conduzidos em amostras com teores de substituição parcial de 5% e 10% do agregado miúdo em volume, submetidos a testes de resistência à compressão axial e de absorção de água. O concreto com formulação substituindo 5% do agregado miúdo por PET apresentou resistência compatível com o material de referência, enquanto o teor de 10% promoveu uma redução no desempenho mecânico (DE OLIVEIRA, ACEVEDO, *et al.*, 2021).

Na investigação do potencial como reforço fibroso em argamassas, foram conduzidos experimentos com o objetivo de verificar o impacto na trabalhabilidade e no desempenho mecânico de argamassas reforçadas com as fibras de PET (comprimentos de 15 mm e 20 mm) em quatro frações volumétricas distintas, 0,25%, 0,50%, 0,75% e 1,00%, em comparação ao desempenho de uma argamassa de referência, sem reforço fibroso. Os materiais foram submetidos aos ensaios de índice de consistência e de compressão uniaxial, para sua caracterização conforme as normas técnicas aplicáveis. Os resultados indicaram que, apesar do decréscimo na resistência à compressão, houve um ganho expressivo de tenacidade e capacidade de deformação. Na análise de compressão uniaxial, observaram-se variações significativas entre as resistências à compressão de pico das argamassas com fibras em relação à argamassa de referência, principalmente nas misturas com maior teor de fibras (0,75% e 1,00%) (SANTOS, TEIXEIRA, *et al.*, 2024).

Na reciclagem mecânica das fibras de PET provenientes de cabos de ancoragem pós-industrial (*post-industrial mooring ropes* – PMR-PET) para a produção de fios destinados à indústria têxtil, foi identificado o potencial de incorporação de PMR-PET ao PET comercial em frações de 60%-40% e 70%-30% em peso/peso. O estudo demonstrou que os fios resultantes possuem propriedades mecânicas superiores em relação aos produzidos com 100% de PET comercial. Além disso, a adição de PMR-PET conferiu maior cristalinidade ao material, sem apresentar limitações para seu uso em produtos têxteis. Esses resultados indicam que o aproveitamento de PMR-PET para a fabricação de novos fios, por meio da fiação por anel, representa uma oportunidade promissora para fomentar a economia circular (DA SILVA, DE SOUSA, *et al.*, 2025).

Na reciclagem em processo de fusão com polietileno (PE), a proposta foi o desenvolvimento novos materiais com bom comportamento mecânico. Para isso, misturas à base de PE pós-consumo, com a adição de diferentes teores de fibras de PET (0%, 5%, 10% e 15% em peso), foram processadas por fusão em extrusora. Em uma segunda etapa do estudo,



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



adicionou-se um agente compatibilizante, o anidrido maleico enxertado com polietileno (PE-g-MA), às misturas de PE/PET, com o objetivo de avaliar a melhoria da interação entre as fases. As análises mecânicas, reológicas e morfológicas realizadas demonstraram que as misturas de PE/PET apresentam grande potencial como materiais estruturados para o desenvolvimento de novos produtos com diferentes propriedades. A melhoria mais significativa foi observada na mistura contendo 10% em peso de fibras de PET associadas ao agente compatibilizante PE-g-MA, que apresentou melhor desempenho em termos de tenacidade quando comparada às demais formulações (SALIMENA, PERTEL, *et al.*, 2025).

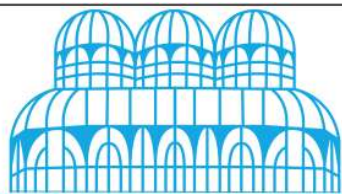
Na avaliação da viabilidade técnica da reciclagem química por meio da glicólise, o objetivo foi investigar a conversão de resíduos de fibras de PET de alta massa molar, provenientes de cabos de ancoragem, em oligoésteres funcionais. O processo foi conduzido utilizando o polietilenoglicol (PEG400) como agente despolimerizante, sob a ação de dois catalisadores: o acetato de zinco e o octoato de lítio, sendo este último reportado pela primeira vez para esta finalidade. As reações ocorreram sob atmosfera inerte e agitação mecânica, alcançando o equilíbrio em aproximadamente 120 minutos, o que evidenciou a alta reatividade das fibras devido à sua morfologia alongada e grande área superficial. Os oligoésteres resultantes apresentaram índices de hidroxila entre 228 e 242 mgKOH/g e massas molares adequadas para a síntese subsequente de polióis poliéster e poliuretanos. O estudo concluiu que a glicólise representa uma rota eficiente para a revalorização de resíduos complexos de cabos de ancoragem de alto desempenho, permitindo sua reinserção na cadeia de economia circular como insumos para novos materiais poliméricos (SENRA, GUIMARÃES, *et al.*, 2026).

A Tabela 3 apresenta uma síntese qualitativa das principais características das rotas tecnológicas analisadas, permitindo uma comparação direta entre suas aplicações, desempenho e limitações.

Tabela 3: Síntese das tecnologias de reciclagem de cabos de poliéster.

Referência	Tecnologia/Aplicação	Objetivo do Trabalho	Resultados Alcançados
DE OLIVEIRA, ACEVEDO, <i>et al.</i> , (2021)	Agregado miúdo em concreto	Avaliar substituição parcial (5% e 10%) de areia por resíduo de PET.	A substituição de 5% manteve a resistência compatível com o concreto de referência.
SANTOS, TEIXEIRA, <i>et al.</i> , (2024)	Reforço fibroso em argamassas	Analisar impacto mecânico e trabalhabilidade com frações de 0,25% a 1,00% de fibras.	Teores de 0,75% e 1,00% apresentaram variações significativas na resistência de pico.
DA SILVA, DE SOUSA, <i>et al.</i> , (2025)	Fios para indústria têxtil	Incorporar PMR-PET ao PET comercial para produção de novos fios.	Fios com 60-70% de PET reciclado de cabos de poliéster apresentaram propriedades de tração superiores aos feitos com 100% PET comercial
SALIMENA, PERTEL, <i>et al.</i> , (2025)	Fusão com polietileno (PE)	Desenvolver misturas poliméricas via extrusão com agente compatibilizante.	A mistura com 10% de PET e PE-g-MA obteve o melhor desempenho em tenacidade e interação entre fases.
SENRA, GUIMARÃES, <i>et al.</i> , (2026)	Reciclagem Química (Glicólise)	Despolimerização com PEG400 e catalisadores (ZnAc e LiOc).	Fibras de cabos apresentam alta reatividade devido à grande área superficial, produzindo polióis aptos para síntese de poliuretano.

A análise comparativa demonstra que a eficácia das rotas tecnológicas é condicionada à aplicação pretendida e ao equilíbrio entre desempenho mecânico e volume de resíduo processado. As soluções em matrizes cimentícias, como concreto e argamassa, destacam-se pela viabilidade em absorver grandes volumes de cabos descomissionados, embora exijam o controle rigoroso de teores para evitar a perda de resistência à compressão e o aumento da porosidade. Em contrapartida, as aplicações têxteis e o desenvolvimento de misturas poliméricas priorizam a valorização técnica das



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



fibras, aproveitando a tenacidade e a cristalinidade intrínseca do material de alta performance para superar as propriedades de polímeros comerciais virgens. Adicionalmente, a rota de reciclagem química via glicólise surge como a alternativa de maior potencial para a economia circular, uma vez que a grande área superficial das fibras favorece uma alta reatividade química, permitindo a síntese de oligoésteres funcionais destinados à produção de poliuretanos de alto valor agregado.

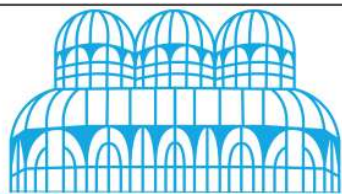
Análise *SWOT* das Tecnologias de Reciclagem

A matriz *SWOT* foi aplicada para comparar as rotas tecnológicas identificadas, considerando fatores técnicos e contextuais associados à implementação industrial. Essa abordagem permitiu identificar os pontos positivos e negativos dos produtos, bem como as possíveis oportunidades e ameaças. A síntese comparativa é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Análise *SWOT* comparativa das rotas de reciclagem de cabos de poliéster.

<i>Tecnologia</i>	<i>Forças (Strengths)</i>	<i>Fraquezas (Weaknesses)</i>	<i>Oportunidades (Opportunities)</i>	<i>Ameaças (Threats)</i>
1. Agregado em Concreto	Viabilidade técnica comprovada com 5% de substituição; Aproveitamento de grande volume de resíduo.	Limitação do teor de substituição (acima de 5% pode comprometer o material); Incertezas sobre a absorção de água.	Expansão para o setor da construção civil; Criação de produtos com certificação sustentável (selo verde).	Falta de normas técnicas específicas; Variabilidade na qualidade do resíduo descartado.
2. Reforço em Argamassa	Bom adensamento em mesa vibratória; Melhoria na resistência mecânica em cargas de pico.	Impacto negativo na trabalhabilidade (manuseio difícil); Necessidade de otimização rigorosa da dosagem.	Desenvolvimento de argamassas especiais (rebocos e revestimentos); Controle de fissuração por retração.	Resistência do mercado à adoção de novos materiais; Custo do pré-tratamento das fibras de PET.
3. Fio para Indústria Têxtil	Propriedades mecânicas superiores ao PET comercial; Aumento da cristalinidade e durabilidade do fio.	Menor estabilidade térmica; Desafios técnicos na fiação por anel (garantia de homogeneidade).	Atendimento à demanda crescente por têxteis sustentáveis; Parcerias estratégicas com a indústria da moda.	Logística complexa de coleta e limpeza dos cabos; Risco de contaminação das fibras originais.
4. Fusão com Polietileno (PE)	Melhora significativa na tenacidade (mistura 10% PET + PE-g-MA); Versatilidade para diversos produtos estruturados.	Dependência de agente compatibilizante; Aumento do custo e da complexidade da formulação.	Desenvolvimento de novos compósitos (setores automotivos e moveleiro); Valorização conjunta de dois resíduos (PET e PE).	Custo elevado do agente compatibilizante (PE-g-MA); Custo energético elevado para extrusão e moldagem por injeção.
5. Reciclagem Química (Glicólise)	Máxima valorização do resíduo (<i>Upcycling</i>) e alta reatividade química das fibras; Uso de catalisadores inovadores (LiOc).	Complexidade de controle térmico e necessidade de reagentes específicos.	Primeira aplicação reportada para PET de cabos de alta tenacidade.	Degradação prévia do material em serviço afeta a massa molar final.

A análise *SWOT*, permitiu identificar que as tecnologias para a construção civil, como o uso em concreto e argamassa, possuem como principal força a capacidade de absorção de grandes volumes de resíduos. No entanto, a fraqueza crítica reside na limitação dos teores de substituição (até 5%) e na perda expressiva de trabalhabilidade. Como ameaça,



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



destaca-se a carência de normas técnicas específicas, o que pode retardar a aceitação desses materiais no mercado estrutural.

No que tange ao fio têxtil e às misturas poliméricas, as forças identificadas estão na melhoria das propriedades mecânicas e no aumento da cristalinidade, conferindo ao resíduo um caráter de matéria-prima de engenharia. As oportunidades concentram-se no atendimento à demanda crescente por moda circular e no desenvolvimento de novos compósitos para o setor automotivo. Contudo, a fraqueza dessas rotas é a complexidade logística, que exige processos rigorosos de limpeza química (purga) e o uso de agentes compatibilizantes de alto custo.

Por fim, a reciclagem química apresenta-se como a fronteira de máxima oportunidade para a síntese de insumos industriais de alto valor. Sua principal força é a alta reatividade das fibras de cabos de ancoragem, embora enfrente a fraqueza de estar em estágio laboratorial inicial, o que configura uma ameaça quanto à viabilidade econômica imediata frente ao custo de reagentes como o PEG400 e o LiOc.

A análise *SWOT* permitiu identificar as particularidades operacionais e os desafios externos inerentes a cada rota tecnológica de forma qualitativa. Contudo, para subsidiar uma tomada de decisão estratégica no gerenciamento dos resíduos *offshore*, faz-se necessária uma métrica que equalize essas informações sob uma base comparativa direta. Para tanto, a seção a seguir apresenta uma avaliação multicritério, fundamentada em dados técnicos e mercadológicos extraídos da literatura, visando quantificar o potencial de implementação de cada tecnologia por meio de um índice sintético.

Avaliação Multicritério das Tecnologias de Reciclagem

A fim de proporcionar uma visão quantitativa sobre o potencial de cada rota tecnológica, instituiu-se o Índice de Viabilidade Estratégica (IVE). Este índice é calculado pela média aritmética de quatro pilares analíticos (Eficiência Técnica, Impacto Ambiental, Viabilidade Econômica e TRL), com notas atribuídas de 1 a 5 com base nas evidências experimentais identificadas nos artigos selecionados.

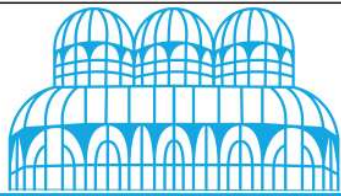
A Tabela 5 apresenta o resultado desta mensuração, estruturada com o auxílio da inteligência artificial generativa para sintetizar os parâmetros estabelecidos.

Tabela 5 – Avaliação Multicritério das Tecnologias.

<i>Tecnologia de Reciclagem</i>	<i>Eficiência Técnica (ET)</i>	<i>Impacto Ambiental (IA)</i>	<i>Viabilidade Econômica (VE)</i>	<i>Maturidade (TRL)</i>	<i>IVE Final</i>
<i>Agregado em Concreto</i>	3	5	2	4	3,50
<i>Reforço em Argamassa</i>	4	4	3	4	3,75
<i>Fio para Indústria Têxtil</i>	5	3	4	3	3,75
<i>Misturas Poliméricas</i>	4	4	4	3	3,75
<i>Reciclagem Química</i>	5	2	5	2	3,50

A aplicação do Índice de Viabilidade Estratégica (IVE) revela que as tecnologias de reforço em argamassa, fio têxtil e misturas poliméricas apresentam o equilíbrio mais favorável para a implementação (IVE 3,75). No cenário da construção civil, o reforço em argamassa destaca-se pela prontidão técnica, em que o efeito de "ponte" das fibras de 15 mm e 20 mm compensa o decréscimo na resistência à compressão por meio de um ganho expressivo na capacidade de deformação e tenacidade da matriz. Paralelamente, o uso como agregado em concreto e a reciclagem química situam-se com um IVE de 3,50, mas por razões distintas: enquanto o concreto oferece máxima capacidade de absorção de volumes irregulares de resíduos e mantém a resistência para substituições de 5%, sua pontuação é impactada pela menor valorização econômica e pela carência de regulamentação técnica para uso estrutural em larga escala.

No espectro de máxima valorização técnica e econômica (*upcycling*), o fio têxtil e as misturas poliméricas demonstram alta viabilidade ao aproveitar a cristalinidade e a tenacidade superiores das fibras de PET de alta performance para superar as propriedades de polímeros comerciais virgens. A reciclagem química via glicólise consolida-se como a rota de maior potencial para a economia circular ao converter fibras de alta massa molar em oligoésteres funcionais para a indústria de poliuretanos. Este processo beneficia-se da grande área superficial das fibras para acelerar a cinética reacional, atingindo o equilíbrio em apenas 120 minutos. Contudo, o IVE de 3,50 para a rota química reflete o atual estágio de maturidade laboratorial (TRL 2) e a necessidade de superar barreiras de custo operacional e escala industrial.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



4. DA SILVA, T. N., DE SOUSA, A. M. F., DA SILVA, A. L. N., *et al.* "Yarn Production from the Offshore Industry Mooring rope Waste: A Circular Textile Economy Opportunity", **Journal of Polymers and the Environment**, v. 33, n. 1, p. 197–209, 1 jan. 2025. DOI: 10.1007/S10924-024-03414-2/METRICS. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-024-03414-2>. Acesso em: 7 ago. 2025.
5. DE OLIVEIRA, C. I. R., ACEVEDO, N. I. A., ROCHA, M. C. G., *et al.* "Desenvolvimento e caracterização de concretos produzidos com substituição parcial do agregado miúdo por resíduos de cabos de plataformas de petróleo", **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 2, p. e12994, 24 maio 2021. DOI: 10.1590/S1517-707620210002.1294. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/BwL8WvWYyy9ChbS68HHcdyc/?lang=pt>. Acesso em: 12 ago. 2025.
6. EPE, E. de P. E. **Sensibilidades e Análise Econômica para a Previsão da Produção de Petróleo e Gás Natural Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032**. [S.l.: s.n.], jan. 2023. . Acesso em: 4 set. 2025.
7. FGV ENERGIA. "Descomissionamento offshore no Brasil: perspectivas e alternativas para um futuro sustentável". 22, set. 2024. **Anais [...]** [S.l.: s.n.], set. 2024. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_descomissionamento_offshore_final.pdf. Acesso em: 11 ago. 2025.
8. GOURVENEC, S., STURT, F., REID, E., *et al.* "Global assessment of historical, current and forecast ocean energy infrastructure: Implications for marine space planning, sustainable design and end-of-engineered-life management", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 154, p. 111794, 1 fev. 2022. DOI: 10.1016/J.RSER.2021.111794. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121010637?via%3Dihub>. Acesso em: 16 ago. 2025.
9. IBP, I. B. de P. e G. **Observatório do setor – IBP**. 2025. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/>. Acesso em: 3 set. 2025.
10. MARINHA DO BRASIL. **Distribuição das Plataformas de Petróleo por Bacias | DPC**. 2025. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dpc/node/4646>. Acesso em: 15 ago. 2025.
11. SALIMENA, L. M., PERTEL, M., OLADIMEJI, O., *et al.* "Sustainable Recycling of Mooring Ropes from Decommissioned Offshore Platforms: Development of New Products Based on Post-Consumer Polyethylene and Polyester Fibers", **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 97, n. 3, p. e20240915, 14 jul. 2025. DOI: 10.1590/0001-3765202520240915. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/VZrBqLQSPT6mMcyLSV3V3Cx/?lang=en>. Acesso em: 7 ago. 2025.
12. SANTOS, J., TEIXEIRA, N., BALTHAR, V., *et al.* "Análise do potencial de fibras PET residuais de cabos de ancoragem de plataforma offshore como reforço fibroso em argamassa". 5 nov. 2024. **Anais [...]** [S.l.], Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais e de Saneamento, 5 nov. 2024. DOI: 10.55449/congea.15.24.iii-024.
13. SENRA, E. M., GUIMARÃES, A. C. da S., ALMEIDA, R. H. G. de, *et al.* "A Technical Feasibility Assessment of Chemically Recycling PET Fibers Through Glycolysis to Produce Functional Oligoesters", **Recycling**, v. 11, n. 2, 1 fev. 2026. DOI: 10.3390/recycling11020036. .
14. SUDAIA, D. P., BASTOS, M. B., FERNANDES, E. B., *et al.* "Sustainable recycling of mooring ropes from decommissioned offshore platforms", **Marine Pollution Bulletin**, v. 135, p. 357–360, 1 out. 2018. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.06.066. .