

DESCOMISSIONAMENTO E DESTINAÇÃO DE DUTOS FLEXÍVEIS SUBMARINOS PÓS-USO NO BRASIL

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.V-001>

Myra Morena de Freitas Benevides (*), Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco, Newton Narciso Pereira

(*) Universidade Federal do Rio de Janeiro, myrabenevides.pea20223@poli.ufjr.br

RESUMO

O descomissionamento de dutos flexíveis submarinos é uma realidade na indústria de óleo e gás no Brasil, exigindo o aprimoramento das alternativas de beneficiamento e destinação para melhor aproveitamento dos materiais constituintes. O objetivo deste artigo foi discutir a importância técnica e ambiental do descomissionamento de dutos flexíveis no país, compreendendo suas etapas com destaque nas alternativas de preparação dos dutos e destinação mais ambientalmente adequada. Apesar de crescente, o tema ainda é pouco explorado, com lacunas em relação às melhores práticas para destinação mais sustentável de dutos. A metodologia do estudo incluiu um levantamento bibliográfico, visitas técnicas e participação em eventos especializados, proporcionando uma análise detalhada das práticas e desafios atualmente enfrentados. Conclui-se que são necessários mais estudos e experimentos para promover o aperfeiçoamento técnico, incluindo a automatização do processo de abertura de dutos. Além disso, a colaboração dos fabricantes é fundamental para repensar o design dos dutos, facilitando a preparação para a destinação. O fortalecimento da circularidade do produto, por meio de uma nova cadeia de valor, é essencial para transformar os desafios do descomissionamento de dutos flexíveis em oportunidades, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da indústria.

PALAVRAS-CHAVE: Alternativas de preparação, Descomissionamento, Destinação, Dutos flexíveis, Óleo e gás.

ABSTRACT

The decommissioning of submarine flexible pipelines is a reality in the oil and gas industry in Brazil, requiring improvements in processing and disposal alternatives to enhance the utilization of constituent materials. This article aims to discuss the technical and environmental importance of flexible pipelines decommissioning in the country, analyzing its stages with a focus on pipeline preparation alternatives and environmentally appropriate disposal methods. Although the topic is gaining attention, it remains underexplored, with gaps regarding best practices for the sustainable disposal of pipelines. The study's methodology included a literature review, technical visits, and participation in specialized events, providing a detailed analysis of current practices and challenges. The findings indicate that further studies and experiments are necessary to advance technical improvements, including the automation of pipeline opening processes. Additionally, collaboration from manufacturers is crucial to redesign pipelines, facilitating their preparation for disposal. Strengthening product circularity through a new value chain is essential to transform flexible pipelines decommissioning challenges into opportunities, contributing to the industry's sustainable development.

KEY WORDS: Preparation alternatives, Decommissioning, Disposal, Flexible pipelines, Oil and gas.

INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, existem cerca de 56 plataformas marítimas de produção de petróleo e gás com mais de 25 anos de existência (ANP, 2025). Como a vida útil dessas instalações varia, em média, entre 20 e 30 anos, muitas delas estão potencialmente sujeitas ao descomissionamento. O mesmo ocorre com o sistema submarino, que compreende o conjunto de instalações submarinas, incluindo os equipamentos destinados à elevação, injeção ou escoamento dos fluidos produzidos ou movimentados (MENDES, ROMEIRO e COSTA, 2012).

O descomissionamento é definido como o “conjunto de atividades associadas à interrupção definitiva da operação das instalações, ao abandono permanente e arrasamento de poços, à remoção de instalações, à destinação adequada de materiais, resíduos e rejeitos e à recuperação ambiental da área.” (ANP, 2020, p. 2). A definição é regulada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) na Resolução nº 817/2020, que também estabelece requisitos técnicos, ambientais, de segurança dos trabalhadores, das operações e da navegação. Essa regulamentação é essencial para garantir que o processo de descomissionamento ocorra de forma segura e

ambientalmente responsável, minimizando os impactos negativos e assegurando a recuperação adequada das áreas afetadas.

Entre as estruturas a serem descomissionadas, destacam-se os dutos flexíveis, amplamente utilizados na movimentação de fluidos. Esses dutos, essenciais para a exploração e produção em águas profundas, são confeccionados com materiais poliméricos, como o polietileno de alta densidade (PEAD) e poliamida, além de aços inoxidável e carbono (BAI e BAI, 2005). Existem ainda dutos convencionais, fabricados em aço, ou modelos híbridos, como os dutos flexíveis multicamadas, cuja composição varia de acordo com fatores como fluido transportado, temperatura e pressão. Conforme a *American Petroleum Institute* (API, 2002), o tubo flexível para aplicações *offshore* e *onshore* desempenham diversas funções, tais como:

- a) Produção – transporte de petróleo, gás, condensados e água;
- b) Injeção – transferência de água, gás e produtos químicos para o poço;
- c) Exportação – movimentação de petróleo semiprocessado e gás;
- d) Serviços – transporte de produtos químicos para cabeça de poços e fluidos de controle.

Ao atingir o fim de sua vida útil, a reciclagem surge como uma alternativa ambientalmente adequada, permitindo a reinserção do material no ciclo produtivo, otimizando a uso dos recursos naturais e fortalecendo a economia circular. Um exemplo dessa prática é o setor siderúrgico, onde 30% da produção brasileira já provém da reciclagem (ARCELOR MITTAL, 2021). Além disso, a reciclagem está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 12, que trata de consumo e produção responsáveis, estabelecido pela Organização das Nações Unidas.

Apesar da relevância, a literatura acadêmica sobre o descomissionamento de dutos flexíveis é escassa. A Petrobras, por exemplo, estimou a necessidade de descomissionar cerca de 40 mil toneladas de instalações, incluindo dutos flexíveis (SPE, 2024). Entretanto, as pesquisas são prejudicadas pela falta de dados detalhados, como a quantidade de material reciclável e a capacidade da indústria de absorver esses insumos (PRADO, 2015). Também há uma lacuna de informações sobre o quantitativo total de dutos instalados no Brasil, suas características e a previsão do volume a ser descomissionado. O estudo de Vidal *et al.* (2022) aponta o descomissionamento de dutos como uma área pouco explorada dentro da engenharia de petróleo e gás. Desta forma, esse estudo pretende ampliar o conhecimento sobre tema.

O artigo foi estruturado em cinco seções. Após esta introdução, são apresentados o objetivo e a metodologia do estudo. Em seguida, na seção resultados e discussões, são abordados subtópicos essenciais para a compreensão da pesquisa, incluindo as características e histórico dos dutos flexíveis, as alternativas de descomissionamento, uma ferramenta para apoio à decisão, a relação entre o descomissionamento, a economia circular e a logística reversa, as etapas do descomissionamento de dutos flexíveis, abrangendo a remoção de instalações, a preparação para destinação e a destinação. Por fim, a última seção apresenta as considerações finais do estudo.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é discutir os aspectos técnicos e ambientais do processo de descomissionamento, bem como apresentar e compreender as etapas envolvidas no descomissionamento de dutos flexíveis, com ênfase nas alternativas de preparação e destinação ambientalmente adequadas disponíveis no Brasil, conforme preconizado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei Federal nº 12.305/2012). Essa análise visa contribuir para o desenvolvimento de práticas que unam sustentabilidade e eficiência técnica no setor.

METODOLOGIA

A metodologia deste estudo constituiu na coleta de dados por meio de três abordagens principais: 1) levantamento bibliográfico, 2) visitas técnicas e 3) participação em eventos da área. O levantamento bibliográfico foi conduzido a partir da consulta a artigos disponíveis nas bases de dados Scopus e Science Direct, além de outros materiais científicos disponíveis na literatura brasileira e internacional, com o objetivo de embasar teoricamente a pesquisa sobre descomissionamento de dutos flexíveis.

As visitas técnicas, por sua vez, foram conduzidas em três empresas brasileiras que realizam a preparação de dutos para destinação final. Nessas empresas, observou-se a aplicação de técnicas como trituração e abertura dos dutos com ferramentas portáteis, essenciais para a viabilização de processos de reciclagem, contribuindo para o mapeamento do processo.

Por fim, a participação em eventos de relevância nacional e internacional possibilitou a troca de conhecimento com especialistas e a atualização sobre as práticas mais recentes do setor. Entre os eventos destacados estão o Workshop da Sociedade Brasileira de Engenharia Naval (SOBENA) realizado em maio de 2024, o Simpósio da Sociedade de Engenheiros de Petróleo (SPE) em junho de 2024, o Seminário da Fundação Getúlio Vargas (FGV) em setembro de 2024 e o Workshop promovido pelo Centro de Estudos para Sistemas Sustentáveis (CESS) da Universidade Federal Fluminense, em parceria com a Petrobras, em outubro de 2024.

Essa metodologia de pesquisa foi adotada devido à limitada produção científica sobre o tema. Portanto, há uma demanda por estudos que visem identificar e compreender as etapas do processo de descomissionamento de dutos flexíveis, com ênfase nas alternativas para preparação e destinação ambientalmente adequada no contexto brasileiro.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seção de Resultados e Discussões apresenta uma análise detalhada dos principais aspectos relacionados ao descomissionamento de dutos flexíveis. Inicialmente, foram abordados as características e o histórico desses dutos, fornecendo um panorama sobre sua evolução e aplicações na indústria offshore. Em seguida, foram discutidas as alternativas disponíveis para o descomissionamento, incluindo a remoção total, a remoção parcial e a permanência *in situ*. Também é apresentada uma ferramenta de apoio à decisão, desenvolvida para auxiliar na escolha da melhor estratégia de descomissionamento. Além disso, explora-se a relação entre descomissionamento, Economia Circular (EC) e Logística Reversa (LR), evidenciando como esses conceitos podem contribuir para uma gestão mais sustentável dos materiais. O estudo detalha, ainda, as etapas do descomissionamento de dutos flexíveis, abrangendo desde a remoção das instalações até a preparação para a destinação. Dessa forma, esta seção objetivou fornecer uma visão abrangente e estruturada sobre o processo de descomissionamento, contribuindo para a tomada de decisão e para a sustentabilidade na indústria de petróleo e gás.

A. DUTOS FLEXÍVEIS

Os dutos são componentes essenciais nas instalações de exploração e de produção de petróleo e gás natural, utilizados para a movimentação de fluidos em uma infinidade de funções, como produção, injeção, exportação e serviços, (API, 2002). De acordo com sua função e posição no processo *offshore*, os dutos são classificados como *flowlines* ou *risers*. Os *flowlines*, localizados no leito marinho, conectam os equipamentos submarinos e transportam fluidos até os *risers*. Esse por sua vez, são a porção vertical dos dutos que chegam até a plataforma (MENDES, ROMERO e COSTA, 2012).

Os dutos flexíveis são compostos por cinco camadas principais, conforme ilustrado na Figura 1: (1) carcaça, que previne o colapso do tubo; (2) bainha interna, responsável por manter a integridade do fluido; (3) armadura de pressão, que suporta a pressão interna; (4) armadura de tração, que resiste às cargas de tração; e (5) bainha externa, que protege contra a água do mar. Essas camadas são tipicamente fabricadas com materiais poliméricos, como a poliamida-11 e o polietileno de alta densidade (PEAD), e aços inoxidável e carbono (BAI e BAI, 2005). A especificação exata dos materiais dependerá do tipo de aplicação e dos fatores como o tipo de fluido transportado, a temperatura, a pressão de operação, dentre outros (API, 2002).

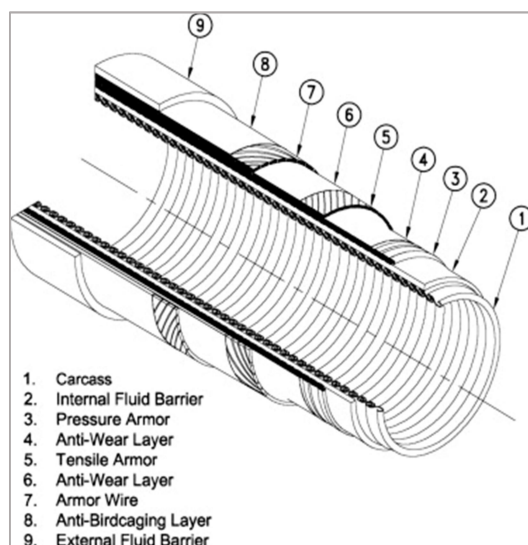


Figura 1: Camadas do duto flexível. Fonte: Bai e Bai (2005), com a permissão da Elsevier.

Além das cinco camadas principais, existem outras que são menores, tais como a camada antidesgaste, que previne a torção dos fios da estrutura (fenômeno conhecido como de “birdcaging” ou “gaiola de passarinhos”), e o fio de armadura, que suporta as altas cargas de tração (BAI e BAI, 2005). Manter inspeções periódicas é essencial para garantir o bom funcionamento dessas proteções e evitar falhas operacionais.

Um marco histórico no uso de dutos flexíveis ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial, em 1943, quando os britânicos os empregaram para transportar combustível através do Canal da Mancha no projeto denominado *Pipeline Under the Ocean* - PLUTO (OEUK, 2013). No Brasil, o uso experimental de dutos flexíveis iniciou-se em 1971 na Bacia de Campos (MORAIS, 2013). À medida que a exploração do petróleo avançava em águas mais profundas e desafiadoras, os dutos foram aprimorados para atender às crescentes demandas tecnológicas (NETO e SHIMA, 2008).

O uso de dutos flexíveis no Brasil se expandiu, tornando-se fundamental para viabilizar a produção em águas profundas (300 a 1500 metros) e ultraprofundas (acima de 1500 metros), especialmente após a descoberta do pré-sal nas Bacias de Santos e de Campos, em 2006 e 2007, com o início da exploração comercial em 2010 (MORAIS, 2013). Em 2023, a produção média de petróleo no pré-sal foi de 2,6 milhões de barris por dia, representando 76,4% da produção nacional total (ANP, 2024), evidenciando a importância dos dutos flexíveis na manutenção da autossuficiência do Brasil em petróleo.

B. DESCOMISSIONAMENTO DE DUTOS FLEXÍVEIS

O descomissionamento representa uma oportunidade para impulsionar a indústria naval, bem como o setor de serviços, que pode se beneficiar das diversas atividades envolvidas, como transporte, gerenciamento e tratamento de resíduos, entre outras (SOBENA, 2024; FGV, 2024; CESS, 2024). Estima-se que serão investidos R\$ 10,4 bilhões na remoção de linhas (dutos de escoamento, dutos de transferência, linhas de produção, linhas de injeção, linhas de serviço, umbilicais e cabos elétricos) entre 2025 e 2029 no Brasil (ANP, 2025), favorecendo o crescimento do mercado de serviços, especialmente o de gestão de resíduos. Vale destacar, que o Brasil não conta com um inventário de dutos e demais equipamentos do sistema submarino, um empecilho para a previsão de investimentos pelo setor de serviços.

As alternativas técnicas para o descomissionamento de dutos flexíveis incluem: remoção total, remoção parcial com ou sem intervenção e permanência definitiva in situ (MEENAN, 1998), conforme ilustrado na Figura 2. As intervenções podem envolver o enterramento por contenção, despejo de rochas (processo também chamado de blindagem) e sinalização (ROUSE *et al.*, 2018). A sinalização de oleodutos deixados in situ pode ajudar a mitigar os impactos na atividade pesqueira, viabilizando a criação de áreas de exclusão ao redor dessas estruturas (ROUSE *et al.*, 2018).

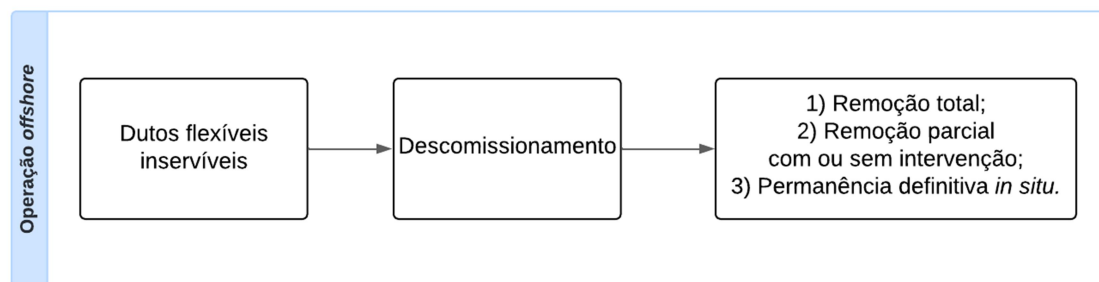


Figura 2: Alternativas para o descomissionamento de dutos flexíveis. Fonte: Autor do Trabalho.

O alijamento, despejo ou afundamento deliberado de construções no mar (BRASIL, 1982), é vedado pela Convenção de Londres sobre Prevenção da Poluição Marinha por Alijamento de Resíduos e Outras Matérias (1972), ratificada pelo Brasil em 1982, através do Decreto Federal nº 87.566/1982. Além disso, a Convenção de Genebra (1958) sobre Plataforma Continental determina a remoção das instalações, e a Convenção de Montego Bay sobre o Direito do Mar (1982) reforça a necessidade de remoção com vistas à segurança da navegação e à proteção das atividades pesqueiras e leito marinho. Esta última convenção entrou em vigor no Brasil em 1994, por meio do Decreto Federal nº 1.530/1995. No Brasil, a regra geral é a remoção completa dos dutos, sendo as demais alternativas consideradas exceções, sujeitas a análise caso a caso (ANP, 2020).

Independente da alternativa escolhida, a justificativa deve ser apresentada por meio do Programa de Descomissionamento das Instalações (PDI). Esse programa deve apresentar duas versões: a conceitual, que apresenta o escopo do planejamento do descomissionamento; e a executiva, que detalha o planejamento e a execução do descomissionamento. O PDI deve ser submetido aos órgãos reguladores, como a ANP, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Marinha do Brasil, cinco anos antes do término das atividades. Esses órgãos terão 18 meses para analisar o documento e solicitar complementações, se necessário. Após a aprovação do PDI conceitual, o operador terá 180 dias para apresentar o PDI executivo.

C. FERRAMENTAS PARA APOIO À DECISÃO

Para apoiar a decisão da melhor alternativa de descomissionamento, utiliza-se uma análise comparativa baseada em critérios normalmente definidos pelos órgãos reguladores (WILKINSON *et al.*, 2016), tais como aspectos técnicos, ambientais, sociais, de segurança e econômicos (ANP, 2020). A análise comparativa é fundamentada nas diretrizes do documento “*Guidelines for Comparative Assessment in Decommissioning Programmes* (2015) da Associação da Indústria de Petróleo e Gás do Reino Unido (MARTINS *et al.*, 2020). Essa ferramenta é considerada um instrumento de análise de decisão multicritério (MCDA, na sigla em inglês), que auxilia na comparação e avaliação das alternativas, levando em conta os critérios mencionados e seus subcritérios.

No que diz respeito aos subcritérios, Martins *et al.* (2020) recomendam a consideração das peculiaridades locais na sua definição, ou seja, uma avaliação caso a caso. A identificação desses subcritérios pode ser realizada através da consulta às partes interessadas e de uma revisão da literatura. Essa recomendação torna-se especialmente importante quando se trata de estruturas em águas profundas, dado o conhecimento ainda incompleto sobre as implicações dessa atividade (SENAVIRATHNA, GALAPPATHTHI e RANJAN, 2022).

Normalmente, o critério ambiental tende a ser o mais destacado em relação aos outros (WILKINSON *et al.*, 2016). Isso pode ser explicado pelas exigências impostas pelos órgãos reguladores ambientais (VIDAL *et al.*, 2022) e pela pressão popular, que busca assegurar que as operações minimizem os impactos negativos ao meio ambiente.

Outra abordagem para apoiar a tomada de decisão é a contratação de um grupo de revisão independente, formado por profissionais com vasta experiência no assunto e qualificação. Esse grupo deve ser autônomo e independente tanto dos reguladores quanto dos operadores. Essa prática já foi aplicada em projetos de descomissionamento no Mar do Norte, envolvendo plataformas, oleodutos e equipamentos. A criação de um grupo independente é recomendada para agilizar o processo, aumentar a transparência, e, sobretudo, quando há falta de corpo técnico especializado nos órgãos ambientais (WILKINSON *et al.*, 2016).

D. ECONOMIA CIRCULAR E LOGÍSTICA REVERSA

A origem da Economia Circular (EC) é objeto de debate; contudo, o termo ganhou notoriedade com a criação da Fundação Ellen MacArthur. Diversas definições coexistem e evoluem ao longo do tempo, o que pode gerar ambiguidades em sua compreensão e aplicação. Após avaliar vinte e sete conceitos e considerar os aspectos ético, cultural e de segurança, Upadhayay *et al.* (2024) propõem a seguinte definição de EC:

A economia circular é um campo transdisciplinar baseado na regeneração e restauração ética e responsável de recursos para a obtenção do bem comum por meio de uma abordagem integrada nos níveis micro, meso e macro com as promessas e possibilidades de ganhos ambientais, econômicos, culturais e sociais para as gerações existentes e futuras (UPADHAYAY *et al.*, 2024, p.14).

Além dessa definição, a norma ISO 59004, publicada em maio de 2024 e traduzida para o português em novembro do mesmo ano, apresenta vocabulário, princípios e orientações para a implementação da EC. Trata-se de um documento de abrangência internacional, aplicável a governos, empresas e organizações sem fins lucrativos, o que contribui para consolidar o conceito de EC. A norma define EC como um “sistema econômico que utiliza uma abordagem sistêmica para manter um fluxo circular de recursos, ao recuperar, reter ou agregar valor a esses recursos, ao mesmo tempo em que contribui para o desenvolvimento sustentável” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2024, p.1).

A EC oferece uma alternativa ao modelo linear de produção (produzir, consumir e descartar), estruturando-se em torno das ações de reduzir, reutilizar e reciclar. Essas ações são complementadas por três princípios: design adequado, reclassificação dos materiais técnicos (reutilizados) e nutrientes (compostagem) e o uso de energias renováveis (GHISELLINI, CIALANI e ULGIATI, 2016 *apud* FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2012). Nesse contexto, é essencial que fabricantes considerem, já no design dos produtos, a sua destinação, visando maximizar o aproveitamento de materiais. Embora muitas pesquisas enfoquem o fim de vida útil e a reciclagem como estratégia, é necessário ampliar a aplicação da EC para abarcar todo o ciclo de vida dos produtos (UPADHAYAY *et al.*, 2024).

A Logística Reversa (LR), por sua vez, é uma ferramenta-chave para a recuperar o valor de produtos no contexto da EC (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2024). No Brasil, a LR é regulamentada pela PNRS, aplicável a resíduos tais como: agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, produtos eletroeletrônicos, vidro, medicamentos, dentre outros. Nesses casos, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes compartilham a responsabilidade pelo retorno dos materiais pós-consumo ao ciclo produtivo, por meio de campanhas de arrecadação, pontos de coleta fixos e parceria com associação de catadores, entre outras iniciativas.

A LR aborda dois cenários distintos: o fim de uso e fim de vida útil dos produtos. No primeiro caso, o produto ainda se encontra em condições de uso e pode ser reaproveitado. No caso dos dutos flexíveis, a extensão da vida útil pode ser viabilizada através de verificações de segurança, análises de confiabilidade e avaliação do estado limite dos *risers* (LOUREIRO *et al.*, 2024). No segundo cenário, o produto já não pode ser reaproveitado, seja por desgaste, implicações legais, restrições ambientais ou obsolescência (VALLE e SOUZA, 2014).

Embora a LR de resíduos gerados pela indústria, como os dutos flexíveis, não seja alvo da PNRS, essa política incentiva a avaliação do ciclo de vida do produto (BRASIL, 2010). Essa abordagem contribui para o conceito *cradle-to-cradle* (do berço ao berço), que, se adotado pelas empresas, pode impulsionar a circularidade ao longo do ciclo de vida dos produtos.

O Brasil avança na transição para a EC, com iniciativas como o Decreto Federal nº 12.082/2024, que instituiu a Estratégia Nacional de Economia Circular. Esse decreto visa, entre outros objetivos, “reduzir a utilização de recursos e a geração de resíduos, preservando o valor dos materiais” (BRASIL, 2024, n.p.), por meio de designs que minimizem resíduos ao final da vida útil. Este instrumento é crucial para repensar a circularidade dos dutos flexíveis, considerando as possibilidades ao fim de sua vida útil, os desafios enfrentados pela indústria que os recebe, e como esse processo poderia ser simplificado. Nesse sentido, as políticas públicas são um facilitador essencial para o crescimento da EC (LACY e RUTQVIST, 2015).

E. ETAPAS DO DESCOMISSIONAMENTO DE DUTOS FLEXÍVEIS

Os dados deste tópico foram obtidos por meio de visitas técnicas a três empresas de preparação de dutos flexíveis localizadas nos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, além da participação em eventos relevantes da área. Para melhor organização, este tópico foi subdividido conforme as principais etapas do processo, que incluem remoção dos dutos flexíveis, preparação e destinação.

O termo preparação de resíduos, adotado neste artigo, está alinhado à definição da ABNT NBR 17100:2023: “operação de gerenciamento de resíduos na qual se realiza a alteração das propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas dos resíduos sólidos, com vistas a permitir o emprego de determinada tecnologia de destinação final.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023, p. 6). A norma cita a trituração, a triagem e a formação de *blend* como exemplos de tecnologias de preparo para posterior destinação. Neste estudo, a abertura de dutos com ferramentas portáteis também é considerada uma tecnologia de preparação, embora não esteja contemplada na norma mencionada.

• Remoção de instalações

A remoção de dutos flexíveis envolve a retirada total ou parcial dos dutos posicionados verticalmente (*riser*) ou horizontalmente (*flowline*), este último situado no leito marinho. As técnicas utilizadas para esse processo incluem: enrolamento reverso, aplicável para dutos com diâmetro menor ou igual a 16 polegadas, no qual o duto é enrolado em um carretel instalado no convés da embarcação; *S-lay* ou *J-lay* reverso, recomendado para dutos com diâmetro superior a 16 polegadas, sendo que no método *S-lay* o duto está posicionado horizontalmente em relação à embarcação, enquanto no *J-lay*, encontra-se perpendicular (PRADO, 2015). Nesse método, uma extremidade do duto é recuperada para o convés da embarcação especializada, que se desloca ao longo da rota do duto, parando em pontos estratégicos para realizar cortes e recuperar as seções. Outra técnica é o corte e içamento, aplicável para dutos de qualquer diâmetro ou comprimento, utilizando ferramentas operadas por mergulhadores ou remotamente para cortar o duto, que é então içado com o auxílio de um guindaste. No entanto, esse método apresenta maiores riscos, especialmente para os mergulhadores (OEUK, 2013).

O processo de remoção inicia-se com a limpeza dos dutos ainda instalados. Essa etapa consiste na passagem de água pelo interior do duto até que o efluente atinja o nível esperado de hidrocarbonetos, com o Teor de Óleos e Graxas (TOG) igual ou inferior a 15ppm, consoante a Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 01/11.

Após a limpeza, os dutos são desconectados da plataforma e dos outros equipamentos do sistema submarino. Em seguida, uma das técnicas de remoção é aplicada, e os dutos são transportados para o porto de destino. Caso estejam enrolados em carretéis, no porto os dutos podem ser desenrolados e seccionados com o uso de tesouras hidráulicas, viabilizando seu transporte para a empresa responsável pela preparação para destinação, como pode ser observado na Figura 3. Esses serviços são definidos conforme os acordos firmados entre o operador e a(s) empresa(s) prestadora(s) de serviços.

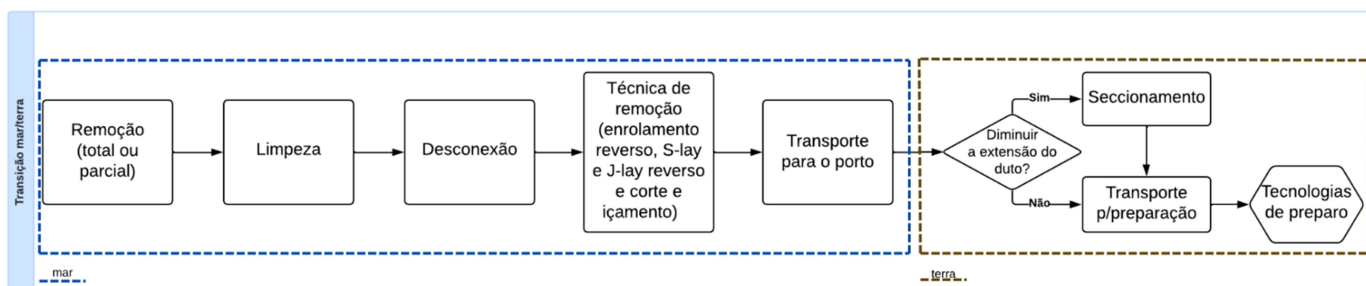


Figura 3: Remoção de dutos flexíveis. Fonte: Autor do Trabalho.

• Preparação para destinação

As tecnologias de preparação dos dutos precedem a destinação dos resíduos e, no Brasil, incluem principalmente dois métodos: trituração e abertura com ferramentas portáteis, conforme ilustrado na Figura 4. No processo de trituração, os dutos são cortados em pedaços menores para inserção no triturador. Após triturados, o aço carbono pode ser separado utilizando ímãs, mas isso não ocorre com o aço inox e os polímeros, que precisam ser segregados manualmente. Quando a separação do polímero não é viável ou eficaz, a mistura poderá ser encaminhada para blendagem e posterior coprocessamento em fornos de cimenteiras (reciclagem energética). Já no processo de abertura com ferramentas

portáteis, como cortadoras a disco e serras-mármore, cada camada do duto é separada, e o material resultante é predominantemente destinado à reciclagem mecânica.

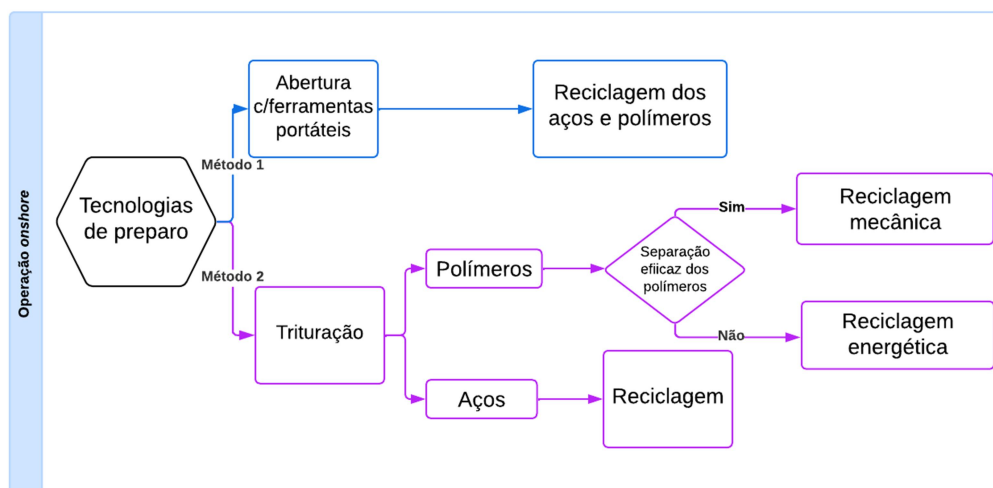


Figura 4: Tecnologias de preparo. Fonte: Autor do Trabalho.

Determinadas condições requerem atenção especial durante a preparação dos dutos, tanto na camada externa quanto na camada interna: 1) presença de borra ou incrustação contendo Material Radioativo de Ocorrência Natural (NORM, sigla em inglês); 2) bioincrustações, incluindo espécies invasoras como o Coral-sol (*Tubastraea coccinea* e *Tubastraea tagusensis*); e 3) resíduos oleosos. O NORM, transportado pelos dutos juntamente com o fluido de perfuração, exige tratamento específico, que inclui armazenamento temporário em instalações autorizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Atualmente, a Petrobras é a única operadora no Brasil com autorização para tal armazenamento. Como o país ainda não possui uma solução própria para a destinação ou disposição do NORM, o material é exportado para os Estados Unidos, no Texas, onde é injetado em cavernas salinas (SOBENA, 2024; FGV, 2024; CESS, 2024). Para o Coral-sol, o Plano de Desenvolvimento Integrado Executivo de Caioba, elaborado pela Petrobras (ANP, 2024), prevê duas opções de tratamento: envio para aterros ou blendagem para coprocessamento. Já no caso de resíduos de óleo, a água oleosa gerada na lavagem dos dutos precisa ser tratada adequadamente.

O processo de destinação dos resíduos só é considerado concluído após o tratamento final, comprovado pelo Certificado de Destinação Final (CDF). A rastreabilidade de resíduos é uma prática padrão nos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo e gás, sendo regulamentada pelo Programa de Controle da Poluição (PCP), cujo objetivo é minimizar a poluição gerada a bordo e sua disposição em terra (IBAMA, 2011). Conforme a norma NBR 17100-1, a rastreabilidade é definida como um “mecanismo de identificação de uma carga de resíduos que contém um conjunto de informações sobre a identificação do resíduo, seu gerador, quantidades e registro dos operadores envolvidos em seu transporte, armazenamento temporário, preparo e destinação final, desde sua origem até sua destinação” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023, p. 4). O Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) é um dos documentos que garantem essa rastreabilidade. No entanto, dependendo do fluxo do processo de destinação, um único MTR pode não ser suficiente para cobrir toda a cadeia de destinação, como exemplificado na

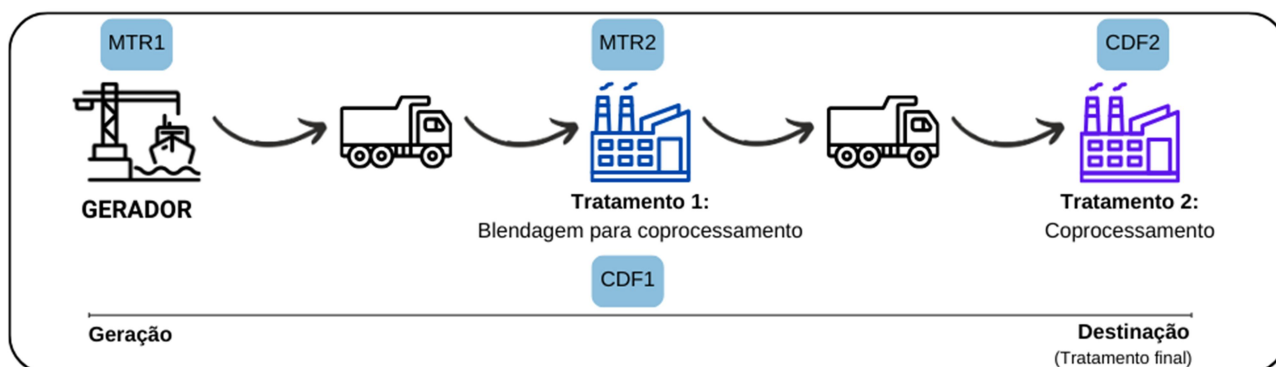


Figura 5: Rastreabilidade de Resíduos. Fonte: Autor do Trabalho.

Figura 5.

Nesses casos, é emitido um documento adicional para registrar todo o fluxo de destinação, desde a geração até a destinação ou disposição final, incluindo os respectivos números dos MTRs e CDFs. A comprovação da rastreabilidade é uma exigência do PCP no contexto do licenciamento (IBAMA, 2011) e pode ser necessária no Relatório de Descomissionamento de Instalações (ANP, 2020). A conclusão adequada desse processo é fundamental para assegurar a conformidade ambiental e a segurança na gestão dos resíduos provenientes dos dutos flexíveis.

• Destinação

As principais opções para o tratamento dos polímeros provenientes dos dutos flexíveis pós consumo, mapeadas durante visitas técnicas, são a reciclagem mecânica e a energética (coprocessamento). Segundo a PNRS, reciclagem é definida como o “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos (...)” (PNRS, 2010, p. 2). Esse processo pode ser classificado em quatro categorias (AL-SALEM, LETTIERI e BAEYENS, 2009):

- 1) Reciclagem primária - consiste na reextrusão de resíduos provenientes da própria fabricação do plástico;
- 2) Reciclagem secundária (ou mecânica) - aplica-se a plásticos pós-consumo homogêneos, exigindo um processo de separação eficiente para garantir a qualidade do produto final;
- 3) Reciclagem terciária (ou química) - transforma o plástico em moléculas menores, que podem ser utilizadas na produção de novos produtos petroquímicos. Essa abordagem permite o uso de polímeros heterogêneos e contaminados, exigindo menos pré-tratamento;
- 4) Reciclagem quaternária - refere-se à geração de energia pela queima de resíduos, como ocorre no coprocessamento em fornos de cimenteiras.

No caso dos aços, o triturador desempenha um papel na sua industrialização ao aumentar a densidade do material (MME, 2009). A reciclagem ocorre por meio da rota tecnológica elétrica, na qual, em usinas semi-integradas, o ferro-gusa e a sucata ferrosa são misturados para a produção de aço em formas elétricas a arco (GO ASSOCIADOS, 2022). No Brasil essa rota é responsável por 23,7% da produção de aço bruto (ACOBASIL, 2024). Quanto à origem, a sucata dos dutos flexíveis pode ser considerada sucata de obsolescência, derivada de materiais em desuso (MME, 2009). Em 2023, o consumo de sucata de ferro e aço no Brasil foi de 7.887 mil toneladas. No entanto, não há especificação sobre a origem desse material, ou seja, se foi proveniente de fontes internas das próprias siderúrgicas ou de fontes externas (ACOBASIL, 2023).

A reciclagem apresenta benefícios ambientais e econômicos, como a redução do consumo do petróleo e energia, menores emissões de CO₂ e o aumento da vida útil dos aterros (OTITOJU *et al.*, 2023). Contudo, esses benefícios dependem de uma análise criteriosa para garantir que os impactos negativos indiretos, como o transporte de dutos até a unidade de reciclagem, sejam superados pelas vantagens geradas (SENAVIRATHNA, GALAPPATHTHI e RANJAN, 2022). Portanto, a viabilidade logística, eficiência e custo-benefício são aspectos cruciais na escolha dessa alternativa.

Apesar das vantagens, o processo de reciclagem apresenta desafios técnicos, como a dificuldade da separação dos plásticos e o custo dessa operação (JUNG *et al.*, 2023). Essa é uma dificuldade da trituração, visto que os polímeros são misturados durante o processo. Uma das possibilidades de separação é por densidade, porém pode não ser útil dado a proximidade da densidade dos plásticos. Neste caso para aumentar a efetividade da separação utiliza-se um hidrociclone (AL-SALEM, LETTIERI e BAEYENS, 2009). Outros obstáculos incluem a presença de aditivos e revestimentos, bem como a contaminação por óleo, borra ou incrustação no interior dos dutos, que exigem a limpeza prévia. Além disso, a incapacidade de reprocessar plásticos termofixos (JUNG *et al.*, 2023).

Em 2023, o Brasil produziu aproximadamente sete milhões de toneladas de produtos plásticos, mas reciclou mecanicamente apenas um milhão de toneladas. O país conta com 1672 empresas de reciclagem de plásticos, concentradas principalmente nas regiões Sudeste e Sul, com destaque São Paulo (535 empresas), Paraná (189), Santa Catarina (170), Minas Gerais (155) e Rio Grande do Sul (119) (Abiplast, 2023).

O coprocessamento, conforme a Resolução CONAMA nº 499/2020, é definido como “destinação final ambientalmente adequada que envolve o processamento de resíduos sólidos como substituto parcial de matéria-prima e/ou de combustível no sistema forno de produção de clínquer, na fabricação de cimento” (MMA, 2020, n.p). Nesse processo, o plástico residual é combinado a outros materiais para servir como fonte de energia, reduzindo o consumo de recursos naturais e diminuindo a quantidade de resíduos enviados a aterros.

Ambas as alternativas estão previstas na PNRS e devem ser avaliadas com base na tecnologia de preparação escolhida. No caso da trituração, a capacidade do equipamento de separar os polímeros por tipo é um fator determinante para a escolha do tratamento. Adicionalmente, a proximidade da unidade de tratamento ao ponto gerador do resíduo é essencial, pois distâncias maiores impactam diretamente as emissões de CO₂ no transporte e nos custos logísticos, comprometendo a viabilidade econômica da solução selecionada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabe-se que existem duas formas principais de preparação de dutos flexíveis para a destinação: a trituração e a abertura com ferramentas portáteis. Ambas as alternativas são utilizadas no Brasil, mas, diante da demanda crescente, a trituração se apresenta como uma solução mais rápida para viabilizar o processo de destinação. No entanto, no caso dos plásticos, essa abordagem pode resultar em um tratamento menos vantajoso, dependendo das condições dos materiais após a trituração. Por outro lado, em relação aos aços, o triturador contribui para sua industrialização ao aumentar a densidade do material, favorecendo a produtividade dos fornos das siderúrgicas.

O descomissionamento de dutos flexíveis representa uma oportunidade significativa para o setor de serviços, mas também traz desafios importantes. Em primeiro lugar, a ausência de informações consolidadas sobre a quantidade de dutos que serão descomissionados inviabiliza a programação de investimentos necessários para absorver essa demanda. Em segundo lugar, as formas de preparação dos dutos atualmente aplicadas precisam ser aprimoradas para garantir que os resíduos sejam tratados da melhor maneira possível.

Para superar esses desafios, é imprescindível realizar mais estudos e experimentos que favoreçam o aperfeiçoamento técnico, como a automatização da abertura de dutos. A contribuição dos fabricantes nesse processo é fundamental, pois permite repensar o design dos dutos de forma a facilitar a sua preparação para uma destinação ambientalmente adequada. O fortalecimento da circularidade desse produto é essencial para consolidar uma nova cadeia de valor, transformando os desafios em oportunidades para o desenvolvimento sustentável da indústria.

Reconhecimentos

Apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-ANP), suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas qualificadas na Cláusula de PDI da Resolução ANP nº 50/2015.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Perfil 2023**. Disponível em: <https://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil-2023/>. Acesso em 04 de nov. de 2024.
2. ACOBRASIL. Instituto Aço Brasil. **Estatísticas da Siderurgia - 3º Trimestre 2024**. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/site/publicacoes/>. Acesso em: 21 de mar. de 2025.
3. ACOBRASIL. Instituto Aço Brasil. **Indicadores de Sustentabilidade**. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/site/indicadores-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 21 de mar. de 2025.
4. AL-SALEM, S.M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. **Waste Management**, v. 29, p.2625–2643, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004>. Acesso em 29 de out. de 2024.
5. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API Specification 17B: Recommended Practice for Flexible Pipe**. 3rd Edition, 2002.
6. ANP, 2024. **Publicidade dos Programas de Descomissionamento de Instalações**. PDI Executivo Parcial Escopo Plataformas e Poços da Concessão de Caioba. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/publicidade-dos-programas-de-descomissionamento-de-instalacoes>. Acesso em: 20 de dez. de 2023.
7. ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2024**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-contenido/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-2024#Se%C3%A7%C3%A3o%202>. Acesso em: 08 de ago. 2024.
8. ANP. **Resolução nº 817, de 24 de abril de 2020**. Dispõe sobre o descomissionamento de instalações de exploração e de produção de petróleo e gás natural, a inclusão de área terrestre sob contrato em processo de

licitação, a alienação e a reversão de bens, o cumprimento de obrigações remanescentes, a devolução de área e dá outras providências. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp>. Acesso em: 15 de jul. de 2023.

9. ANP, 2025. **Painel Dinâmico de Descomissionamento de Instalações de Exploração e Produção**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-sobre-exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/painel-dinamico-de-descomissionamento-de-instalacoes-de-exploracao-e-producao>. Acesso em: 18 de mar. de 2025.

10. ARCELOR MITTAL. **O aço e a economia circular**. Disponível em: <https://blog.arcelormittal.com.br/economia-circular/>. Acesso em 15 de jul. de 2023.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17100: Gerenciamento de Resíduos – Parte 1: Requisitos Gerais**. 2023. Rio de Janeiro: 2023

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 59004: Economia Circular – Vocabulário, princípios e orientações para implementação**. 2024. Rio de Janeiro: 2024.

13. BAI, Y.; BAI, Q. Chapter 28 - Flexible Risers and Flowlines. In: BAI, Y.; BAI, Q. (Eds.) **Flexible Risers and Flowlines**. Elsevier Science Ltd, 2005, p. 497-507. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-008044566-3.50030-0>. Acesso em: 15 de abr. de 2024.

14. BRASIL. **Decreto nº 1.530, de 22 de junho de 1995**. Declara a entrada em vigor da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, concluída em Montego Bay, Jamaica, em 10 de dezembro de 1982. Brasília, DF: Presidência da República, [1982]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1995/d1530.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%201.530%2C%20DE%2022,10%20de%20dezembro%20de%201982. Acesso em: 06 de maio de 2024.

15. BRASIL. **Decreto nº 12.082, de 27 de junho de 2024**. Institui a Estratégia Nacional de Economia Circular. Brasília, DF: Presidência da República, [2024]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d12082.htm. Acesso em: 30 de jun. de 2024.

16. BRASIL. **Decreto nº 87.566, de 16 de setembro de 1982**. Promulga o texto da convenção sobre Prevenção da Poluição Marinha por Alijamento de Resíduos e Outras Matérias, concluída em Londres, a 29 de dezembro de 1972. Brasília, DF: Presidência da República, [1982]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/decreto/1980-1989/1980-1984/D87566.htm. Acesso em: 24 de set. de 2024.

17. BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2010]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em 05 de out. de 2021.

18. DECOMMISSIONING SYMPOSIUM, 2., 25 de jun. de 2024, 26 de jun. de 2024. Rio de Janeiro. [Trabalhos apresentados]. Rio de Janeiro: Sociedade de Engenheiros de Petróleo (SPE), 2024, Informação verbal.

19. GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on Circular Economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**. [s. l.], v. 114, p.11-32, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>. Acesso em 18 de jul. de 2024.

20. GO ASSOCIADOS. Estudo Setorial sobre o Mercado de Sucata Metálica Brasileiro. Disponível: <https://www.sindinesfa.org.br/download/diversos/estudo-setorial-2022.pdf>. Acesso em: 21 de mar. De 2025.

21. IBAMA, 2011. **Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA Nº 01/11**. Projeto de Controle da Poluição. Diretrizes para apresentação, implementação e para elaboração de relatórios, nos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo e gás. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/orientacoes-tecnicas>. Acesso em: 01 de out. de 2024.

22. JUNG, H.; SHIN, G.; KWAK, H., HAO, T. L.; JEGAL, J.; KIM, H. J.; JEON, H.; PARK, J.; OH, D.X. Review of polymer technologies for improving the recycling and upcycling efficiency of plastic waste. **Chemosphere**, v. 320, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138089>. Acesso em 29 de out. de 2024.

23. LACY, P.; RUTQVIST, J. Chapter 12 – The Power of Policy. In: LACY, P.; RUTQVIST, J. **Waste to Wealth: The Circular Economy Advantage**. Moleiro, 2015, p.168-188.

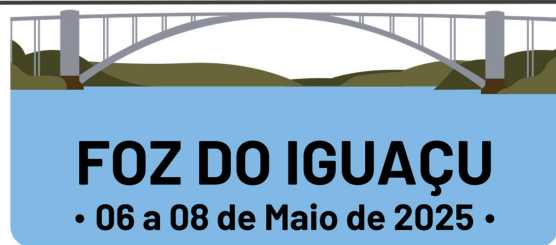
24. LOUREIRO, Jr. W. C., VAILLANT, A.G.; BORGES, B.N.; LEMOS, C. D. de; CAMPELLO, G.C.; FONSECA, C.M.M.; SCHONE, T.R. **Flexible Pipe Integrity Management Strategies Applied to Lifetime Extension and Revitalization of Deepwater Brownfields**. Offshore Technology Conference held in Houston, TX, USA, 6 – 9 May, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.4043/35183-MS>. Acesso em: 09 de set. de 2024.

25. MARTINS, I.D.; MORAES, F.F.; TÁVORA, G.; SOARES, H.L.F.; INFANTE, C.E; ARRUDA, E.F.; BAHIANSE, L.; CAPRACE, J.; LOURENÇO, M.I. A review of the multicriteria decision analysis applied to oil and gas decommissioning problems. **Ocean & Coastal Management**. [s. l.], v. 184, p. 105000, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105000>. Acesso em: 16 de set. de 2024.

26. MEENAN, P.A. Technical Aspects of Decommissioning Offshore Structures. IN: GORMAN, D. G.; NEILSON, J. (Eds.). **Decommissioning Offshore Structures**. Springer, 1998, p. 23-56.
27. MENDES, A. P. A.; ROMEIRO, R. A. P.; COSTA, R. C. Mercado e aspectos técnicos dos sistemas submarinos de produção de petróleo e gás natural. **BNDES Setorial**. 2012, n.35, p. 155-188, mar. 2012.
28. MMA. **Resolução CONAMA nº 499, de 06 de outubro de 2020**. Dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=798. Acesso em: 01 de out. de 2024.
29. MME. Reciclagem de Metais no País. 2009. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/relatorios-de-apoio-ao-pnm-2030-projeto-etal-1/estudos-consolidados/documentos/produto-57_relatorio-83_reciclagem-de-metais-no-pais.pdf. Acesso: 20 de jan. de 2025.
30. MORAIS, J.M. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras e produção offshore**. Brasília: Ipea: Petrobras, 2013.
31. MOURA, Raphael. **Resolução ANP 817/2020**. [S.l.]: IBP, 25 de maio de 2020. 1 vídeo (1h:25min.) [Webinar]. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=7NUc_Kho1J8. Acesso em: 16 de jul. de 2023.
32. NETO, J.B.O.; SHIMA, W.T. Trajetórias tecnológicas no segmento offshore: ambiente e oportunidades. **Revista de Economia Contemporânea**. Rio de Janeiro, v.2, p. 301-332, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-98482008000200005>. Acesso em: 27 de dez. de 2023.
33. OEUK. Offshore Energies UK. **Decommissioning of pipelines in the North Sea Region, 2013**. Disponível em: <https://oeuk.org.uk/product/guidelines-on-decommissioning-of-pipelines-in-the-north-sea-region-issue-1/>. Acesso em: 12 de jul. 2024.
34. OTITOJU, M.A.; OLAWOYE, T.; ABIOLA, S. S.; AHMED, S.; OKOMA, O. Plastic Waste Management and Recycling: A Review. **Journal of Global Social Sciences**. v. 4, p. 60-71, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.58934/jgss.v4i16.219>. Acesso em 29 de out. de 2024.
35. PRADO, Diogo Diederichs. **Desmobilização de dutos em sistemas marítimos de produção de petróleo- Uma proposta de método de suporte ao planejamento**. 2015. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: http://www.ppe.ufrrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Diogo_Diederichs_Prado.pdf. Acesso em: 20 nov. 2023.
36. ROUSE, S.; HAYES, P., DAVIES, I.M.; WILDING, T.A. Offshore pipeline decommissioning: Scale and contexto. **Marine Pollution Bulletin**. [s. l.], v. 129, p.241-244, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.041>. Acesso em: 20 de nov. de 2023.
37. SEMINÁRIO DE DESCOMISSIONAMENTO: DESAFIOS E OPORTUNIDADES, 1., 18 de set. de 2024. Rio de Janeiro. [Trabalhos apresentados]. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas (FGV), 2024, Informação verbal.
38. SENAVIRATHNA, G. R. U.; GALAPPATHTHI, U. I. K.; RANJAN, M. T. T. A review of end-life management options for marine structures: State of the art, industrial voids, research gaps and strategies for sustainability. **Cleaner Engineering and Technology**, [s. l.], v. 8, p. 100489, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100489>. Acesso em: 07 de fev. de 2024.
39. UPADHAYAY, S; ALQASSIMI, O.; KHASHADOURIAN, E.; SHERM, A.; PRAJAPATI, D. Development in the Circular Economy Concept: Systematic Review in Context of an Umbrella Framework. **Sustainability**, v. 16, p. 1500, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16041500>. Acesso em 29 de out. de 2024.
40. VALLE, R.; SOUZA, R.G.de (Org.). **Logística Reversa: processo a processo**. São Paulo: Atlas, 2014.
41. VIDAL, P. C. J.; GONZÁLEZ, M. O. A.; VASCONCELOS, R. M.; MELO, D. C.; FERREIRA, P. O.; SAM-PAIO, P. G. V.; SILVA, D. R. Decommissioning of offshore oil and gas platforms: A systematic literature review of factors involved in the process. **Ocean Engineering**, [s. l.], v. 255, p. 111428, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111428>. Acesso em: 07 de fev. de 2024.
42. WILKINSON, W. B.; BAKKE, T.; CLAUS, G.F.; CLEMENTS, R.; DOVER, W.D.; RULLKÖTTER, J.; SHEPHERD, J.G. Decommissioning of large offshore structures – The role of an Independent Review Group (IRG). **Ocean Engineering**, [s. l.], v. 113, p. 11–17, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.12.031>. Acesso em 07 de fev. de 2024.
43. WORKSHOP PARA MAPEAMENTO DA CAPACIDADE TECNOLÓGICA PARA A RECICLAGEM SUSTENTÁVEL DE PLATAFORMAS OFFSHORE NO BRASIL, 1., 17 de out. de 2024, 18 de out. de 2024, 21 de out. de 2024. Rio de Janeiro. [Trabalhos apresentados]. Rio de Janeiro: Centro de Estudos para Sistemas

8º CONRESOL

8º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Sustentáveis (CESS), da Universidade Federal Fluminense (UFF), em parceria com a Petrobras, 2024, Informação verbal.

44. WORKSHOP SOBRE DESCOMISSIONAMENTO E DESMANTELAMENTO DE NAVIOS E ATIVOS OFFSHORE, 8., 15 de maio de 2024, Rio de Janeiro. [**Trabalhos apresentados**]. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Engenharia Naval (SOBENA), 2024, Informação verbal.