

CENTRO MULTIDISCIPLINAR UFRJ - MACAÉ
INSTITUTO POLITÉCNICO
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

HUGO LEAL CALDERON

**DESCOMISSIONAMENTO DE PLATAFORMAS DE PETRÓLEO: UM
ESTUDO DE DIRETRIZES PARA A ECONOMIA CIRCULAR.**

MACAÉ

2023

HUGO LEAL CALDERON

**DESCOMISSIONAMENTO DE PLATAFORMAS DE PETRÓLEO: UM
ESTUDO DE DIRETRIZES PARA A ECONOMIA CIRCULAR.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do campus Macaé da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:

D.Sc. Thiago Gomes de Lima

MACAÉ

2023

CIP - Catalogação na Publicação

C146

Calderon, Hugo Leal

Descomissionamento de plataformas de petróleo : um estudo de diretrizes para a economia circular / Hugo Leal Calderon - Macaé, 2023.

101 f.

Orientador(a): Thiago Gomes de Lima.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico, Bacharel em Engenharia de Produção, 2023.

1. Descomissionament. 2. Plataformas offshore. 3. Economia circular.

I. Lima, Thiago Gomes de, orient. II. Título.

CDD 620

DESCOMISSONAMENTO DE PLATAFORMAS DE PETRÓLEO: UM ESTUDO DE DIRETRIZES PARA A ECONOMIA CIRCULAR.

Hugo Leal Calderon

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do campus Macaé da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovado em Macaé, 20 de Julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

D.Sc. Thiago Gomes de Lima

Prof. Tales Ribeiro Santos

Profa. Ms. Denise Siloto de Araujo

Prof. Ms. Rômulo Bernardo dos Santos

MACAÉ

2023

*Você tem que estar preparado
para se queimar em sua própria chama:
Como você espera se renovar sem
primeiro se transformar em cinzas?
(Friedrich Nietzsche)*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha mãe Cláudia Leal e meu pai Agostinho Calderon, por sempre terem cuidado de mim e ter dado estrutura e condições para conseguir me formar no que sempre quis, se hoje tenho um diploma em mãos, pode ter certeza que o apoio de vocês foi o mais importante. Também expresso minha eterna gratidão ao meu pai, por sempre ter sido minha maior admiração, e me dar o melhor apoio possível quando mais precisei.

Gostaria de agradecer também ao meu irmão Rafael Leal Calderon, por ter estado comigo nos melhores e piores momentos, me motivando, auxiliando em matérias difíceis da faculdade e por ter sido a melhor companhia que eu poderia ter tido durante toda minha infância, você chega longe, te desejo só o melhor.

Ao meu primo Pedro Andrade Leal, por ser a pessoa que mais posso contar nesse mundo quando se trata de me abrir, além de ser minha companhia certa para qualquer situação, te admiro muito, e espero que conquiste tudo que almejar.

Às minhas 2 irmãs de consideração, Bianca e Karine Rangel por terem participado de toda a minha infância e serem grandes amigas que espero levar pra vida.

Agradeço a minha companheira Jennyfer Carolina Leal por me dar forças, orgulho e inspiração durante essa jornada final da graduação.

Gostaria também de agradecer às grandes amigas que fiz ao decorrer da minha graduação, em especial à Raphael Vieira Pereira, que sempre se mostrou como uma pessoa muito prestativa, mas também uma ótima companhia, desde discussões filosóficas até puxar um ferro na academia. Em seguida gostaria de agradecer a Victor Oliveira, por sempre estar compartilhando ótimos momentos comigo, seja em conversas, jogatinas ou planos de vida.

Agradeço aos meus amigos de Nova Friburgo por sempre prover ótimos momentos quando sempre precisava, especialmente a Gunther Mafra, Gabriel Lehmann, Rodrigo Rodrigues, Inácio Viñas, Bernardo Viñas, Juliana Amaral, Giulia Nideck e João Oliveira.

Agradeço aos meus amigos Daniel Tavares, Lucas Tanaka, Gabriella Santos, Tales Ribeiro, Rodrigo Bolças, Lennin Amorim, Pedro Machado, Karla Cristina, Hugo Caetano e Maike Navega pelos momentos em Macaé durante a graduação que vou levar pra vida.

E finalmente, minha mais sincera gratidão ao meu orientador e grande parceiro de vida Thiago Gomes de Lima, por ter me acompanhando em minha jornada acadêmica e construção do presente trabalho, sempre foi um foco de admiração e inspiração pra mim, em momentos de indecisão sobre a faculdade, vendo suas aulas eu tive certeza de que estava no caminho certo, obrigado!

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUTURA DE PLATAFORMA DO TIPO JAQUETA SENDO REMANEJADA.	20
FIGURA 2. TORRE COMPLACENTE.	21
FIGURA 3. PLATAFORMA AUTO-ELEVATÓRIA.	22
FIGURA 4. A MAIOR PLATAFORMA DE PETRÓLEO DO MUNDO (DE GRAVIDADE).	22
FIGURA 5. PLATAFORMA SEMISSUBMERSÍVEL.	24
FIGURA 6. FPSO.	24
FIGURA 7. TENSION LEG PLATFORM (TLP).	25
FIGURA 8. PLATAFORMA DO TIPO SPAR.	26
FIGURA 9. CIRCULARIDADE APLICADA COMO UM SISTEMA ECONÔMICO NA ÁREA TECNOLÓGICA E BIOLÓGICA.	38
FIGURA 10. FASES DO DESCOMISSIONAMENTO EM UMA PERSPECTIVA CIRCULAR	42
FIGURA 11. COMPLEXO DE PLATAFORMA GA 189.	70
FIGURA 12. GA 189 PRODUCTION DECK LIFT.	70
FIGURA 13. LAYOUT DE CAMPO DE PETRÓLEO DE WANDOO	80

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	16
--	-----------

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. FASES DO DESCOMISSIONAMENTO E DESCRIÇÕES.	42
QUADRO 2. TIPOS DE ESTUDOS DE CASO.	45
QUADRO 3. APRESENTAÇÃO DOS ARTIGOS.	48
QUADRO 4. TIPOS DE DESCOMISSIONAMENTO POR PUBLICAÇÃO.	60
QUADRO 5. FASES DO DESCOMISSIONAMENTO POR PUBLICAÇÃO.	61
QUADRO 6. ATRIBUTOS PARA CIRCULARIDADE CONTEMPLADOS EM LIÇÕES APRENDIDAS.	62
QUADRO 7. RANKING DOS ATRIBUTOS POR CIRCULARIDADE.	63
QUADRO 8. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO CASO 1.	66
QUADRO 9. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO CASO 2.	70
QUADRO 10. PROCESSOS E FINALIDADE.	72
QUADRO 11. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO CASO 3.	74
QUADRO 12. ALTERNATIVAS DE DESCOMISSIONAMENTO DO CASO 3.	75
QUADRO 13. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO CASO 4.	77
QUADRO 14. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO CASO 5.	80
QUADRO 15. DIRETRIZES CIRCULARES PARA O DESCOMISSIONAMENTO DE PLATAFORMAS.	82

LISTA DE FLUXOGRAMAS

FLUXOGRAMA 1. BOAS PRÁTICAS DE DESCOMISSIONAMENTO DE FPSO.	67
FLUXOGRAMA 2. PROCESSOS DE DESCOMISSIONAMENTO DE UMA PLATAFORMA DO TIPO JAQUETA.....	71
FLUXOGRAMA 3. AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA BPEO.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP – Agência Nacional de Petróleo;

BPEO – Melhor Opção Ambientalmente Praticável;

COW – *Crude Oil Washing*;

EPRD – Engenharia, Preparação, Remoção e Disposição;

ESG – *Environmental, Social and Governance*;

FGV – Fundação Getulio Vargas;

FPSO – *Floating Production Storage Offloading*;

IBAMA – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis;

IEA – *International Energy Agency*;

LCA – *Life-cycle assessment*;

LDA – Lâminas d'água;

NORMAMs – Normas da Autoridade Marítima;

NORMS – *Naturally Occurring Radioactive Material*;

O&G – *Oil and gas*;

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável;

PAs – Auto-Elevatória;

PESTLE – Político, Econômico, Social, Tecnológico, Legal e Ambiental;

PLEM – *Pipe Line End Manifold*;

PLSV – *Pipe Laying Support Vessel*;

PNMA – Política Nacional de Meio Ambiente;

PV – Energia fotovoltaica;

R2R – *Rigs-to-Reefs*;

RAI – Robótica e Inteligência Artificial;

ROV – *Remotely Operated Underwater Vehicle*;

SBMs – *Sustainable Business Models*;

SPAR – Sistema de Produção Antecipada;

SRF – *Simos-Roy-Figueira*;

SS's – Semi-Submersíveis;

TLP – *Tension Leg Platform*;

VPL – Valor presente líquido;

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	13
1.2 OBJETIVO.....	15
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
1.4 MOTIVAÇÃO PESSOAL.....	18
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 TIPOLOGIA DAS PLATAFORMAS DE ÓLEO E GÁS.....	20
2.1.1 Jaqueta.....	20
2.1.2 Torre Complacente.....	21
2.1.3 Auto-Elevatória (PAs).....	21
2.1.4 Plataforma de Gravidade.....	22
2.1.5 Semi-Submersíveis (SS's).....	23
2.1.6 Floating Production Storage Offloading (FPSO).....	24
2.1.7 Tension Leg Platform (TLP).....	25
2.1.8 SPAR.....	25
2.2 O CICLO DE VIDA DE UMA PLATAFORMA.....	27
2.2.1 Os processos de desativação de plataformas.....	29
2.2.2 Resoluções para desativação de plataformas.....	31
2.2.3 Métodos e Modelos de Contratação do Descomissionamento.....	34
2.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ECONOMIA LINEAR E A ECONOMIA CIRCULAR.....	36
2.3.1 Circularidade aplicada ao processo de descomissionamento e desmantelamento de plataformas.....	39
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	43
3.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	43
3.2O ESTUDO DE CASO.....	45
4. RESULTADOS.....	47
4.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA: DESCOMISSIONAMENTO DE PLATAFORMAS E CIRCULARIDADE.....	47

4.1.1 Análise das publicações.....	47
4.2 ANÁLISE DE MÚLTIPLOS CASOS - DESCOMISSIONAMENTO DE PLATAFORMAS E CIRCULARIDADE.....	64
4.2.1 CASO 1: Planejamento do descomissionamento do FPSO Ingá: Análise de um projeto de descomissionamento, (MANSANO, 2023).....	66
4.2.2 CASO 2: Case History: Decommissioning, Reefing, and Reuse of Gulf of Mexico Platform Complex (Hakam, 2000).....	69
4.2.3 CASO 3- Decommissioning of the Balmoral Installation (UK North Sea) BPEO Case Study (Linzi, 2000).....	73
4.2.4 CASO 4 - O descomissionamento de Brent Alpha Jacket sob a perspectiva do método ELECTRE III – SRF: (De Lima, 2022).....	77
4.2.5 CASO 5 - Offshore platforms as novel ecosystems: A case study from Australia’s Northwest Shelf (Van Elden, 2022).....	79
4.3 PROPOSTA DE DIRETRIZES PARA O DESCOMISSIONAMENTO CIRCULAR .	82
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	84
6. CONCLUSÃO.....	87
6.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	89
6.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	89
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

RESUMO

O descomissionamento de plataformas *offshore* é uma questão de muita relevância no setor de petróleo e gás, tanto no Brasil quanto no mundo. Com base em dados e estudos recentes, estima-se que haverá muitas plataformas a serem descomissionadas nas próximas décadas, com altos custos e oportunidades envolvidos nesse processo. Diante desse cenário, a adoção de estratégias de economia circular tem sido considerada uma abordagem promissora para o descomissionamento, visando maximizar o reaproveitamento e reciclagem de materiais e minimizar o impacto ambiental. Este trabalho tem como objetivo analisar as estratégias de descomissionamento adotadas por diferentes plataformas e identificar as oportunidades de circularidade. Para isso, foi realizada uma análise bibliométrica de artigos científicos e estudos de caso de descomissionamento de plataformas. A análise bibliométrica revelou as principais áreas de pesquisa e os atributos de circularidade mais recorrentes, como reutilização de equipamentos e estruturas, tomada de decisão sustentável e análise de impactos socioambientais e econômicos. Os estudos de caso proporcionaram insights sobre modelos de negócio sustentáveis, ações realizadas durante o descomissionamento, lições aprendidas e boas práticas. Com base nesses resultados, foram propostas vinte e cinco diretrizes para o descomissionamento circular de plataformas, abrangendo aspectos como envolvimento de stakeholders, reutilização/reciclagem/remanufatura, energias renováveis, tecnologias, componentes descomissionados e análise de viabilidade. A implementação dessas diretrizes pode contribuir para um descomissionamento mais sustentável, otimizar o uso dos recursos, reduzindo os impactos ambientais e promover o desenvolvimento de novos negócios. Finalmente, algumas recomendações são descritas, como a importância de estabelecer a colaboração entre as partes interessadas para avançar no desenvolvimento e implementação de práticas circulares no descomissionamento de plataformas *offshore*.

Palavras-chave: Descomissionamento, Desmantelamento, Plataformas *Offshore*, Economia Circular e Ações de circularidade.

ABSTRACT

The decommissioning of offshore platforms is a matter of great importance in the oil and gas sector, both in Brazil and worldwide. Based on recent data and studies, it is estimated that a large number of platforms will need to be decommissioned in the coming decades, with significant costs and opportunities associated with this process. In light of this scenario, the adoption of circular economy strategies has been considered a promising approach to decommissioning, aiming to maximize material reuse and recycling while minimizing environmental impact. This work aims to analyze the decommissioning strategies adopted by different platforms and identify circularity opportunities. To achieve this, a bibliometric analysis of scientific articles and case studies on platform decommissioning was conducted. The bibliometric analysis revealed the main research areas and recurring circularity attributes, such as equipment and structure reuse, sustainable decision-making, and analysis of socio-environmental and economic impacts. The case studies provided insights into sustainable business models, actions taken during decommissioning, lessons learned, and best practices. Based on these results, twenty-five guidelines for circular platform decommissioning were proposed, covering aspects such as stakeholder involvement, reuse/recycling/remanufacturing, renewable energies, technologies, decommissioned components, and feasibility analysis. The implementation of these guidelines can contribute to a more sustainable decommissioning process, optimizing resource utilization, reducing environmental impacts, and promoting the development of new businesses. Finally, some recommendations are described, such as the importance of establishing collaboration among stakeholders to advance the development and implementation of circular practices in offshore platform decommissioning.

Keywords: Decommissioning, Dismantling, Offshore Platforms, Circular Economy, Circular Actions.

INTRODUÇÃO

Nesta seção será apresentado a contextualização do tema e sua relevância, os objetivos gerais e específicos, a justificativa, a motivação pessoal e por fim a estrutura do presente trabalho.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

De acordo com os dados da empresa americana de pesquisa e informações *IHS Markit* (2016), até 2040, conta-se com uma previsão de descomissionamento de cerca de 2000 plataformas *offshore*, tendo um gasto total estimado de US\$210 bilhões. De acordo com Almeida (2017), existem no Brasil 79 projetos de descomissionamento de plataformas com mais de 25 anos. Em 2011 o Brasil contava com 113 plataformas, sendo 79 fixas e 34 flutuantes (PUCU, 2011).

Dados do Dicionário de Petróleo (2022) mostram que atualmente o Brasil conta com nove bacias petrolíferas com 155 plataformas, sendo elas divididas em 69 operantes em águas profundas e 86 fixas, localizadas no nordeste e sudeste do país. Segundo a base de dados do International Energy Agency (IEA) (2019), 34% dos sistemas de produção brasileiros encontram-se em águas profundas e ultra profundas, o que aumenta consideravelmente a dificuldade e o custo dessa atividade.

Conforme a publicação Descomissionamento *offshore* no Brasil: oportunidades, desafios & soluções, elaborado pela Fundação Getulio Vargas (FGV) no painel dinâmico de descomissionamento, estima-se que entre 2021 e 2025, o investimento total em descomissionamento de plataformas brasileiras chegue a R\$ 28 bilhões (ENERGIA FGV, 2021). Com a relevância desta temática, o descomissionamento tem sido objeto das agendas nacionais e internacionais, de financiamentos dos projetos, empreendimentos e certificadoras, tendo estimativa de descomissionamento de 6500 plataformas *offshore* até 2025 no mundo (DA SILVA, 2008). A vida útil de um campo de petróleo varia em média entre 10 e 25 anos, após este período as instalações são descomissionadas e poços devidamente fechados de acordo com os órgãos competentes do país (DE ALBUQUERQUE, 2019).

Dada a importância do tema e o cenário de descomissionamento no Brasil e no mundo para os próximos anos, existem diversos estudos e projetos que estão sendo desenvolvidos com

o intuito de compreender o descomissionamento e os seus impactos no meio social, ambiental e econômico.

De Albuquerque (2019), buscou em seus estudos identificar, classificar e analisar pesquisas acerca do tema “descomissionamento de plataformas de petróleo *offshore*” e sinalizar possibilidades para futuras pesquisas. Para atingir os seus resultados, o pesquisador adotou a revisão sistemática da literatura de artigos publicados entre 1997 e março de 2019 em jornais científicos nacionais e internacionais selecionados. Os resultados do autor, mostraram que a fase de descomissionamento pode trazer impactos ambientais negativos e que novas pesquisas devem ser de alta relevância para as tomadas de decisão acerca do método adequado de descomissionamento.

Acerca das estratégias a serem adotadas ao fim de vida das plataformas, Delgado (2021) informa que elas poderão ser descartadas, recuperadas ou passar por um processo de extensão de sua vida útil. Inicialmente, pretende-se evitar a interrupção da produção de um campo, que pode fazer a produção perdurar por mais alguns meses ou anos, entretanto, gradativamente, a extração de petróleo tende a se tornar uma atividade custosa e trabalhosa, e por fim, acaba culminando no encerramento das atividades produtivas (DELGADO, 2021).

Conforme Ruivo e Morooka (2001), o descomissionamento é constituído por um 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. Isso ocorre quando o campo passa a ser antieconômico para o operador, fazendo-se necessária a desativação, descontaminação e remoção dos equipamentos cabíveis.

Neste sentido, Silva (2019) reforça que esta etapa acaba por ser um processo de extrema complexibilidade e magnitude, tendo em vista que requer um projeto detalhado e elaborado que deve ser aceito pelos órgãos vigentes para posteriormente montar um grupo multidisciplinar envolvendo áreas de segurança de trabalho, financeiro e ambiental. Frente aos fatos, o presente trabalho pretende contribuir para ampliar a base teórica acerca do assunto, em especial se fundamentado numa proposta de descomissionamento que tenha como base a economia circular.

Sobre a circularidade Carreteiro (2020) afirma que o descomissionamento de plataformas de petróleo acaba por ser uma atividade de intuito circular, tendo em vista que é avaliada a integridade da estrutura, para posteriormente realizar as medidas cabíveis e

reaproveitar os equipamentos antigos em uma nova estrutura. Deste modo, sabe-se que algumas estruturas são recuperadas e reinseridos no meio petrolífero, preservando o meio ambiente e estimulando a economia regional nesse processo.

1.2 OBJETIVO

Nesta seção, serão descritos os objetivos gerais e específicos do presente trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo analisar as estratégias de descomissionamento adotadas por diferentes plataformas e levantar as oportunidades de circularidade. Portanto, pretende-se levantar diferentes publicações acerca da temática em bases de pesquisa científica e múltiplos *cases* de circularidade em plataformas nacionais e internacionais, visando identificar as ações de circularidade que sejam de alta relevância para que Engenheiros e Projetistas possam considerar em diferentes cenários.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Contextualizar o cenário de descomissionamento de plataformas no Brasil e no Mundo
- Apresentar as características de diferentes plataformas e as estratégias de descomissionamento, bem como, os modelos de contratação do descomissionamento e as atividades relacionadas ao processo de desativação de plataformas
- Descrever a Economia Linear e a Economia Circular e relacionar a circularidade aos processos de descomissionamento de plataformas
- Finalmente, apresentar a análise bibliográfica acerca do descomissionamento e circularidade, as ações de circularidade no processo de descomissionamento na literatura e em diferentes casos reais.

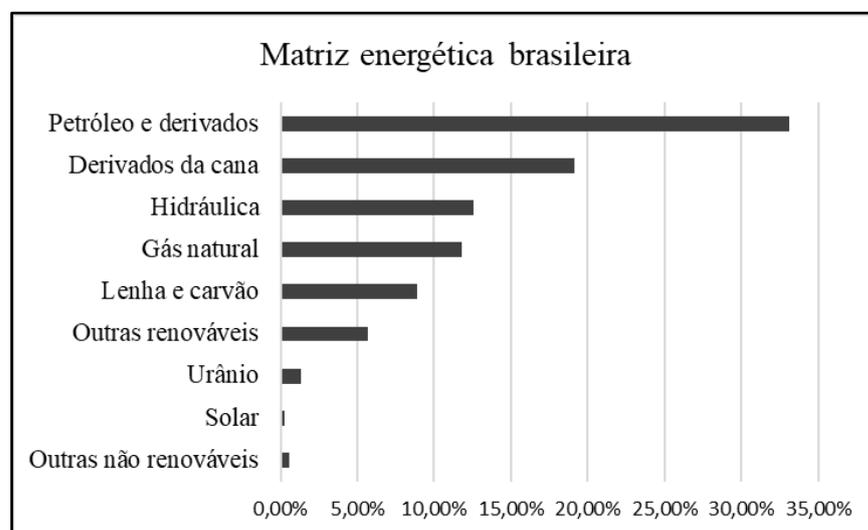
1.3 JUSTIFICATIVA

Com o aumento contínuo da população mundial, as mudanças climáticas e uma parcela significativa da população vivendo às margens da miséria, ações de compromisso global tiveram que ser tomadas, entre elas a definição dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e o acordo de Paris. Neste sentido, líderes ao redor do mundo se comprometeram em adotar medidas preventivas, bem como estão incentivando a população e as organizações a fazerem o mesmo (PINSKY, 2019).

Romero (2021) observou que as corporações que adotaram boas práticas relacionadas aos ODS e aos ESG (*Environmental, Social and Governance*) como forma estratégica de alavancar seu negócio, tiveram como resultado, um impacto positivo na imagem e nos lucros das organizações. Portanto, nota-se que os consumidores estão alertas ao consumo consciente, logo, as empresas comprometidas com as questões relacionadas à sustentabilidade, acabam sendo beneficiadas de forma direta e indireta. Sendo assim, empresas de diferentes segmentos estão engajadas em ações voltadas para a transição sustentável, inclusive a indústria do petróleo.

A indústria do petróleo é o setor de maior relevância no quesito de geração de energia, ocupando 33,1% da matriz energética brasileira com petróleo e derivados e 11,8% com gás natural, totalizando 44,9% da matriz energética total de acordo com Balanço Energético Nacional (2021).

Gráfico 1. Matriz energética brasileira



Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN, 2021)

Diversas são as operações da indústria do petróleo, entre elas estão as atividades de descomissionamento que se encontram em estado de expansão e poderá gerar bilhões em receitas, além da geração de empregos em todo o mundo (MARFATIA, 2019). Para Marfatia (2019), existem diversas técnicas de remoção de plataformas, portanto, de acordo com a metodologia adotada, as perdas ou ganhos podem gerar bilhões de dólares, logo, se faz necessário uma avaliação multidisciplinar antes da tomada de decisão.

Segundo Coelho (2010), as boas práticas de descomissionamento vão muito além dos ganhos financeiros, pois englobam outras variáveis relacionadas à segurança operacional, ambiental e saúde ocupacional, além disso, a atividade de descomissionamento contribui para o aumento de acidentes, paralisações e multas, perdas humanas, econômicas e ambientais.

M pupa (2017) em seu estudo comparativo entre Brasil e Reino Unido alertou sobre a necessidade de avaliar a regulamentação de países como Reino Unido, Noruega e Estados Unidos, dado a alta probabilidade de se gerar riscos ambientais graves nas atividades relacionadas ao descomissionamento.

O quantitativo de estruturas que foram descomissionadas e que ainda serão descomissionadas é significativo. Um total de 7053 estruturas foram instaladas no Golfo do México e 5048 estruturas foram descomissionadas até 2017, deixando um inventário ativo de 2005 estruturas por volta de 2017. Já no Mar do Norte, em 2016, havia 1.357 plataformas operando nessa área, sendo que, até o ano relatado, 157 já tinham sido descomissionadas. Estudos estimam que durante o período de 2017 e 2025 outras 206 unidades sejam desativadas (OIL & GAS UK, 2017).

No Brasil, assim como nas grandes nações que são pioneiras na produção de petróleo, nota-se sistemas de produção em campos maduros. Segundo Delgado (2021), em janeiro de 2021, 33% das unidades de produção *offshore* estavam em operação há mais de 25 anos e 20% das unidades de produção tinham entre 15 e 25 anos, sendo assim, inevitável um plano de descomissionamento para essa geração de plataformas.

Em seu estudo, Quissanga (2020) aborda como a utilização de uma plataforma do tipo jaqueta, após o descomissionamento parcial de sua estrutura, pode ser utilizada como apoio estrutural para uma turbina eólica *offshore*, uma estratégia viavelmente econômica e estruturalmente possível. De acordo com Silva (2008), o descomissionamento tem sido foco de agendas nacionais e internacionais, dos financiamentos dos projetos, empreendimentos e certificadoras. Principalmente por sua magnitude e relevância em um cenário de parada produtiva de milhares de unidades ao redor do mundo, sendo utilizado montantes expressivos

na casa de dezenas de bilhões de dólares para a realização das atividades de finalização da operação.

Neste sentido, nota-se o quanto as atividades de descomissionamento de plataformas de petróleo são importantes e tendem a se desenvolver ao redor do mundo. Trata-se de uma atividade que permite a circularidade através da reutilização dos materiais e do descarte consciente, essa prática acaba por ser extremamente lucrativa. Sendo assim é de grande valor levantar as melhores técnicas e práticas de circularidade em processos de descomissionamento, pois, além de contribuir com a tomada de decisões dos gestores, colabora para ampliação da base teórica acerca do assunto.

1.4 MOTIVAÇÃO PESSOAL

Desde criança vejo meu pai com grande orgulho e admiração, durante toda a minha graduação e minha vida, sempre foi uma pessoa que sempre me deu muito apoio e incentivo, tanto financeiro quanto emocional. Por ele ser Engenheiro da Petrobras, sempre tive boas visões sobre o assunto, e por eu ter nascido e morado em Macaé, a tão conhecida Cidade do Petróleo, essa temática de óleo e gás sempre foi algo recorrente na minha vida.

Durante minha graduação, tive inúmeras disciplinas e cursos abordando tanto questões de sustentabilidade quanto do petróleo, deste modo, já criando um interesse sobre a temática em mim. Foi então que meu orientador e grande amigo de vida me enviou em 19/08/2022 um caderno sobre questões de descomissionamento de plataformas desenvolvido pela FGV, pois já sabia que tinha interesse e vontade de realizar meu TCC relacionado com a economia circular. Por fim, foi algo que combinou tão bem como queijo e goiabada, e dois temas que eu já gostava, se tornaram o presente estudo que eu posso apresentar hoje.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Na primeira parte do trabalho foi apresentado a Introdução, os objetivos, a justificativa e a motivação pessoal para o presente estudo. Na segunda parte será apresentado o referencial teórico, envolvendo a tipologia das plataformas, o ciclo de vida de uma plataforma e a contextualização da economia linear e economia circular. Na terceira parte do trabalho será apresentado os procedimentos metodológicos, especificamente acerca da bibliometria e do estudo de caso. Na quarta parte deste trabalho, serão apresentados os resultados. Na quinta parte

serão apresentados a discussão dos resultados e finalmente a conclusão do trabalho e as referências bibliográficas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados tipologia das plataformas, o ciclo de vida de uma plataforma e a contextualização da economia linear e economia circular.

2.1 TIPOLOGIA DAS PLATAFORMAS DE ÓLEO E GÁS

De acordo com Coelho (2010), Amorim (2010) e Dornelas (2018), existem pelo menos oito principais tipologias de plataformas, sendo essas divididas entre fixas e flutuantes. No caso das fixas, cita-se a jaqueta, torre complacente, auto-elevatória e a plataforma de gravidade, já nas flutuantes, estão as semi-submersíveis, Floating Production Storage Offloading (FPSO), Tension Leg Platform (TLP) e Sistema de Produção Antecipada (SPAR). Cada um dos modelos será apresentado com mais detalhes.

2.1.1 Jaqueta

A plataforma do tipo Jaqueta (figura 1) foi o primeiro tipo de plataforma utilizada pela empresa brasileira Petrobras, sendo utilizada em campos com lâminas d'água de no máximo (LDA) 300 m (COELHO, 2010). Seu nome vem da sua característica estrutural, dado ao revestimento de tubos de aço, formando assim uma “jaqueta” de aço ao redor da estrutura. Essas plataformas apresentam em média de 4 a 8 pés para realizar sua fixação, além disso, o óleo produzido nessa plataforma costuma ser escoado por meio de dutos ou navios, tendo poços de completção “seca”, ou seja, a árvore de Natal (sistema de válvulas para controlar o fluxo de extração de óleo e gás) se encontra acima do nível do mar (AMORIM, 2010).

Figura 1. Estrutura de plataforma do tipo Jaqueta sendo remanejada.

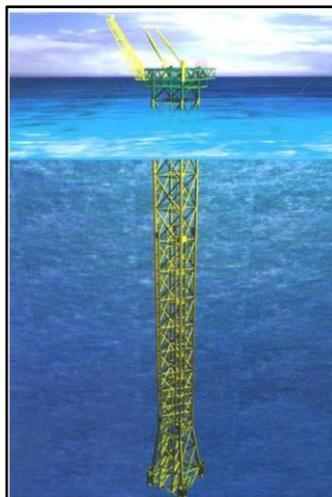


Fonte: Nogueira, 2019

2.1.2 Torre Complacente

As principais diferenças entre as plataformas do tipo complacente (figura 2) e as plataformas do tipo jaqueta são o formato, sendo que a primeira é uma torre com a base flexível e estreita, com o objetivo de evitar deflexões provenientes das condições dos mares (AMORIM, 2010). Este modelo acaba se sobressaindo à plataforma do tipo jaqueta, pois são utilizadas em LDA entre 300 e 600 metros (RUIVO e MOROOKA 2001).

Figura 2. Torre complacente.



Fonte: Globalsecurity, 2011

2.1.3 Auto-Elevatória (PAs)

As plataformas do tipo Auto-Elevatórias (figura 3) são unidades móveis, constituídas de uma balsa equipada com estruturas de apoio (pernas), que são acionadas mecanicamente ou hidraulicamente para se chegar ao fundo do mar, posteriormente a plataforma é levantada em um nível seguro acima do nível do mar. Vale salientar que para serem transportadas, devem contar com o auxílio de rebocadores ou por propulsão própria. Estas plataformas são limitadas a uma perfuração de 5 a 130 metros de LDA, devido ao trabalho de suas pernas (COELHO, 2010).

Figura 3. Plataforma Auto-elevatória.



Fonte: Roxtec, 2017

2.1.4 Plataforma de Gravidade

As plataformas de Gravidade (figura 4) são compostas por uma estrutura robusta de concreto ou aço que se fixa em solo marinho, sendo utilizada em LDA 400 metros. Trata-se de uma estrutura totalmente estável, este tipo de plataforma tem a sua completação seca, sendo utilizados para perfuração, produção e estocagem, sendo sua produção escoada por navios ou dutos acoplados a ela, em um processo análogo ao da plataforma do tipo jaqueta (AMORIM, 2010).

Figura 4. A maior plataforma de petróleo do mundo (de Gravidade).



Fonte: Gigantes do Mundo, 2014

Por outro lado, acerca das Plataformas Flutuantes, sabe-se que com a descoberta de petróleo em LDA superior a 1000 metros, se tornou inviável a criação de estruturas físicas que chegassem a essa profundidade, dados aos fatores como pressão, complexidade técnica, logística e custos, que são altíssimos. Portanto, visando explorar nessas regiões, foram criadas as plataformas flutuantes, que são geralmente estabilizadas em alto mar com o auxílio de

sistemas de ancoragem e posicionamento dinâmico. Sendo assim, serão detalhadas sinteticamente as plataformas semi-submersíveis, o FPSO, TLP e SPAR.

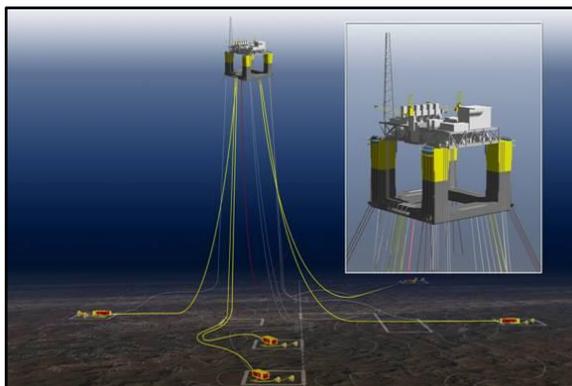
2.1.5 Semi-Submersíveis (SS's)

Segundo Amorim (2010), a Plataforma Semi-Submersível (figura 5) compreende uma estrutura elevada que repousa sobre flutuadores submersos. Embora seja um modelo resistente, a plataforma não é blindada aos elementos naturais, pois ondas, ventos e correntes podem fazer com que ela se mova, podendo prejudicar qualquer equipamento destinado à descida no poço. Por conta desses fatores, a plataforma deve permanecer flutuando, centrada em um determinado raio para acomodar os equipamentos de subsuperfície. Os sistemas de ancoragem e de posicionamento dinâmico, são responsáveis por manter a unidade flutuante no lugar, evitando, portanto, divergências entre a posição da plataforma e da tubulação.

Para manter a posição de flutuação em perfeitas condições diante das ondas, ventos e correntes, no sistema de ancoragem aplica-se de 8 a 12 âncoras e cabos/correntes correspondentes. Essas âncoras e cabos funcionam como uma mola que neutraliza qualquer perturbação que possa causar uma mudança de posição. No entanto, no sistema de posicionamento dinâmico, o equipamento de perfuração é o único ponto de contato entre o fundo do mar e a plataforma (AMORIM, 2010).

Em relação a completação, neste tipo de plataforma utiliza-se a completação molhada, pois, as ondas atingem diretamente a plataforma, logo, impactando na sua estabilidade, adicionalmente. O escoamento do óleo e gás é feito através de dutos ou navios acoplados em profundidades maiores, tendo em vista que este tipo de plataforma não tem armazenamento próprio (DORNELAS, 2018).

Figura 5. Plataforma Semissubmersível.



Fonte: Petrogas News, 2011

2.1.6 Floating Production Storage Offloading (FPSO)

Dentre todas as plataformas citadas, destaca-se a FPSO (figura 6), que permite processar, armazenar e escoar a produção de poços de águas profundas e ultraprofundas, tendo seu custo de remanejamento reduzido para outras bacias, em comparação a outros modelos apresentados (MENG, 2018).

Os FPSOs são unidades consideradas inovadoras que produzem, armazenam e descarregam petróleo. Surgiram devido à necessidade de exploração em alto mar e à obsolescência dos petroleiros. Inicialmente, cascos de petroleiros desativados foram utilizados na construção de plataformas para minimizar custos e tempo. As FPSOs permitem armazenamento suficiente que possibilita a sua instalação longe da costa, uma vez que devido à distância e os custos, a adoção de dutos se torna uma opção impraticável (AMORIM, 2010).

Figura 6. FPSO.



Fonte: Petrobras, 2021

2.1.7 Tension Leg Platform (TLP)

As *Tension Leg Platforms* (TLPs) (figura 7) são estruturas versáteis que facilitam a perfuração e a produção de petróleo. Embora seus cascos se assemelhem a semissubmersíveis, eles são mantidos no lugar por cabos de aço que se conectam ao fundo do mar por meio de estacas. Portanto, neste modelo de plataforma, a flutuabilidade do casco puxa os tendões, reduzindo o movimento de elevação da plataforma. Essa estabilidade facilita a completação a seco, permitindo um melhor controle do fluxo de óleo e um processo de extração mais seguro (AMORIM, 2010). As TLPs, são fixadas ao fundo do mar por meio de tendões verticais e cabos de aço tensos que minimizam os movimentos verticais e horizontais, podendo atuar em LDA de até 900 metros (DORNELAS, 2018).

Figura 7. Tension Leg Platform (TLP).



Fonte: Petrogas News, 2011

2.1.8 SPAR

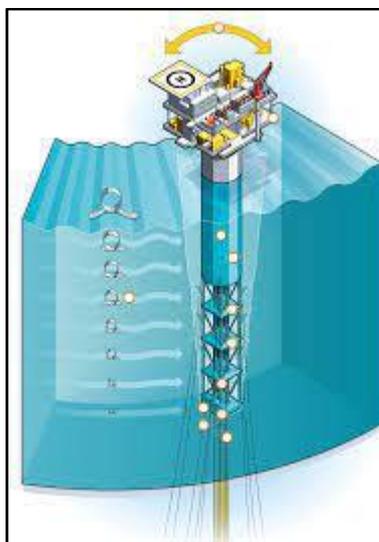
Na exploração de alto mar a uma profundidade de aproximadamente 1650 metros, as plataformas SPAR (figura 8) são predominantes. Sua estabilidade é incomparável com outras plataformas, pois seu grande tamanho de calado reduz o impacto de forças externas no centro de rotação, o que, por sua vez, minimiza os efeitos de ondas e movimentos verticais. *Risers* de produção rígidos e completações secas agora são possíveis devido a essas características

aprimoradas, como um calado operacional de cerca de 200 metros e um custo relativamente baixo. Além disso, um sistema de ancoragem convencional é empregado, tornando-o ideal para diversas aplicações (AMORIM, 2010).

A plataforma SPAR adota um método não convencional de perfuração e produção, este modelo opera em águas ultraprofundas e devido à sua estabilidade, é possível trabalhar em LDA de até 2300 metros. Ao contrário das linhas catenárias que dependem do peso submerso para estabilidade, o sistema de ancoragem da plataforma SPAR obtém rigidez por meio de um princípio alternativo. Utiliza-se o sistema de *taut leg*, no qual as linhas de ancoragem formam um ângulo de 45 graus com o solo marítimo, deste modo fixa-se a grande estrutura de aço em formato cilíndrico que se localiza na base da plataforma (DORNELAS, 2018).

Amorim (2010) reforçou que as plataformas SPAR se dividem em três categorias, sendo elas: SPAR BUOY, TRUSS SPAR e CELL SPAR. A SPAR BUOY foi o primeiro conceito de plataforma do tipo SPAR, ela conta com um único cilindro vertical na base da plataforma. A TRUSS SPAR é a evolução da SPAR BUOY, e esse tipo de plataforma tem seu cilindro trocado por uma estrutura treliçada com placas horizontais, que permite reduzir os efeitos de ondas e correntes na plataforma. Finalmente, existe a CELL SPAR que é composta por vários tubos menores em volta de um único cilindro.

Figura 8. Plataforma do tipo SPAR.



Fonte: 2B1stconsulting, 2012

Sinteticamente, observou-se que as plataformas de petróleo *offshore* podem ser categorizadas em dois grupos principais: fixas e flutuantes. As plataformas fixas são utilizadas em águas rasas e são fixadas ao fundo do oceano, enquanto as plataformas flutuantes são utilizadas em águas profundas e podem ser ancoradas ou auto-elevadas. Cada tipo de plataforma tem seus próprios pontos fortes e fracos em termos de eficácia, segurança e custo. No entanto, ambas as plataformas são vitais para a exploração e produção de petróleo em áreas *offshore* e contribuem significativamente para a economia global de energia. É crucial que essas plataformas sejam construídas, operadas e mantidas com os mais altos padrões de proteção ambiental e segurança para garantir um futuro sustentável para a indústria de petróleo *offshore*. (AMORIM, 2010).

2.2 O CICLO DE VIDA DE UMA PLATAFORMA

O processo produtivo de uma plataforma de petróleo é realizado através de um planejamento complexo, tendo inúmeras etapas antes e após o início do processo de exploração em si. O ciclo de vida da exploração e produção de petróleo e gás natural tem seu início com o levantamento de dados exploratórios, passando pela perfuração de poços, delimitação das jazidas, desenvolvimento da produção, produção e por fim, o descomissionamento, que ocorre quando a instalação atinge o limite de vida útil (ANP, 2018).

O descomissionamento é um processo complexo e multidisciplinar, que envolve diversas etapas desde a prospecção e exploração do campo de petróleo, passando pela construção e instalação da plataforma, até a sua operação e descomissionamento. Basicamente, podemos dividir este ciclo em 4 fases, sendo elas planejamento, construção, operação e por fim, o descomissionamento.

Segundo estudo de Ribeiro (2020), a fase de planejamento é crucial para o sucesso da plataforma, pois é nessa etapa que se avaliam as condições do campo de petróleo, se define o tipo de plataforma a ser construída e as medidas de segurança e proteção ambiental, deste modo garantindo maior efetividade para o projeto.

A fase de construção é um dos pontos críticos do ciclo de vida de uma plataforma de petróleo. Nesta etapa, a utilização de materiais resistentes e tecnologias avançadas é fundamental para garantir a segurança da plataforma e dos trabalhadores envolvidos. No estudo de Moraes (2018), foram identificados desafios relacionados à falta de padronização dos procedimentos de construção, aos riscos ambientais e à necessidade de gerenciamento de

resíduos gerados na construção, que são fatores que afetam diretamente a segurança dos trabalhadores e o desenvolvimento sustentável.

A fase de operação de uma plataforma de petróleo é a etapa em que ocorre a extração do petróleo e gás natural. Segundo Fossati (2019), nessa fase é importante o monitoramento contínuo dos indicadores de segurança e meio ambiente, bem como a adoção de práticas e tecnologias mais sustentáveis para minimizar os impactos ambientais e sociais. Entre os desafios da operação, destacam-se a prevenção de acidentes, a manutenção adequada dos equipamentos e a gestão de resíduos, pois nessa fase os operadores lidam diretamente com tubulações de altíssima pressão, além da complexidade de designação adequada de seus resíduos.

O descomissionamento é a última fase do ciclo de vida de áreas de exploração e produção de petróleo e gás natural. Trata-se de um projeto de engenharia, consolidado no Programa de Descomissionamento de Instalações (PDI) e constituído por um 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, além da recuperação ambiental da área. Isso ocorre quando o campo passa a ser antieconômico para o operador, fazendo-se necessária a desativação, descontaminação e remoção dos equipamentos cabíveis (RUIVO e MOROOKA, 2001).

Esta etapa acaba por ser um processo de extrema complexibilidade e magnitude, tendo em vista que requer um projeto detalhado e elaborado que deve ser aceito pelos órgãos vigentes para posteriormente montar um grupo multidisciplinar envolvendo áreas de segurança de trabalho, financeiro e ambiental (SILVA, 2019).

Para garantir a sustentabilidade do ciclo de vida de uma plataforma de petróleo, é necessário que a indústria adote práticas mais sustentáveis em todas as etapas do processo. No artigo de Rezaei (2020), são destacadas algumas medidas que podem ser adotadas, como o uso de tecnologias de produção mais limpas, a gestão de emissões de gases de efeito estufa e a destinação adequada de resíduos. Além disso, é fundamental a participação de diversos setores e especialistas, como engenheiros, biólogos, geólogos e advogados, para garantir que as melhores práticas sejam adotadas em todas as etapas do ciclo de vida da plataforma de petróleo.

Dada a importância da fase de descomissionamento para o presente trabalho, no tópico 2.2.1 pretende-se abordar exclusivamente os aspectos gerais da desativação e descomissionamento de plataformas. Serão abordados processos de desativação de plataformas,

o descomissionamento no Brasil e mundo, além da relação entre a temática do descomissionamento e a economia circular.

2.2.1 Os processos de desativação de plataformas

Delgado (2021), define dois tipos principais de descomissionamento no “Caderno de Descomissionamento *Offshore* no Brasil”, sendo eles o descomissionamento de plataformas flutuantes e fixas. De acordo com o autor, cada processo de desativação tem suas respectivas questões e limitações, além que dentre os dois tipos citados, existem diversos modelos de plataformas, que acabam por influenciar nas tomadas de decisões na fase de desativação.

Tratando-se das plataformas flutuantes, no cenário Brasileiro, suas retiradas e realocações são simples, tendo em vista que são embarcações e não se tem nenhum dispositivo que limita permanentemente o seu movimento, além de sua reutilização ser simples, pois basta recondicionar e adaptar para a produção em uma nova área. Delgado (2021) cita quatro principais fases de desativação

elas:

Fase (1) realização de inspeções e avaliações técnicas: Nesta fase são realizadas inspeções e avaliações para levantamento de informações cruciais para realizar o planejamento mais efetivo de descomissionamento, para ser apresentado para o respectivo órgão regulador da região e futura aprovação.

Fase (2) parada da produção e preparação da planta de processo: Nesta fase são avaliadas questões como a navegabilidade da unidade, condições de integridade, medições radiométricas e diagnóstico do estado operacional de equipamentos e sistemas que serão utilizados para limpeza, desconexão e reboque, sendo posteriormente feito um plano de limpeza, preparação, remoção e gerenciamento de rejeitos e desconexão da unidade. Deve-se considerar também se detecta a existência de vida marinha (como por exemplo o coral-sol) no casco da navegação, como essa questão mapeada, é possível definir a estratégia de destinação final da unidade. Os dutos que conectam a unidade aos poços são limpos por processos já realizados na fase de produção, sendo feita em seguida a drenagem, ventilação, purga e lavagem de vasos, equipamentos, linhas e dos tanques de carga para enquadramento aos requisitos normativos.

Fase (3) desconexão dos *risers* (após limpeza dos dutos) e das linhas de ancoragem: Nesta fase realiza-se a preparação de sistemas que ainda serão utilizados na sequência da

desativação, como guinchos de *pull out* dos *risers*, guinchos de ancoragem e acessórios de reboque. Por fim, são realizadas operações de *pull out* dos *risers* (dutos e umbilicais) e desancoragem da unidade.

Fase (4) destinação final: Esta fase consiste no reboque para realocação da unidade em um estaleiro de manutenção, podendo esta ser temporária, para a sua adequação e limpeza para a utilização em outros projetos (temporária ou definitiva).

Diferente das plataformas flutuantes, nas plataformas fixas, Delgado (2021), aponta três tipos de descomissionamento, sendo eles: (1) permanência no local, (2) remoção parcial e (3) remoção total.

Tipo (1) permanência no local: Nesta tipologia é possível reutilizar a estrutura para projetos de energia alternativa como eólica, maré, solar, entre outras. Pode ainda, ser utilizado como recife natural e outros usos alternativos, como *hub* logístico, instrumentação, aquicultura etc.

Tipo (2) remoção parcial: Nesta tipologia pode-se ser utilizada parcialmente como recifes artificiais, reciclagem, reutilização, além de exercer todas as outras atividades apresentadas na tipologia 1.

Tipo (3) remoção total: Nesta tipologia a estrutura será utilizada em futuros projetos e os rejeitos descartados de acordo com as normas vigentes.

Em relação às fases do descomissionamento das plataformas fixas, Delgado (2021) reforça que se pode considerar sete fases, sendo que algumas delas já foram descritas nas plataformas flutuantes e citadas no presente trabalho, como:

Fase (1) gerenciamento do projeto: Nessa fase, é realizado o planejamento e divisão das subsequentes fases, com a elaboração do plano de descomissionamento, obtenção de licenças e autorizações necessárias e engajamento de partes interessadas, como a população, agentes reguladores e empresas contratadas.

Fase (2) descomissionamento dos poços de completação seca e, caso existam, também dos poços de completação molhada: Nesta fase é realizado o isolamento e abandono dos poços paralisados de acordo com as normas vigentes.

Fase (3) “*making safe*”, que consiste na remoção de hidrocarbonetos e materiais perigosos: Nesta fase deve-se seguir rigorosamente as regulamentações ambientais, realizando as atividades de tratamento e descarte adequadamente, além da implementação de medidas de segurança adicionais para as próximas fases.

Fase (4) etapa de preparação, que envolve, por exemplo, a instalação de reforços estruturais, remoção de equipamentos e a divisão de módulos: Nesta fase são retiradas as estruturas que não são essenciais para estrutura ou para as etapas de descomissionamento, a fim de aliviar o peso da plataforma, além de instalar estruturas temporárias para garantir a estabilidade da plataforma durante o processo de descomissionamento.

Fase (5) remoção do *topside* e subestruturas, que normalmente demanda o emprego de embarcações especiais: Nesta fase utiliza-se as embarcações *heavy lifts*, que são utilizadas na elevação e transporte de estruturas que se encontram em ambiente marítimo, são também realizadas atividades de remoção, corte dos condutores, elementos estruturais e remoção dos decks e da jaqueta, caso faça parte da estrutura da plataforma.

Fase (6) disposição final do *topside* e subestruturas: Nesta fase os componentes transportados da fase (5) são transportados para instalações de recuperação e reciclagem, onde são desmontados ou descartados de acordo com a regulamentação ambiental. A divisão do que será aproveitado e descartado, é feita por diversos critérios, como segurança, eficiência econômica e sustentabilidade.

Fase (7) monitoramento ambiental da área: Por fim, na fase sete é feito o acompanhamento da área descomissionada com o objetivo de avaliar impactos residuais da atividade, além do acompanhamento do ecossistema marinho de acordo com as normas ambientais.

Delgado (2021) ainda esclarece as diversas opções de metodologias para o descomissionamento nas fases 5 e 6. Neste cenário destaca-se a metodologia multicritério de avaliação comparativa, que vem sendo utilizada mundialmente nas tomadas de decisões e considerada uma das melhores alternativas. Portanto, pode ser adotado como base os critérios de segurança, custo, eficiência, impacto ambiental e sustentabilidade, sendo cada projeto avaliado de forma distinta de acordo com suas particularidades. Neste contexto é importante considerar as diferentes resoluções para o processo de desativação de plataformas, em especial aquelas elaboradas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP).

2.2.2 Resoluções para desativação de plataformas

O Brasil preconiza o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado como um direito fundamental garantido pela Constituição da República de 1988 (CF/88) e determina expressamente a proteção de meio as presentes e futuras gerações (art. 225, caput, CF/88). O país tem três principais órgãos reguladores das atividades relacionadas ao processo de descomissionamento de plataformas, a Marinha do Brasil, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), as quais regulam a Indústria do Petróleo. Apenas o IBAMA e ANP que são autores primordiais no exercício do Poder de Polícia dentro da União (M'PUSA, 2017).

De acordo com Ferreira (2019), a Marinha do Brasil, IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis) e ANP são os três principais órgãos reguladores no que se diz respeito ao descomissionamento de plataformas no Brasil.

Em seu estudo, Pereira (2012) retrata que a marinha do Brasil tem como principais atribuições a segurança da navegação, preservação contra poluição hídrica e a salvaguarda da vida humana no mar. De acordo com as Normas da Autoridade Marítima (NORMAMs), é necessário assegurar a proteção do meio ambiente e da navegação segura em águas jurisdicionais brasileiras, além de atividades subaquáticas.

Ainda, para Ferreira (2019) relata que o IBAMA tem como principais atribuições exercer o poder de polícia ambiental, executar ações nacionais de meio ambiente relativas ao licenciamento ambiental, controle da qualidade ambiental, autorização de uso dos recursos naturais e à fiscalização, monitoramento e controle ambiental. Também são atribuições a execução de ações supletivas de competência da União, de conformidade com a legislação ambiental vigente, de acordo com as diretrizes definidas do Ministério do Meio Ambiente.

Sendo o órgão executor da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), o IBAMA tem como estrutura de licenciamento ambiental na área do petróleo, a coordenação geral de licenciamento de petróleo e gás, que exerce o poder da política ambiental e licenciatura desta área. Uma das medidas adotadas pelo IBAMA no que se diz respeito ao descomissionamento, é de exigir o projeto de desativação das plataformas, sendo este um fator condicionante para o licenciamento da mesma (TEIXEIRA e MACHADO, 2012).

De acordo com Delgado (2022), no Brasil existe uma quantidade de normas relevantes relativas às atividades marítimas, pesqueira, ambiental e de transporte, que citam pontualmente as atividades de descomissionamento de plataformas *offshore*. Em seu estudo, são mapeadas três resoluções principais da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

(ANP) referentes ao descomissionamento adequado de plataformas, sendo elas ANP nº 43/2007, ANP nº 41/2015 e ANP nº 46/2016.

Através de informações disponíveis no banco de dados da empresa LEGISWEB, foi possível obter informações mais detalhadas das três resoluções, sendo seus principais aspectos e normativas resumidos:

A resolução ANP nº 43/2007 estabelece diretrizes e critérios para o descomissionamento de instalações petrolíferas no geral, definindo responsabilidades e regras no que se diz respeito à desativação eficiente de plataformas *offshore*. Abordando requisitos nos aspectos técnicos, econômicos e ambientais, são definidos processos de remoção e transporte adequado das estruturas, equipamentos e resíduos, sendo os mesmos acompanhados e fiscalizados pelos órgãos vigentes.

A resolução ANP nº 41/2015 aborda diretamente questões relacionadas ao tratamento de rejeitos oleosos em toda a cadeia produtiva de petróleo e gás, englobando assim, o descomissionamento de instalações *offshore*. Estabelecendo critérios de descarte de rejeitos, esta resolução define padrões e limites para a concentração de óleos e graxas nos efluentes líquidos, criando procedimentos para o monitoramento e controle desses rejeitos, além de penalidades para o descumprimento das normas.

A resolução ANP nº 46/2016 completa a resolução ANP nº 43/2007, definindo requisitos mínimos para o plano de desativação em águas rasas, trazendo aspectos gerais do descomissionamento além dos procedimentos de acompanhamento e fiscalização ao final da atividade. Também define procedimentos técnicos, de segurança e ambiental para o descomissionamento legal de plataformas em solo brasileiro.

No Caderno de Aspectos Socioeconômicos por trás das atividades de Descomissionamento: Lições aprendidas do outro lado do Atlântico (2022) é citada a resolução ANP nº 817/2020, que estabelece as regras e diretrizes para o descomissionamento de instalações de exploração e produção de petróleo e gás natural. A publicação aborda questões como a cessão de contratos, inclusão de áreas terrestres em processo de licitação, alienação (venda ou paralisação das atividades produtivas) e reversão de bens, cumprimento de obrigações remanescentes na fase de exploração e devolução de áreas na fase de produção. O contratado, responsável pelas atividades, deve explorar todas as opções viáveis para maximizar a recuperação dos reservatórios e evitar o descomissionamento prematuro das instalações.

Por fim, vale ressaltar que uma empresa detentora dos direitos de exploração e produção de petróleo e gás natural somente poderá abandonar permanentemente poços produtores ou injetores utilizados na exploração de Campos Marítimos de Grande Produção de Petróleo e Gás

Natural, conforme definição em legislação aplicável, mediante autorização da ANP (M'PUSA, 2017).

2.2.3 Métodos e Modelos de Contratação do Descomissionamento

No ano de 1997, a lei nº 9.478 estabeleceu que empresas de capital privado pudessem explorar petróleo, desta forma, tendo que lidar também com questões ligadas ao contrato de concessão, que inclui o descomissionamento de instalações. O artigo 2 da lei nº 9.478 estabelece que o concessionário deve arcar por sua conta exclusiva com as atividades de remoção total das instalações, sendo obrigado a reparar ou indenizar os danos decorrentes de suas atividades conforme for estabelecido pelos órgãos competentes (DORNELAS, 2019).

Após o fim das atividades produtivas ou cessão do contrato de concessão, o concessionário tem a obrigatoriedade de apresentar à ANP um programa de desativação de instalações (PDI), contendo justificativa, descrição dos procedimentos de remoção da instalação e cronograma do descomissionamento. Após esta etapa, deve-se ser realizado um relatório final de desativação de instalações, explicando sucintamente as atividades de remoção e procedimento de recuperação das áreas realizadas, com enfoque nos aspectos de proteção ambiental (SILVA, 2019).

No Brasil, quando é necessária a realização do descomissionamento de uma plataforma de petróleo, esta é realizada pela concessionária ou contratada pela concessão de produção e exploração de óleo e gás, a empresa pode buscar parceiros ou investidores para realizar o descomissionamento (BAPTISTA, 2018).

Delgado (2021) aborda em sua obra um modelo de contratação muito comum no descomissionamento de plataformas fixas no Brasil, sendo ele nomeado de EPRD (Engenharia, Preparação, Remoção e Disposição) pelo autor. Neste modelo, empresas especializadas e com experiência na área de descomissionamento, tem a função de:

(1) Realizar o planejamento das atividades; nesta etapa são definidas as principais metas, alocação de recursos, criação de cronograma e guia de ações. Assim, garantindo a eficiência e organização para alcançar os objetivos do descomissionamento.

(2) Elaborar os estudos e avaliações de alternativas de destinação final; é uma etapa crucial para escolher a melhor maneira de lidar com materiais ou resíduos após seu uso. As opções disponíveis são examinadas com cuidado, levando em consideração fatores como impacto ambiental, viabilidade técnica, custos e conformidade com a lei.

(3) Elaborar os projetos de engenharia e procedimentos executivos; esta etapa é essencial para garantir a correta execução de um projeto, fornecendo instruções técnicas, especificações e cálculos necessários. Além disso, são estabelecidos procedimentos e métodos para garantir a segurança e qualidade do descomissionamento durante a realização de todo o procedimento.

(4) Executar a fase de preparação, incluindo todas as atividades necessárias para tornar a plataforma pronta para o descomissionamento; nesta etapa são removidos os equipamentos e materiais perigosos como os NORMS (*Naturally Occurring Radioactive Material*) e desconexão de sistemas de acordo com as normas ambientais e de segurança.

(5) Realizar as tarefas de remoção, incluindo o corte dos condutores e elementos estruturais, bem como a remoção dos decks e da jaqueta; sendo a fase mais delicada da operação, nesta etapa, são realizados os elementos estruturais da plataforma, através de cortes de condutores, remoção de decks e jaquetas, de acordo com o que foi estabelecido nas etapas de planejamento do projeto. Além disso, a remoção adequada permite a recuperação de materiais reutilizáveis ou valiosos e a restauração do ambiente marinho, atendendo às exigências regulatórias e contribuindo para a sustentabilidade da indústria *offshore*.

(6) Transporte para base/estaleiro na costa; nesta etapa, os materiais reutilizáveis são enviados através de embarcações especializadas para zonas costeiras para realizar as inspeções finais, limpeza e reparos, assim, possibilitando a reciclagem, desmantelamento ou descartes adequados.

(7) A destinação adequada dos resíduos, buscando maximizar o reaproveitamento e reciclagem. Nesta etapa final, são identificados e separados os diferentes tipos de resíduos gerados com o processo de descomissionamento, como plásticos, metais, e materiais perigosos, para posteriormente encaminhá-los para processos de reciclagem apropriados. Deste modo, alocando os materiais de forma mais otimizada e minimizando os riscos de segurança e impactos ambientais, assim, cumprindo com as regulamentações ambientais.

Em sua obra, Antônio (2019), aponta e detalha os 4 principais modelos de descomissionamento e desmantelamento de plataformas do tipo FPSOs, sendo eles os métodos de *Beaching*, *Landing*, *Alongside* e *Dry dock*.

No método de *Beaching*, a embarcação é enviada para praias em regiões costeiras sem condições adequadas de segurança de trabalho e proteção ambiental, o autor ainda relata que esta é uma das práticas mais adotadas no sul da Ásia.

No método de *Landing*, a embarcação é posicionada em uma rampa que se estende desde a água até a costa, deste modo, a instalação vai sendo desmantelada pela porção que se encontra em terra, sendo feita da proa até a popa do navio.

No método *Alongside*, a instalação é posicionada ao lado da costa ou de uma estrutura de suporte, o desmonte é feito diretamente na própria embarcação de cima para baixo, sendo desmanteladas desde o *topside* até o final do casco.

No método *Dry dock*, a embarcação é alocada em uma estrutura chamada “doca seca”, que nada mais é que uma região isolada que após a entrada da instalação, o ambiente vira um compartimento que tem toda sua água drenada por bombas. Após este procedimento, é possível realizar manutenções em casos de reinserir o navio no mar, ou de rezer o desmantelamento da embarcação, por ser um ambiente mais controlado, o autor relata que é o método que garante maior segurança dos funcionários e do meio ambiente.

De acordo com os modelos e métodos de descomissionamento, desmantelamento e descarte fornecidos por Antônio (2019) e Delgado (2021), nota-se a importância da destinação final adequada de uma instalação de petróleo e gás. Este processo envolve aspectos de ordem financeira, ambiental e de segurança, é necessário que equipes especializadas estejam no comando dessas operações de alto risco, para deste modo, converter resíduos e riscos em oportunidades e ganho financeiro de uma forma segura.

2.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ECONOMIA LINEAR E A ECONOMIA CIRCULAR

Na atual conjuntura, muitos estudos vêm criticando o modelo retrógrado, da economia linear. Ellen MacArthur Foundation (2013), Sariatli (2017), Lewandowski (2016) e Pieroni (2019) abordam sobre a ineficiência e insustentabilidade desse tipo de modelo. Com isso, os pesquisadores vêm advogando por um novo modelo para combater o consumo inconsciente e desenfreado, a economia circular, que através da criação de produto e modelos de negócios sustentáveis visa alterar o rumo que a humanidade vem trilhando. Sendo assim, o tópico 2.4

pretende contextualizar ambos os modelos e apresentar a necessidade de adotar metodologias mais sustentáveis nos meios de produção e consumo humano como um todo.

Segundo Ellen MacArthur Foundation (2013), a economia linear é um modelo econômico predominante na sociedade contemporânea, caracterizado por um processo linear de produção e consumo, em que os recursos naturais são extraídos, transformados em produtos, utilizados pelos consumidores e, por fim, descartados como resíduos. Nesse modelo, o crescimento econômico é o objetivo principal, incentivando a produção em massa com custo unitário mínimo e o consumo desenfreado. No entanto, a economia linear apresenta limitações e desafios significativos, como a geração excessiva de resíduos, o esgotamento insustentável dos recursos naturais, a degradação ambiental e a dependência de fontes de energia não renováveis. Além disso, contribui para a desigualdade social e econômica.

Por outro lado, Sariatli (2017), afirma que a economia circular implica em um sistema ou concepção que se extrai o máximo possível do valor agregado de um produto, deste modo eliminando desperdícios e gastos desnecessários. Além disso, relata indícios da insustentabilidade da economia linear já conhecida, como por exemplo o fato de o mundo estar se aproximando de um ponto irreversível, no qual se torna impossível sustentar a biosfera como a conhecemos. O autor também comenta que o modelo linear só se destacou em um cenário de abundância de recursos naturais, porém, no cenário atual, não é mais possível sustentar as tendências econômicas e demográficas empíricas da humanidade.

Lewandowski (2016), em seu estudo, aborda como a transição do atual modelo linear para um modelo circular, vem atraindo a atenção de grandes empresas globais como Google, Unilever, Renault, e formuladores de políticas que participam do Fórum Econômico Mundial. O autor explica que existem diversos benefícios envolvidos, englobando os aspectos financeiros, sociais e econômicos, porém, o autor sinaliza os possíveis efeitos rebotes para empresas menores e para tipos diferentes de modelos de negócios. Lewandowski (2016) alerta sobre possíveis limitações em relação à aplicabilidade da economia circular, para minimizá-las sugere-se o estudo e a avaliação da transferibilidade para esse novo modelo em diferentes tipos de negócios, visando englobar o *framework* geral, a fim de minimizar efeitos colaterais da circularidade.

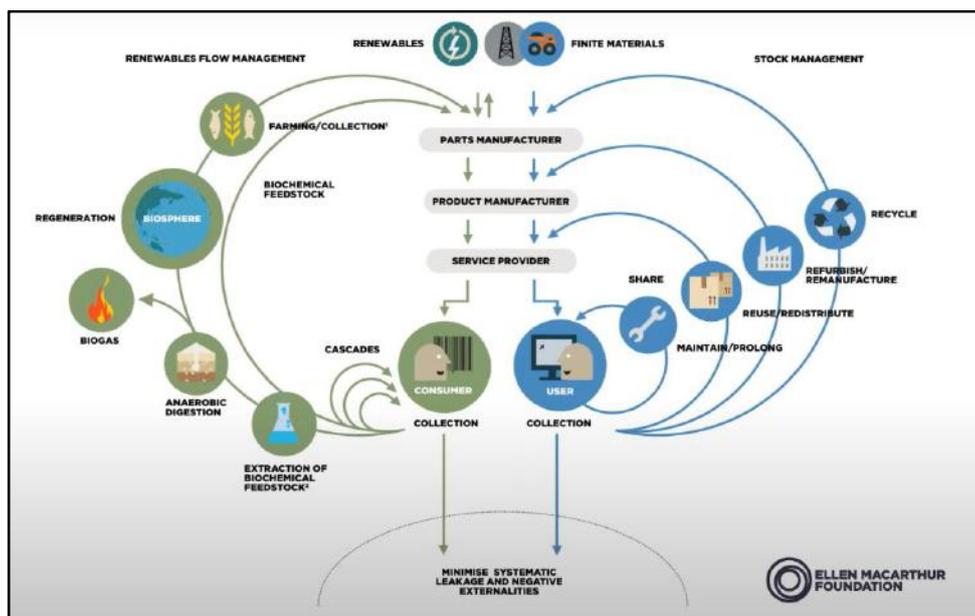
Pieroni (2019) traz estudos sobre a aplicabilidade da economia circular em novos modelos de negócio, com um viés mais inovador e focado na transição entre os dois modelos, a autora discorre sobre 3 enfoques, sendo eles, enfoque baseado em valor, em sistemas e mudança de comportamento.

O enfoque baseado em valor, se refere ao valor agregado à reutilização de recursos por meio de recuperação ou reciclagem, além da oferta de serviços que acaba por gerar empregos e outras funções econômicas inexploradas. O enfoque baseado em sistemas, abrange a conexão entre diversos atores, procedimentos e processos na cadeia de valor, buscando soluções colaborativas e fechando os fluxos de materiais. E por fim, no enfoque baseado em mudança de comportamento, se refere à forma como os consumidores enxergam o produto, deste modo alterando o *mindset* de descarte para uma visão sustentável de reparo, reutilização e reciclagem.

Apesar dos diversos benefícios apontados no estudo de Pieroni (2019), a autora reforça que não existe um modelo único e universal aplicável para a economia circular, porém, é possível identificar e mapear alguns elementos-chave comuns nos diferentes enfoques. Entre os elementos, pode-se observar o desenvolvimento e concepção de produtos duráveis e modulares, o uso de materiais sustentáveis, renováveis e recicláveis, a implementação de sistemas de logística reversa e a criação de parcerias e colaborações entre empresas.

A figura 9 projetada pela fundação Ellen MacArthur (2013), mostra a aplicação de circularidade em dois sistemas que são sustentados pelo que o autor classifica como nutrientes tecnológicos e biológicos, e como estes circulam pelo sistema econômico.

Figura 9. Circularidade aplicada como um sistema econômico na área tecnológica e biológica.



Fonte: Ellen MacArthur Foundation

Nota-se que em ambos os sistemas, são retratadas a tendência natural na qual as partes se influenciam dentro de um todo, enfatizando o fluxo e a conexão ao longo do tempo,

potencializando condições regenerativas ao invés de limitar o foco a uma ou mais partes em curto prazo. Com a ideia de “resíduos são alimento”, do lado dos nutrientes biológicos, é possível reintroduzir materiais e produtos à biosfera, por meio de circuitos restauradores não tóxicos, já nos nutrientes técnicos a melhoria na qualidade também é possível por *upcycling* (processo que o material é transformado em algo de maior valor ou utilidade do que sua forma original) (MACARTHUR, 2013).

Leitão (2015) discute em sua obra, como imitar padrões da própria natureza pode contribuir para alavancar atividades de empresas, garantindo vantagem competitiva na atual conjuntura global, além de garantir a inovação e criação de inúmeros tipos de empregos devido às novas atividades circulares. Os resíduos são recursos, que contam com potencial significativo de aproveitamento, de valorização e que pode e deve estar na origem de um novo produto.

Portanto, maximizar o uso dos recursos, gera benefícios estratégicos e operacionais para as organizações. O pensamento circular agrega valor nas inovações de *design*, tecnologias e processos, trata-se de mudanças que viabilizam a criação de novas oportunidades de trabalho, redução de resíduos e incentiva o crescimento da economia de forma otimizada. Assim, Leitão (2015) demonstra que a implementação prática de modelos de negócios circulares apresenta impactos positivos em termos ambientais, sociais e econômicos.

Os movimentos para circularidade são crescentes no mundo, e dada a relevância deste modelo tem se observado a sua aplicabilidade em diferentes setores produtivos. Portanto, o tópico 2.4.1 vai abordar sobre as questões e aplicações da circularidade nos processos de descomissionamento de plataformas.

2.3.1 Circularidade aplicada ao processo de descomissionamento e desmantelamento de plataformas

Antes de realizar as atividades de descomissionamento e desmantelamento em si, é necessário que cada tipo de plataforma passe por alguns procedimentos legais e estratégicos para não lidar com possíveis inconvenientes nessas etapas. Portanto, apenas após a fase de escopo, planejamento, análises e permissões necessárias, finalmente se pode realmente realizar a etapa de descomissionamento, realizando limpeza, descontaminação, remoção e teste de integridade das instalações e seus equipamentos. Também é feita a remoção dos condutores, módulos, *topsides*, plataforma, pipelines e cabos (MANSANO, 2018).

Após todos esses procedimentos supracitados, finalmente é realizada a limpeza final dos recursos capturados do descomissionamento, sendo também reparados, reciclados, reutilizados ou descartados adequadamente, dependendo do planejamento da equipe de engenharia (MANSANO, 2018).

De acordo com Carreteiro (2020), após a etapa de descomissionamento, os componentes descomissionados e a própria plataforma podem passar por um processo de desmantelamento para serem recicladas e vendidas, assim, desmontando todos os componentes, equipamentos e estruturas. Essa atividade é realizada em uma unidade de desmantelamento, podendo se encontrar em locais como estaleiros, docas e praias, facilitando o escoamento de todo o material após a etapa de descomissionamento. São feitos procedimentos de cortes e limpeza para posteriormente quantificar as toneladas de materiais ferrosos e não ferrosos produzidos com este procedimento, para finalmente serem vendidos para uma siderúrgica.

Além de oferecer oportunidades aos estaleiros brasileiros, o processo de reciclagem de instalações petrolíferas também oferece perspectivas para o setor siderúrgico nacional. É evidente a existência de uma demanda existente de aço para siderúrgicas locais e siderúrgicas em comparação com a demanda interna de sucata, bastando adaptar seus processos de construção e reparo às atividades de reciclagem de instalações e embarcações (SÁNCHEZ E PEREIRA, 2019).

No caso das FPSOs e SSs, a maior parte da estrutura é utilizada sem grandes modificações e complexibilidade, sendo seu custo de remoção relativamente baixo, podendo haver alterações dos *topsides* e troca ou reforma dos equipamentos da instalação (SILVA E MANIER, 2008).

Apesar de também serem instalações flutuantes, os TLPs e SPARs acabam sendo mais complexos e custosos de descomissionar, apesar dos processos serem semelhantes os FPSOs e SSs. Os SPARs têm estruturas com o comprimento que pode chegar a 225 metros, no caso dos TLPs, o principal problema se encontra nos inúmeros pontos de ancoragem, além da desconexão das amarras tensionadas (ANTHONY, 2000).

Delgado (2022) aponta que a indústria brasileira ainda se encontra em estado embrionário no que se diz respeito às atividades de desmantelamento e descomissionamento de instalações e plataformas, tendo pouca experiência técnica e legal sobre a temática. Entretanto, o autor constata um forte investimento e movimentos nessa área nos últimos anos por parte da indústria de óleo e gás brasileira, sendo desenvolvidas inúmeras técnicas e métodos aperfeiçoados de reciclagem, desmantelamento e permanência parcial *in situ* das instalações.

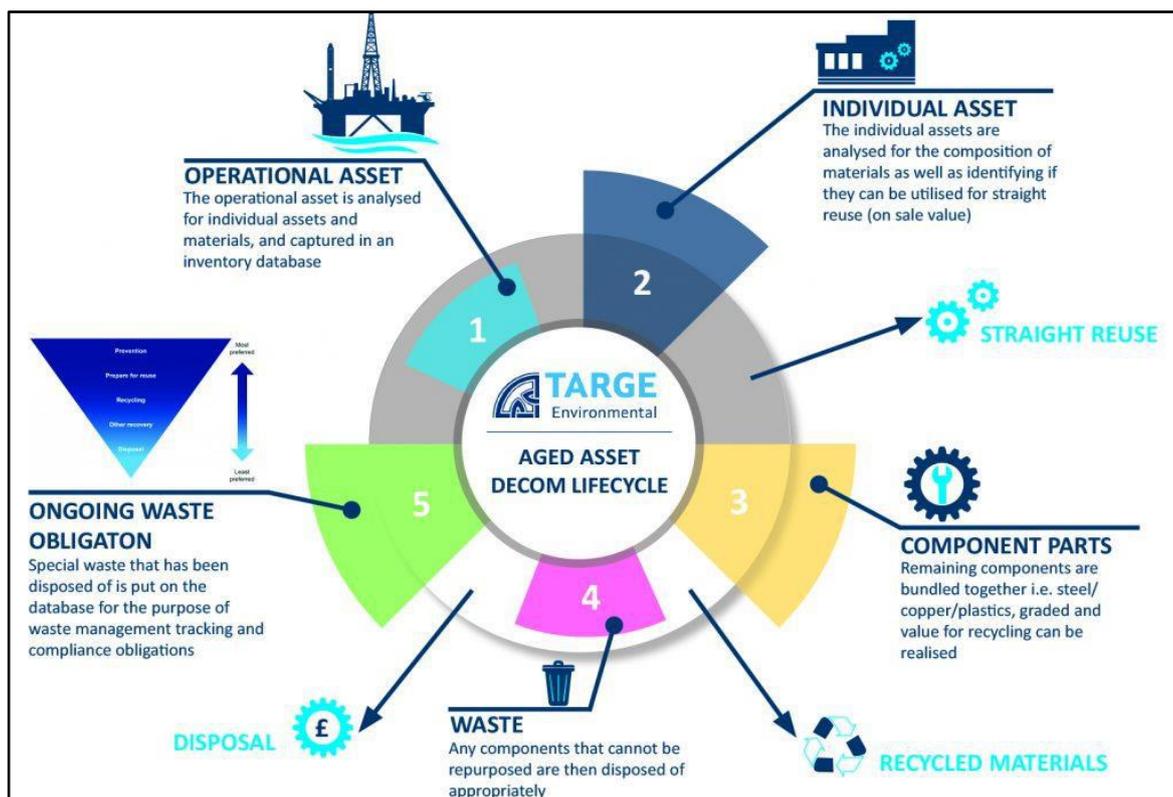
No que tange às principais problemáticas do descomissionamento no Brasil, Duarte (2022) sinaliza que por ser um país com um mercado incipiente nesta etapa, equipamentos e estruturas acabam por não terem um aproveitamento adequado no final de sua vida útil, assim, perdendo possíveis mercados de reciclagem, reuso e remanufatura nacional e internacional. O autor aponta que um ponto crítico para a viabilidade econômica da atividade de descomissionamento e desmantelamento se encontra no custo de desmonte. Tendo em vista a falta de regulamentação específica sobre o desmantelamento no Brasil, o país acaba por perder oportunidades de aproveitar este mercado crescente no exterior, tendo que enviar seus FPSOs para países como a Índia, Paquistão, Bangladesh ou Turquia.

No que se refere à inserção destas instalações ao meio produtivo, a circularidade desempenha um papel importante na gestão sustentável de equipamentos e materiais durante o descomissionamento e desmantelamento de plataformas. Após a fase de descomissionamento, esses componentes são submetidos a uma minuciosa avaliação de integridade, a fim de determinar se estão em condições adequadas para serem reaproveitados em atividades futuras. Essa análise baseada em critérios desempenha um papel crítico ao informar sobre a viabilidade de reutilizar certos tipos de estruturas específicas. Nesta fase do processo, o desmantelamento e a reciclagem desempenham um papel significativo na reintegração dos subprodutos na economia circular da produção (CARRETEIRO, 2020).

O conceito de economia circular baseia-se na ideia de recuperar e reaproveitar os recursos naturais utilizados na produção, contribuindo assim para a geração de empregos e preservação do meio ambiente. Como resultado, uma abordagem cíclica para o descomissionamento e desmontagem da plataforma é fundamental para promover a sustentabilidade, otimizar a utilização de recursos e minimizar o efeito ambiental associado a esses processos (DELGADO, 2021).

De acordo com a figura 10 elaborada pela *Targe Environmental*, existem cinco principais etapas no que se refere ao descomissionamento circular de plataformas, na qual as etapas são respectivamente (1) ativo operacional, (2) ativo individual, (3) componentes, (4) resíduos e (5) obrigação contínua de resíduos. Como é possível ver na representação visual abaixo, apenas as 3 primeiras etapas são direcionadas para atividades circulares, sendo as 2 últimas direcionadas para questões de proteção ambiental e segurança voltada para os resíduos e seu controle adequado. As 3 primeiras etapas, são relativas ao registro dos materiais e equipamentos que podem ser capitalizados pelas atividades de descomissionamento, desde ativos operacionais até materiais como aço, cobre e plásticos que podem ser valorizados para a reciclagem.

Figura 10. Fases do descomissionamento em uma perspectiva circular



Fonte: Ciara McGarry

Quadro 1. Fases do descomissionamento e descrições.

Fases de descomissionamento	Descrição
(1) Ativo Operacional	O ativo operacional é analisado quanto a ativos individuais e materiais, e é registrado em um banco de dados de inventário.
(2) Ativo Individual	Os ativos individuais são analisados quanto à composição dos materiais, bem como à identificação de sua possibilidade de reutilização direta (valor de revenda). Sendo estes ativos reutilizados diretamente em outras instalações.
(3) Componentes	Os componentes restantes são agrupados, como aço/cobre/plásticos, classificados e podem ser valorizados para serem reciclados.
(4) Resíduos	Quaisquer componentes que não possam ser reutilizados são então descartados adequadamente.
(5) Obrigação Contínua de Resíduos	Resíduos especiais que foram descartados são registrados no banco de dados para fins de rastreamento de gestão de resíduos e obrigações de conformidade.

Fonte: Ciara McGarry

A maior barreira ao uso de uma estratégia circular no descomissionamento de plataformas de petróleo é a falta de incentivos, no momento, os ativos estão sendo descartados às pressas e tratados como lixo assim que a fabricação é interrompida. Esses ativos poderiam ser utilizados em outros setores da economia ou da indústria devido aos materiais resistentes e de alta qualidade que são feitos. Uma estratégia de gerenciamento de materiais pode ser feita para maximizar a reutilização, reciclagem, desmantelamento e recuperação em massa de ativos (CIARA MCGARRY, 2018).

Portanto, a adoção da economia circular vem sendo utilizada por grandes empresas que têm expertise nessa temática, gerando resultados significativos, produzindo toneladas de aço reciclado, bem como a reutilização de metais inestimáveis e máquinas caras. Reconhecer o valor potencial desses ativos em deterioração é crucial para incentivar a circularidade no descomissionamento, deste modo alterando a visão de apenas uma obrigação para uma oportunidade muito maior (CIARA MCGARRY, 2018).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção, foram utilizadas duas metodologias complementares: análise bibliométrica e estudo de caso. A análise bibliométrica é amplamente utilizada na avaliação da produção científica e no mapeamento de dados bibliográficos e permitiu uma avaliação quantitativa e qualitativa da produção científica sobre descomissionamento de plataformas *offshore*, por meio da base de dados *Scopus*. Já o estudo de caso envolveu a análise aprofundada de cinco plataformas reais, proporcionando insights sobre empresas, ações adotadas, boas práticas e lições aprendidas. Ao combinar essas abordagens, foi possível vislumbrar os desafios e soluções relacionados ao descomissionamento de plataformas *offshore* com uma perspectiva circular.

3.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

De acordo com Hicks (2013), a análise bibliométrica é um método amplamente aplicado em avaliações no geral, sendo utilizada quando existe necessidade de avaliar a produção científica e o impacto da pesquisa. O autor também destaca que são utilizados métodos estatísticos e quantitativos com o intuito de mapear e avaliar os dados bibliográficos, como

citações e publicações, deste modo fornecendo métricas e indicadores para constatar tendências, mapear redes científicas e analisar colaborações.

Embora as técnicas de análise bibliométrica tenham sido estabelecidas há um longo período, foi por meio do surgimento e desenvolvimento dos sistemas de informação que se evidenciou a relevância do uso de bases de dados com publicações indexadas, o que consequentemente tornou o uso da bibliometria muito mais difundido e eficaz (LACERDA *et al.*, 2012).

As bases de dados possibilitam a recuperação e utilização do conhecimento científico de forma mais facilitada, ao mesmo tempo em que fornecem indicadores que aprimoram a visualização do potencial de impacto de periódicos em suas respectivas áreas de conhecimento, (PODSAKOFF *et al.*, 2005). De acordo com Neves *et al.* (2013), uma revisão bibliográfica pode ser resumida em 6 etapas, sendo elas:

1 – Seleção das bases científicas para a pesquisa: A base científica escolhida na busca dos artigos para a análise bibliométrica, no presente trabalho foi a Scopus. A escolha pela base se deu devido ao reconhecimento acadêmico mundial e à abrangência dessa plataforma, além de ter um alto quantitativo de publicações nas áreas de petróleo e sustentabilidade.

2 – Escolha das palavras-chave e da frase de pesquisa: Foram selecionadas as palavras-chave “*decommissioning*”, “*offshore*”, “*platforms*” e “*sustainable*” para a pesquisa com base no tema principal deste estudo, visando restringir o escopo dos assuntos relevantes. Além disso, foram aplicados filtros temporais para limitar os resultados nos últimos 6 anos (2018-2023), com o objetivo de ter uma amostra suficiente de artigos, deste modo obtendo os temas mais recentes e relevantes sobre a temática.

3 – Pesquisa nas bases: Com os parâmetros estabelecidos na busca de artigos na base Scopus, foi possível obter um total de 30 artigos científicos.

4 – Análise dos resumos de todos os registros de artigos identificados na pesquisa: Foram analisados os resumos dos artigos obtidos de modo a selecionar quais tem real aderência ao tema proposto da pesquisa. Dos artigos, foram selecionados 15 que provavelmente tinham relação com a temática proposta, ou seja 50% dos artigos.

5 – Seleção dos artigos com texto completo: Dos artigos selecionados, foram identificados 14 artigos que tinham o texto completo disponibilizado na base Scopus.

6 – Seleção e análise dos artigos com maior aderência ao tema: A partir dos 14 artigos definidos, foram identificados e reescritas em uma tabela suas principais descrições e temáticas, código (A1, A2,...), título da obra, ano, nome dos autores e fonte de publicação.

3.2 O ESTUDO DE CASO

A segunda metodologia utilizada no presente trabalho foi o estudo de caso. Trata-se de uma modalidade de pesquisa que apresenta inúmeras abordagens e aplicações, sendo uma ferramenta metodológica amplamente utilizada no meio acadêmico pela sua importância crescente como ferramenta de pesquisa. Sendo apresentado como uma investigação empírica, podendo ser quantitativa ou qualitativa com métodos de coleta, análise e interpretação de dados, o estudo de caso pode ser aplicado em diferentes campos como nas áreas de psicologia, saúde, tecnologia, humanas, sociais, entre outras (VENTURA, 2007).

O estudo de caso tem a característica de ser holístico, buscando compreender o fenômeno em sua totalidade, considerando o contexto e a relação entre diferentes acontecimentos e sua realidade. A interpretação tem um papel fundamental na aplicação de estudos de casos, podendo modificar objetivos de estudo durante a construção da pesquisa de acordo com o surgimento de novas descobertas e informações durante a coleta de dados e informações (MEIRINHOS, 2010).

Conforme o quadro 2, Yin (1993) sinaliza que existem seis tipos diferentes de estudos de caso, sendo eles classificados como exploratórios únicos, exploratórios múltiplos, descritivos únicos, descritivos múltiplos, explanatórios únicos e explanatórios múltiplos.

Quadro 2. Tipos de estudos de caso.

Tipos	Únicos	Múltiplos
Exploratórios	Exploratórios únicos	Exploratórios múltiplos
Descritivos	Descritivos únicos	Descritivos múltiplos
Explanatórios	Explanatórios únicos	Explanatórios múltiplos

Fonte: Yin 1993

Os estudos exploratórios visam fornecer suporte à teorização definindo questões ou hipóteses para investigações futuras. Os estudos explanatórios procuram estabelecer relações de causa e efeito, identificando a causa que melhor explica o fenômeno estudado, enquanto os estudos descritivos se concentram em descrever um fenômeno em seu respectivo contexto (YIN, 1993).

Bongdan e Biklen (1994) discorrem que um estudo de caso pode ser classificado dependendo do número de casos envolvidos no estudo, podendo ser únicos para apenas um caso ou múltiplos para vários casos. Deste modo, o presente trabalho se enquadra como descritivo múltiplo.

Para coletar dados de acordo com a natureza de cada caso, é necessário aplicar o instrumento correto para se obter informações de várias perspectivas, assim permitindo uma análise mais abrangente. De acordo com Meirinhos (2010), existem 5 principais formas de coletar dados para estudo de caso, sendo elas através de diário, questionário, fontes documentais, entrevista individual e registros eletrônicos.

O diário é útil para acompanhar e registrar processos, reflexões e experiências ao longo do tempo, sendo uma ferramenta valiosa para anotar as experiências positivas e negativas sobre o objeto de estudo. O questionário pode ser usado para coletar informações padronizadas de diferentes participantes, de forma sistemática e comparável, podendo gerar gráficos e tabelas com os dados obtidos posteriormente à coleta. Fontes documentais são importantes para obter informações históricas, contextuais e validar evidências coletadas de acordo com as bases de pesquisa consultadas. Com entrevistas individuais e em grupos, é possível obter *insights* das perspectivas e experiências dos participantes, além de obter dados específicos de perguntas programáticas, discussão e debates também são estimulados em entrevistas em grupo. Registros eletrônicos são relevantes quando o caso envolve o uso de tecnologias digitais, como plataformas online, fornecendo dados sobre interações e dinâmicas nesse contexto. Em relação às formas de coleta de dados, este estudo optou por utilizar fontes documentais e registros eletrônicos na sua elaboração, utilizando de duas principais bases para o levantamento dos casos, sendo elas a One Petro e o Google Acadêmico.

Conforme Ventura (2007), é necessário que o investigador se previna de generalizações, sempre buscando um rigor científico mais adequado de acordo com a realidade de sua pesquisa. Sendo essencial delimitar e especificar o caso estudado, trazendo suas características mais relevantes para compreensão do caso (VENTURA, 2007).

Portanto, para seleção dos casos foram considerados os casos baseados em fatos, que consideraram o descomissionamento de plataformas de forma prática e aplicada, incluindo, inclusive, as ações relacionadas à circularidade. Sendo assim, espera-se que neste trabalho a combinação das metodologias de análise bibliométrica e estudo de caso, proporcione uma abordagem abrangente e aprofundada do tema. A primeira, fornecerá uma visão ampla das publicações científicas relacionadas ao descomissionamento de plataformas *offshore*, enquanto

a segunda metodologia, o estudo de caso permitirá uma análise detalhada de casos reais, fornecendo informações valiosas sobre as práticas adotadas na indústria.

4. RESULTADOS

Os resultados foram organizados em 3 partes. Na parte 1 será abordado a análise bibliométrica acerca do tema descomissionamento das plataformas e a circularidade, na parte 2 será apresentado uma análise de múltiplos casos de descomissionamento de plataformas e a economia circular e por fim, na parte 3 será disponibilizado uma lista de diretrizes para o descomissionamento circular.

4.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA: DESCOMISSIONAMENTO DE PLATAFORMAS E CIRCULARIDADE

Os resultados da análise bibliométrica foram organizados em duas partes. Na primeira parte serão apresentadas as análises relativas às publicações, incluindo: a codificação do artigo, o título da obra, o ano de publicação, o nome dos autores, as palavras chaves e a fonte no qual os artigos foram publicados. Na segunda parte, cada artigo foi analisado visando levantar os objetivos, a metodologia, os principais resultados, as fases do descomissionamento no qual foram aplicadas ações de circularidade e boas práticas.

4.1.1 Análise das publicações

Como é possível notar no quadro 3, a maioria das publicações selecionadas ocorreram no ano de 2022, totalizando seis publicações (43%), além de três publicações em 2021, duas publicações nos anos de 2023 e 2020 e uma em 2018. Vale ressaltar que o autor “Vona R.” teve contribuição em seis obras, seguido por “Capobianco N.” com quatro e por fim “Vicinanza D.”, “Loia F.” e “Basile V.” contribuíram na construção de 3 obras. De acordo com os dados da Scopus, os 5 artigos mais citados foram: A9 (19), A12 (14), A10 (13), A5 (11) e A14 (7).

Quadro 3. Apresentação dos artigos.

Código	Título da obra	Ano	Nome dos autores	Palavras chave	Fonte de publicação
A1	Towards the Sustainable Decommissioning of Fixed Platforms by Aligning Ecosystem Services and Wind Generation: A Brazilian Case	2023	Martins, M.C.I., Carter, M.I., Rouse, S., Russell, D.J.	Decommissioning, Offshore, Wind, Energy, Oil Platform, Reuse, Sustainable, Technologies	International Journal of Energy Economics and Policy 13(3), pp. 235-242
A2	Sustainable business models and conflict indices for sustainable decision-making: An application to decommissioning versus reusing offshore gas platforms	2023	Barboza D.V., Meiriño M.J., da Silveira Barros S.R., Fernandes Bella R.L.,	Conflict, index, stakeholder, engagement, stakeholders', representativeness, and, knowledge, substantive, and, instrumental, rationality, sustainable, business, model, sustainable, decision-making, weak, and, strong, sustainability	Business Strategy and the Environment
A3	Decommissioning of Offshore Platforms in Adriatic Sea: The Total Removal Option from a Life Cycle Assessment Perspective	2022	Colaleo G., Nardo F., Azzellino A., Vicinanza D.,	Decommissioning, O&G, offshore, platforms	Energies 15(24), 9325
A4	Definition of a Basic Design for Conversion of an Offshore Fixed Platform on a Depleted Reservoir Into a Sustainable Plant	2022	Ugenti A.C., Gerboni R., Carpignano A., Ballocco G., Tortora A., Aliberti A.,	Design, Nuclear decommissioning, Ocean engineering, Safety, Sustainability, Reservoirs, Photovoltaic panels, Maintenance	ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering 8(4), 041101
A5	A review: Challenges and opportunities for artificial intelligence and robotics in the offshore wind sector	2022	Mitchell D., Blanche J., Harper S., Lim T., Gupta R., Zaki O., Tang W., Robu V., Watson S., Flynn D.,	Artificial, intelligence, Digitalization, Offshore, renewable, energy, Offshore, wind, farms, Robotics	Energy and AI 8, 100146
A6	Towards a resilient perspective for the future of offshore platforms. Insights from a data driven approach	2022	Loia F., Capobianco N., Vona R.,	Circular, economy, Decommissioning, Green, governance, Offshore, platform, Resilience	Transforming Government: People, Process and Policy 16(2), pp. 218-230
A7	An ecosystems perspective on the reconversion of offshore platforms: Towards a multi-level governance	2022	Basile V., Loia F., Capobianco N., Vona R.,	Decommissioning, offshore, platform, service, ecosystem, sustainable, development, value, proposition	Corporate Social Responsibility and Environmental Management

A8	End-of-life management of oil and gas offshore platforms: challenges and opportunities for sustainable decommissioning	2022	Capobianco N., Basile V., Loia F., Vona R.,	Sustainable development;circular economy;decommissioning;offshore platforms;end life management	Sinergie 40(2), pp. 299-326
A9	The usefulness of sustainable business models: Analysis from oil and gas industry	2021	Basile V., Capobianco N., Vona R.,	Business,model,canvas ,corporate,social,responsibility,decommissioning,environmental,management,multi-use,platform,sustainable,business,model,sustainable,development	Corporate Social Responsibility and Environmental Management 28(6), pp. 1801-1821
A10	Toward a sustainable decommissioning of offshore platforms in the oil and gas industry: A pestle analysis	2021	Capobianco N., Basile V., Loia F., Vona R.,	Offshore,platforms,PE STLE,analysis,Sustainable,Business,Model,(SBM),Sustainable,Decommissioning,(SD)	Sustainability (Switzerland) 13(11),6266
A11	Decommissioning vs. reusing offshore gas platforms within ethical decision-making for sustainable development: Theoretical framework with application to the Adriatic Sea	2021	Zagonari F.,	Adriatic,sea,Decommissioning,Offshore,gas,platforms,Reuse,Strong,sustainability,Weak,sustainability	Ocean and Coastal Management 199,105409
A12	Development of an eco-sustainable solution for the second life of decommissioned oil and gas platforms: The mineral accretion technology	2020	Margheritini L., Colaleo G., Contestabile P., Bjørgård T.L., Simonsen M.E., Lanfredi C., Dell'Anno A., Vicinanza D.,	Calcareous,dep,Mineral,accretion,technology, Oil,and,gas,platforms	Sustainability (Switzerland) 12(9),3742
A13	Reefing Viability Index for Rigs-to-Reefs (R2R) in Malaysia	2020	Mohd M.H., Rahman M.A.A., Nazri M.N., Tan C.H., Mohamad Y., Lim C.S., Mustapa B., Shaari H., Hii Y.S., Kim D.K.,	Indisponível	Scientific World Journal 2020,4695894
A14	Sustainable recycling of mooring ropes from decommissioned offshore platforms	2018	Sudaia D.P., Bastos M.B., Fernandes E.B., Nascimento C.R., Pacheco E.B.A.V., da Silva A.L.N.,	Decommissioning,Mooring,rope,PET,fibers,Recycling	Marine Pollution Bulletin 135, pp. 357-360

Fonte: Elaborado pelo autor

Cada um dos artigos selecionados foi classificado com um código, e resumido com o intuito de estratificar os conteúdos. Além disso, foram classificadas em quais fases do descomissionamento foram adotadas ações específicas, descrevendo essas ações, bem como foi identificado as boas práticas utilizadas em cada contexto. Por fim os artigos foram classificados conforme as 7 fases de Delgado (2021) já descritas no tópico 2.2.1.

A1 - Título: Towards the Sustainable Decommissioning of Fixed Platforms by Aligning Ecosystem Services and Wind Generation: A Brazilian.

- A. Objetivo: Este estudo teve como objetivo analisar a conversão sustentável de plataformas *offshore* de petróleo e gás para instalação de energia fotovoltaica e dessalinização da água do mar.
- B. Metodologia: A metodologia adotada envolveu a revisão bibliográfica, coleta de dados climatológicos e geográficos, análises técnicas, financeiras e ambientais, e modelagem de um caso específico de plataforma de petróleo.
- C. Resultados: Os resultados mostraram que, ao valorizar minimamente os serviços ecossistêmicos, como recifes artificiais, e integrar a geração de energia eólica, o projeto de não descomissionamento da subestrutura da plataforma mostrou-se viável do ponto de vista do valor presente líquido (VPL). Foram apresentadas características técnicas da turbina eólica utilizada, velocidades médias anuais do vento, distribuição de probabilidade de ocorrência do vento, e estimativas de produção de energia mensal. Os resultados financeiros indicaram um VPL positivo, demonstrando que o investimento no projeto retorna receitas maiores que as despesas.
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 1 - Permanência no local.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 6 - Disposição final do topside e subestruturas.
- F. Lição aprendida: A lição aprendida é que a geração de energia eólica a partir das plataformas de petróleo é uma alternativa viável ao descomissionamento. Essa abordagem permite a diversificação da matriz energética, reduz a dependência de outras fontes de energia e mantém os serviços ecossistêmicos das plataformas. Além disso, é importante considerar os impactos sociais e ambientais do projeto.

A2 - Sustainable business models and conflict indices for sustainable decision-making: An application to decommissioning versus reusing offshore gas platforms

- A. Objetivo: O objetivo deste estudo é propor uma metodologia para tomar decisões sustentáveis baseadas em modelos de negócios sustentáveis e índices de conflito. O estudo de caso é focado em uma plataforma de gás *offshore* e busca identificar quando e onde agir em relação ao descomissionamento.
- B. Metodologia: Foi realizado um questionário presencial com os stakeholders para obter os pesos relativos necessários para os modelos de negócios sustentáveis testados. A metodologia visa auxiliar na tomada de decisões sustentáveis e racionais com base nos resultados obtidos.
- C. Resultados: Como resultado da metodologia sugerida, produziu uma decisão sustentável (forte) e racional (substantiva) sobre o que e quem baseada nos pesos relativos expressos pelos stakeholders representativos e informados. A decisão favoreceu a maioria em vez das médias das decisões.
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 3 - Remoção total.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 1 Gerenciamento do projeto.
- F. Lição aprendida: Uma das lições aprendidas a partir desses textos é a importância da participação de stakeholders representativos e informados na tomada de decisões sustentáveis.

A3 - Decommissioning of Offshore Platforms in Adriatic Sea: The Total Removal Option from a Life Cycle Assessment Perspective

- A. Objetivo: O objetivo deste estudo é destacar e avaliar os impactos ambientais das operações de descomissionamento relacionadas à remoção total de uma plataforma *offshore* de tubo único por meio da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA).
- B. Metodologia: A metodologia adotada é a Avaliação do Ciclo de Vida, seguindo as normas ISO 14.040 e 14.044. O estudo inclui a definição dos objetivos e escopo, inventário do ciclo de vida, avaliação dos impactos do ciclo de vida e interpretação dos resultados. O sistema de LCA considera as operações preliminares, de corte e transporte, separação e tratamento do aço removido da plataforma, operações de reciclagem e os impactos evitados ao considerar a produção de aço primário em uma usina siderúrgica integrada.
- C. Resultados: Os resultados mostram que as principais causas de impacto ambiental estão relacionadas às operações de navios marítimos e à produção de combustível diesel. A

análise de sensibilidade revelou que o peso da plataforma, o conteúdo de aço, o número de dias de operações marítimas e a distância de suprimento de minério de ferro e carvão afetam os resultados.

- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 3 - Remoção total.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 5 - Remoção do topside e subestruturas.
- F. Lição aprendida: O estudo destaca a importância de considerar os impactos bióticos e adotar uma abordagem baseada no ecossistema para avaliar práticas de descomissionamento é interessante avaliar alternativas que permitam a remoção parcial ou a conversão das instalações. Essas abordagens mais flexíveis podem estender a vida útil das plataformas *offshore* e reduzir os impactos negativos.

A4 - Definition of a Basic Design for Conversion of an Offshore Fixed Platform on a Depleted Reservoir Into a Sustainable Plant

- A. Objetivo: O objetivo deste estudo é investigar a conversão de plataformas *offshore* de petróleo e gás (O&G) no final de sua vida útil, por meio da implementação de processos e tecnologias sustentáveis inovadoras. O foco principal é a instalação de um sistema de produção de energia fotovoltaica (PV) para dessalinização da água do mar e fornecimento a outras plataformas na mesma área.
- B. Metodologia: A revisão utiliza uma análise detalhada de fontes industriais e acadêmicas, bem como uma análise de bases de dados de patentes e publicações acadêmicas. O estudo também incorpora *insights* da indústria para identificar desafios e tendências.
- C. Resultados: Os resultados mostram que a conversão de plataformas *offshore* para produção de energia fotovoltaica e dessalinização de água do mar apresenta diversos aspectos positivos. Isso inclui a redução do impacto ambiental da fase de descomissionamento, a possibilidade de reutilização de equipamentos existentes e a criação de um novo paradigma industrial baseado em energias renováveis.
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 1 - Permanência no local.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 6 - Disposição final do topside e subestruturas.
- F. Lição aprendida: No estudo é detalhado a importância de utilizar a conversão de plataformas *offshore* para produção de energia fotovoltaica e dessalinização de água do mar como uma opção viável e sustentável. Além disso, a utilização de plataformas *offshore* para instalação de novas tecnologias mais leves e a reutilização de

equipamentos são consideradas boas práticas para maximizar a eficiência e minimizar os impactos.

A5 - A review: Challenges and opportunities for artificial intelligence and robotics in the offshore wind sector

- A. Objetivo: Realizar uma revisão sistemática das aplicações de Robótica e Inteligência Artificial (RAI) no setor de energia eólica *offshore*. O estudo busca analisar o estado da arte em RAI em relação aos requisitos da energia *offshore*, tanto da indústria quanto da academia, em termos de necessidades atuais e futuras. Além disso, o estudo avalia os investimentos, regulações e desenvolvimento de habilidades necessárias para apoiar a adoção de RAI no setor.
- B. Metodologia: Revisão detalhada de fontes industriais e acadêmicas, análise quantitativa e qualitativa, incorporação de insights da indústria para identificar desafios e tendências.
- C. Resultados: A revisão destaca a necessidade de uma abordagem mais ampla, envolvendo investimento, desenvolvimento de habilidades e regulamentação para alcançar a implantação segura e eficiente da RAI.
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 1 - Permanência no local.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 1 - Gerenciamento do projeto.
- F. Lição aprendida: A implementação segura e eficiente da Robótica e Inteligência Artificial (RAI) no setor de energia eólica *offshore* requer o desenvolvimento de tecnologias autônomas, integração de dados e adoção de padrões regulatórios. A RAI pode trazer benefícios como maior segurança, redução de emissões de carbono, aumento da produtividade e otimização do setor.

A6 - Towards a resilient perspective for the future of offshore platforms. Insights from a data driven approach

- A. Objetivo: Este estudo teve como objetivo investigar a percepção coletiva em relação ao futuro das plataformas *offshore* e enquadrar as principais categorias de significados associadas pela comunidade ao fenômeno investigado.

- B. Metodologia: Coleta de opiniões por meio de mineração de texto em redes sociais (Twitter e Instagram). Os processos de mineração de texto foram conduzidos por meio de análises de sentimento e agrupamento.
- C. Resultados: A análise de sentimento das palavras mais frequentes foi apresentada. As seguintes quatro categorias principais e homogêneas de palavras emergiram em relação ao descomissionamento de plataformas *offshore*: áreas tecnológicas, governança verde, economia circular e esfera socioeconômica.
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 1 - Permanência no local.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 1 - Gerenciamento do projeto.
- F. Lição aprendida: A análise destaca a importância de adotar uma perspectiva de sistemas, que leve em consideração o sistema social, econômico e ambiental como um todo, os diferentes fenômenos que ocorrem e a variedade de categorias de partes interessadas, desde usuários até governos locais, que participam do desenvolvimento territorial.

A7 - An ecosystems perspective on the reconversion of offshore platforms: Towards a multi-level governance

- A. Objetivo: Explorar a descomissionamento de plataformas *offshore*, considerando seus impactos econômicos, sociais e ambientais. Especificamente, o autor busca adotar uma perspectiva de ecossistema de serviços para investigar as propostas de valor e as relações entre os atores envolvidos nas trocas de recursos nesse contexto.
- B. Metodologia: Abordagem mista com entrevistas semiestruturadas com partes interessadas da indústria e análise de conteúdo dos dados secundários.
- C. Resultados: Para alcançar o desenvolvimento sustentável, é necessário promover o empreendedorismo inovador, fortalecer a participação social e criar uma cultura de pertencimento e respeito ao meio ambiente. Estudos futuros devem ampliar a análise para outros contextos e setores, além de investigar casos específicos e realizar análises quantitativas.
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 2 - Remoção parcial.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 6 - Disposição final do topside e subestruturas.

- F. Lição aprendida: A reutilização de plataformas *offshore* no final de sua vida útil é uma estratégia econômica e sustentável que impulsiona o crescimento local, cria empregos verdes e estimula a inovação. A adoção de uma mentalidade circular e a implementação de iniciativas de economia circular são fundamentais nesse processo.

A8 - End-of-life management of oil and gas offshore platforms: challenges and opportunities for sustainable decommissioning

- A. Objetivo: Este trabalho tem como objetivo investigar as percepções dos stakeholders em relação ao futuro das plataformas *offshore* e explorar dimensões de sustentabilidade relacionadas ao descomissionamento.
- B. Metodologia: Análise baseada em questionários de múltipla escolha e entrevistas em profundidade para coletar dados primários.
- C. Resultados: A análise mostra que os stakeholders percebem a reutilização como uma oportunidade para minimizar os impactos segundo uma perspectiva ambiental, econômica e social. Embora a plataforma multipropósito represente uma oportunidade para o futuro, ela também apresenta desafios.
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 1 - Permanência no local.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 7 - Monitoramento ambiental da área.
- F. Lição aprendida: A integração da sustentabilidade e circularidade em programas de descomissionamento é crucial. A colaboração entre operadores de plataformas *offshore*, agências reguladoras, governos, academia e outras partes interessadas é essencial para a implementação de programas sustentáveis de descomissionamento.

A9 - The usefulness of sustainable business models: Analysis from oil and gas industry

- A. Objetivo: Tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento de SBMs (*Sustainable Business Models*) seguindo uma abordagem holística em relação a todos os stakeholders e propor uma análise de tomada de decisão de múltiplos critérios para avaliar e comparar opções alternativas de descomissionamento.
- B. Metodologia: Análise de tomada de decisão de múltiplos critérios para avaliar e comparar opções de descomissionamento.

- C. Resultados: Os resultados falam que o descomissionamento é destacado como uma oportunidade de mudar a abordagem em relação ao mar, contribuindo para o crescimento econômico e a inovação.
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 1 - Permanência no local.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 1 - Gerenciamento do projeto.
- F. Lição aprendida: Uma abordagem mais abrangente e sustentável é possível ao avaliar o potencial de reutilização e reciclagem de materiais desde as primeiras etapas do planejamento e destacar os impactos do descomissionamento nos fatores macroambientais, bem-estar social e empreendedorismo local.

A10 - Toward a sustainable decommissioning of offshore platforms in the oil and gas industry: A pestle analysis*

- A. Objetivo: Explorar o potencial do Descomissionamento Sustentável (SD) e seu impacto nos fatores macroambientais, bem-estar social e empreendedorismo local. Discutir a importância das abordagens sinérgicas entre o empreendedorismo local e os arranjos institucionais para alcançar a sustentabilidade econômica, ambiental e social no descomissionamento de plataformas *offshore*.
- B. Metodologia: Análise PESTLE (Político, Econômico, Social, Tecnológico, Legal e Ambiental) e entrevistas semiestruturadas com partes interessadas do setor de petróleo e gás.
- C. Resultados: Os resultados do estudo fornecem uma base sólida para investigações futuras e oferecem estímulos para estudos teóricos e empíricos adicionais, tanto qualitativos quanto quantitativos, sobre o descomissionamento sustentável de plataformas *offshore*. Sugere-se que pesquisas futuras possam explorar análises de big data em redes sociais para compreender a percepção coletiva sobre o tema e realizar revisões sistemáticas da literatura existente para sintetizar os conceitos e identificar caminhos de pesquisa relacionados à gestão final ou readaptação desses ativos.
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 2 - Remoção parcial.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 1 - Gerenciamento do projeto.
- F. Lição aprendida: Ressalta-se a importância de esforços institucionais para promover um processo descentralizado de tomada de decisão, apoiar iniciativas empreendedoras

individuais e estabelecer plataformas para compartilhamento de informações e melhores práticas em descomissionamento sustentável. É necessário repensar as estratégias e modelos de negócios das empresas de petróleo e gás para abordar preocupações ambientais e se alinhar aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

A11 - Decommissioning vs. reusing offshore gas platforms within ethical decision-making for sustainable development: Theoretical framework with application to the Adriatic Sea

- A. Objetivo: O objetivo principal do estudo é aplicar metodologias de tomada de decisão alternativas para apoiar a tomada de decisões éticas para o desenvolvimento sustentável dentro de uma perspectiva social.
- B. Metodologia: Aplicação de análise multicritério, análise custo-benefício, avaliação do ciclo de vida ponderada e avaliação do ciclo de vida monetária para representar diferentes abordagens econômicas e perspectivas de sustentabilidade.
- C. Resultados: Os resultados numéricos mostraram que a reutilização das plataformas é mais adequada do que o descomissionamento em uma economia linear, mas a perspectiva de sustentabilidade influencia a decisão. As análises de sensibilidade também mostraram que a reutilização é a escolha mais ideal em relação às percepções e preocupações sociais e ambientais.
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 2 - Remoção parcial.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 1 - Gerenciamento do projeto.
- F. Lição aprendida: Ao avaliar a decisão entre descomissionamento e reutilização de plataformas *offshore*, é importante considerar diferentes abordagens éticas, como análise multicritério, análise custo-benefício e avaliação do ciclo de vida. Ações circulares podem ser implementadas desde as fases iniciais de planejamento, considerando o potencial de reutilização e reciclagem de materiais e destacando os impactos estimados para tomar decisões informadas.

A12 - Development of an eco-sustainable solution for the second life of decommissioned oil and gas platforms: The mineral accretion technology

- A. Objetivo: O objetivo do estudo é testar soluções preliminares para o reuso eco-sustentável de plataformas de petróleo e gás no final de sua fase de extração, por meio da aplicação da tecnologia de acréscimo mineral.

- B. Metodologia: Aplicação da tecnologia de acréscimo mineral por meio da eletrólise de baixa voltagem da água do mar para avaliar a proteção contra corrosão em plataformas.
- C. Resultados: Os resultados do estudo são derivados de experimentos de laboratório e de campo. A coleta de dados sobre os principais parâmetros que influenciam o processo, como temperatura, salinidade e corrente aplicada, e a análise quantitativa do material coletado permitiram adquirir um melhor conhecimento sobre a composição mineral e a taxa de deposição.
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 1 - Permanência no local.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 1 - Gerenciamento do projeto.
- F. Lição aprendida: Para aumentar a eficiência da tecnologia de acréscimo mineral no ecossistema marinho, é necessário reduzir incertezas e definir melhores condições operacionais. Ações circulares, como gestão adequada de resíduos, reabilitação de áreas degradadas e monitoramento ambiental, são importantes para minimizar os impactos ambientais, sociais e econômicos associados ao descomissionamento.

A13 - Reefing Viability Index for Rigs-to-Reefs (R2R) in Malaysia

- A. Objetivo: O objetivo do artigo é apresentar os resultados da formulação do índice de viabilidade de recifeamento para reconhecer uma região *offshore* adequada para projetos Rigs-to-Reefs (R2R) no Mar da China Meridional.
- B. Metodologia: Utilização de dados espaciais, modelagem numérica e sistema geográfico para estudar a relação entre recifes de coral, diversidade e mapear ambientes potenciais para a prática de recifeamento.
- C. Resultados: Os resultados incluem a identificação de locais que podem ser potencialmente utilizados para recifes *in situ* (95 sites) e recifes *ex situ* (358 sites), com base em simulações e classificações. Além disso, foi realizada uma validação do índice de viabilidade por meio da avaliação de imagens da mídia obtidas por um veículo operado remotamente (ROV).
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 1 - Permanência no local.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 1 - Gerenciamento do projeto.
- F. Lição aprendida: A utilização de um índice de viabilidade de recifes pode auxiliar na identificação de áreas adequadas para recifes de coral em plataformas *offshore*. Ações

circulares, como o programa "Rigs-to-Reefs", promovem a conservação da biodiversidade marinha e costeira, reutilizando as estruturas das plataformas após sua vida útil.

A14 - Sustainable recycling of mooring ropes from decommissioned offshore platforms

- A. Objetivo: Este artigo tem como objetivo apresentar uma revisão e oportunidades técnicas, do ponto de vista econômico, da reciclagem das linhas de amarração recuperadas de FPSOs descomissionados.
- B. Metodologia: Revisão da literatura sobre reciclagem de cabos de amarração, resumindo técnicas e aplicações potenciais para reciclar fibras de poliéster em diferentes setores.
- C. Resultados: Estudos conduzidos nos últimos dois anos têm pesquisado e desenvolvido diferentes aplicações potenciais para as fibras. As fibras de PET recicladas têm potencial em diferentes aplicações, como agregado de concreto e asfalto, laminados termorrígidos, geotêxtis, cobertores acústicos e matéria-prima para termoformação. Essas aplicações oferecem benefícios como redução de rachaduras, melhor resistência, sustentabilidade e substituição de materiais convencionais.
- D. Tipo de descomissionamento no qual foi aplicada a economia circular: Tipo 3 - Remoção total.
- E. Fase do descomissionamento: Fase 6 - Disposição final do *topside* e subestruturas.
- F. Lição aprendida: O descomissionamento de plataformas FPSO oferece oportunidades financeiras por meio da reciclagem das linhas de amarração de poliéster. Ações circulares, como a reutilização de produtos gerados no descomissionamento, maximizam o valor em uso e evitam o descarte inadequado de materiais valiosos. Parcerias e projetos de inovação colaborativa são fundamentais para enfrentar os desafios do descomissionamento e promover soluções sustentáveis.

O quadro 4 mostra sinteticamente como os três tipos de descomissionamento apresentadas por Delgado (2021) se distribuem nos estudos selecionados da base de dados Scopus.

Tipos de descomissionamento:

- Tipo 1 - Permanência no local.
- Tipo 2 - Remoção parcial.
- Tipo 3 - Remoção total.

Quadro 4. Tipos de Descomissionamento por publicação.

Artigos	Tipos de Descomissionamento		
	1	2	3
A1	x		
A2			x
A3			x
A4	x		
A5	x		
A6	x		
A7		x	
A8	x		
A9	x		
A10		x	
A11		x	
A12			x
A13	x		
A14			x

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se que a tipo 1 de permanência no local, foi a mais presente em todos os artigos mencionados, estando presente em 7 artigos ao total (50%). Este fator se deve principalmente ao fato de que grande parte dos estudos retratam as aplicações de reaproveitamento das unidades ao final da sua vida útil. Alguns estudos relatam a utilização de instalações para a realização de outras atividades, como é o caso do recifeamento, criação de um *hub* de energia renovável e tecnologias, interesses particulares de stakeholders nos processos de descomissionamento e criação de novos modelos de negócio

O quadro 5 mostra sinteticamente como as sete fases de descomissionamento apresentadas por Delgado (2021) se distribuem nos estudos selecionados da base de dados Scopus.

Fases de descomissionamento:

- Fase 1 - Gerenciamento do projeto.
- Fase 2 - Descomissionamento dos poços de completação seca e, caso existam, também dos poços de completação molhada.
- Fase 3 - “*Making safe*”, que consiste na remoção de hidrocarbonetos e materiais perigosos.
- Fase 4 - Etapa de preparação, que envolve, por exemplo, a instalação de reforços estruturais, remoção de equipamentos e a divisão de módulos.
- Fase 5 - Remoção do *topside* e subestruturas.
- Fase 6 - Disposição final do *topside* e subestruturas.
- Fase 7 - Monitoramento ambiental da área.

Quadro 5. Fases do Descomissionamento por publicação.

Artigos	Fases do Descomissionamento						
	1	2	3	4	5	6	7
A1						x	
A2	x						
A3					x		
A4						x	
A5	x						
A6	x						
A7						x	
A8							x
A9	x						
A10	x						
A11	x						
A12						x	
A13	x						
A14						x	

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme o quadro 5 nota-se que a fase 1 de gerenciamento do projeto, foi a fase mais presente em todos os artigos mencionados, estando presente em 7 artigos ao total (50%). Outra questão relevante, foi que os estudos se encontram distribuídos nas extremidades das fases, sendo encontrados principalmente da fase 1 de “gerenciamento do projeto” e na fase 6 de “disposição final do *topside* e subestruturas”, sendo um estudo feito nas fases 5 e 7.

Estes fatores se devem principalmente pelo fato de estarem voltados às etapas de planejamento e opções de descomissionamento mais adequadas, avaliando métodos e metodologias de descomissionamento mais relevantes. Porém, quando os estudos não seguiam esse raciocínio, retratavam o descomissionamento completo, passando pelas principais fases de descomissionamento, até chegar nas fases de disposição final.

O quadro 6 mostra os principais atributos para circularidade identificado nas lições aprendidas das diferentes publicações:

Quadro 6. Atributos para circularidade contemplados em lições aprendidas.

Atributos para circularidade contemplados em lições aprendidas	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	A 9	A 10	A 11	A 12	A 13	A 14
Energias renováveis em plataformas	x			x	x									
Stakeholders chaves no descomissionamento		x				x		x		x				
Tomadas de decisão sustentáveis		x	x						x		x		x	
Reutilização de equipamentos e estruturas	x			x	x		x		x		x		x	
Utilização de novas tecnologias				x	x							x		
Iniciativas de economia circular							x				x	x		x
Alternativas de descomissionamento			x				x				x		x	
Análise de impactos socioambientais e econômicos	x					x	x		x			x		

Reciclagem de equipamentos e estruturas										x		x				x
Importância da iniciativa empreendedora individual										x	x					

Fonte: Elaborado pelo autor

Como ilustrado pelo quadro 6, foi possível extrair 10 principais atributos de circularidade das lições aprendidas dos 14 artigos. Com o objetivo de identificar quais foram os atributos mais recorrentes nos artigos, foi criado o quadro 7 de ranking de atributos, tornando o processo de análise mais visual.

Quadro 7. Ranking dos Atributos por Circularidade.

Atributos para circularidade contemplados em lições aprendidas	Ranking	Nº de artigos encontrados
Reutilização de equipamentos e estruturas	1	7
Tomadas de decisão sustentáveis	2	5
Análise de impactos socioambientais e econômicos	2	5
Stakeholders chaves no descomissionamento	3	4
Iniciativas de economia circular	3	4
Alternativas de descomissionamento	3	4
Energias renováveis em plataformas	4	3
Utilização de novas tecnologias	4	3
Reciclagem de equipamentos e estruturas	4	3
Importância da iniciativa empreendedora individual	5	2

Fonte: Elaborado pelo autor

"Reutilização de equipamentos e estruturas" é o atributo mais frequentemente citado, presente em 7 dos 14 artigos analisados. Isso indica que a reutilização de equipamentos e

estruturas como *topsides*, linhas de amarração e *riser*, é considerada uma prática recorrente nas lições aprendidas sobre circularidade. Além disso a recorrência de atributos como "Tomadas de decisão sustentáveis", "Análise de impactos socioambientais e econômicos", "*Stakeholders* chaves no descomissionamento", "Iniciativas de economia circular", "Alternativas de descomissionamento" e "Reciclagem de equipamentos e estruturas" demonstram que aspectos ligados à interação com diferentes partes interessadas da sociedade civil e da administração pública, bem como a adoção estratégias relacionadas à minimização dos impactos ambientais e a reinserção dos resíduos na cadeia produtiva serão de extrema relevância quando se trata da temática de descomissionamento circular de plataformas.

Apesar de não serem tão recorrentes nas publicações selecionadas, os atributos "Energias renováveis em plataformas", "Utilização de novas tecnologias" e "Importância da iniciativa empreendedora individual" demonstram um desmembramento das possibilidades de estudos sobre descomissionamento circular. É necessário repensar a mentalidade linear atual para criar modelos de negócio que se mostrem benéficos para a sociedade, meio ambiente e economia, com o intuito de reutilizar estruturas de grande magnitude como instalações de petróleo no geral, da forma mais adequada possível.

Além disso, a aplicação de ferramentas e metodologias da indústria 4.0 seria de grande relevância para realizar tanto tomadas de decisão mais precisas como também no desenvolvimento técnico de atividades e ferramentas mais elaboradas e avançadas de descomissionamento. A adoção de energias solar e eólica em plataformas de alto mar, demonstram que mesmo sem realizar todas as fases de descomissionamento, uma plataforma pode ser utilizada como base para projetos, pesquisas e atividades diferentes que sejam positivas nos aspectos sociais, ambientais e econômicos.

4.2 ANÁLISE DE MÚLTIPLOS CASOS - DESCOMISSIONAMENTO DE PLATAFORMAS E CIRCULARIDADE

A análise de múltiplos casos de descomissionamento de plataformas fornece uma visão aprofundada das experiências práticas nessa área. Nesta seção, foram examinadas qualitativamente cinco estudos de caso de plataformas reais, obtendo informações das empresas envolvidas, ações realizadas durante o processo de descomissionamento, fases em que essas ações foram implementadas e as boas práticas adotadas. Os casos utilizados nessa seção foram

obtidos através da One Petro e Google Acadêmico, que são plataformas online, sendo a primeira especializada em publicações da indústria do petróleo e a segunda uma base com ampla variedade de fontes acadêmicas. Apesar da quantidade de estudos reais de descomissionamento ser bem limitada, foi possível obter uma variedade considerável de aplicações do descomissionamento, abordando tipos e fases distintas de descomissionamento de acordo com cada caso. Além disso, foram identificadas lições aprendidas a partir desses casos e discutimos as vantagens e desvantagens associadas a cada abordagem de descomissionamento.

Caso 1. Planejamento do descomissionamento de um FPSO brasileiro: O primeiro caso retrata o planejamento do descomissionamento de um FPSO brasileiro seguindo as normas da ANP através de 6 etapas principais. O autor aborda a problemática de dismantelar e descomissionar FPSOs no Brasil devido às condições de infraestrutura dos estaleiros, que não é adaptada para essa atividade, assim, perdendo um mercado crescente ao redor do mundo.

Caso 2. Complexo de plataformas que foi descomissionada: Este caso aborda um complexo de plataformas que foi descomissionada com o objetivo de criar recifes artificiais, aproveitando necessidades existentes da população local e utilizando métodos eficientes de engenharia para a realização da remoção e cortes de suas estruturas para reaproveitamento.

Caso 3. Descomissionamento dos campos Balmoral, Glamis e Stirling através do método BPEO: O terceiro estudo de caso visa utilizar o BPEO (Melhor Opção Ambientalmente Praticável), para realizar a avaliação tipos de descomissionamento para as plataformas dos campos Balmoral, Glamis e Stirling, deste modo escolhendo o que mais se adequa aos objetivos. Foram utilizados métodos de Avaliação do Impacto Ambiental, Consumo de Energia e Emissões de CO₂, Segurança e Risco, de Viabilidade Técnica e de Custos.

Caso 4. O descomissionamento de Brent Alpha Jacket sob a perspectiva do método ELECTRE III – SRF: Visa realizar um estudo analítico orientado à tomada de decisão utilizando o método ELECTRE III para avaliar as opções de descomissionamento. A plataforma descomissionada em questão é do tipo jaqueta e pertence à unidade Brent Alpha Jacket, a plataforma faz parte do campo de Brent, localizado no Mar do Norte.

Case 5. *Offshore platforms as novel ecosystems: A case study from Australia 's Northwest Shelf*: Por fim, o último estudo de caso retrata a plataforma de Wandoo localizada no noroeste da Austrália. Se trata de uma plataforma de gravidade, a presença da plataforma Wandoo criou habitats que podem ser importantes para espécies marinhas, incluindo corais, macrobentos e peixes, deste modo, o descomissionamento parcial ou total se tornaram opções inviáveis neste caso.

Cada um dos casos será detalhado, bem como, apresentados os desafios, a fase do descomissionamento, as intervenções circulares, lições aprendidas e as respectivas boas práticas.

4.2.1 CASO 1: Planejamento do descomissionamento do FPSO Ingá: Análise de um projeto de descomissionamento, (MANSANO, 2023)

Será apresentado a plataforma, o desafio, a fase do descomissionamento, as intervenções circulares, lições aprendidas e uma boa prática.

4.2.1.1 Apresentação

Trata-se de uma plataforma flutuante, mais especificamente de um FPSO que opera na Bacia de Campos no campo de Roncador em uma LDA de 1800 metros. Essa instalação já foi líder nacional de produção de óleo e gás *offshore* produzindo em média 100 mil barris por dia durante sua fase inicial de operação. Em relação ao seu armazenamento, o FPSO de Ingá tem 11 tanques de armazenamento com capacidade de cerca de 1,5 milhão de barris de óleo, estando ligado a 11 poços submarinos através de 3 dutos flexíveis (*risers*) para cada poço.

Quadro 8. Principais características do Caso 1.

1	Desafios	Existem desafios multidisciplinares, envolvendo requisitos legais, ambientais e técnicos, além de estaleiros nacionais incapazes de realizar um descomissionamento eficiente.
2	Fase do descomissionamento	Fase 1 - Gerenciamento do projeto.
3	Tipo de Descomissionamento	Tipo 3 - Remoção total.
4	Intervenções circulares	1) O monitoramento contínuo de potenciais materiais perigosos durante o desmantelamento foi essencial para sanar danos socioambientais.
5	Lições aprendidas	1) Seria necessário que as partes interessadas investissem na infraestrutura de estaleiros capazes de realizar o desmantelamento de plataformas, reduzindo os custos e os desafios operacionais do descomissionamento. 2) Adotar as melhores práticas da indústria, utilizando como base os projetos mais recentes aprovados pela ANP, o IBAMA é essencial no planejamento de projetos de desmantelamento e descomissionamento.

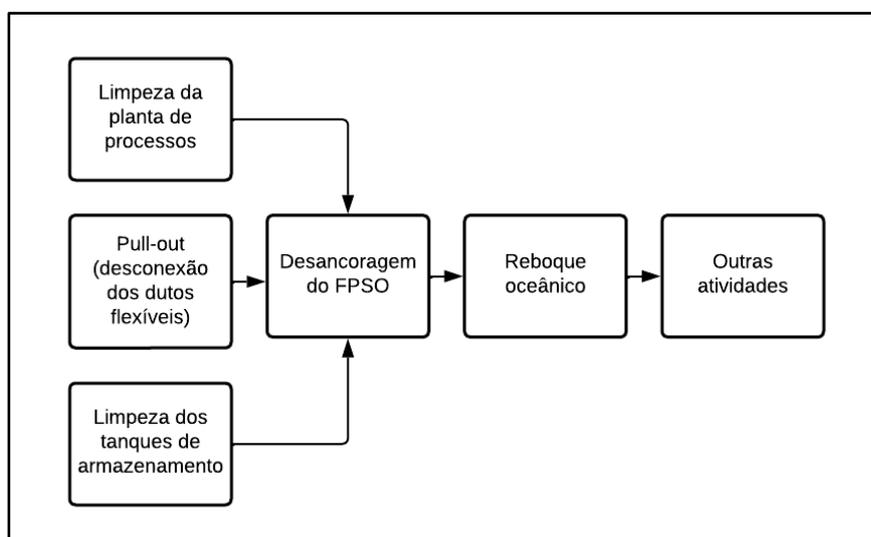
		3) A limpeza da planta de processos e tanque de armazenamento para a retirada de NORM e rejeitos, além da adoção de outra rota para não espalhar o bioinvasor coralsol (presente no casco do FPSO) em áreas sensíveis foi essencial para minimizar impactos negativos no meio marinho.
--	--	--

Fonte: Elaborado pelo autor

Por ser um estudo de caso focado no planejamento de descomissionamento, foi possível obter algumas boas práticas referentes às fases iniciais das fases de descomissionamento e desmantelamento.

4.2.1.2 Boas Práticas e Procedimentos Relevantes

Fluxograma 1. Boas práticas de descomissionamento de FPSO.



Fonte: Elaborado pelo autor

A boa prática está relacionada ao Descomissionamento em 6 etapas com base nas normas da ANP. De acordo com Mansano (2023), para o descomissionamento atender às normas da ANP, seria necessário realizar 6 etapas, sendo elas *Pull-out*, limpeza da planta de processos, limpeza dos tanques de armazenamento, desancoragem, reboque oceânico e outras atividades, sendo feitas após a parada total das operações de produção.

Pull-out: Desconexão dos dutos de produção, umbilical e auxiliar, com tempo médio de retirada de 10 dias para cada duto, transferidos para a embarcação PLSV (*Pipe Laying Support Vessel*), sendo feita a circulação de água nos dutos de poço a poço, realizada após o *pull-out*.

Atividades de limpeza da planta de processos e limpeza dos tanques de armazenamento podem ser feitas simultaneamente.

Lavagem do sistema de armazenamento de hidrocarbonetos: Caso haja presença de Materiais Radioativos Naturalmente Presentes (NORM), é feita uma lavagem adicional com vapor de água. Se a presença de NORM persistir, é feito o isolamento do sistema e o desembarque dos equipamentos contaminados. Caso a lavagem remova a presença de NORM, a área é certificada como livre de NORM.

Limpeza dos tanques de armazenamento: Utilização do sistema de *Crude Oil Washing* (COW) para a limpeza dos tanques. Inspeção para verificar a presença de materiais radioativos. Limpeza mecânica é realizada se necessário. Anodos de sacrifício são instalados para evitar corrosão.

Desancoragem do FPSO: Realizada com auxílio de um barco AHTS (*Anchor Handling and Tug Supply*), seguindo um sequenciamento específico para mitigar impactos na estabilidade do FPSO. Desconexão das linhas de ancoragem, priorizando as amarras em varandas de ancoragem opostas. As amarras são recolhidas ao convés do barco AHTS para evitar deposição no leito marinho e minimizar impactos ambientais.

Reboque e desmantelamento do FPSO: O FPSO é rebocado por navios rebocadores e enviado para um estaleiro, onde será desmantelado e vendido como sucata. A presença de coral no casco requer uma rota que evite a contaminação de áreas sensíveis. Os sistemas de utilidades são desativados, a tripulação é retirada e são tomadas medidas para monitorar materiais perigosos.

Descomissionamento de outros equipamentos: Desativação dos *manifolds*, equipamentos de completação, trechos de tubulação, tamponamento e abandono dos poços, minimizando o impacto nas atividades de produção na região.

4.2.1.3 O descomissionamento em uma perspectiva circular

O estudo de caso do projeto de descomissionamento do FPSO de Ingá, forneceu uma metodologia de planejamento e execução bem criteriosa em relação às regulamentações brasileiras vigentes. Através do estudo, foram fornecidos *insights* para a aplicação de medidas circulares ao fim da vida útil de um FPSO, devido ao desenvolvimento precário dos estaleiros brasileiros, as atividades de desmantelamento de FPSOs acabam sendo feitas em Hong Kong.

Se no Brasil tivesse uma infraestrutura mais adequada, o desmantelamento de FPSOs teria uma geração de milhares de toneladas de sucata por unidade, sanando demandas de siderúrgicas locais por metais, aços e sucatas em geral. Além disso, a adoção de novas rotas de reboque oceânico, se enquadram em uma perspectiva de boas práticas relativas ao cuidado ambiental.

Tendo em vista a presença do bioinvasor coral-sol no casco do navio, a adoção de rotas aprovadas pelo IBAMA e a Marinha do Brasil foi de suma importância para que ecossistema marítimos não fossem subjugados. Esse fato demonstra que uma visão limitada do projeto de descomissionamento pode acarretarem problemas de magnitude estrondosa, podendo gerar insatisfações sociais, ambientais e econômicas.

4.2.2 CASO 2: Case History: Decommissioning, Reefing, and Reuse of Gulf of Mexico Platform Complex (Hakam, 2000)

Será apresentado a plataforma, o desafio, a fase do descomissionamento, as intervenções circulares, lições aprendidas e uma boa prática.

4.2.2.1 Apresentação

O complexo de plataformas Galveston 189 pertencente a Mitchell Energy Corporation e se encontra a 12 milhas da costa de Galveston, Texas, em uma profundidade aproximada de 19 metros, sendo instalado em 1981. O complexo consistia em uma plataforma de produção principal com quatro pilares, a GA 189 B foi projetada para produzir 10 mmcf/d (Milhões de pés cúbicos por dia) de gás e 2.000 barris por dia de óleo.

A plataforma de produção estava conectada por pontes a duas estruturas satélites, a GA 189 C e a GA 189 D. A plataforma GA 189 C era uma estrutura de proteção de poço com apenas um convés mínimo, sendo sua jaqueta da instalada em torno de tubulações de 48" e 36". A terceira estrutura, GA 189 D, consistia em três tubulações interligadas por um convés comum.

Figura 11. Complexo de plataforma GA 189.



Fonte: Hakam (2000)

Figura 12. GA 189 Production Deck Lift.



Fonte: Hakam (2000)

Quadro 9. Principais características do Caso 2.

1	Desafios	Criar um local seguro e estável que o público em geral possa visitar com impacto mínimo na vida marinha existente. Além da dificuldade técnica de corte das tubulações preenchidas com cimento.
2	Fase do descomissionamento	Fase 6 - Disposição final do <i>topside</i> e subestruturas.
3	Tipo de Descomissionamento	Tipo 2 - Remoção parcial.
4	Intervenções circulares	1) A opção de recifação evitou a necessidade de escavações perigosas para a separação dos componentes estruturais e de poços abaixo da linha de lama, reduzindo os riscos para os mergulhadores envolvidos no projeto.

		2) Com a adoção desse novo modelo de negócio no Complexo de plataforma GA 189 vai ser capaz de gerar receitas para as indústrias de pesca esportiva e mergulho em Galveston.
5	Lições aprendidas	<p>1) A opção de recifação, pode ser uma ótima alternativa tanto para contornar dificuldades técnicas de descomissionamento, evitar riscos desnecessários, gerando novas atividades socioeconômicas e reduzindo custos de forma sustentável.</p> <p>2) A atividade de <i>trawling</i> (pesca de arrasto) se mostrou como uma técnica muito eficiente na limpeza e remoção de resíduos e componentes de complexo.</p> <p>3) A utilização de pequenas quantidades de explosivos de forma controlada, como os cortadores a jato, pode facilitar e agilizar o processo de fechamento e abandono de poços.</p>

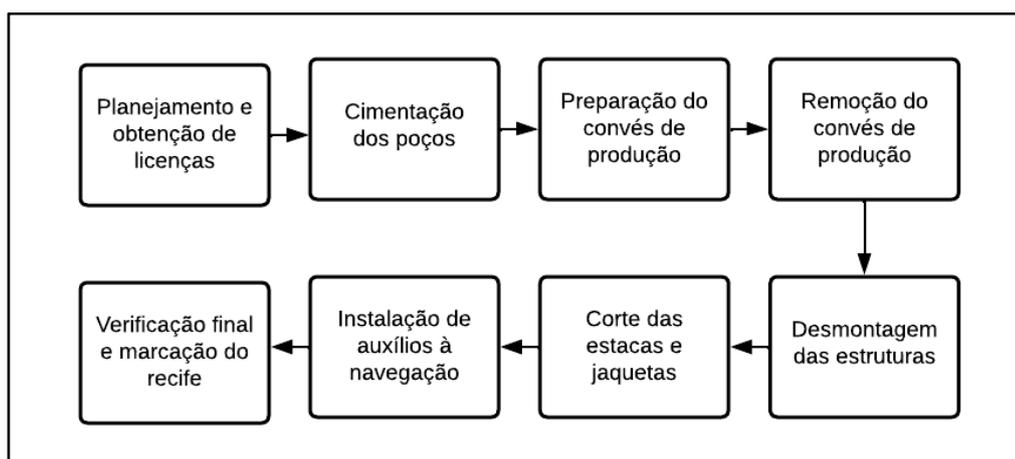
Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2.2 Boas Práticas e Procedimentos Relevantes

Esta seção visa relatar algumas das principais atividades realizadas para o descomissionamento efetivo das instalações em Galveston.

Na realização das atividades de descomissionamento, atividades como a remoção dos poços, limpeza e vedação das tubulações, remoção da estrutura da plataforma e *trawling* (pesca de arrasto) do local com uma rede de camarão para garantir que não houvesse objetos no leito marinho foram essenciais para a efetividade do projeto. O passo a passo de descomissionamento se encontra no fluxograma 2.

Fluxograma 2. Processos de descomissionamento de uma plataforma do tipo jaqueta.



Fonte: Elaborado pelo autor

O processo começa com o planejamento das atividades de descomissionamento e a obtenção das licenças necessárias dos órgãos reguladores. Os poços são permanentemente cimentados de acordo com os requisitos regulatórios, e a tubulação é removida. Os equipamentos de produção são lavados e abertos, tanques de óleo são drenados e as conexões de tubulação são cortadas. Uma balsa com guindaste é usada para remover o convés de produção. Uma vez removido, o convés é levado para a costa para reutilização.

Nas plataformas GA 189 C e GA 189 D, as estruturas são desmontadas por seções. As tubulações são cortadas e as partes restantes são colocadas no fundo do mar. O uso de cortadores abrasivos de jato de água permite a separação das estacas e jaquetas a uma altura específica acima do fundo do mar. As partes remanescentes são colocadas no fundo do mar.

Após a remoção do equipamento, auxílios à navegação temporários são instalados na jaqueta remanescente e nos dois conveses. Uma boia luminosa é instalada para marcar a localização do recife, e uma verificação final é realizada para garantir a conformidade com as diretrizes de segurança, deste modo finalizando todos os tipos de descomissionamento do Complexo de plataforma GA 189. Além dos passos de descomissionamento do complexo, também foram mapeados, conforme o quadro 10, alguns processos de corte realizados nesse estudo de caso.

Quadro 10. Processos e Finalidade.

Processos	Finalidade
Corte a frio:	É utilizado quando há risco de explosão devido à presença de hidrocarbonetos nas tubulações ou membros estruturais. O corte a frio é geralmente realizado com serras ou furadeiras pneumáticas.
Corte com maçarico (Corte a quente):	Utiliza maçaricos de corte padrão para cortar o aço.
Goivagem com arco (Corte a quente):	Consiste em uma máquina de solda com arco onde o oxigênio é soprado através do centro da haste queimando. É usado para remover grandes volumes de solda entre conexões de aço.
Cortadores a jato de água abrasivo:	Utiliza um jato de água com abrasivo para erodir cerca de 1/8" do material. Pode ser implantado internamente em pilares ou montado externamente usando mergulhadores e um trilho.

Cortador de fio de diamante:	Funciona como uma serra de fita, onde um fio com contatos de diamante desgasta o material. É eficaz para cortar aço e concreto.
Uso de explosivos:	Pequenas quantidades de explosivos, como os cortadores a jato, foram usadas para o fechamento e abandono de poços. Os cortadores a jato são anéis de cargas explosivas lineares que são detonados para cortar a tubulação no fundo do poço.

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com o caso, as principais dificuldades foram de cortar os caixões concretados sólidos e elaborar um método para colocar os materiais disponíveis e atender às condições de recife.

4.2.2.3 O descomissionamento em uma perspectiva circular

A preservação e criação de um recife artificial, evitou a necessidade de escavações perigosas para a separação dos componentes estruturais e de poços abaixo da linha de lama, reduzindo os riscos para os mergulhadores envolvidos no projeto. Com isso, foi possível reduzir custos e riscos de segurança desnecessários, além que, com a criação do recife artificial, é esperado gerar receitas para as indústrias de pesca esportiva e mergulho em Galveston.

Além disso, existem incentivos fiscais para a criação de recifes artificiais nas legislações vigentes em Galveston. Para auxiliar na manutenção dos locais de recife e programas de conscientização, as operadoras normalmente doam metade das economias de custo para o Programa de Recifes Artificiais do Estado com o qual estão trabalhando. No caso do complexo de plataformas GA 189, foi destinada uma quantia de aproximadamente US\$ 300.000 para conscientização e manutenção dos recifes (Hakam, 2000).

4.2.3 CASO 3- Decommissioning of the Balmoral Installation (UK North Sea) BPEO Case Study (Linzi, 2000)

Será apresentado a plataforma, o desafio, a fase do descomissionamento, as intervenções circulares, lições aprendidas e uma boa prática.

4.2.2.1 Apresentação

Este estudo de caso engloba o planejamento de descomissionamento de instalações presentes em 3 campos de petróleo, sendo eles Balmoral, Glamis e Sterling na Plataforma Continental do Reino Unido que fica aproximadamente a 225 km a nordeste de Aberdeen. A empresa responsável, Agip (U.K.) Ltd iniciou o projeto com o intuito de analisar e categorizar as opções disponíveis para o descomissionamento, visando estabelecer uma base sólida de conhecimento e compreensão das operações, a fim de selecionar a opção "melhor" para implementação. Um aspecto crucial do projeto foi a avaliação da Melhor Opção Ambientalmente Praticável (BPEO), conduzida por uma equipe composta por engenheiros, especialistas em segurança e cientistas ambientais.

Quadro 11. Principais características do Caso 3.

1	Desafios	Remover detritos de corte é tecnicamente difícil e pode causar poluição adicional.
2	Fase do descomissionamento	Fase 1 - Gerenciamento do projeto.
3	Tipo de Descomissionamento	Tipo 3 - Remoção total.
4	Intervenções circulares	<ol style="list-style-type: none"> 1) A aplicação da avaliação BPEO (Melhor Opção Ambientalmente Praticável) se mostrou como um dos métodos mais recomendados para identificar e selecionar a opção de descomissionamento ideal na fase de planejamento para qualquer estrutura <i>offshore</i>. Com a quantificação de cinco "medidas" (impacto ambiental, consumo de energia e emissões de CO₂, segurança, custo e viabilidade técnica), é possível selecionar a melhor opção ambiental. 2) Com a aplicação dos métodos de descomissionamento, o meio ambiente seria capaz de se recuperar rapidamente em curto prazo.
5	Lições aprendidas	<ol style="list-style-type: none"> 1) Enterrar a tubulação a 1 metro de profundidade ou removê-la completamente e dispor em terra são opções recomendadas para mitigar o risco para os pescadores, isso também vale para as <i>flowlines</i>, porém, sua recuperação pode trazer mais benefícios. 2) Das 5 opções, o custo-benefício de remover cabeças de poços, <i>template</i>, <i>risers</i>, instalação de pré-entrega, correntes e colchões de âncora foi considerado como a melhor opção de descomissionamento que menos agride o meio ambiente. 3) A remoção do <i>template</i> é recomendada para eliminar o risco para os pescadores.

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.3.2 Boas Práticas e Procedimentos Relevantes

Foram avaliadas diversas opções de descomissionamento para as 10.000 toneladas de componentes submarinos, incluindo *template*, árvores de produção, linhas de fluxo, oleodutos e equipamentos auxiliares. Essas opções foram avaliadas em relação ao seu desempenho em cinco categorias, a fim de identificar a Melhor Opção Ambientalmente Praticável (BPEO). O descomissionamento foi realizado por uma equipe de engenheiros, especialistas em segurança e cientistas ambientais, gerando as cinco alternativas de descomissionamento:

Quadro 12. Alternativas de descomissionamento do caso 3

Opções de descomissionamento	Pontos positivos	Pontos negativos	Relação custo-benefício
(Opção 1) Nada Removido	Nenhum	Nenhum	Sem relação custo-benefício. Caso base.
(Opção 2) Remover cabeças de poços, <i>template</i> , <i>risers</i> , instalação de pré-entrega, correntes e colchões de âncora.	Realização de atividades essenciais no aspecto ambiental de descomissionamento, além do reaproveitamento de estruturas de alto valor agregado e baixo risco de segurança em relação às outras opções.	Foram deixados no leito marinho os resíduos de corte, tubulação de exportação, <i>flowlines</i> , bases de <i>riser</i> e umbilicais. Deste modo, sendo necessário exercer algumas atividades de mitigação ambiental desses componentes.	Custo-benefício positivo. A melhor condição custo benefício, atividades ambientais essenciais são realizadas, além do reaproveitamento de grandes estruturas de descomissionamento com menos risco e mais proveitosas economicamente do que as demais
(Opção 3) Incluindo a remoção dos umbilicais e bases de <i>riser</i> .	Não é necessário realizar atividades de mitigação relativas à não remoção dos umbilicais e bases de <i>riser</i> .	Apenas as <i>flowlines</i> e a linha de exportação permanecem no leito marinho. Deste modo, elevando as dificuldades técnicas, e em caso de descuido na remoção destes componentes, pode ocorrer contaminação no ambiente marinho.	Custo-benefício positivo. Apesar de gerar mais benefícios de descomissionamento, o custo de remoção desses componentes aumenta consideravelmente o custo da operação, sendo uma opção menos proveitosa que a anterior.
(Opção 4) Incluindo a remoção das <i>flowlines</i> .		Apenas a linha de exportação permanece no leito marinho.	Custo-benefício negativo.
(Opção 4) Todos os dez componentes listados são	Aproveitamento de todos os componentes da	Todos os componentes são removidos. Com isso, a dificuldade técnica e riscos	Custo-benefício negativo. A necessidade de remoção de todos os componentes é muito

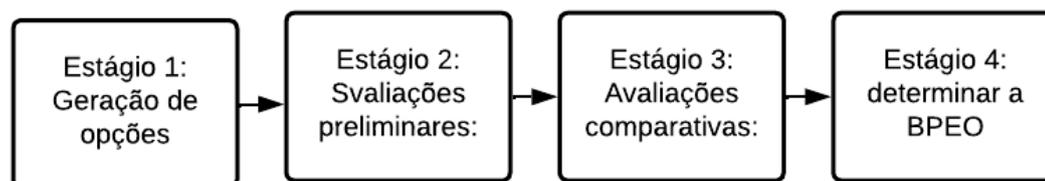
removidos do leito marinho.	plataforma e ausência de problemáticas relativas ao abandono inadequado da plataforma.	ambientais e de segurança são elevados consideravelmente, além da dificuldade de reaproveitamento desses componentes.	mais custosa. Sendo que para a remoção da linha de exportação, é necessária uma complexidade técnica, financeira e de segurança que não é compensada pelos custos e danos ambientais de sua remoção, tornando menos viável sua remoção.
-----------------------------	--	---	---

Fonte: Elaborado pelo autor

A remoção das cabeças de poço, *templates* e outros itens menores (opção 2) reduziria significativamente o risco para vidas. A estimativa é de que os benefícios superem os custos líquidos em comparação com o Cenário Base. A remoção das cabeças de poço e *templates* é responsável pela maior parte da redução de risco alcançável. À medida que mais atividades são realizadas para recuperar componentes do leito marinho (Opções 3, 4 e 5), os benefícios aumentam, mas os custos também aumentam. A Alternativa 3 ainda tem um custo adicional ligeiramente menor que o benefício, mas a Alternativa 4 tem custos que excedem os benefícios justificados, e a diferença é ainda maior na Alternativa 5.

Durante o processo de descomissionamento do Campo de Balmoral, foram realizadas sessões de brainstorming para gerar opções, seguidas por avaliações iniciais dos materiais, sendo feito o mapeamento das características do ambiente e descrições das operações. Em seguida, foram conduzidas avaliações comparativas abrangendo várias áreas para determinar vantagens e desvantagens. Por fim, uma análise das informações foi feita para determinar a Melhor Opção Ambientalmente Praticável (BPEO) para o descomissionamento. A metodologia BPEO se encontra com os seus 4 estágios representados no fluxograma 3.

Fluxograma 3. Avaliação da metodologia BPEO.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2.3 O descomissionamento em uma perspectiva circular

A avaliação BPEO é um dos métodos recomendados para identificar e selecionar a opção de descomissionamento preferida para qualquer estrutura ainda na sua fase de planejamento. Isso requer a descrição e, na medida do possível, a quantificação de cinco "medidas": (impacto ambiental, consumo de energia e emissões de CO₂, segurança, custo e viabilidade técnica) para uma variedade de opções pré-selecionadas, as "performances" das diferentes opções nessas medidas são então analisadas e a melhor opção ambiental é selecionada.

Essas recomendações são baseadas em uma avaliação técnica, ambiental, de segurança e econômica dos diferentes cenários de descomissionamento. No entanto, é importante observar que cada opção apresenta seus próprios desafios e considerações específicas, e a decisão final sobre o descomissionamento do Campo de Balmoral.

4.2.4 CASO 4 - O descomissionamento de Brent Alpha Jacket sob a perspectiva do método ELECTRE III – SRF: (De Lima, 2022)

Será apresentado a plataforma, o desafio, a fase do descomissionamento, as intervenções circulares, lições aprendidas e uma boa prática.

4.2.4.1 Apresentação

A plataforma descomissionada em questão é do tipo jaqueta e pertence à unidade Brent Alpha Jacket. A plataforma fez parte do campo de Brent, localizado no Mar do Norte, e foi descoberta em 1971, iniciando sua produção em 1976. A plataforma fazia parte de um conjunto de quatro plataformas e diversas estruturas submarinas. O campo de Brent entrou em processo de descomissionamento em 2011, com a paralisação da produção da plataforma Delta, e sua interrupção total ocorreu em 2014.

Quadro 13. Principais características do Caso 4.

1	Desafios	A obtenção de dados confiáveis na aplicação da metodologia ELECTRE III, quando se trata de informações específicas sobre cada opção, como custos detalhados e estimativas precisas de impactos ambientais, por exemplo. Incertezas em relação a aspectos, como as condições das estruturas, a quantidade e a qualidade dos resíduos gerados, deste modo os resultados
---	-----------------	---

		obtidos dependeram da qualidade de uma coleta de dados eficiente uma vez que os resultados dependem da precisão das informações disponíveis.
2	Fase do descomissionamento	Fase 1 - Gerenciamento do projeto.
3	Tipo de Descomissionamento	Tipo 2 - Remoção parcial
4	Intervenções circulares	<ol style="list-style-type: none"> 1) A metodologia ELECTRE III pode considerar critérios que avaliam o potencial de reutilização de componentes, estruturas ou materiais da plataforma. Isso pode levar a decisões que favoreçam opções de descomissionamento que permitam a recuperação de recursos e sua reutilização em outros projetos ou setores. 2) Além de fornecer uma visão abrangente baseada em dados das opções disponíveis, deste modo sendo possível identificar aquela que melhor atende aos objetivos e restrições do projeto.
5	Lições aprendidas	<ol style="list-style-type: none"> 1) A aplicação do método ELECTRE III mostrou-se viável e robusta na seleção de alternativas de descomissionamento. 2) Além disso, a análise de sensibilidade permitiu identificar a consistência das alternativas selecionadas em diferentes cenários.

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.4.2 Boas Práticas e Procedimentos Relevantes

A obra indica boas práticas relativas ao planejamento de descomissionamento e ao estabelecer parâmetros e critérios de análise. Foram utilizados diferentes critérios de avaliação, como segurança, viabilidade técnica, meio ambiente, custo total, entre outros. Esses critérios permitem uma avaliação abrangente e holística das alternativas de descomissionamento, considerando diferentes aspectos relevantes.

A incorporação da técnica Simos-Roy-Figueira (SRF) foi utilizada para ajustar os pesos de importância dos critérios e obter uma ponderação normalizada, deste modo, ajudando a refletir as preferências do tomador de decisão e permite uma análise mais precisa das alternativas. O método ELECTRE III também permitiu capturar as incertezas e zonas de ignorância dos decisores, representando pontos de vista diferentes e divergentes entre eles, isso contribui para uma tomada de decisão mais transparente e inclusiva.

4.2.4.3 O descomissionamento em uma perspectiva circular

A aplicação da metodologia ELECTRE III pode ser relevante em cada fase do descomissionamento, considerando uma perspectiva circular.

- Na fase de gerenciamento do projeto, a metodologia pode auxiliar na seleção das melhores alternativas de descomissionamento com base em critérios multidimensionais, como impactos ambientais, custos, viabilidade técnica e sociais.
- Na fase de descomissionamento dos poços, a metodologia pode ajudar na avaliação das opções de desativação e descomissionamento, considerando a eficiência dos métodos utilizados e os impactos associados.
- Na fase de "*making safe*", a metodologia pode apoiar a seleção de medidas de limpeza e remoção de hidrocarbonetos e materiais perigosos, considerando critérios de segurança e impacto ambiental.
- Na fase de preparação, a metodologia pode ser aplicada para avaliar as alternativas de reforços estruturais, remoção de equipamentos e divisão de módulos, buscando a adoção de práticas circulares e sustentáveis.
- Na fase de remoção do *topside* e subestruturas, a metodologia pode ser útil na seleção das melhores abordagens de remoção, considerando aspectos técnicos, ambientais e econômicos.
- Na fase de disposição final, a metodologia pode apoiar a avaliação das opções de reciclagem, reutilização e disposição adequada dos resíduos gerados durante o descomissionamento.
- Por fim, na fase de monitoramento ambiental, a metodologia pode auxiliar na definição dos critérios e indicadores de monitoramento, permitindo uma avaliação contínua dos impactos ambientais e a tomada de medidas corretivas, se necessário.

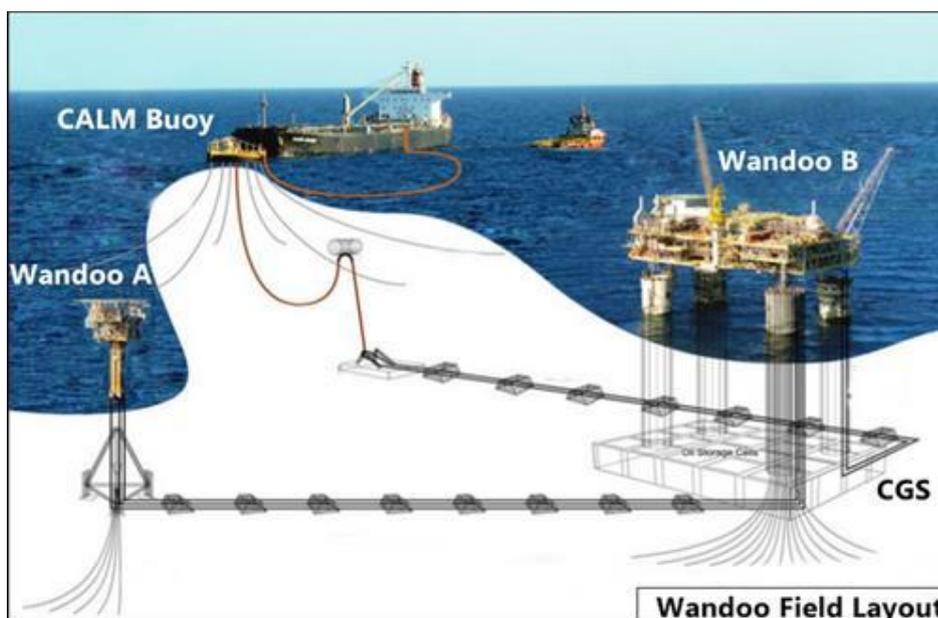
4.2.5 CASO 5 - Offshore platforms as novel ecosystems: A case study from Australia's Northwest Shelf (Van Elden, 2022)

Será apresentado a plataforma, o desafio, a fase do descomissionamento, as intervenções circulares, lições aprendidas e uma boa prática.

4.2.5.1 Apresentação

A plataforma descomissionada no estudo de caso é a Wandoo, localizada no noroeste da Austrália. A plataforma é composta pela Wandoo A, uma plataforma de cabeça de poço não tripulada, Wandoo B, uma estrutura de gravidade de concreto e uma boia de ancoragem com coletor de extremidade de oleoduto (PLEM) abaixo da boia. A infraestrutura da plataforma é cercada por uma zona de exclusão de 500 metros, onde apenas embarcações autorizadas podem operar. A área de Wandoo foi transformada em um ecossistema novo, com características distintas em comparação com os habitats naturais da região.

Figura 13. Layout de campo de petróleo de Wandoo



Fonte: Van Elden (2022)

Quadro 14. Principais características do Caso 5.

1	Desafios	Encontrar uma abordagem de descomissionamento que minimize os impactos negativos na biodiversidade marinha, garantindo a conservação das espécies e habitats presentes na área. A falta de descomissionamento adequado da plataforma Wandoo pode ter impactos negativos na imagem e reputação das empresas envolvidas.
2	Fase do descomissionamento	Fase 1 - Gerenciamento do projeto.

3	Tipo de Descomissionamento	Tipo 1 - Permanência no local
4	Intervenções circulares	Foram realizados estudos comprobatórios que o descomissionamento total e até mesmo parcial, seria prejudicial para a vida marinha no campo de Wandoo, pois a atividade de arrasto poderia dizimar o novo ecossistema marinho criado ao redor da plataforma durante suas atividades de produção.
5	Lições aprendidas	Durante o descomissionamento, é crucial identificar e proteger áreas sensíveis, evitando danos aos habitats e garantindo a preservação dos ecossistemas existentes. É fundamental incluir no escopo de planejamento do descomissionamento, a análise dos possíveis efeitos do descomissionamento na biodiversidade, habitats marinhos, qualidade da água e em outros aspectos ambientais, deste modo, escolhendo previamente o tipo de descomissionamento que mais se adere ao objetivo sustentável do projeto.

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.5.2 Boas Práticas e Procedimentos Relevantes

Antes de decidir sobre o descomissionamento da plataforma Wandoo, foi fundamental conduzir uma avaliação abrangente de impacto ambiental. Deste modo, os pesquisadores puderam ter uma avaliação biológica mais assertiva sobre os impactos ambientais de opções de descomissionamento na vida marinha presente ao redor na plataforma. A presença da plataforma proporcionou um abrigo para comunidades de peixes demersais e pelágicos, bem como para a recuperação de macrobentos. O descomissionamento da plataforma enfrenta desafios significativos devido à necessidade de equilibrar as considerações ambientais, econômicas e sociais.

Deste modo, é recomendável realizar uma análise detalhada dos possíveis efeitos do descomissionamento na biodiversidade, dos habitats marinhos, na qualidade da água e em outros aspectos ambientais. Com estas iniciativas, seria possível identificar aspectos relevantes na tomada de decisão da opção de descomissionamento mais adequada, assim, avaliação de impacto ambiental informará a tomada de decisão e auxiliará na definição das medidas de mitigação apropriadas.

4.2.5.3 O descomissionamento em uma perspectiva circular

O estudo de caso da plataforma Wandoo demonstrou a importância de considerar os ecossistemas e as comunidades marinhas associadas ao planejamento do escopo de descomissionamento de uma plataforma *offshore*. Ficou evidente que a plataforma atua como um ecossistema novo, proporcionando abrigo e sustento para uma diversidade de espécies. A remoção parcial ou completa da plataforma resultaria na perda de características únicas desse ecossistema.

Além disso, o estudo ressalta a importância de medidas de exclusão da pesca, que desempenham um papel fundamental na proteção das comunidades marinhas ao redor da plataforma. Essas lições aprendidas destacam a necessidade de uma abordagem holística e sustentável no descomissionamento de plataformas *offshore*, considerando não apenas os aspectos econômicos e técnicos, mas também os impactos ambientais e a preservação dos ecossistemas marinhos.

4.3 PROPOSTA DE DIRETRIZES PARA O DESCOMISSIONAMENTO CIRCULAR

Considerando a importância da circularidade no contexto do descomissionamento de plataformas, nesta seção, foi proposta uma série de diretrizes e boas práticas para promover a economia circular ao longo do processo de descomissionamento. Com base nas descobertas da análise bibliométrica e da análise de múltiplos casos, foram identificados aspectos socioambientais e econômicos, a reutilização e reciclagem de equipamentos e materiais, a gestão eficiente de recursos e a maximização do valor agregado ao longo do ciclo de vida das plataformas.

Portanto, o quadro 14 apresenta as principais oportunidades de diretrizes de descomissionamento com base na estratégia metodológica abordada. Neste sentido, as diretrizes foram classificadas em sete perspectivas sendo elas: *Stakeholders*, Reutilização/Reciclagem/Remanufatura, Tecnologias, Energia renovável, Componentes descomissionados, Metodologias de apoio à decisão e por fim, Análise de viabilidade.

Quadro 15. Diretrizes circulares para o descomissionamento de plataformas.

Perspectivas	Diretrizes para o Descomissionamento Circular
--------------	---

Stakeholders	<ul style="list-style-type: none"> • É importante considerar o interesse de <i>stakeholders</i> relevantes nas fases iniciais de planejamento com o intuito de adequar as atividades e tipos de descomissionamento mais aderentes ao objetivo do projeto. • Promover abertura e incentivo para possíveis investidores. • Realizar estudos de impacto social e ambiental para avaliar os efeitos do descomissionamento nas comunidades locais, na biodiversidade marinha e nos recursos naturais. • Implementar medidas para minimizar os impactos negativos, como a criação de programas de monitoramento ambiental, a adoção de práticas de remediação e o estabelecimento de diálogos com as partes interessadas. • Promover a transparência e a comunicação aberta com as comunidades locais, grupos ambientais e outras partes interessadas para garantir a participação e o engajamento ativo em todo o processo de descomissionamento.
Reutilização, reciclagem e manufatura	<ul style="list-style-type: none"> • Reutilização de equipamentos e estruturas descomissionados em outros projetos ou indústrias, após avaliação de viabilidade técnica e ambiental. • Reciclagem de componentes e materiais, como metais e plásticos, através de processos adequados e certificados para reduzir o desperdício e promover a economia circular. • Implementação de estratégias de economia circular, como a busca por oportunidades de remanufatura e repotenciação de equipamentos, para maximizar o valor dos recursos disponíveis.
Tecnologias	<ul style="list-style-type: none"> • É necessário que a indústria petrolífera se adeque às novas tecnologias 4.0 com o intuito de obter vantagem competitiva e condições econômicas e ambientais mais favoráveis. • Utilização de tecnologias avançadas de corte e desmontagem, como o corte com jato de água, para minimizar os danos aos componentes e maximizar a recuperação de materiais valiosos. • Exploração de tecnologias de monitoramento remoto, drones e robótica para inspeção e avaliação das estruturas submarinas, reduzindo a necessidade de mergulhadores e o risco para os trabalhadores. • Investir em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias inovadoras que possam facilitar a recuperação de materiais, a minimização de resíduos e a redução dos riscos operacionais.
Energia Renovável	<ul style="list-style-type: none"> • A aplicação de energias renováveis e atividades sustentáveis nas instalações <i>offshore</i> se mostrou eficiente como um meio de aplicação ao fim da vida útil de uma plataforma fixa. Além de ser uma comprovação real que bases de produção de óleo e gás podem ser reutilizadas como suportes técnicos para a aplicação da transição energética ao redor do mundo. • A utilização de energia fotovoltaica na dessalinização da água do mar se mostrou como uma alternativa viável economicamente e inovadora na reutilização de instalações petrolíferas.
Componentes descomissionados	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar os principais componentes das plataformas <i>offshore</i> a serem descomissionados, como <i>topsides</i>, subestruturas, linhas de fluxo, dutos, sistemas de ancoragem e equipamentos de perfuração. • Desenvolver planos específicos para o desmantelamento, transporte, tratamento e destinação final de cada componente, levando em consideração as melhores práticas de descomissionamento circular. • Desmontagem segura de <i>topsides</i>, jaquetas e tubulações, com atenção especial à gestão de resíduos, minimizando a geração de resíduos perigosos e facilitando a reciclagem de materiais. • Fechamento adequado de poços e recuperação de equipamentos submarinos,

	garantindo a integridade dos poços e prevenindo vazamentos de hidrocarbonetos.
Metodologias de Apoio à Decisão	<ul style="list-style-type: none"> • A adoção de metodologias baseadas em múltiplos critérios em processos decisórios se mostrou como a melhor ferramenta para planejar e avaliar descomissionamentos da forma mais adequada possível, levando em conta aspectos ambientais, sociais e econômicos. • Utilização de avaliações de impacto ambiental e social para identificar os métodos de descomissionamento mais adequados, considerando os ecossistemas marinhos, comunidades locais e outras questões relevantes. • É necessário a implementação de metodologias e modelos de negócios circular, para regenerar os ecossistemas marítimos, possibilitando o reaproveitamento econômico máximo de processos de descomissionamento de forma mais segura e otimizada. • A adoção de novas rotas de reboque aprovadas pelos órgãos reguladores vigentes se mostrou eficiente para combater a presença de bioinvasores nas estruturas flutuantes descomissionadas.
Análise da viabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação econômica detalhada das diferentes opções de descomissionamento, considerando os custos de cada fase, incluindo remoção, transporte, reciclagem e disposição adequada de resíduos. • Busca por oportunidades de financiamento, parcerias público-privadas e incentivos fiscais para apoiar práticas circulares de descomissionamento e mitigar os custos associados. • Análise de viabilidade técnica e operacional das alternativas de descomissionamento, levando em consideração a capacidade dos estaleiros, a disponibilidade de infraestrutura e as restrições ambientais e regulatórias.

Fonte: Elaborado pelo autor

O quadro 14 reflete uma lista abrangente de diretrizes que poderão orientar o processo de descomissionamento de plataformas *offshore* de forma sustentável. As diretrizes sugeridas se mostram uma enquanto uma proposta interessante que abrange diferentes aspectos, desde o engajamento de stakeholders até os estudos de viabilidade. Essas diretrizes podem ser consideradas para orientar políticas, ações estratégicas ou iniciativas voltadas para os processos de descomissionamentos mais sustentáveis, maximizando a recuperação de recursos, reduzindo os impactos ambientais, promovendo o desenvolvimento de novos negócios e garantindo a participação e o engajamento das comunidades locais e demais partes interessadas. Espera-se que a implementação dessas boas práticas possa contribuir na orientação para a transição sustentável na indústria de petróleo, com vista às ações mais alinhadas a uma economia circular, bem como, que possam contribuir para gerar inúmeras oportunidades que se relevam juntos das atividades de descomissionamento.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De acordo com os resultados obtidos através da análise bibliométrica e dos múltiplos estudos de caso, foi possível ter uma análise mais abrangente das lições aprendidas de 14 artigos

e 5 estudos de caso. As obras identificadas na análise bibliométrica revelam que os pesquisadores adotaram diversas metodologias baseadas em revisão bibliográfica, questionários e entrevistas com stakeholders, coleta de opiniões e análises de tomada de decisão (multicritério).

Os estudos selecionados sobre descomissionamento de plataformas *offshore* apresentam uma variedade de abordagens e resultados relacionados à implementação de práticas circulares e sustentáveis ao longo do processo de descomissionamento. As etapas de descomissionamento mais abordadas nos artigos foram o gerenciamento do projeto e a disposição final do *topside* e subestruturas de acordo com as divisões de fases e etapas estabelecidas por Delgado (2021), indicando a importância de um planejamento adequado e de considerações ambientais na tomada de decisões. Além disso, a reutilização de equipamentos e estruturas foi o atributo de circularidade mais recorrente, destacando a busca por alternativas que maximizem a eficiência e minimizem o impacto ambiental.

As lições aprendidas dos estudos enfatizam a importância da participação de stakeholders representativos e informados, bem como a consideração dos impactos sociais, ambientais e econômicos. Delgado (2021) já apontava em seus estudos que a adoção de energias renováveis, como a energia fotovoltaica e eólica, em plataformas *offshore* é destacada como uma opção viável e sustentável nos casos de remoção parcial ou permanência *in situ*, contribuindo para a diversificação da matriz energética e a redução da dependência de fontes não renováveis. Conforme Leitão (2015) e Fossati (2019) há uma necessidade de aplicações tecnológicas para a realização de um descomissionamento de plataformas mais eficiente, ecológico e seguro. Além disso, a aplicação de tecnologias inovadoras, como robótica e inteligência artificial, é mencionada como uma oportunidade para aumentar a segurança, reduzir as emissões de carbono e otimizar o setor de energia eólica *offshore*, dos diferentes casos analisados.

Segundo Carreteiro (2020), a economia circular é abordada como uma estratégia para maximizar o valor em uso das plataformas, por meio da reutilização, reciclagem e recuperação de materiais. A análise de impactos socioambientais e econômicos, juntamente com a consideração de alternativas de descomissionamento, são destacadas como ferramentas essenciais para a tomada de decisões sustentáveis. A importância da iniciativa empreendedora individual é mencionada como um elemento-chave na promoção de soluções inovadoras e no desenvolvimento de modelos de negócio sustentáveis.

No entanto, é importante destacar que cada estudo abordou o descomissionamento de plataformas *offshore* em contextos específicos, adotando soluções e medidas de acordo com os

desafios de descomissionamento encontrados. A aplicabilidade das lições aprendidas pode variar dependendo das características regionais e regulatórias, Delgado (2022) já dissertava sobre a necessidade de seguir as normas vigentes e ter autorização dos órgãos reguladores para se obter sucesso no descomissionamento de instalações *offshore*.

Além disso, são necessárias pesquisas adicionais e engajamento e colaboração entre diferentes partes interessadas como a população, agentes reguladores e empresas contratadas para avançar no desenvolvimento e implementação de práticas circulares e sustentáveis no descomissionamento de plataformas *offshore* como já dizia Delgado (2021).

Como já afirmava Linzi (2000) é importante desenvolver uma avaliação que possibilite identificar e selecionar a opção de descomissionamento preferida para qualquer estrutura ainda na sua fase de planejamento, e considerar neste processo diferentes medidas, como impacto ambiental, consumo de energia e emissões de CO₂, segurança, custo e viabilidade técnica. Neste sentido os diferentes estudos de caso foram estratificados, a fim de ampliar o escopo de boas práticas em diferentes cenários e fases de descomissionamento. Portanto, para cada caso analisado, foram detalhadas as boas práticas e as lições aprendidas relacionadas ao planejamento, execução e tomada de decisão durante o descomissionamento. Além disso, as intervenções circulares, como a reutilização de materiais, a criação de recifes artificiais e a consideração dos impactos ambientais, foram destacadas como aspectos importantes a serem considerados.

- No caso do descomissionamento do FPSO Ingá, foi evidenciada a necessidade de infraestrutura adequada nos estaleiros brasileiros como já dizia, Sánchez e Pereira, (2019) para realizar o desmantelamento de FPSOs localmente, visando aproveitar o mercado crescente de sucata. Essa constatação aponta para a importância de desenvolver parcerias e instalações especializadas de reciclagem para lidar com o descomissionamento de plataformas *offshore*.
- No caso do complexo de plataformas Galveston 189, a criação de recifes artificiais foi adotada como uma alternativa de descomissionamento já sugerida por Delgado (2021), aproveitando as estruturas existentes para beneficiar a vida marinha e as atividades de pesca esportiva e mergulho na região. Esse exemplo destaca a importância de avaliar os impactos ambientais e considerar opções sustentáveis durante o descomissionamento.
- O estudo de caso do descomissionamento dos campos Balmoral, Glamis e Stirling demonstrou a aplicação da Melhor Opção Ambientalmente Praticável

(BPEO) como metodologia para selecionar a melhor alternativa de descomissionamento com base em critérios multidimensionais. Silva (2019) já comentava a necessidade de envolver profissionais das áreas de segurança do trabalho, financeiro e ambiental para o descomissionamento de plataformas, esse enfoque reforça a importância de considerar aspectos ambientais, técnicos, econômicos e de segurança na tomada de decisão.

- No estudo de caso do descomissionamento da plataforma Brent Alpha Jacket, a aplicação do método ELECTRE III permitiu uma análise abrangente das alternativas de descomissionamento, considerando diferentes critérios e capturando diferentes perspectivas dos decisores. Essa abordagem destaca a importância de uma tomada de decisão transparente e inclusiva, considerando incertezas e pontos de vista divergentes.
- Por fim, o estudo de caso da plataforma Wandoo ressaltou a importância de uma avaliação abrangente de impacto ambiental e a consideração dos ecossistemas e comunidades marinhas ao planejar o descomissionamento. A preservação de habitats únicos e a mitigação dos impactos ambientais foram destacadas como aspectos relevantes a serem considerados, deste modo, conforme Lewandowski (2016), a adoção do descomissionamento circular sem considerar seus efeitos colaterais e aspectos financeiros, sociais e econômicos pode gerar efeitos rebotes irreversíveis.

Em virtude dos fatos, os casos de descomissionamento analisados destacam a necessidade de uma abordagem holística, considerando aspectos socioambientais, econômicos e técnicos. Conforme Delgado (2021) e Carreteiro (2020) as práticas de economia circular, por meio da reutilização e reciclagem de materiais, a criação de recifes artificiais e a consideração dos impactos ambientais, emerge como uma abordagem promissora para o descomissionamento de plataformas, contribuindo para a sustentabilidade e maximização do valor ao longo do ciclo de vida dessas estruturas. A adoção de diretrizes e das boas práticas, como as propostas neste estudo, poderão auxiliar as empresas do setor de petróleo e inspirar os executivos para enfrentar os desafios do descomissionamento de forma mais eficiente e sustentável.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar as estratégias de descomissionamento adotadas por diferentes plataformas e levantar as oportunidades de circularidade. Portanto, foi elaborado um referencial teórico, uma análise bibliométrica através da análise de 14 artigos científicos publicados na base de dados, *Scopus*, além de 5 estudos de casos obtidos nas bases de dados One Petro e Google Acadêmico.

Foram levantados pesquisadores que estão se dedicando à temática do presente estudo, visando construir um referencial que favoreça as análises apresentadas. Portanto, questões como a tipologia das plataformas, o ciclo de vida de uma plataforma e a contextualização da economia linear e economia circular foram abordados e aprofundados com o intuito de demonstrar a dimensão dessa temática. Aspectos circulares foram *linkados* à forma de descomissionar, reciclar e dismantelar plataformas, deste modo gerando uma perspectiva positiva para o futuro mercado circular da indústria de petróleo.

Na análise bibliométrica, foi utilizada a base de dados *Scopus* dada a relevância e rigor científico no que tange a seleção das publicações e sua amplitude global. Para tanto, aspectos como objetivo, metodologia, resultados, fases e etapas que o descomissionamento circular foram aplicados e a lição aprendida de cada artigo foram mapeados com o intuito de identificar as possíveis áreas de desmembramento de pesquisas de descomissionamento de plataformas circular. Os resultados mostraram que a maioria dos estudos contaram com práticas de descomissionamento nas fases 1 de “gerenciamento do projeto” e na fase 6 de “disposição final do topside e subestruturas”. Em relação a tipologia de descomissionamento, observou-se que o tipo 1 de permanência no local, foi o mais presente em todos os artigos mencionados, estando presente em 7 artigos ao total (50%).

O ranking elaborado com base na análise bibliométrica trouxe dez atributos identificados para circularidade, oferecendo insights de grande valor e aplicabilidade, destacando-se os atributos: reutilização de equipamentos e estruturas, tomadas de decisão sustentáveis, análise de impactos socioambientais e econômicos, stakeholders-chaves no descomissionamento, iniciativas de economia circular, alternativas de descomissionamento, energias renováveis em plataformas, utilização de novas tecnologias, reciclagem de equipamentos e estruturas e importância da iniciativa empreendedora individual. Sendo o atributo reutilização de equipamentos e estruturas, o mais presente nas publicações.

Para análise de múltiplos casos, foram abordados 5 descomissionamentos em locais, situações e desfechos completamente diferentes. Foram mapeadas questões como desafios, intervenções circulares, fases e etapas do descomissionamento e lições aprendidas. Nesta etapa ainda foi incluída, a apresentação de cada plataforma, as principais boas práticas e alguns

procedimentos relevantes para o descomissionamento em uma perspectiva circular. A análise individual de cada caso, permitiu compreender os resultados dos projetos de descomissionamento e foram de grande valor elaborar uma série de diretrizes circulares.

Sendo assim, através do mapeamento das informações obtidas na análise bibliométrica e estudo de múltiplos casos, foi disponibilizado um quadro com diretrizes circulares para o descomissionamento de plataformas. As diretrizes foram classificadas em 7 principais perspectivas, sendo elas: *stakeholders*, reutilização/reciclagem/remanufatura, tecnologias, energia renovável, componentes descomissionados, metodologias de apoio à decisão e por fim, análise de viabilidade. Para cada uma das perspectivas foram selecionadas práticas relevantes que poderão contribuir para que os executivos e especialistas, desenvolvam políticas, processos e diferentes ações com vista ao descomissionamento circular das plataformas.

Em virtude dos fatos, nota-se que a reutilização e reciclagem de estruturas e materiais *offshore*, emerge como uma abordagem promissora para o descomissionamento de plataformas *offshore* de forma circular, contribuindo para um descomissionamento sustentável e maximização do valor ao longo do ciclo de vida dessas estruturas. A adoção das diretrizes propostas nos estudos poderá auxiliar as empresas do setor de petróleo a enfrentar os desafios do descomissionamento de forma sustentável, bem como, vale reforçar a importância de se considerar as características regionais e regulatórias específicas ao aplicar as lições aprendidas. Finalmente recomenda-se promover pesquisas adicionais e elaborar estratégias para colaboração entre as partes interessadas, visando avançar no desenvolvimento e implementação de práticas circulares ao longo das fases do descomissionamento de plataformas *offshore*.

6.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Não foi possível ter acesso a informações diretas de empresas de petróleo sobre seus casos de descomissionamento, o que permitiria ampliar as análises com dados ainda mais técnicos sob diferentes perspectivas ambiental, social e econômica.

6.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Realizar estudos comparativos entre diferentes regiões geográficas, analisando as diferenças nos contextos regulatórios, nas práticas de descomissionamento e nas experiências

de engajamento das partes interessadas. Isso pode ajudar a identificar as melhores abordagens adaptadas a cada região e a promover a troca de conhecimentos e aprendizados entre diferentes atores envolvidos.

Investigar e avaliar tecnologias emergentes e inovadoras que possam ser aplicadas ao descomissionamento de plataformas *offshore*. Isso inclui o desenvolvimento de soluções de robótica submarina, inteligência artificial, monitoramento remoto e outras tecnologias que possam melhorar a segurança, a eficiência e a sustentabilidade das atividades de descomissionamento.

Projetar uma plataforma totalmente circular, que na concepção de seu projeto estrutural, tenha o intuito de facilitar as atividades de descomissionamento e desmantelamento, além de maximizar o reaproveitamento dos equipamentos, estruturas e subestruturas. A criação de um modelo circular de plataformas, seria de grande valia para as empresas petrolíferas, tendo em vista a diminuição de custo, riscos humanos, danos ambientais e dificuldade técnica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2B1STCONSULTING. SPAR, 29 de maio de 2012. Disponível em:

<https://2b1stconsulting.com/spar/>. Acesso em: 8 mai. 2023.

ALMEIDA, E *et al.* **Regulação do Descomissionamento e seus Impactos para a Competitividade do Upstream no Brasil**. Rio de Janeiro, 2017.

AMORIM JR, D. S.; DOS SANTOS, E.M. Descomissionamento de instalações: quem paga a conta?. **Conjecturas**, v. 2022, n. 18, p. 274-294, 2022.

AMORIM, T.O. **Plataformas Offshore: uma breve análise desde a construção ao descomissionamento**. Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação em Tecnologia em Construção Naval, da UEZO. Rio de Janeiro, 2010.

ANTHONY, N. R.; RONALDS, B. F.; FAKAS, E. Platform decommissioning trends. In: **SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition**. OnePetro, 2000.

BALERONI, R. B.; ROQUE, G. O. B. **Descomissionamento de instalações offshore no Brasil: Análise da relação, desafios e propostas**. Rio Oil & Gas Expo and Conference 2018. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/59147855/ROG_2018_-_Descomissionamento20190506-80747-5tky10.pdf>. Acesso em: 13/05/2023

BARBOZA, D.V; MEIRIÑO, M. J.; DA SILVEIRA BARROS, S. R. **Towards the sustainable decommissioning of fixed platforms by aligning ecosystem services and wind generation: a Brazilian case**. 2022.

BASILE, V.; CAPOBIANCO, N.; VONA, R. The usefulness of sustainable business models: Analysis from oil and gas industry. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 28, n. 6, p. 1801-1821, 2021.

BASILE, V *et al.* An ecosystems perspective on the reconversion of offshore platforms: Towards a multi-level governance. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 2022.

BOGDAN, R.; BILKEN, S. **Investigação qualitativa em educação**. Porto: Porto Editora, 1994.

CAPOBIANCO, N *et al.* End-of-life management of oil and gas offshore platforms: challenges and opportunities for sustainable decommissioning. **Sinergie Italian Journal of Management**, v. 40, n. 2, p. 299-326, 2022.

CAPOBIANCO, N *et al.* Toward a sustainable decommissioning of offshore platforms in the oil and gas industry: A PESTLE analysis. **Sustainability**, v. 13, n. 11, p. 6266, 2021.

CARRETEIRO, R. **Reciclagem de Navios. 4º Workshop sobre Descomissionamento de plataformas e desmantelamento de navios – SOBENA**, 2020.

COELHO, A.C.C.C. **Risco operacional no descomissionamento de unidade marítima fixa de exploração e produção de petróleo**. 2010.

COLALEO, G *et al.* Decommissioning of offshore platforms in Adriatic Sea: The total removal option from a life cycle assessment perspective. **Energies**, v. 15, n. 24, p. 9325, 2022.

DA SILVA, R.S.L; MAINIER, F.B. O descomissionamento aplicado às instalações offshore de produção de petróleo sob a visão crítica ambiental, 2007.

DE ALBUQUERQUE, R.S. **Descomissionamento de plataformas de petróleo offshore: revisão sistemática**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2019.

DE LIMA, Y. Q; GOMES, L.F.A.M. Identificação e valoração dos critérios de decisão em projetos de descomissionamento offshore. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 12, n. 2, p. 9-27, 2021.

DE LIMA, Y.Q. **O descomissionamento de Brent Alpha Jacket sob a perspectiva do método ELECTRE III–SRF**. 2022. Disponível em: <http://anpad.com.br/uploads/articles/120/approved/9d03333181fb0f6bd495e8b157259880.pdf>
Acesso em: 28 de junho de 2023.

DE OLIVEIRA ANTONIO, V. J. **ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO DESMONTE DE PETROLEIROS, ALIVIADORES E FPSOs NO BRASIL**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

DE OLIVEIRA FERREIRA, P *et al.* **Aplicação das diretrizes do PMBOK no projeto de descomissionamento de plataformas de petróleo offshore**. 2020.

DELGADO, F.; MOURA, R.; FRANÇA, M. **Descomissionamento offshore no Brasil**. 2021.

DELGADO, F. **Descomissionamento| Aspectos Socioeconômicos por trás das atividades de descomissionamento: Lições aprendidas do outro lado do Atlântico.** 2022.

Dicionário de Petróleo. Disponível em <<https://dicionariodopetroleo.com.br/temos-plataformas-de-petroleo-no-brasil-quantas/#:~:text=Hoje%20em%20territ%C3%B3rio%20nacional%20temos,outros%2023%20na%20regi%C3%A3o%20Sud>> acessado em 23.03.2023.

DORNELAS, L.R. **Descomissionamento de instalações de produção de petróleo offshore.** 2018.

DUARTE, L.V.M.A.; AREIAS, R.S. **Descomissionamento e desmantelamento de plataformas de petróleo offshore: análise econômica do reaproveitamento de materiais do FPSO.** 2022.

ENERGIA, F. G. V. Descomissionamento offshore no Brasil: oportunidades, desafios & soluções. **Cadernos FGV Energia**, v. 8, n. 11, p. 76-94, 2021.

FERREIRA, R.C. Arcabouço legal do descomissionamento na indústria do petróleo, experiências estrangeiras e desafios para o futuro. 2019.

FOSSATI, A. L *et al.* Sustainability indicators for offshore oil and gas drilling platforms. **Journal of Cleaner Production**, v. 218, p. 263-274, 2019.

Gigantes do Mundo, Instituto de Engenharia. **A maior plataforma de petróleo do mundo, 31 de outubro de 2014.** Disponível em:<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2014/10/31/a-maior-plataforma-de-petroleo-do-mundo/>. Acesso em: 8 maio 2023.

GLOBAL SECURITY. **Compliant Tower**, 7 de julho de 2011. Disponível em: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/platform-compliant-tower.htm>

HAKAM, A.; WIN, T.. "Case History: Decommissioning, Reefing, and Reuse of Gulf of Mexico Platform Complex." Paper presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, maio de 2000. Disponível em: <https://onepetro.org/OTCONF/proceedings-abstract/00OTC/All-00OTC/OTC-12021-MS/40943> Acesso em: 22 de junho de 2023.

HICKS, D.; MELKERS, J. Bibliometrics as a tool for research evaluation. In: **Handbook on the theory and practice of program evaluation**. Edward Elgar Publishing, 2013. p. 323-349.

International Energy Agency (IEA). “**Offshore Energy Outlook**”. (2018)., acesso em 21 de agosto de 2021.

JONES, A *et al.* **Decommissioning offshore oil and gas installations: A review of regulatory approaches to environmental management and safety**. *Ocean & Coastal Management*, v. 147, p. 91-101, 2017.

LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. *Gestão & Produção*, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012.

LEGISWEB. **Resolução ANP nº 41 de 09/10/2015**. 19 de outubro de 2006. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=304519>. Acesso em: 12 de maio de 2023.

LEGISWEB. **Resolução ANP nº 43 de 18/10/2006**. 7 de dezembro de 2007. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=107014>. Acesso em: 12 de maio de 2023.

LEGISWEB. **Resolução ANP nº 46 de 01/11/2016**. 13 de outubro 2015. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=330646>. Acesso em: 12 de maio de 2023.

LEITÃO, A. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. *Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting*, v. 1, n. 2, p. 149-171, 2015.

LEWANDOWSKI, M.. Designing the business models for circular economy—Towards the conceptual framework. *Sustainability*, v. 8, n. 1, p. 43, 2016.

LI, Y.; HU, Z. A review of multi-attributes decision-making models for offshore oil and gas facilities decommissioning. *Journal of Ocean Engineering and Science*, v. 7, n. 1, p. 58-74, 2022.

LINZI, P *et al.* "**Decommissioning of the Balmoral Installation (UK North Sea) BPEO Case Study**." Paper presented at the SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Stavanger, Norway, June 2000. Disponível em: <https://onepetro.org/SPEHSE/proceedings-abstract/00HSE/All-00HSE/SPE-61120-MS/133108> Acesso em: 26 de junho de 2023.

LOIA, F.; CAPOBIANCO, N.; VONA, R. Towards a resilient perspective for the future of offshore platforms. Insights from a data driven approach. **Transforming Government: People, Process and Policy**, v. 16, n. 2, p. 218-230, 2022.

M'PUSA, J. B *et al.* **Descomissionamento de plataformas marítimas: estudo comparativo dos casos Reino Unido e Brasil**. 2017.

MACARTHUR, E *et al.* Towards the circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, v. 2, n. 1, p. 23-44, 2013.

MANSANO, G.M; SALUSTINO, V.D.R. **Descomissionamento de plataformas de petróleo offshore. Estudo de caso: FPSO na Bacia de Campos**. 2023. Disponível em: https://app.homologacao.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/27659/16.TCC_Guilherme_Vinicius.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 22 de junho de 2023.

MARFATIA, F. Digitally Transforming Front End Decommissioning Planning. In: **SPE Symposium: Decommissioning and Abandonment**. OnePetro, 2019.

MARGHERITINI, L *et al.* Development of an eco-sustainable solution for the second life of decommissioned oil and gas platforms: the mineral accretion technology. **Sustainability**, v. 12, n. 9, p. 3742, 2020.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Matriz energética brasileira Balanço Energético Nacional (BEN 2021). Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em 8 de maio de 2023.

MCGARRY, C. **Targe Environmental Consulting. Circular Economy**, 2018. Disponível em: <https://www.targe-env.com/tag/circular-economy/>. Acesso em: 13/06/2023.

MEIRINHOS, M.; OSÓRIO, A. O estudo de caso como estratégia de investigação em educação. **EduSer**, v. 2, n. 2, 2010.

MENG, H.; KLOUL, L.; RAUZY, A. Production availability analysis of Floating Production Storage and Offloading (FPSO) systems. **Applied Ocean Research**, v. 74, p. 117-126, 2018.

MITCHELL, D *et al.* A review: Challenges and opportunities for artificial intelligence and robotics in the offshore wind sector. **Energy and AI**, v. 8, p. 100146, 2022.

MOHD, M.Het *al.* Reefing viability index for Rigs-to-Reefs (R2R) in Malaysia. **The Scientific World Journal**, v. 2020, 2020.

MORAES, G. L *et al.* Assessment of environmental and social sustainability indicators during the construction phase of offshore oil and gas platforms. **Journal of Cleaner Production**, v. 192, p. 214-224, 2018.

NEVES, R.B; PEREIRA, V.; COSTA, H.G. Auxílio multicritério à decisão aplicado ao planejamento e gestão na indústria de petróleo e gás. **Production**, v. 25, p. 43-53, 2013.

NOGUEIRA, P. **Jaqueta da Equinor deixa estaleiro rumo ao Brasil e ainda há vagas disponíveis na norueguesa**. Click Petróleo e Gás, 2019. Disponível em:

<https://clickpetroleogas.com.br/jaqueta-da-equinor-deixa-estaleiro-rumo-ao-brasil-e-ainda-ha-vagas-disponiveis-na-norueguesa/>. Acesso em: 8 maio 2023.

PEREIRA, F. S. **Autoridade Marítima no Brasil: Sua Atuação na Segurança da Navegação e Preservação do Meio Ambiente**. Monografia de Bacharelado. EFOMM, Rio de Janeiro, 2012.

PETROBRAS. Navio-plataforma Carioca deixa estaleiro rumo ao campo de Sépia na Bacia de Santos, 5 de julho de 2021. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/navio-plataforma-carioca-deixa-estaleiro-rumo-ao-campo-de-sepia-na-bacia-de-santos.htm>. Acesso em: 8 maio 2023.

PETROGAS NEWS. Tipos de plataformas de petróleo, 6 março 2011. Disponível em: <https://petrogasnews.wordpress.com/2011/03/06/tipos-de-plataformas-de-petroleo/>. Acesso em: 8 maio 2023.

PIERONI, M. P.P; MCALOONE, T. C.; PIGOSSO, D.C.A. Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. **Journal of cleaner production**, v. 215, p. 198-216, 2019.

PINSKY, V.C; GOMES, C.M; KRUGLIANSKAS, I. Metas brasileiras no Acordo de Paris: reflexões sobre o papel das universidades. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 2, p. 335-362, 2019.

PODSAKOFF, P. M *et al.* The influence of management journals in the 1980s and 1990s. **Strategic Management Journal**, v. 26, n. 5, p. 473-488, 2005.

PUCU, P.A.B *et al.* **Logística do escoamento da produção de petróleo de plataformas offshore via transporte naval**. 2011.

QUISSANGA, V.M.; DO NASCIMENTO, E.A.; GALGOUL, N.S. Estudo de viabilidade para a reutilização de plataformas offshore fixa como subestrutura de torres eólica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e2119108618-e2119108618, 2020.

REZAEI, A *et al.* **Sustainable Oil and Gas Exploration and Production: A Critical Review.** **Journal of Environmental Management**, v. 262, p. 110336, 2020.

RIBEIRO, L. A. C *et al.* An Overview of Offshore Oil and Gas Platform Construction Processes: **From Planning to Operation.** **Marine Technology Society Journal**, v. 54, n. 4, p. 47-60, 2020.

ROMERO, R.V.F.S. **A aderência do mercado financeiro às ODS através de práticas ESG: um estudo de caso do Santander Private Banking.** 2021.

ROXTEC. Plataforma auto elevatória para a indústria de petróleo e gás offshore, 4 de outubro de 2017.

RUIVO, F. M.; MOROOKA, C.K. Decommissioning offshore oil and gas fields. In: **SPE Annual Technical Conference and Exhibition.** OnePetro, 2001.

SÁNCHEZ, E.; PEREIRA, N. N. Can ship recycling increase the Brazilian scrap capacity? **Independent Journal of Management & Production**, v. 10, n. 6, p. 2060-2091, 2019.

SARIATLI, F. Linear economy versus circular economy: a comparative and analyzer study for optimization of economy for sustainability. **Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development**, v. 6, n. 1, p. 31-34, 2017.

SILVA, M. L. S. R. **Descomissionamento de plataformas de petróleo offshore: análise da legislação brasileira e internacional, das modalidades do descomissionamento e dos respectivos impactos ambientais causados.** 2019.

SILVA, R. S. L.; MAINIER, F. B.. Descomissionamento de sistemas de produção offshore de petróleo. In: **IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão - Rio de Janeiro**, 2008.

STAKE, R. E.. **Investigación con estudio de casos.** Madrid: Morata, 1999.

SUDAIA, D. P *et al.* Sustainable recycling of mooring ropes from decommissioned offshore platforms. **Marine pollution bulletin**, v. 135, p. 357-360, 2018.

UGGENTI, A.C *et al.* Definition of a Basic Design for Conversion of an Offshore Fixed Platform on a Depleted Reservoir Into a Sustainable Plant. **ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems**, Part B: Mechanical Engineering, v. 8, n. 4, p. 041101, 2022.

UNITED KINGDOM OFFSHORE OPERATORS ASSOCIATION (UKOOA). **An assessment of the environmental impacts of decommissioning options for oil and gas installations in the UK North Sea.** Aberdeen: Aberdeen University Research and Industrial Services, 1995.

VAN ELDEN, S.; MEEUWIG, J. J.; HOBBS, R.J. Offshore platforms as novel ecosystems: A case study from Australia's Northwest Shelf. **Ecology and Evolution**, v. 12, n. 2, p. e8496, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.8496> Acesso em: 28 de junho de 2023.

VAN ELDEN, S; MEEUWIG, J.J.; HOBBS, R.J. Offshore platforms as novel ecosystems: A case study from Australia's Northwest Shelf. **Ecology and Evolution**, v. 12, n. 2, p. e8496, 2022.

VENTURA, M. M. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Revista SoCERJ**, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007.

YIN, R. **Applications of case study research.** Beverly Hills, CA: Sage Publishing, 1993.

ZAGONARI, Fo. Decommissioning vs. reusing offshore gas platforms within ethical decision-making for sustainable development: Theoretical framework with application to the Adriatic Sea. **Ocean & Coastal Management**, v. 199, p. 105409, 2021.

ZAGONARI, F. Sustainable business models and conflict indices for sustainable decision-making: An application to decommissioning versus reusing offshore gas platforms. **Business Strategy and the Environment**, 2023.