

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Sistemas Offshore de Longa Permanência Baseados em Estruturas Flutuantes de Grandes Dimensões: Aspectos Técnicos e Oportunidades de Uso na Indústria de O&G através de Análise SWOT

AUTORES:

Romario de Carvalho Nunes, Delanney Vidal Di Maio Neto, Marilyn Mariano dos Santos, Hirdan Katarina de Medeiros Costa, Edmilson Moutinho dos Santos

INSTITUIÇÃO:

Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo

Resumo

Sistemas Offshore de Longa Permanência Baseados em Estruturas Flutuantes de Grandes Dimensões – em inglês, *Very Large Floating Structures* (VLFS) – podem ser definidas como grandes ilhas artificialmente construídas no mar. Estas estruturas são similares a placas gigantes flutuando na superfície do mar, que se classificam como semissubmersível ou flutuante. Os VLFS têm atraído a atenção de arquitetos, urbanistas, engenheiros e ambientalistas porque fornecem uma solução inovadora e ecológica para a criação de terras a partir do mar. As aplicações do VLFS como píeres flutuantes, hotéis flutuantes, instalações flutuantes de armazenamento de combustível, estádios flutuantes, pontes flutuantes, aeroportos flutuantes e até cidades flutuantes tem desencadeado extensos estudos de pesquisa nas últimas duas décadas. Nesse contexto, o artigo tem por objetivo analisar aplicações de VLFS, no Atlântico Sul, num contexto de descarbonização e transição energética. Portanto, serão descritos brevemente *cases* internacionais de VLFS, incluindo histórico da criação e uso destas estruturas dentro e fora da indústria de óleo e gás, aspectos técnicos como estruturas, classificações e condições operacionais bem como as possibilidades de usos de VLFS para fins de transporte e logística, energia, plataformas vivas e demais atividades, inclusive com oportunidades de uso na indústria de óleo e gás considerando o atual cenário de descarbonização e transição energética. Para o caso específico do uso no Pré-sal, o estudo lança mão da ferramenta de gestão estratégica, a análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) para identificar o melhor uso do VLFS na indústria de óleo e gás, incluindo uma análise da monetização do gás natural em hidrogênio azul, amônia azul e metanol. A análise SWOT também possibilitou síntese de vantagens e desvantagens no uso do hidrogênio azul, amônia azul e metanol bem como direcionamento da melhor oportunidade para uso em sistemas VLFS, no Pré-sal brasileiro. São abordados importantes vetores como aspectos técnicos, impactos ambientais, segurança energética e operacional, políticas e incertezas regulatórias, custos de operação, dentre outros – que estão sintetizado de alguma maneira na análise SWOT. A metodologia adotada foi essencialmente a da ferramenta de gestão estratégica, para tanto fez-se também a pesquisa bibliográfica, documental, além da obtenção de dados primários e secundários oriundos de órgãos oficiais. Os estudos preliminares mostram oportunidades importantes para implementação no Brasil, com impactos relevantes para o Sul Global.

Palavras-chave: *Very Large Floating Structures*, Atlântico Sul, Transição energética, Descarbonização.

Abstract

Very Large Floating Structures (VLFS) can be defined as large, artificially constructed islands in the sea. These structures are like giant plates floating on the sea surface, classified as semi-submersible or floating. VLFS have attracted the attention of architects, urban planners, engineers, and environmentalists because they provide an innovative and eco-friendly solution for creating land from the sea. Applications of VLFS, such as floating piers, hotels, fuel storage facilities, stadiums, bridges, airports, and even floating cities, have triggered extensive research over the past two decades. In this context, this article aims to analyze VLFS applications in the South Atlantic within the framework of decarbonization and energy transition. Therefore, international VLFS case studies will be briefly described, including the history of the creation and use of these structures within and outside the oil and gas industry, technical aspects such as structures, classifications, and operational conditions, as well as the potential uses of VLFS for transportation and logistics, energy, living platforms, and other activities. This includes opportunities for use in the oil and gas industry considering the current scenario of decarbonization and energy transition. For the specific case of use in the pre-salt region, the study employs the strategic management tool, SWOT analysis (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*), to identify the best use of VLFS in the oil and gas industry, including an analysis of the monetization of natural gas into blue hydrogen, blue ammonia, and methanol. The SWOT analysis also allowed for the synthesis of advantages and disadvantages of using blue hydrogen, blue ammonia, and methanol, as well as the identification of the best opportunity for use in VLFS systems in the Brazilian pre-salt region. Important vectors such as technical aspects, environmental impacts, energy and operational security, policies and regulatory uncertainties, operational costs, among others, are addressed and summarized in the SWOT analysis. The methodology adopted was essentially that of the strategic management tool, complemented by bibliographic and documentary research, as well as the collection of primary and secondary data from official sources. Preliminary studies show significant opportunities for implementation in Brazil, with relevant impacts for the Global South.

Keywords: Very Large Floating Structures, South Atlantic, Energy Transition, Decarbonization.

Introdução

Os Sistemas Offshore de Longa Permanência Baseados em Estruturas Flutuantes de Grandes Dimensões representam uma inovação significativa na engenharia marítima, com impactos que transcendem as questões técnicas e podem ter impactos políticos, no Sistema Internacional. Sobretudo, porque o ambiente marítimo é um tema estratégico para o Sistema Internacional, uma vez que frequentemente é cenário de conflitos motivados por disputas entre Estados. Entretanto, a visão de segurança tradicional que supõe a existência de um inimigo torna-se parcialmente obtusa, já que as ameaças modernas são compostas por outras tipologias não incluídas no conceito de guerra e conflito tradicionais.

Esses sistemas, também conhecidos como *Very Large Floating Structures* (VLFS), são essencialmente grandes ilhas artificiais que flutuam na superfície do mar e podem ser classificadas como semissubmersíveis ou totalmente flutuantes. Nos últimos anos, os VLFS têm atraído a atenção de arquitetos, urbanistas, engenheiros e ambientalistas por oferecerem soluções inovadoras e ecológicas para a criação de infraestrutura marítima (Wang; Tay, 2011). As aplicações potenciais dos VLFS são variadas, incluindo píeres flutuantes, hotéis, instalações de armazenamento de combustível, estádios, pontes, aeroportos e até cidades flutuantes.

Neste artigo, tais soluções são pensadas no campo de um planejamento integrado para uma exploração energética, mineral e econômica mais ampla dos recursos oceânicos, no contexto da descarbonização e transição energética da indústria de óleo e gás (O&G). Uma vez que há abundante oferta potencial de energia, no Pré-sal brasileiro, na forma de gases combustíveis, que, até o momento, se mostram difíceis de serem transportados para a costa brasileira ou para exportação.

Para avaliar os benefícios, oportunidades, ameaças e fraquezas de se investir nos VLFS, no Pré-sal brasileiro, utiliza-se a análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*), em português, também denominada análise FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças). Esta ferramenta metodológica permite uma visão abrangente e estruturada das vantagens competitivas, dos desafios técnicos e logísticos, das oportunidades de inovação tecnológica e de integração com energias de baixo carbono, bem como das ameaças associadas a este tipo de empreendimento. Ao aplicar a análise SWOT, espera-se identificar claramente os pontos fortes que podem ser explorados, as áreas que requerem atenção e melhoria, as oportunidades de desenvolvimento que podem ser capitalizadas e as possíveis ameaças que devem ser mitigadas, garantindo assim uma abordagem estratégica e bem-informada para a implementação dos VLFS, no Atlântico Sul, em especial, no Pré-sal brasileiro.

Metodologia

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho baseia-se na pesquisa bibliográfica e documental, permitindo a construção de um substrato abrangente sobre o estado da arte da tecnologia de VLFS. Realizou-se, então, uma revisão bibliográfica focada na utilização de estruturas VLFS para a composição de clusters de produção *offshore*, incluindo a descrição de casos internacionais de uso. Após essa etapa, foi aplicada a análise SWOT, com o objetivo de avaliar as possibilidades de aplicação dessa solução no Brasil.

A análise SWOT é uma ferramenta de gestão estratégica que visa identificar e analisar os pontos fortes, pontos fracos e oportunidades e ameaças às quais organizações, projetos ou setores estão expostos. Na prática, os pontos fortes e fracos estão relacionados ao ambiente interno, enquanto as oportunidades e ameaças estão associadas ao ambiente externo. Com base na análise de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, pode-se determinar as estratégias (Sabbaghi; Vaidyanathan, 2004; Mirzakhani et al., 2014).

Desta forma, os tomadores de decisão passam a ter uma análise qualitativa adequada para auxiliar na formulação de estratégias apropriadas para alcançar os objetivos propostos, maximizando os pontos fortes e oportunidades enquanto minimiza-se as fraquezas e ameaças (Mirzakhani et al., 2014; Reinsberger et al., 2015). Ainda assim, como já sublinhado, a análise SWOT, fornece apenas avaliações qualitativas dos fatores identificados. Por isso, para facilitar o processo de comparação e decisão, essas avaliações

qualitativas foram adequadas para um formato mais quantitativo e comparável, a partir de uma abordagem ponderada.

Para tanto, primeiramente, foram identificados as forças, as fraquezas, as oportunidades e as ameaças para os três produtos possíveis para agregar valor à exploração do gás natural que se mostra difícil de ser transportado para a costa brasileira ou exportado. Os produtos analisados foram: hidrogênio azul, amônia azul e metanol.

Esses fatores foram determinados com base em análises detalhadas de cada produto, considerando essencialmente aspectos técnicos, econômicos e de mercado. Os quais por sua vez, foram agrupados em 16 aspectos de análise: (i) Redução de Gases de Efeito Estufa, (ii) Uso Energético Consolidado, (iii) Oportunidade de Exportação, (iv) Demanda Brasileira, (v) Estímulo à Inovação Tecnológica, (vi) Oportunidades de Emprego e Crescimento Econômico, (vii) Capacidade de Estocagem e Logística de Escoamento, (viii) Viabilidade Econômica, (ix) Riscos Operacionais e Segurança, (x) Necessidade de PD&I, (xi) Concorrência com Outras Fontes de Energia, (xii) Incertezas Regulatórias e Financiamento, (xiii) Relutância para Novos Usos, (xiv) Resistência das Comunidades Locais, (xv) Economia de Escala, (xvi) Desafios Tecnológicos.

Foram atribuídas, pelos acadêmicos e especialistas, para cada categoria um peso com base em sua importância relativa para a viabilidade e sucesso do projeto. Os pesos foram definidos em uma escala de 1 a 10, onde 10 representa a máxima importância. Contudo, duas categorias foram entendidas como *conditio sine qua non* para o sucesso do projeto recebendo os maiores pesos: (i) Redução de Gases de Efeito Estufa e (ii) Viabilidade Econômica. A justificativa para tal escolha está embasada na crescente demanda global por soluções energéticas de baixo carbono, isto é, pela redução de gases de efeito estufa. Por sua vez, a viabilidade econômica teve destaque, pois a sustentabilidade financeira é crucial para a implementação de qualquer novo projeto, num sistema produtivo.

Então, cada produto foi avaliado qualitativamente em cada categoria, em relação ao seu impacto, atribuindo-se uma pontuação de impacto que varia de 1 a 10, onde 10 representa um impacto significativo. As pontuações de impacto foram determinadas com base em uma análise qualitativa das características e desafios específicos de cada produto.

As pontuações de impacto foram então multiplicadas pelos pesos atribuídos a cada categoria, resultando em uma pontuação ponderada. Este cálculo foi feito para cada fator SWOT, permitindo uma comparação direta e qualitativa-quantitativa dos três produtos. Finalmente, as pontuações ponderadas de todas as categorias foram somadas para obter uma pontuação total ponderada para cada produto. Esta pontuação total ponderada permitiu, então, uma avaliação comparativa quantitativa da viabilidade e atratividade de cada produto, a partir das análises qualitativas realizadas.

Resultados e Discussão

Os VLFS são estruturas flutuantes de grande dimensão que podem ser utilizadas para diversas finalidades no ambiente marinho. Existem dois tipos principais de VLFS: semissubmersíveis e totalmente flutuantes (Wang; Wang, 2015; Zhou *et al.*, 2023). As estruturas semissubmersíveis têm partes submersas para proporcionar estabilidade, enquanto as totalmente flutuantes repousam inteiramente na superfície da água. Essas estruturas são geralmente construídas com materiais como aço, concreto e materiais compósitos avançados, que oferecem resistência e durabilidade em condições marítimas adversas. A escolha do material depende das condições ambientais específicas e das necessidades operacionais da estrutura (Zhou *et al.*, 2023; Luo; Jiang, 2024).

As estruturas VLFS analisadas no projeto desenvolvido pelo Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP) são pensadas para serem instaladas em ambientes marítimos de elevada profundidade, típicos de onde ocorre as maiores atividades de exploração e produção de O&G *offshore*, no Brasil, tendo como referências específicas as áreas do polígono do Pré-sal e, particularmente,

aquelas associadas aos campos de Búzios e Libra. Essas grandes estruturas flutuantes podem, então, ser concebidas como elementos centrais para compor *greener offshore hubs*, isto é, hubs de atividades offshore, que permitem uma exploração integrada dos recursos marítimos, através de rotas de exploração econômica de menor pegada carbônica.

No Brasil, apesar da grandiosidade e da longa tradição da produção nacional de petróleo *offshore*, com sua conhecida maestria tecnológica (Ortiz Neto; Costa, 2007), nada sequer próximo de uma VLFS foi projetado e construído. Por diferentes razões que não cabem ser totalmente exploradas no presente trabalho, o Brasil se especializou em soluções menos intensivas em capital, com tempos de construção e instalação mais rápidos. Isso levou à expertise e liderança do Brasil no campo das Unidades Flutuantes de Produção, Armazenamento e Transferência de Petróleo, também denominadas FPSOs (Batalha, 2009).

Os VLFS têm uma história relativamente recente, com desenvolvimentos significativos ocorrendo nas últimas décadas. Um dos exemplos mais notáveis é o Mega-Float, um aeroporto flutuante construído na Baía de Tóquio, Japão (Hideyuki, 2006; Lamas-Pardo *et al.* 2015). Esta estrutura demonstrou a viabilidade técnica e econômica dos VLFS para aplicações de larga escala (Hideyuki, 2006). Outros exemplos incluem píeres flutuantes em marinas, hotéis flutuantes em resorts turísticos e instalações de armazenamento de combustível *offshore*. A aplicação de VLFS não se limita ao setor de turismo e lazer. Eles também são utilizados em infraestrutura de transporte, como pontes flutuantes e aeroportos, além de instalações industriais, como plataformas de O&G – aplicação aqui proposta. Recentemente, houve um aumento no interesse por VLFS para cidades flutuantes (Penice, 2009), impulsionado *a priori* pela necessidade de adaptação às mudanças climáticas e elevação do nível do mar (Lamas-Pardo *et al.* 2015).

Diversos projetos internacionais destacam-se pela aplicação inovadora de VLFS. O Mega-Float no Japão é um exemplo de pioneirismo, proporcionando uma plataforma estável para operações aeroportuárias, no entorno de Tóquio (Watanabe *et al.*, 2004; Hideyuki, 2006; Lamas-Pardo *et al.* 2015). A Noruega, abriga pontes flutuantes de destaque, incluindo a ponte flutuante de Bergsøysund e a ponte Nordhordland, que possui uma parte flutuante, demonstrando que o projeto de plataformas flutuantes podem ser adaptados para condições extremas (Watanabe *et al.*, 2004). Em Cingapura, o Marina Bay Floating Platform é uma estrutura versátil utilizada para eventos públicos e desfiles militares (Koh; Lim, 2014). O Vietnã também tem um exemplar com a construção de um hotel flutuante (Watanabe *et al.*, 2004). Estes projetos exemplificam a multifuncionalidade dos VLFS, oferecendo uma solução prática para a escassez de terras em áreas urbanas densamente povoadas ou em áreas *offshore* longínquas (Wang; Wang, 2015).

A implementação de VLFS envolve considerações técnicas complexas. A estabilidade da estrutura é um dos fatores críticos, especialmente em condições marítimas adversas (Zhou *et al.*, 2023; Luo; Jiang, 2024). A engenharia de VLFS deve garantir que a estrutura possa suportar ondas, correntes e ventos fortes sem comprometer a segurança e a integridade estrutural. Além disso, a manutenção dessas estruturas é desafiadora devido à exposição constante ao ambiente marinho, que pode causar corrosão e desgaste (Wang; Wang, 2015; Zhou *et al.*, 2023; Luo; Jiang, 2024). Tecnologias avançadas, como revestimentos anticorrosivos e materiais compósitos, são frequentemente utilizadas para prolongar a vida útil dos VLFS.

Mesmo diante destas complexidades, o Atlântico Sul, notadamente, o Pré-sal, em áreas de elevada profundidade, como os campos de Búzios e Libra, apresenta um cenário promissor para a aplicação de VLFS, monetizando o gás natural *offshore*. Essas estruturas podem ser utilizadas para facilitar operações de transporte e logística, fornecendo plataformas estáveis para o embarque e desembarque de cargas. Além disso, os VLFS podem se transformar em *greener offshore hubs* ou também hubs *offshore* sustentáveis. A exploração de recursos energéticos, podem ir além dos gases combustíveis e beneficiar a tecnologia dos VLFS, uma vez que as plataformas flutuantes podem servir como hubs para a produção, armazenamento e distribuição de recursos vivos, minerais e energéticos, como os hidrocarbonetos e a própria fauna, que são de grande importância para a economia nacional, contribuindo para a descarbonização da matriz energética e o desenvolvimento econômico.

Os VLFS oferecem vantagens ambientais significativas, especialmente em comparação com métodos tradicionais de criação de terras. A construção de ilhas artificiais convencionais envolve a dragagem e deposição de sedimentos, causando impactos negativos nos ecossistemas marinhos (Erftemeijer, 2012; Azi *et al.*, 2024). Em contraste, os VLFS flutuam na superfície da água, minimizando a perturbação do fundo do mar. Ademais, os VLFS podem ser equipados com tecnologias para a redução das emissões de carbono, tais como sistemas de captura e armazenamento de carbono ou mesmo sistemas de energia renovável – auxiliando a transição para uma economia menos carbônica e impactando positivamente a competitividade da tecnologia ao promover aderência tecnológica à emergência climática.

Entretanto, a implementação de VLFS está condicionada por um complexo conjunto de regulamentações e políticas públicas. Em muitos países, as leis marítimas e ambientais precisam ser adaptadas para acomodar o uso de estruturas flutuantes, ao que se soma as lacunas das legislações internacionais. Além disso, incentivos governamentais e subsídios podem desempenhar um papel crucial na viabilidade econômica desses projetos. No Brasil, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) são algumas das principais entidades envolvidas na regulamentação de atividades *offshore*. A harmonização das regulamentações e a criação de políticas favoráveis são essenciais para o sucesso dos VLFS no contexto do Pré-sal.

Em síntese, são apresentados os fatores internos mais relevantes dos três produtos possíveis para o caso estudado pelo IEE/USP, isto é, as forças e as fraquezas relacionadas à produção desses produtos, e os fatores externos ressaltando as oportunidades e ameaças. O que de algum modo consolida a discussão anterior, na Tabela 1.

Tabela 1 - Matriz SWOT da análise do hidrogênio azul, da amônia azul e do metanol em VLFS

Categoria	Hidrogênio Azul	Amônia Azul	Metanol
Forças	- Alta eficiência energética - Tecnologia conhecida - Baixa emissão de carbono	- Facilidade de armazenamento e transporte - Usos industriais estabelecidos - Baixas emissões de carbono	- Versatilidade - Potencial para exportação - Menores emissões
Fraquezas	- Custos elevados - Infraestrutura limitada - Riscos de segurança na estocagem	- Toxicidade - Eficiência energética - Produção intensiva em energia	- Densidade energética - Corrosividade - Riscos de toxicidade
Oportunidades	- Expansão da demanda - Integração com energias renováveis - Apoio governamental pelo produto	- Aplicações diversas - Desenvolvimento de novos mercados - Apoio governamental pelo produto	- Mercado em expansão - Integração com renováveis - Demanda para produção de biodiesel
Ameaças	- Concorrência de outras tecnologias - Variabilidade regulatória - Desafios de aceitação pública	- Concorrência tecnológica de outras tecnologias - Regulamentações ambientais - Percepção pública	- Concorrência de outras tecnologias - Desafios regulatórios - Percepção de segurança

Entretanto, a análise SWOT por si só não é capaz de apresentar de forma tão objetiva a comparação entre os produtos, motivo pelo qual optou-se pela síntese dos resultados em 16 critérios. E, ao se aplicar essa abordagem ponderada à análise SWOT, sob 16 critérios, foi possível transformar avaliações qualitativas em uma comparação qualitativa-quantitativa mais clara e objetiva.

Tabela 2 - Matriz sintético-comparativa

Categoria	Peso Ajustado	Impacto	Hidrogênio Azul	Impacto Ponderado	Amônia Azul	Impacto Ponderado	Metanol Offshore	Impacto Ponderado
Redução de Gases de Efeito Estufa	0,15	10	8	12,00	8	12,00	7	10,50
Uso Energético Consolidado	0,055	7	6	2,31	7	2,69	8	3,08
Oportunidade de Exportação	0,065	8	7	3,64	8	4,16	8	4,16
Demanda Brasileira	0,055	7	6	2,31	7	2,69	6	2,31
Estímulo à Inovação Tecnológica	0,045	6	8	2,16	6	1,62	7	1,89
Oportunidades de Emprego e Crescimento Econômico	0,055	7	6	2,31	7	2,69	7	2,69
Capacidade de Estocagem e Logística de Escoamento	0,045	6	6	1,62	7	1,89	7	1,89
Viabilidade Econômica	0,15	10	5	7,50	6	9,00	7	10,50
Riscos Operacionais e Segurança	0,045	6	5	1,35	6	1,62	6	1,62
Necessidade de PD&I	0,035	5	7	1,23	6	1,05	6	1,05
Concorrência com Outras Fontes de Energia	0,055	7	4	1,54	5	2,31	6	2,54

<i>Incertezas Regulatórias e Financiamento</i>	0,055	7	6	2,31	6	2,31	6	2,31
<i>Relutância para Novos Usos</i>	0,035	5	5	0,88	6	1,05	6	1,05
<i>Resistência das Comunidades Locais</i>	0,035	5	5	0,88	5	0,88	5	0,88
<i>Economia de Escala</i>	0,045	6	6	1,62	6	1,62	7	1,89
<i>Desafios Tecnológicos</i>	0,045	6	6	1,62	6	1,62	6	1,62
Total				47,96		55,20		53,18

A tabela resultante (Tabela 2) mostra que, embora todos os produtos apresentem oportunidades significativas, a amônia azul destaca-se como a escolha mais promissora, com a pontuação de 55,10, diante da pontuação 53,18 do metanol *offshore* e 47,96 do hidrogênio azul. Esta conclusão é suportada pelas pontuações ponderadas mais altas, refletindo sua capacidade de reduzir emissões de carbono, atender a demanda interna e externa, e promover a inovação tecnológica e o crescimento econômico.

Deste modo, a produção de amônia com uso de VLFS, neste caso, tem indícios de ser uma solução para explorar e beneficiar a abundante oferta potencial de energia, no Pré-sal brasileiro, na forma de gases combustíveis, que, até o momento, se mostram difíceis de serem transportados para a costa brasileira ou para exportação, com consequente aplicação em todo o Atlântico Sul, com outras soluções de baixo carbono. E, neste contexto, a potencial da implementação desses projetos, torna-se um desafio global. Afinal, como é possível que as nações do sul-atlântico possam aproveitar os vastos recursos marítimos disponíveis em regiões costeiras com o intuito de reduzir emissões de carbono, atender a demanda interna e externa, promover a inovação tecnológica e o crescimento econômico ante a capacidade de financiar tais projetos intensivos em capital. Para dar resposta a este desafio e criar condições favoráveis para esse desenvolvimento a resposta perpassará, possivelmente, pelo multilateralismo, no Sul Global, permitindo a cooperação entre nações para superar desafios comuns.

Ao considerar os desafios específicos enfrentados pelos países do Sul Global, como infraestrutura limitada e acesso restrito a tecnologias avançadas, é crucial promover a transferência de conhecimento e capacitação por meio de parcerias multilaterais. Isso pode incluir programas de assistência técnica, compartilhamento de melhores práticas e colaboração em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia. Contudo, é fundamental garantir que os projetos de VLFS sejam realizados de maneira segura, sustentável e economicamente viável. Isso requer a implementação de regulamentações eficazes, padrões de segurança rigorosos e avaliações de impacto ambiental abrangentes. O multilateralismo no Sul Global pode facilitar a troca de experiências e a colaboração em questões regulatórias e de conformidade, garantindo que os projetos de VLFS beneficiem não apenas os países costeiros, mas também a comunidade global como um todo.

Corroborar com essa perspectiva o fato de que os mares do Atlântico Sul têm testemunhado eventos históricos importantes, desde os primeiros períodos da colonização ibérica. Além disso, a importância estratégica do mar para o Brasil já foi destaque durante períodos como a Segunda Guerra Mundial e a Guerra Fria. Durante a transição do final do século XX para o início do século XXI, questões relacionadas à segurança, tanto tradicionais quanto não tradicionais, têm se tornado cada vez mais relevantes na estratégia nacional do Brasil (Maneghim Donadelli *et al.*, 2021). Além da defesa do território marítimo brasileiro, surgiram novas ameaças no Atlântico, como o tráfico de pessoas e drogas, a pirataria e a poluição marinha. De modo que os meios para promover a ocupação e adequada exploração do Pré-sal brasileiro transformam-se em tema basilar, dado o impacto direto na economia do país, dada a concentração da população e a presença de portos estratégicos ao longo do litoral brasileiro (Moraes, 2007, Lacerda *et al.*, 2015).

Conclusões

Os VLFS representam uma inovação significativa com potencial para transformar a infraestrutura marítima e apoiar a descarbonização e a transição energética, com externalidades geopolíticas relevantes. As aplicações desses sistemas são diversas, desde infraestrutura de transporte e logística até hubs de energia renovável e plataformas de produção de produtos e soluções de baixo carbono. No contexto do Atlântico Sul, os VLFS oferecem uma solução prática e sustentável para enfrentar os desafios operacionais,

ambientais e sociais. A análise SWOT destaca as vantagens e desafios associados ao uso desses sistemas, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões estratégicas. Além, de trazer impactos para os países sul-atlânticos, que em sua maioria são partes do Sul Global.

Apesar da experiência brasileira em petróleo offshore, o país carece de projetos VLFS. Diante desafio da emergência climática, os países do Sul Global possuem condições propícias para promover projetos de cooperação e desenvolvimento sustentável similares, destacando a importância do multilateralismo, na transição energética – já que se trata de um desafio global e não local. A transferência de conhecimento e capacitação, regulamentações eficazes e padrões rigorosos a nível local e global são cruciais para o sucesso desses empreendimentos.

E, finalmente, a necessidade do apoio de políticas públicas e incentivos governamentais, uma vez que os VLFS podem desempenhar um papel crucial na transição para uma economia de baixo carbono e na promoção da sustentabilidade no setor de O&G, com possíveis externalidades positivas como a promoção da ocupação e da adequada exploração do Atlântico Sul, sobretudo, do Pré-sal brasileiro. O que transforma os VLFS em tema basilar, dado o impacto direto na economia do país e seu entorno estratégico.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio da CNOOC Petroleum Brasil Ltda, e à importância estratégica do apoio da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) por meio da regulamentação da taxa de P&DI (Resolução ANP nº 918/2023).

Bibliografia

- AZIZ, Hamidi Abdul et al. Dredging and Mining Operations, Management, and Environmental Impacts. In: *Industrial Waste Engineering*. Cham: Springer International Publishing, 2024. p. 333-396.
- BATALHA, Alessandro Ferreira. Análise de Fadiga de Estruturas Offshore Tipo Topside. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ/PEC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.
- ERFTEMEIJER, Paul LA et al. Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: a review. *Marine pollution bulletin*, v. 64, n. 9, p. 1737-1765, 2012.
- HIDEYUKI, Suzuki. Research and development of VLFS. In: *Very large floating structures*. CRC Press, 2006. p. 218-242.
- KOH, H. S.; LIM, Y. B. Floating performance stage at the Marina Bay, Singapore. In: *Large Floating Structures: Technological Advances*. Singapore: Springer Singapore, 2014. p. 37-59.
- LACERDA, Jan Marcel et al. O Atlântico Sul e Amazônia Azul: Cooperação e Manutenção da Paz nos Anos Lula (2003-2010). Congresso Acadêmico sobre Defesa Nacional. Anais. Pirassununga: 2015.
- LAMAS-PARDO, Miguel; IGLESIAS, Gregorio; CARRAL, Luis. A review of very large floating structures (VLFS) for coastal and offshore uses. *Ocean Engineering*, v. 109, p. 677-690, 2015.
- LUO, Chuanshan; JIANG, Dongqi. Hydroelastic Responses of Very Large Floating Structures in Damage Conditions. In: *World Conference on Floating Solutions*. Singapore: Springer Nature, 2023. p. 399-407.
- MENEGHIM DONADELLI, Laura; SAINT-PIERRE, Héctor Luis; VITELLI, Marina Gisela. Os documentos de defesa do Brasil: aproximações sucessivas à Doutrina de Segurança Nacional. *Revista de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad*, v. 16, n. 2, p. 141-156, 2021.
- MIRAIZAKHANI, Maliheh; PARSAAMAL, Elahe; GOLZAR, Abolghasem. Strategy formulation with SWOT matrix. *Global Business and Management Research*, v. 6, n. 2, p. 150, 2014.
- MORAES, Antonio C. R. Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro. v. 1. São Paulo: Annablume, 2007.
- ORTIZ NETO, José Benedito; COSTA, Armando João Dalla. A Petrobrás e a exploração de petróleo offshore no Brasil: um approach evolucionário. *Revista Brasileira de Economia*, v. 61, p. 95-109, 2007.
- PERNICE, Raffaele. Japanese urban artificial islands: An overview of projects and schemes for marine cities during 1960s-1990s. *J Arch Plann (Trans of AIJ)*, v. 74, n. 642, p. 1847-1855, 2009.

REINSBERGER, Kathrin et al. Photovoltaic diffusion from the bottom-up: Analytical investigation of critical factors. *Applied energy*, v. 159, p. 178-187, 2015.

SABBAGHI, Asghar; VAIDYANATHAN, Ganesh. SWOT analysis and theory of constraint in information technology projects. *Information systems education journal*, v. 2, n. 23, p. 1-19, 2004.

WANG, C. M.; TAY, Z. Y. Very large floating structures: applications, research and development. *Procedia Engineering*, v. 14, p. 62-72, 2011.

WANG, C. M.; WANG, B. T. Large floating structures. *Ocean Engineering & Oceanography*, v. 3, 2015.

WATANABE, E.; UTSUNOMIYA, T.; WANG, C. M. Hydroelastic analysis of pontoon-type VLFS: a literature survey. *Engineering structures*, v. 26, n. 2, p. 245-256, 2004.

ZHOU, Jiachun et al. Hydrodynamic Performance of a Very Large Floating Structure with Oscillating Water Columns. *Journal of Marine Science and Application*, v. 22, n. 2, p. 232-246, 2023.