

ANÁLISE DE RISCOS EM ESTRUTURAS LIGADAS AO PROCESSO DE EXPLORAÇÃO DO GÁS NATURAL LIQUEFEITO EM PLANTAS *FLNG*.

Kaique Moreira Matos Magalhães¹

Armando Sá Ribeiro Junior²

Geraldo José Belmonte dos Santos³

^{1,2}Departamento de Construção e Estruturas da Universidade Federal da Bahia

³Departamento de tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana.

¹kaique.magalhaes@ufba.br, <http://lattes.cnpq.br/2970969792768557>

²asrj@ufba.br, <http://lattes.cnpq.br/2238167425213912>

³belmonte@uefs.br, <http://lattes.cnpq.br/3818648301509130>

Resumo: O gás natural liquefeito (GNL) têm atraído grande atenção das matrizes energéticas em função das crescentes preocupações com a poluição ambiental, produzida por combustíveis fósseis clássicos e usinas nucleares. No entanto, a maioria das reservas de gás estão localizadas em áreas *offshore*, dificultando assim a sua exploração, principalmente em função dos problemas ambientais e da sua segurança operacional. Portanto, o desenvolvimento da tecnologia de GNL embarcado (*FLNG*) está se tornando cada vez mais importante. Embora as tecnologias *FLNG* tenham vantagens sobre as tecnologias convencionais de GNL, ainda existem vários obstáculos. Para superar os desafios, os projetos modulares relacionados às etapas principais e típicas do processo *FLNG* devem ser aprimorados. Neste artigo são descritos os principais desafios da tecnologia empregada durante a exploração do GNL.

Palavras-chave: Gás natural liquefeito; *FLNG*; Análise de risco; Estruturas *offshore*.

1 Introdução

A busca de novos poços de exploração do petróleo tem gerado pesquisas e desenvolvimento tecnológico com o aporte de muitos recursos financeiros. Neste contexto, a descoberta de petróleo na camada de pré-sal foi sem dúvida um marco. A exploração do óleo e gás em águas profundas, no entanto, exigirá um grande avanço tecnológico para ser viabilizado. Sendo assim, faz-se necessário buscar alternativas para explorar todo o potencial desta riqueza, mitigando os efeitos deletérios sobre o meio ambiente oriundo de tal exploração.

Também, em função das possíveis descobertas de gás natural não convencional (*shale gas*) em bacias terrestres no Brasil, ganha força o uso do gás natural como uma fonte de energia alternativa ou complementar ao petróleo. O gás natural é uma energia carente de enxofre e a sua combustão é completa, liberando como produtos da mesma apenas o dióxido de carbono (CO₂) e vapor de água, sendo dois componentes não tóxicos (o dióxido de carbono é considerado ligeiramente tóxico), o que faz do gás natural uma energia ecológica e pouco poluente se comparado à outros combustíveis fósseis. Outra vantagem é a facilidade de adaptação dos equipamentos que utilizam outro tipo de combustível fóssil para o uso de gás natural.

A produção de gás natural em poços offshore é atualmente muito limitada devido aos altos custos de montagem de sistema de tubulações para escoamento do produto em longas distâncias.

O interesse crescente na comercialização de gás natural, juntamente com as previsões da indústria indicando que a demanda mundial por gás natural aumentará, tem crescido significativamente o interesse no desenvolvimento de plantas de produção de gás natural liquefeito (GNL) ou GNL embarcado (*FLNG*). A produção *offshore* de GNL é uma tecnologia emergente e, portanto, há uma falta de experiência em serviço e a necessidade de uma estrutura regulatória sólida para os requisitos de segurança (Patel et al. (2011)).

Desde que o primeiro terminal comercial de GNL foi construído em *Arzew*, na Argélia, em 1964, a produção de GNL expandiu-se continuamente. De acordo com relatórios publicados, o consumo global de GNL aumentou rapidamente. Nos EUA, antes de 2005, seu consumo aumentou 6,4% ao ano e, entre 2005 e 2010, aumentou 12,6% ao ano, enquanto, mesmo após 2010, espera-se um aumento anual de 8,5%. Na Europa, especialmente em países como Inglaterra, França, Itália e Espanha, o consumo de GNL dobrou depois de 2010. Na Ásia, o consumo de GNL de países importadores de GNL convencionais como Coreia, Japão e Taiwan aumentou rapidamente. Nos últimos 40 anos, o negócio de GNL cresceu rapidamente e é responsável por mais de 29% do comércio global de gás. (Kumar et al. (2011)).

O interesse da indústria do petróleo e gás no processo *FLNG* pode ser evidenciado pelo projeto desenvolvido por um consórcio de empresas liderado pela *Shell BP*. Para uma análise da dimensão do projeto, a planta de refrigeração terá uma capacidade de armazenamento de GNL com um volume equivalente a 175 piscinas olímpicas e o sistema de refrigeração irá bombear cerca de 50 milhões de litros de água do oceano por hora para auxiliar a liquefação do gás natural. Sua operação teve início em 2017 (Shell (2012)).

Em todo o mundo existem muitas reservas de gás natural *offshore*, isoladas de infraestrutura terrestre e muitas vezes situado em águas muito profundas. Consequentemente, o transporte econômico de gás natural entre as plantas de liquefação e regaseificação são sempre desafiadoras. Isto é de grande preocupação para a indústria naval. Já foram relatados 158 acidentes com transportadores de GNL desde o seu início (Vanem et al. (2008)).

No Brasil, houve uma iniciativa da Petrobrás na criação de um consórcio para exploração de gás natural na camada de pré-sal utilizando o processo *FLNG*. As informações disponíveis mostram que, após discussões internas dos técnicos da empresa, o processo foi interrompido devido à insegurança relativa a pouca confiabilidade que ainda existe sobre a técnica *FLNG*.

Diante do exposto anteriormente e dada a importância do tema apresentado, serão apresentados nas próximas seções os principais desafios da tecnologia, empregada para exploração do GNL, trazendo uma visão de como esses desafios poderão ser superados.

2 Cadeia de fornecimento de GNL por plantas *FLNG*

Com o volume reduzido de GN, tornou-se viável a entrega de GNL a mercados distantes. De fato, a forte demanda de gás e a descoberta de grandes reservatórios de gás disponíveis resultaram em maior atenção à liquefação do GN. Entre vários tipos de comércio de GN, a *FLNG* tem sido um setor de crescimento principal na indústria de GNL desde sua primeira instalação na *Gulf Gateway*, localizada no Golfo do México dos EUA em 2005. No entanto, grande parte das reservas de gás natural estão localizadas em poços *offshore*, exigindo assim muitos esforços para explorar e monetizar essas reservas com instalações flutuantes,

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

www.conepetro.com.br

onde é possível realizar a liquefação do GN. Embora as tecnologias *FLNG* tenham vantagens em relação às tecnologias convencionais de GNL, ainda existem vários processos que precisam ser melhorados, principalmente os aspectos relacionados à segurança operacional.

Os diagramas da cadeia de fornecimento para GNL e *FLNG* são mostrados na Figura 1, onde a sigla *RV* refere-se ao vaso de regaseificação e *FRSU* as unidades de produção e armazenagem flutuantes. Ambas as tecnologias, GNL e *FLNG*, são compostas por quatro processos principais:

- (i) Produção de gás e transporte até o terminal de liquefação;
- (ii) Liquefação, armazenamento e carregamento em transportadores de GNL;
- (iii) Transporte e descarga;
- (iv) Armazenamento, regaseificação e distribuição.

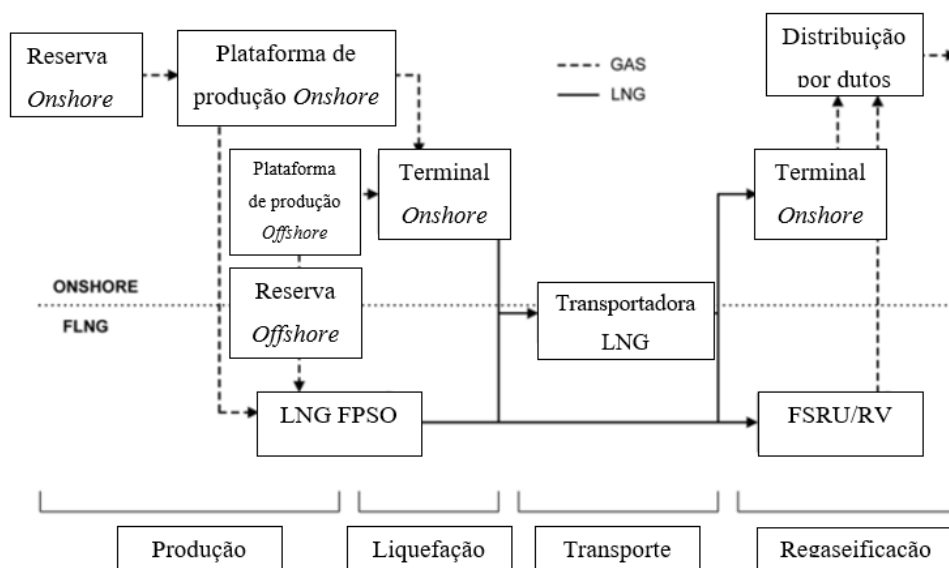


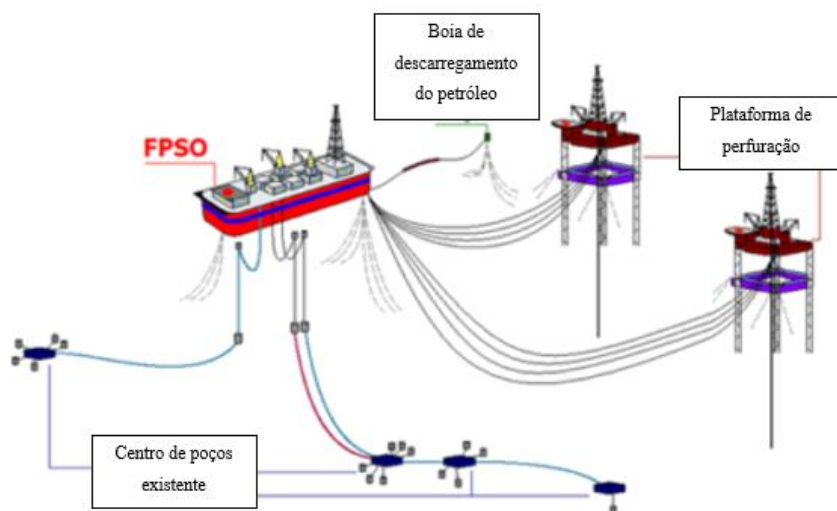
Figura 1 – Diagramas da cadeia de fornecimento para GNL e FLNG. Fonte: adaptado de Won et al., (2014)

Existem vários pré-requisitos para instalar um terminal de GNL no mar. O mais importante é construir uma plataforma apropriada que seja grande o suficiente para acomodar as estruturas relevantes. O próximo requisito é um sistema de contenção que ofereça uma área de convés plano. Um aspecto atraente do atual projeto de *FLNG* são os navios de casco de aço que são simples em projetos para transportadores de GNL e bem adaptados para liquefazer ou regaseificar o GN. Essas embarcações podem mover o GNL facilmente entre os campos sempre que necessário, em comparação com outros tipos de plataformas flutuantes. Para instalar um terminal de GNL no mar, as seguintes partes devem ser construídas (Westwood (2011)):

- (i) Produção flutuante;
- (ii) Embarcação de armazenamento e transferência (*FPSO*);

(iii) Barcaça de liquefação e unidade flutuante de armazenamento e regaseificação (*FSRU*).

Ao contrário dos *FPSO*'s produtores de óleo convencionais, os navios *FPSO* de GNL contêm de GNL a elemento gás não tubulação. utilitários



instalações liquefação bordo. O fixo recebe o tratado por Todos os e

instrumentação estão posicionados na plataforma fixa. Os terminais *FLNG* devem ser operados mesmo em condições climáticas severas. Para garantir uma operação segura e eficaz do terminal. A Figura 2 apresenta um diagrama esquemático, mostrando o sistema flutuante de produção, armazenamento e descarregamento (*FPSO*).

Figura 2 – Diagrama esquemático, mostrando o sistema flutuante de produção, armazenamento e descarregamento (*FPSO*) da cadeia de fornecimento para GNL e *FLNG*. Fonte: adaptado de (WON et al., 2014)

O descarregamento de GNL e gás entre dois navios no mar é uma operação desafiadora e difícil em condições climáticas adversas. Equipamentos específicos que fornecem descarregamento seguro e eficiente são, portanto, importantes para os operadores. É uma das tecnologias não comprovadas na indústria de *FLNG*. Existem muitos tipos de equipamentos de

descarregamento e métodos de descarregamento. Na Figura 3 é apresentado o método de descarregamento do líquido através de mangueiras criogênicas.



Figura 3 – Método de descarregamento do líquido através de mangueiras criogênicas. Fonte: (Won et al., 2014)

3 Análise de risco em estruturas FLNG

Paltrinieri, Tugnoli e Cozzani (2015) fizeram um estudo para identificação dos perigos referentes a tecnologia inovadora de regaseificação de GNL, desenvolvendo novas metodologias para análise de risco durante o processo. De acordo com estes autores, a cadeia de fornecimento de gás natural liquefeito pode ser dividida em 5 passos, que são mostrados na Figura 4.

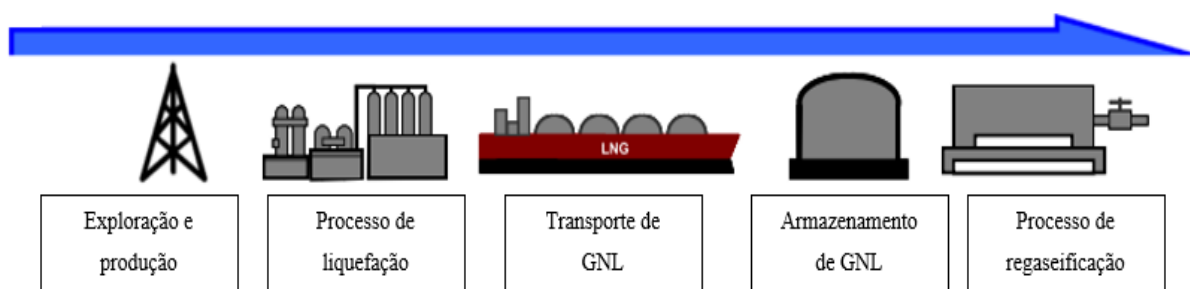


Figura 4 – Etapas da cadeia de fornecimento de gás natural liquefeito. Fonte: (Paltrinieri; Tugnoli; Cozzani, (2015))

Devido à relativa falta de experiência com essa tecnologia, empresas podem encontrar sérios problemas ao tentar identificar os perigos relacionados a tecnologias novas e alternativas, como no setor de GNL. Um exemplo representativo desta questão pode ser identificado no desenvolvimento do aproveitamento de dióxido de carbono (CO_2). O CO_2 já é tratado em muitas aplicações industriais. No entanto, a escala de manuseio deve aumentar drasticamente e os

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

www.conepetro.com.br

riscos que foram parcialmente ignorados, como asfixia e intoxicação, devem agora ser levados em consideração. (Paltrinieri; Tugnoli; Cozzani, (2015)).

Em uma das análises realizadas por Paltrinieri; Tugnoli; Cozzani (2015) estabeleceu-se uma visão geral dos principais riscos relacionados ao tipo de equipamento considerado (tanques de armazenagem, compressores, bombas, colunas e tubulações). Para cada categoria de equipamento foram identificados vários tipos de problemas como quebra de casco do navio, vazamento de gás e ruptura catastrófica além do colapso dos vasos. Esta análise introduz todos os cenários de acidentes atípicos importantes que foram identificados para a regaseificação de GNL. Um dos riscos mais impactantes identificado neste estudo é referente aos possíveis danos causados pelo líquido criogênico, por exemplo, durante um vazamento acidental. Este tipo de carga poderá ocasionar a falha de alguns componentes estruturais.

Em um estudo proposto por Patel et al. (2011) na *OTC (Offshore Technology Conference)*, definiu-se aspectos relativos à segurança operacional e algumas perspectivas regulatórias para plantas *FLNG*, em função principalmente da crescente procura na comercialização de campos de gás *offshore* acoplados às previsões da indústria indicando que a demanda mundial de GN aumentará, levando a um interesse significativo no desenvolvimento de plantas de produção de gás natural liquefeito. Foram apresentadas pelos autores algumas questões adicionais a serem avaliadas, em comparação as preocupações da técnica usual de produção de GNL (aplicações terrestres), para a produção em ambiente *offshore*:

- 1) Planta de produção de GNL (*offshore*);
- 2) Método para manuseio da carga criogênica;
- 3) Extensão do equipamento de manuseio e produção de gás a bordo;
- 4) Equipamentos existentes no convés e nos tanques de armazenamento de GNL;
- 5) Manutenção e inspeção;
- 6) Multiplicidade de operações e complexidade;
- 7) Múltiplos produtos para armazenamento e capacidade de armazenamento no interior;

Nos últimos anos, vários proponentes da tecnologia GNL, desenvolvedores e grandes empresas de petróleo, solicitaram fornecer requisitos de classificação para a tecnologia a ser utilizada em uma aplicação *offshore* de uma instalação de produção de GNL. Ao desenvolver requisitos de classificação para uma nova tecnologia, a *ABS (American Bureau of Shipping)* adota a seguinte metodologia de avaliação:

- a) Desenvolver uma compreensão da concepção;
- b) Identificar os novos aspectos do projeto proposto;

- c) Identificar os perigos e preocupações de segurança decorrentes da concepção e dos novos recursos específicos;
- d) Identificar os requisitos e padrões marinhos e *offshore* existentes;
- e) Utilizar a análise para identificar as áreas do projeto para as quais não existem atualmente normas marítimas relevantes;
- f) Aplicar os princípios e metodologia de risco para identificação de riscos.

Vários conceitos de *FLNG* propostos até hoje têm vários elementos comuns de perspectivas de tecnologia e aplicação. Todos os conceitos propuseram o uso de várias tecnologias existentes que possuem ampla experiência em aplicações terrestres ou marítimas. O processamento de gás, a liquefação e a tecnologia de fracionamento selecionada são baseadas na experiência terrestre. A tecnologia de armazenamento de carga (GNL, GPL e condensado) baseia-se no transporte de gases de petróleo liquefeitos a granel num ambiente marinho, como transportadores de GNL e GPL. A tecnologia para casco, amarração, acomodação, produção submarina, integração de instalações de processo, etc. vem da experiência de *FPSO offshore*. Considera-se que a nova tecnologia inclui a transferência de carga criogênica em ambiente *offshore* (Patel et al. (2011)).

O desafio para a *FLNG* é determinar a aplicabilidade e a segurança da tecnologia selecionada para aplicação *offshore*. Os regimes regulatórios de segurança *offshore* para a indústria marítima provêm de várias camadas de regulamentação e supervisão, incluindo a Organização Marítima Internacional (OMI) e a jurisdição local. As equipes técnicas desenvolvem e estabelecem requisitos técnicos para a integridade estrutural e mecânica das

estruturas marinhas com base em sua própria experiência. Os códigos e padrões da indústria que fornecem requisitos técnicos também podem ser uma base para a integridade estrutural e mecânica de equipamentos ou componentes específicos. A classificação em função da segurança ocorre da maneira apresentada pela Figura 5

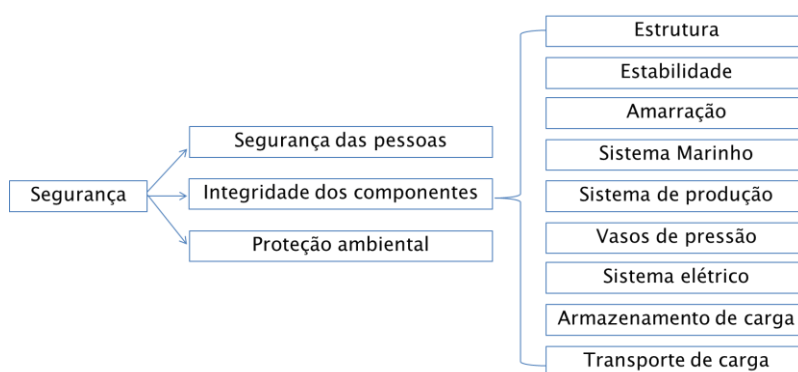


Figura 5 – Fluxograma da classificação das etapas para garantia da segurança. Fonte : Adaptado de (Patel et al., (2011)).

Um *FPSO* de GNL, é uma combinação de liquefação, armazenamento e descarga de GNL, foi avaliada pela *ABS* como uma nova tecnologia, em relação aos novos desafios dos requisitos de segurança, a listagem de identificação dos principais riscos envolvidos foram:

- 1) Risco de derramamento do líquido criogênico (GNL), incêndio e explosão.
- 2) Restrições em relação aos equipamentos.
- 3) Perigo para as pessoas referentes as baixas temperaturas.
- 4) Rotas de fuga e alojamento para as pessoas envolvidas nos processos.

Segundo Patel et al. (2011) o derramamento de GNL e a dispersão de vapor após a liberação acidental dos tanques de armazenamento tem sido um assunto desafiador. Muitas experiências e teorias foram estabelecidas para modelar tais cenários nas plantas de liquefação de GNL. Os perigos do vapor de GNL incluem o fogo, explosão, toxicidade, corrosão, reatividade e baixa temperatura. Os derramamentos de GNL e a dispersão envolvem os riscos de danos no casco e no convés do navio.

4 Resultados e Discussão

Pelo fato do *FLNG* ser uma tecnologia emergente, seu estudo e produção vem sendo rapidamente ampliados em diversos países. Visto que ainda há um déficit em relação à eficiência total de todo o processo empregado nessa exploração, seus riscos são identificados para constatar-se soluções. No desenvolvimento de normas, a grande preocupação para a *ABS* é a promoção da segurança da vida e do meio ambiente. Portanto, o foco principal destas análises é a aplicação segura desta tecnologia em unidades flutuantes *offshore* e não a otimização do projeto com relação à eficiência.

Verificados os processos, as adversidades preponderantes detectadas pelos autores referem-se às singularidades de cada equipamento utilizado, quebra de casco do navio, vazamento de gás, rupturas dos equipamentos e aos prováveis malefícios gerados pelo líquido criogênico durante um vazamento acidental.

A integridade dos componentes deve ser considerada no projeto, para garantia da segurança global da estrutura. Os principais riscos para este tipo de elemento são referentes à amarração da estrutura, estabilidade dos componentes, armazenamento de carga, vasos de pressão, sistema elétrico e transporte de carga.

Uma das maneiras para prever esses riscos são as análises feitas com modelos reduzidos (protótipos) para simular os efeitos gerados pelas situações identificadas nas análises de riscos. Com este tipo de estudo é possível prever o comportamento dos elementos sob tais condições podendo-se avaliar a garantia da segurança. Portanto, mais recursos deverão ser dispostos para que as empresas ou instituições de pesquisa tenham condições mais adequadas para realização deste tipo de estudo. Atualmente o Grupo de Inovação Tecnológica (GITEC) da UFBA-Universidade Federal da Bahia em cooperação com o Departamento de Tecnologias Marinhas da *NTNU - Norwegian University of Science and Technology* têm desenvolvido pesquisas que envolvem a avaliação de cargas acidentais em elementos submetidos à vazamentos criogênicos com objetivo de prever o comportamento dos materiais sob tais condições para, enfim, avaliar a integridade desses componentes.

5 Conclusões

Diante das informações apresentadas anteriormente pode-se destacar que a maioria dos riscos, envolvidos no processo de obtenção do GNL, são gerados pela temperatura criogênica que é um fator determinante na integridade tanto operacional como pessoal de todos os envolvidos. Portanto, é de suma importância o estudo do efeito produzido pela temperatura criogênica

quando entra em contato com os elementos estruturais não projetados para este fim.

6 Referências

KUMAR, S.; KWON, H.; CHOI, K.; CHO, J. H.; LIM, W.; MOON, I. **Current status and future projections of LNG demand and supplies** : A global prospective. *Energy Policy*, v. 39, n. 7, p. 4097–4104, 2011.

PALTRINIERI, N.; TUGNOLI, A.; COZZANI, V. **Hazard identification for innovative LNG regasification technologies**. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 137, p. 18–28, 2015.

PATEL, H. N.; RYNN P.; WANG X.; DAS B.; PHAM M. **Safety and Regulatory Perspective for Floating LNG plant Offshore (FLNG)**. *Proceedings of OTC Brasil*, 2011.

WON, W.; LEE, S. K.; CHOI, K.; KWON Y. **Current trends for the floating liquefied natural gas (FLNG) technologies**. *Korean Journal of Chemical Engineering*, v. 31, n. 5, p. 732–743, 2014.

ABS. **Guide for Building and Classing Floating Offshore Liquefied Gas Terminals**. Houston: American Bureau of Shipping, 2015.

Liquefied Natural Gas: **Understanding the Basic Facts**; DOE NETL, 2005.

LNG Technology. Disponível em <<http://www.airproducts.com/~media/Files/PDF/industries/energy-lng-brochure-0408.ashx>> Acesso, 3 de maio de 2018.

Kirillov, N. G. **Analysis of Modern Natural Gas Liquefaction Technologies**. *Chem. Pet. Eng.* 2004, 40 (7–8), 401–406

Abegás redação. **Nova chance para o FLNG**. Disponível em: <<http://www.abegas.org.br/Site/?p=48391>>. Acesso em: 10 março de 2018.

International energy agency. **Key world energy statistics**. Disponível em: http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html> Acesso em 12 de maio de 2018.

VANEM, E., ANTÃO, P., OSTVIK, I., DE COMAS, F.D.C., 2008. **Analysing the risk of LNG carrier operations**. *Reliability Engineering & System Safety* 93, 1328-1344.

Shell's Prelude FLNG Project, Browse Basin, Australia. **Offshore Technology**. Outubro 2014.