

# **Análise da Viabilidade Económica de Operações de Abastecimento de Gás Natural Liquefeito como Combustível Marítimo em Portugal**

**João Miguel Costa Marques**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Naval e Oceânica**

**Júri**

Presidente: Professor Carlos António Pancada Guedes Soares

Orientador: Professor Tiago Alexandre Rosado Santos

Vogal: Professor Manuel Filipe Simões Franco Ventura

**Junho 2019**



## **Agradecimentos**

Ao Professor Tiago Santos pelo apoio, ajuda e dedicação constantes. Pelos ensinamentos e experiência transmitida. Pela oportunidade de ter permitido trabalhar sobre um tema inovador e motivador.

Ao Professor Rui Botter por estar sempre disponível para me receber, por toda a ajuda e conselhos cruciais à implementação do modelo de simulação.

Aos meus amigos. Pelos momentos passados e histórias para contar.

À minha família. À minha mãe, ao meu pai e irmão. Por me apoiarem incondicionalmente, por estarem sempre presentes.

A todos, obrigado.



## Resumo

Os problemas ambientais derivados de um desenvolvimento não sustentável são visíveis e têm vindo a manifestar-se mais do que nunca. Atualmente existem várias medidas que visam servir de barreira à evolução das alterações climáticas e à degradação da qualidade do ar, muitas destas ao nível de uma transição para combustíveis alternativos. O transporte marítimo é um dos modos de transporte mais difícil de ser descarbonizado e um dos responsáveis por elevadas emissões de poluentes altamente prejudiciais ao ambiente e aos ecossistemas, maioritariamente Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) e Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>). Por esta razão trata-se de um contribuinte ativo para a poluição do ambiente e, por isso, um dos setores onde devem ser aplicadas medidas rigorosas e eficazes, algumas das quais já atualmente em vigor.

O Gás Natural Liquefeito (GNL) utilizado como combustível marítimo é uma alternativa viável aos combustíveis diretamente derivados do petróleo, permitindo atenuar os problemas ambientais que se têm manifestado e cumprir com a legislação aplicável ao transporte marítimo. Contudo, apresenta-se como uma fonte de energia recente quando utilizado para a propulsão de navios e, por isso, são muitas as dúvidas quanto à viabilidade económica de negócios futuros que compreendem o abastecimento de GNL a navios. Deste modo torna-se indispensável serem desencadeados estudos a fim de analisar a viabilidade económica desta solução. O presente trabalho surge como uma possível ferramenta para ajudar a dar resposta à viabilidade económica de um negócio de aprovisionamento de GNL na costa portuguesa, recorrendo a um navio de abastecimento sediado no porto de Sines.

O presente trabalho é assente em três pontos cruciais: previsão da procura futura de GNL na costa portuguesa e nas ilhas, simulação de abastecimento de GNL a navios e análise económico-financeira. Para a previsão da procura futura são construídos diversos cenários tendo como horizonte o ano de 2030. Visto que são muitas as dúvidas acerca do comportamento futuro deste combustível no setor marítimo torna-se necessário analisar diversos cenários e tirar ilações sobre cada um. Os portos em estudo são os portos de Sines, Leixões, Lisboa, Funchal e Ponta Delgada. A simulação de abastecimento consiste numa simulação de eventos discretos através do programa de simulação ARENA. Este permite avaliar a operação do navio de abastecimento perante os diversos cenários de procura de GNL e perante a aleatoriedade de alguns eventos e processos necessários às operações de abastecimento. Por último tem-se a análise económico-financeira. Consiste no processo com o qual é possível obter o Frete Mínimo Requerido (FMR), isto é, o custo adicional do combustível a cobrar ao cliente por cada tonelada de GNL fornecido. Trata-se de uma medida de mérito obtida através do fluxo de caixa, ferramenta financeira que permite analisar a viabilidade económica de um dado negócio.

Constata-se que o custo adicional de combustível a ser cobrado na costa portuguesa e nas ilhas é superior ao custo cobrado em países pertencentes à União Europeia (UE). Por esta razão acredita-se que seja pouco provável que Portugal venha a competir com países vizinhos e a atrair potenciais clientes, muito devido a valores de procura previstos muito reduzidos nos portos em estudo.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade, Transporte marítimo, Emissões, Bancas marítimas, GNL, Custo.



## Abstract

The environmental problems derived from unsustainable development are visible and have been manifesting more than ever before. There are several measures to prevent the evolution of climate change and the degradation of air quality, many of which characterized by a transition to alternative fuels. Maritime transport is one of the most difficult modes of transport to be decarbonised and one of the biggest responsible for high emissions of pollutants highly harmful to the environment and to ecosystems, mainly Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) and Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>). For this reason, it is an active contributor to environmental pollution and, therefore, one of the sectors where strict and effective measures must be applied, some of which are already currently in force.

Liquefied Natural Gas (LNG) used as a marine fuel is an alternative to directly petroleum-based fuels, allowing mitigation of the environmental problems which have been manifesting and to comply with regulations applied to navigation. However, it is a recent source of energy when used for the propulsion of ships and, consequently, there are many concerns about the economic feasibility of providing an LNG bunkering service to ships. It is therefore essential to carry out studies in order to analyse the economic feasibility of this solution. The main aim of this project is to obtain conclusions about an LNG bunkering service to ships in the Portuguese coast and Atlantic islands, using a supply vessel based in the port of Sines.

This project is based on three crucial points: LNG demand forecast in the Portuguese coast and Atlantic islands, simulation of LNG bunkering operations to ships and an investment analysis. In order to predict LNG future demand, several scenarios are built having as limit the year of 2030. As there are many doubts about the future behaviour of this fuel as ship fuel it is necessary to analyse different scenarios and draw conclusions about each one. The ports under study are the ports of Sines, Leixões, Lisbon, Funchal and Ponta Delgada. The simulation of LNG bunkering operations consists of a simulation of discrete events carried out in ARENA simulation software. This allows evaluating the bunkering vessel behaviour according to different LNG demand scenarios and to some random events and processes associated with supply operations. Lastly, there is the economic feasibility analysis. It consists of the process with which it is possible to obtain the Required Freight Rate (RFR), the same as saying the surcharge charged to the customer for each ton of LNG supplied. It consists in a merit measure obtained through the cash flow, a financial tool that allows analysing the economic feasibility of a given business.

It is noted that the surcharge to be applied in the Portuguese coast and in the Atlantic islands is higher when compared with the surcharge required in other countries belonging to the European Union (EU). For this reason is unlikely that Portugal will compete with neighbouring countries and attract potential customers, in part due to the very low demand forecasted for the ports under study.

**Key Words:** Sustainability, Maritime transportation, Emissions, Bunkering, LNG, Cost.





# Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo .....	iii
Abstract.....	v
Índice .....	vii
Lista de Figuras .....	xiii
Lista de Tabelas .....	xvii
Lista de Acrónimos .....	xix
Símbolos e Unidades .....	xxiii
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização do Problema .....	1
1.1.1. Revolução Industrial.....	1
1.1.2. Impactos Negativos da Industrialização .....	2
1.1.3. Mitigação e Adaptação.....	3
1.1.4. Transporte Marítimo Internacional .....	5
1.1.4.1. Regras Aplicadas pela União Europeia.....	8
1.1.4.2. Potencial de Portugal no Transporte Marítimo.....	8
1.2. Objetivos .....	10
1.3. Estrutura da Dissertação .....	10
2. Revisão Bibliográfica .....	11
2.1. Gás Natural.....	11
2.1.1. Transporte e Distribuição .....	11
2.1.2. Aplicações .....	12
2.1.3. Vantagens e Desvantagens .....	13
2.2. Tipos de Navios que Utilizam GNL.....	14
2.2.1. Navios em Operação, Pedidos Registados e Navios Preparados para Conversão.....	15
2.2.2. Área de Operação .....	16
2.2.3. Localização de Pontos de Abastecimento de GNL.....	17
2.2.4. Tecnologia dos Motores.....	17
2.3. Métodos de Abastecimento de GNL a Navios.....	18

2.3.1. Abastecimento TTS.....	20
2.3.2. Abastecimento STS .....	20
2.3.3. Abastecimento PTS .....	20
2.4. Vantagens e Desvantagens de cada Solução.....	21
2.4.1. Abastecimento TTS.....	21
2.4.2. Abastecimento STS .....	21
2.4.3. Abastecimento PTS .....	22
2.5. Custos das várias Soluções de Abastecimento .....	22
2.6. Previsões da Procura do GNL no Sector Marítimo .....	24
3. Metodologia .....	25
3.1. Estimativa da Procura de GNL nos Portos Nacionais.....	25
3.1.1. Penetração dos Navios Movidos a GNL na Frota Mundial.....	26
3.1.2. Fator de Correção para a Penetração de Navios nos Portos Portugueses.....	30
3.1.3. Número de Entrada de Navios nos Portos Portugueses .....	30
3.1.4. Probabilidade de Abastecimento .....	32
3.1.5. Capacidade Média dos Tanques de Combustível .....	33
3.1.6. Volume de Combustível abastecido .....	34
3.1.7. Síntese do Método de Estimativa de Procura de GNL .....	35
3.2. Simulação do Sistema de Abastecimento de GNL como Combustível Marítimo.....	36
3.2.1. Modelo de Viagem .....	36
3.2.1.1. Navios de Abastecimento Utilizados .....	38
3.2.1.2. Duração das Viagens .....	39
3.2.1.3. Duração dos Processos de Reabastecimento e Abastecimento .....	40
3.2.1.4. Tomada de Decisão .....	41
3.2.2. Pedidos de Abastecimento Requisitados .....	41
3.2.3. Simulação do Sistema .....	42
3.3. Análise Económico-Financeira .....	42
3.3.1. Custos do Navio .....	42
3.3.1.1. Custos de Capital .....	43
3.3.1.2. Custos Operacionais .....	43

3.3.1.3. Custos de Manutenção Periódica .....	45
3.3.1.4. Custos de Viagem .....	45
3.3.1.5. Custo de Manuseamento do GNL.....	47
3.3.2. Fluxo de Caixa .....	47
4. Estudo da Procura de GNL como Combustível Marítimo .....	49
4.1. Penetração dos Navios Movidos a GNL.....	49
4.1.1. Navios de Passageiros .....	49
4.1.2. Grupo de Navios PSV/Patrolha/Outros.....	49
4.1.3. Navios Tanque .....	50
4.1.4. Navios Ro-Ro .....	50
4.1.5. Navios de Carga Geral.....	50
4.1.6. Navios Porta-Contentores.....	51
4.1.7. Navios Graneleiros.....	51
4.2. Número de Navios que recorrem aos Portos Portugueses .....	52
4.2.1. Número Médio de Navios.....	52
4.2.2. Número Médio de Navios com Incremento Anual .....	53
4.3. Resultados da Estimativa da Procura de GNL nos Portos Marítimos .....	53
4.3.1. Procura de GNL em função da Procura Mundial de 20 Milhões de Toneladas .....	53
4.3.2. Procura de GNL em função da Procura Mundial de 30 Milhões de Toneladas .....	54
4.4. Comparação dos Valores Obtidos pela Estimativa da Procura de GNL .....	55
5. Simulação do Abastecimento de GNL como Combustível Marítimo .....	57
5.1. Custos de Capital, Custos Operacionais e Custos de Manutenção Periódica.....	58
5.1.1. Custos de Capital .....	58
5.1.2. Custos Operacionais.....	59
5.1.3. Custos de Manutenção Periódica .....	60
5.2. Frete Mínimo Requerido .....	60
5.2.1. Resultados Médios do FMR relativos ao Navio de Abastecimento de 1,530 m <sup>3</sup> .....	61
5.2.2. Resultados Médios do FMR relativos ao Navio de Abastecimento de 3,000 m <sup>3</sup> .....	62
5.2.3. Resultados do FMR obtidos em cada Replicação do mesmo Sistema .....	63
5.2.3.1. Resultados do FMR em função do Navio de Abastecimento de 1,530 m <sup>3</sup> .....	63

5.2.3.2. Resultados do FMR em função do Navio de Abastecimento de 3,000 m <sup>3</sup> .....	65
5.2.4. Conclusão quanto à Capacidade Ótima .....	66
5.3. Resultados da Simulação do Abastecimento de GNL.....	67
5.3.1. Navio de 1,530 m <sup>3</sup> , Cenário de Procura 4.b e Quantidade Limite de 1,020 m <sup>3</sup> .....	67
5.3.2. Considerações acerca do Programa de Simulação e dos Resultados Obtidos .....	69
5.4. Fluxo de Caixa .....	71
5.4.1. Custos Variáveis .....	71
5.4.1.1. Custos de Viagem .....	71
5.4.1.2. Custo de Manuseamento do GNL .....	72
5.4.2. Receitas .....	73
5.4.3. Considerações acerca dos Custos Variáveis e das Receitas .....	73
5.5. Análise Económico-Financeira .....	74
5.5.1. Resultados Económico-Financeiros de Estudos Similares .....	74
5.5.2. Comparação de Resultados.....	76
6. Conclusões e Recomendações.....	79
6.1. Conclusões .....	79
6.2. Recomendações .....	80
7. Referências Bibliográficas .....	81
ANEXOS.....	85
ANEXO A – Infraestruturas Marítimo-Portuárias para GNL.....	87
ANEXO B – Tipos de Navios Movidos a GNL (navios mais relevantes de acordo com a Figura 11) ..	89
ANEXO C – Áreas de Operação de Navios Movidos a GNL .....	91
ANEXO D – Métodos mais adequados para alguns Tipos de Navios .....	93
ANEXO E – Fluxograma do Modelo de Viagem .....	95
ANEXO F – Características principais e Arranjo Geral (Navio de abastecimento de 3,000 m <sup>3</sup> ) .....	97
ANEXO G – Resultados obtidos para a Procura de GNL nos Portos Portugueses (1.a).....	99
ANEXO H – Resultados obtidos para a Procura de GNL nos Portos Portugueses (1.b) .....	101
ANEXO I – Resultados obtidos para a Procura de GNL nos Portos Portugueses (2.a).....	103
ANEXO J – Resultados obtidos para a Procura de GNL nos Portos Portugueses (2.b) .....	105
ANEXO K – Resultados obtidos para a Procura de GNL nos Portos Portugueses (3.a) .....	107

ANEXO L – Resultados obtidos para a Procura de GNL nos Portos Portugueses (3.b).....	109
ANEXO M – Resultados obtidos para a Procura de GNL nos Portos Portugueses (4.a).....	111
ANEXO N – Resultados obtidos para a Procura de GNL nos Portos Portugueses (4.b) .....	113
ANEXO O - Resultados do FMR obtidos em cada Replicação do mesmo Sistema (Navio de Abastecimento de 1,530 m <sup>3</sup> ) .....	115
ANEXO P - Resultados do FMR obtidos em cada Replicação do mesmo Sistema (Navio de Abastecimento de 3,000 m <sup>3</sup> ).....	117
ANEXO Q - Resultados da simulação do abastecimento de GNL (Sistema: 1,530 m <sup>3</sup> , Cenário de Procura 4.b e Quantidade Limite de 1,020 m <sup>3</sup> ; 1 <sup>a</sup> replicação) .....	119
ANEXO R - Resultados da simulação do abastecimento de GNL (Sistema: 1,530 m <sup>3</sup> , Cenário de Procura 2.b e Quantidade Limite de 1,020 m <sup>3</sup> ; 1 <sup>a</sup> replicação) .....	121
ANEXO S – Fluxo de caixa (Sistema: 1,530 m <sup>3</sup> , Cenário de Procura 2.b/4.b e Quantidade Limite de 1,020 m <sup>3</sup> ; 1 <sup>a</sup> replicação/ T.J: 6%; T.R:8%) .....	123
ANEXO T– Mapa dos portos marítimos portugueses considerados (utilizado na simulação gráfica do programa ARENA).....	125



## Lista de Figuras

Figura 1 - Desvios médios de temperatura do ar em relação à temperatura média registada no período compreendido entre os anos de 1986 e 2005, adaptado de (IPCC, 2014). .....	2
Figura 2 - Emissão de GEE por modos de transporte no ano de 2010, adaptado de (IPCC, 2014). .....	4
Figura 3 - Emissão dos principais poluentes atmosféricos por modos de transporte no ano de 2015 através de dados recolhidos nos 28 Estados-membros, adaptado de (AEA, 2017). .....	5
Figura 4 - ECAs em vigor estabelecidas pelo Anexo VI da MARPOL, retirado de (DNV GL, 2014). .....	5
Figura 5 - Evolução do teor máximo de enxofre presente nos combustíveis navais, expresso em massa de enxofre por massa de combustível (Resolução MEPC.176[58]). .....	6
Figura 6 - Limites às emissões de NO <sub>x</sub> consoante as diferentes categorias e em função da velocidade nominal do motor (Resolução MEPC.176[58]). .....	6
Figura 7 - Intensidade do tráfego marítimo no ano de 2007 e a nível mundial de todos os navios de carga com GT superior a 10,000, adaptado de (Kaluza <i>et al.</i> , 2010). .....	8
Figura 8 - Cadeia de transporte e distribuição de GN e GNL, adaptado de (EMSA, 2016). .....	11
Figura 9 - Quantidades de GN, expresso em bilhões de m <sup>3</sup> , transportado nas principais rotas marítimas e terrestres no ano de 2016, adaptado de (BP, 2017). .....	12
Figura 10 – Emissões de CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM e SO <sub>x</sub> do GNL em comparação com o HFO (EMSA, 2016). .....	14
Figura 11 – Número de navios movidos a GNL, navios em operação e número de pedidos registados consoante o tipo de navio, adaptado de (DNV GL, 2018). .....	15
Figura 12 - Evolução do número de navios em operação, pedidos registados e de navios preparados para a conversão para o GNL, adaptado de (DNV GL, 2018). .....	16
Figura 13 - Área de operação de navios movidos a GNL, adaptado de (DNV GL, 2018). .....	16
Figura 14 - Número de pontos de abastecimento de GNL existentes, aprovados e em discussão, adaptado de (DNV GL, 2018). .....	17
Figura 15 – Tipo de tecnologia dos motores nos navios em operação e nos navios requisitados, adaptado de (DNV GL, 2018). .....	17
Figura 16 – Representação geral dos percursos possíveis de aprovisionamento de GNL a navios nalguns países do Norte da Bélgica, adaptado de (MPE, 2012). .....	18
Figura 17 - Métodos de abastecimento de GNL a navios, retirado de (CRYOGAS). .....	19
Figura 18 - Previsão da procura futura de GNL nos portos portugueses (Cid, 2014). .....	24
Figura 19 - Exemplo da evolução da penetração de navios movidos a GNL no porto de Antuérpia descrita por uma função sigmóide (Aronietis <i>et al.</i> , 2016) .....	26

Figura 20 - Evolução do número de navios movidos a GNL de acordo como os vários tipos de navio (DNV GL, 2018).....	27
Figura 21 - Previsão do número de navios movidos a GNL, adaptado de (Aronietis <i>et al.</i> , 2016).....	28
Figura 22 - Evolução do número de navios de carga da frota mundial (EMSA, 2006-2016). ....	29
Figura 23 - Evolução do número de navios no porto de Sines (APS). ....	31
Figura 24 - Evolução do número de navios no porto de Lisboa (APL). ....	31
Figura 25 - Evolução do número de navios no porto de Leixões (APDL).....	31
Figura 26 - Evolução do número de navios no porto do Funchal (APRAM). ....	32
Figura 27 - Evolução do número de navios no porto de Ponta Delgada (APA).....	32
Figura 28 - Capacidade dos tanques de GNL de acordo com o tipo de navio (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015; DME, 2010; Thygesen, J., 2015; ESL Shipping; EVERGAS; EU, 2015; IMO, 2016)....	33
Figura 29 - Portos marítimos portugueses nos quais são necessárias operações de abastecimento, retirado de (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015). ....	36
Figura 30 – Estimativa da potência necessária em função da velocidade do navio. ....	46
Figura 31 - Penetração de navios de passageiros na frota mundial em função dos diversos cenários. ....	49
Figura 32 - Penetração do grupo PSV/Patrolha/Outros na frota mundial em função dos diversos cenários. ....	49
Figura 33 - Penetração de navios tanque na frota mundial em função dos diversos cenários. ....	50
Figura 34 - Penetração de navios Ro-Ro na frota mundial em função dos diversos cenários.....	50
Figura 35 - Penetração de navios de carga geral na frota mundial em função dos diversos cenários.51	
Figura 36 - Penetração de navios porta-contentores na frota mundial em função dos diversos cenários. ....	51
Figura 37 - Penetração de navios graneleiros na frota mundial em função dos diversos cenários. ....	51
Figura 38 - Procura de GNL nos portos portugueses em função da procura mundial de 20 Milhões de toneladas. ....	53
Figura 39 - Procura de GNL nos portos portugueses em função da procura mundial de 30 Milhões de toneladas. ....	54
Figura 40 - Comparação entre os cenários de procura dados pelo projeto COSTA (Cid, 2014) e os cenários de procura obtidos em função da procura mundial de 30 Milhões de toneladas. ....	56
Figura 41 - Componentes do empréstimo bancário em função do navio de 1,530 m <sup>3</sup> e taxa de juro de 6%.....	58



Figura 42 - Componentes do empréstimo bancário em função do navio de 1,530 m <sup>3</sup> e taxa de juro de 8%.....	58
Figura 43 - Evolução dos custos operacionais em função do navio de 1,530 m <sup>3</sup> . .....	59
Figura 44 - Peso dos custos operacionais em função do navio de 1,530 m <sup>3</sup> . .....	60
Figura 45 - Evolução dos custos de manutenção periódica em função do navio de 1,530 m <sup>3</sup> . .....	60
Figura 46 - Resultados do FMR em função do navio de 1,530 m <sup>3</sup> , cenário de procura 2.b, modelo de negócio com taxa de juro de 6% e taxa de retorno de 8% e de todas as quantidades limites.....	63
Figura 47 - Resultados do FMR em função do navio de 1,530 m <sup>3</sup> , cenário de procura 2.b, modelo de negócio com taxa de juro de 8% e taxa de retorno de 10% e de todas as quantidades limites.....	64
Figura 48 - Resultados do FMR em função do navio de 1,530 m <sup>3</sup> , cenário de procura 4.b, modelo de negócio com taxa de juro de 6% e taxa de retorno de 8% e de todas as quantidades limites.....	64
Figura 49 - Resultados do FMR em função do navio de 1,530 m <sup>3</sup> , cenário de procura 4.b, modelo de negócio com taxa de juro de 8% e taxa de retorno de 10% e de todas as quantidades limites.....	64
Figura 50 - Resultados do FMR em função do navio de 3,000 m <sup>3</sup> , cenário de procura 2.b, modelo de negócio com taxa de juro de 6% e taxa de retorno de 8% e de todas as quantidades limites.....	65
Figura 51 - Resultados do FMR em função do navio de 3,000 m <sup>3</sup> , cenário de procura 2.b, modelo de negócio com taxa de juro de 8% e taxa de retorno de 10% e de todas as quantidades limites.....	65
Figura 52 - Resultados do FMR em função do navio de 3,000 m <sup>3</sup> , cenário de procura 4.b, modelo de negócio com taxa de juro de 6% e taxa de retorno de 8% e de todas as quantidades limites.....	66
Figura 53 - Resultados do FMR em função do navio de 3,000 m <sup>3</sup> , cenário de procura 4.b, modelo de negócio com taxa de juro de 8% e taxa de retorno de 10% e de todas as quantidades limites.....	66
Figura 54 – Peso da duração dos processos de acordo com o navio de 1,530 m <sup>3</sup> , cenário de procura 2.b e quantidade limite de 1,020 m <sup>3</sup> . .....	68
Figura 55 - Momento em que o pedido de abastecimento é efetuado para todos os pedidos atendidos de acordo com o navio de 1,530 m <sup>3</sup> , cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m <sup>3</sup> . .....	69
Figura 56 - Custos de viagem de acordo com o navio de 1,530 m <sup>3</sup> , cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m <sup>3</sup> . .....	72
Figura 57 - Custos de manuseamento do GNL de acordo com o navio de 1,530 m <sup>3</sup> , cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m <sup>3</sup> . .....	72
Figura 58 – Receitas do abastecimento de GNL de acordo com o navio de 1,530 m <sup>3</sup> , cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m <sup>3</sup> . .....	73
Figura 59 - Custo adicional de combustível (DMA, 2012). .....	74
Figura 60 - Custo adicional de combustível, adaptado de (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015). ...	75
Figura 61 - Custo adicional de combustível (Filippi, E.,2015). .....	76

Figura 62 - Comparação do custo adicional de combustível através de estudos semelhantes ..... 77

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens da utilização de GN como fonte de energia (WEC, 2016). ....	13
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens do GNL, combustíveis com teor de enxofre reduzido e HFO + <i>Scrubber</i> , adaptado de (IMO, 2016).....	13
Tabela 3 - Principais vantagens e desvantagens do método de abastecimento TTS.....	21
Tabela 4 - Principais vantagens e desvantagens do método de abastecimento STS.....	22
Tabela 5 - Principais vantagens e desvantagens do método de abastecimento PTS.....	22
Tabela 6 - Custos de investimento para os diferentes métodos de abastecimento, adaptado de (EU, 2015).....	23
Tabela 7 - Previsão da procura futura de GNL a nível mundial expressa em Milhões de toneladas, retirado de (Oxford Institute for Energy Studies, 2018).....	24
Tabela 8 – Número anual de novas construções de navios movidos a GNL para satisfazer a procura estimada no setor marítimo, adaptado de (Oxford Institute for Energy Studies, 2018).....	27
Tabela 9 - Número total de navios em operação e de pedidos requisitados e respetiva percentagem (DNV GL, 2018).....	29
Tabela 10 - Volume médio dos tanques de GNL para vários tipos de navios. ....	34
Tabela 11 - Síntese dos parâmetros considerados para a construção dos diferentes cenários de procura de GNL. ....	35
Tabela 12 - Características principais do navio de abastecimento com capacidade de 1,530 m <sup>3</sup> , adaptado de (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015). ....	38
Tabela 13 - Características principais do navio de abastecimento com capacidade de 3,000 m <sup>3</sup> (Wärtsilä). ....	39
Tabela 14 - Distância expressa em milhas náuticas entre os portos marítimos considerados (APA, 2015; T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015).....	39
Tabela 15 - Custo de aquisição de alguns navios de abastecimento (Adaptado de [EU, 2015]).....	43
Tabela 16 - Parâmetros para implementação da análise financeira (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015).....	48
Tabela 17 - Número médio de entradas dos vários tipos de navios nos portos portugueses. ....	52
Tabela 18 - Número médio de entradas dos vários tipos de navios nos portos portugueses no ano de 2030 considerando um aumento anual de 3%.....	53
Tabela 19 – Resultados médios do FMR, expresso em euros/tonelada, obtidos em função do navio de 1,530 m <sup>3</sup> . ....	61

Tabela 20 - Resultados médios do FMR, expresso em euros/tonelada, obtidos em função do navio de 3,000 m <sup>3</sup> .....	62
Tabela 21 - Duração dos processos e quantidade de GNL adquirida e vendida de acordo com o navio de 1,530 m <sup>3</sup> , cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m <sup>3</sup> . .....	67

## Lista de Acrónimos

AEA	Agência Europeia do Ambiente
AIE	Agência Internacional de Energia
APA	Administração da Portos dos Açores
APDL	Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo
APL	Administração do Porto de Lisboa
APRAM	Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira
APS	Administração dos Portos de Sines e do Algarve
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Etano
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Propano
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Butano
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Pentano
CH <sub>4</sub>	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
COVNM	Compostos Orgânicos Voláteis exceto CH <sub>4</sub>
CQNUAC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
DNV GL	Det Norske Veritas
ECAs	Zonas de Controlo de Emissões
EEDI	Índice de Eficiência Energética
FEU	Contentor padrão de 40 Pés
FMR	Frete Mínimo Requerido
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GN	Gás Natural
GNL	Gás Natural Liquefeito
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
GT	Arqueação Bruta
H <sub>2</sub> S	Sulfureto de Hidrogénio

HFO	Fuelóleo Pesado
IMO	Organização Marítima Internacional
IPCC	Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas
IRC	Imposto sobre o Rendimento das Pessoas Coletivas
LR	Lloyd's Register
MARPOL	Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios
MCR	Potência Máxima Propulsora
MDO	Óleo Diesel Naval
MGO	Gasóleo Naval
N <sub>2</sub>	Azoto
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
NECAs	Zonas de Controlo de Emissões de Azoto
NH <sub>3</sub>	Amoníaco
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Azoto
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Azoto
O <sub>3</sub>	Ozono
ODS	Substâncias Destrutivas da Camada do Ozono
PM	Partículas Inaláveis
PM <sub>10</sub>	Partículas Inaláveis com diâmetro inferior a 10 µm
PM <sub>2.5</sub>	Partículas Inaláveis com diâmetro inferior a 2.5 µm
PSV	Navios de Apoio a Plataformas
PTS	Abastecimento Infraestruturas portuárias-navio
RIN-MAR	Registo Internacional de Navios da Madeira
RNTGN	Rede Nacional de Transporte de Gás Natural
RTE-T	Rede Transeuropeia de Transportes
SECAs	Zonas de Controlo de Emissões de Enxofre
SEEMP	Plano de Gestão da Eficiência Energética dos Navios
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
SO <sub>x</sub>	Óxidos de Enxofre
STS	Abastecimento Navio/barcaça-navio

TEU	Contentor Padrão de 20 Pés
TTT	Abastecimento Camião cisterna-navio
UE	União Europeia
VAL	Valor Atual Líquido





## Símbolos e Unidades

\$	Dólar
%	Porcentagem
Q̇	Caudal Volúmico
B	Boca
bar	Unidade de Pressão
Btu	Unidades Térmicas Britânicas
D	Pontal
g	Gramma
Gt	Gigatonelada
h	Hora
hp	<i>Horsepower</i>
km	Quilómetro
kn	Nó
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
L <sub>OA</sub>	Comprimento fora-a-fora
L <sub>PP</sub>	Comprimento entre Perpendiculares
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
°C	Grau Celsius
P	Potência
rpm	Rotações por minuto
T	Calado
v	Velocidade
µm	Micrometro



# 1. Introdução

## 1.1. Contextualização do Problema

Os problemas ambientais derivados de um desenvolvimento não sustentável são visíveis e têm vindo a manifestar-se mais do que nunca. Atualmente existem várias medidas que visam servir de barreira à evolução das alterações climáticas e à degradação da qualidade do ar, muitas destas ao nível de uma transição para combustíveis alternativos. Neste contexto o Gás Natural (GN) assume-se como um combustível alternativo ao carvão e aos derivados do petróleo, os maiores contribuintes de Gases com Efeito de Estufa (GEE) e de gases que minimizam a qualidade do ar. O presente capítulo visa contextualizar o Gás Natural Liquefeito (GNL) no panorama atual e futuro, utilizado como combustível marítimo, mostrando como permite cumprir com a regulamentação aplicada no transporte marítimo. Será também realçado o porquê de ser necessário efetuar uma análise à viabilidade económica do abastecimento de GNL a navios a nível nacional e internacional.

### 1.1.1. Revolução Industrial

A primeira fase da revolução industrial teve início em meados do século XVIII na Grã-Bretanha. É caracterizada por um período de elevado desenvolvimento industrial que deu origem a repercussões a nível económico, político, social e ambiental. Thomas Savery e Thomas Newcomen foram os pioneiros na construção e desenvolvimento do primeiro motor a vapor por volta dos anos de 1698 e 1710, respetivamente (Easton *et al.*, 2014). James Watt, no ano de 1769, através de uma reparação a um motor de Newcomen, verificou a possibilidade de aperfeiçoá-lo (Easton *et al.*, 2014). Obteve-se um motor mais eficiente, capaz de melhorar a vida e o trabalho do ser humano nas atividades da agricultura, da produção de bens e do transporte. A primeira linha de caminho de ferro foi inaugurada no ano de 1825, ligando Liverpool a Manchester, permitindo a utilização da locomotiva a vapor (Engels, 1845). Sucederam-se as ligações entre as grandes cidades. O primeiro navio a vapor surgiu no ano de 1807, na América do Norte, e apenas no ano de 1811 no rio Clyde, Escócia (Engels, 1845). Desde então mais de 600 navios foram construídos e no ano de 1836 mais de 500 navios operavam nos portos britânicos (Engels, 1845). Deu-se, portanto, início ao consumo e à dependência dos combustíveis fósseis.

A construção de fábricas marca também um ponto de viragem no desenvolvimento industrial. Dá-se a migração da população para as cidades, justificada pela necessidade de empregar cada vez mais trabalhadores. Nasceram as cidades industriais que mais tarde viriam a proliferar por todo o mundo e a constituírem os maiores centros de emissões de poluentes atmosféricos. Sucederam-se a segunda e terceira fase da revolução industrial em meados do século XIX e do século XX, respetivamente. A segunda fase é caracterizada pela descoberta de novas fontes de energia, a eletricidade e o petróleo, a partir das quais obtém-se avanços nas indústrias siderúrgica, química e petrolífera. Destaca-se a construção do motor de combustão interna, utilização de combustíveis derivados do petróleo, evolução nas telecomunicações, utilização do aço e produção em massa. A terceira fase é caracterizada pelo desenvolvimento nas áreas da eletrónica, informática, robótica e biotecnologia. Destaca-se a aplicação das energias renováveis e energia nuclear. Atualmente diversos autores indicam estar-se perante a quarta fase da revolução, também conhecida como indústria 4.0.

### 1.1.2. Impactos Negativos da Industrialização

É notória a elevada disparidade entre as repercussões positivas e negativas do desenvolvimento. Consequências como superpovoamento, consumo excessivo dos recursos naturais, perda da biodiversidade, potencial da tecnologia para a prática da guerra, exploração dos países subdesenvolvidos, perda de emprego para as máquinas e problemas ambientais são alvo de grande preocupação nos dias que decorrem.

Atualmente, o ser humano enfrenta uma das maiores ameaças resultantes da modernização, as alterações climáticas. De acordo com o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) a influência da ação humana no clima é inegável e recentes emissões de GEE são as mais elevadas de sempre, repercutindo impactos na vida das pessoas e nos ecossistemas (IPCC, 2014). Evidências como o aumento da temperatura média do ar, degelo dos glaciares, subida do nível dos oceanos, acidificação dos oceanos e ocorrência de eventos extremos são visíveis. A Figura 1 apresenta a evolução dos desvios médios de temperatura do ar em relação à temperatura média registada no período compreendido entre os anos de 1886 e 2005.

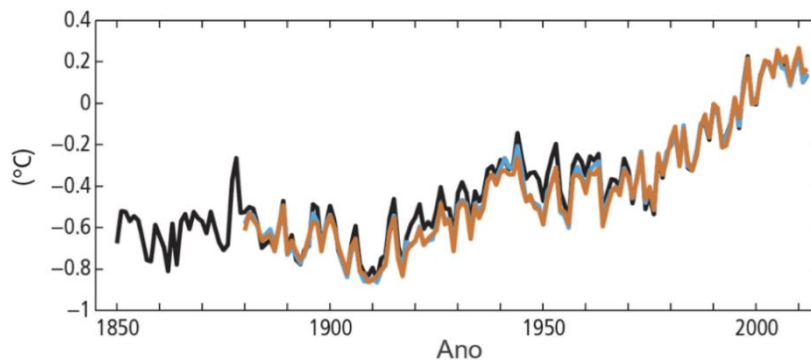


Figura 1 - Desvios médios de temperatura do ar em relação à temperatura média registada no período compreendido entre os anos de 1886 e 2005, adaptado de (IPCC, 2014).

As curvas representadas por cores distintas referem-se a diferentes conjuntos de dados, registados entre os anos de 1850 e 2012. Através da Figura 1 observa-se uma tendência no aumento de temperatura a partir do ano de 1910, onde são registados desvios na ordem dos 0.8 °C negativos. Por volta do ano de 2010 verificam-se desvios na ordem dos 0.2 °C positivos. Conclui-se que, num período de 100 anos, deu-se um aumento aproximado de 1 °C da temperatura média do ar, uma das evidências acima referidas. As causas da variabilidade de temperatura devem-se às emissões de GEE para a atmosfera. Tratam-se de emissões antropogénicas, originadas pela ação humana, geradoras de concentrações substanciais de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>) e Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O). A emissão de CO<sub>2</sub> é o que mais contribui para o efeito de estufa. Entre os anos de 2000 e 2010 aproximadamente 78% da concentração de GEE na atmosfera era composta por CO<sub>2</sub> (IPCC, 2014).

Perante este cenário são várias as medidas cujo objetivo principal é promover a descarbonização. A 12 de dezembro de 2015 foi alcançado o Acordo de Paris no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC). Com a sua entrada em vigor a 4 de novembro de 2016, estabelece o objetivo de limitar o aumento da temperatura média mundial a um valor inferior a 2 °C em relação aos valores de temperatura precedentes à revolução industrial (CQNUAC, 2015). Com o

aumento da temperatura média do ar, concluído na análise à Figura 1, verifica-se o escassear da margem para cumprir com o objetivo. Para tal, as emissões de GEE têm de ser reduzidas entre 40% a 70% até o ano de 2050 e reduzidas em aproximadamente 100% até ao ano de 2100 (IPCC, 2014).

A par dos GEE existem outros poluentes atmosféricos que não contribuem diretamente para aquecimento global mais sim severamente para a degradação da qualidade do ar. Para este efeito destacam-se poluentes como Partículas Inaláveis (PM), Dióxido de Azoto ( $\text{NO}_2$ ), Ozono ( $\text{O}_3$ ), Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ ), Monóxido de Carbono (CO), outros Óxidos de Azoto ( $\text{NO}_x$ ), Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) e Compostos Orgânicos Voláteis (COV). De acordo com a Agência Europeia do Ambiente (AEA) os compostos que mais prejudicam a saúde humana são PM,  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$  (AEA, 2017). Incidindo maioritariamente nas áreas urbanas, reduzem o tempo médio de vida e produzem acréscimos nos cuidados médicos. Estima-se que no ano de 2014 ocorreram 428,000 mortes prematuras na Europa devido à exposição prolongada de  $\text{PM}_{2.5}$  (AEA, 2017). No mesmo cenário, estima-se que ocorreram 78,000 e 14,400 mortes prematuras devido às concentrações de  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$ , respetivamente (AEA, 2017). Em relação aos ecossistemas,  $\text{O}_3$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_2$  são os compostos que mais induzem impactos ao nível dos solos, água e vegetação (AEA, 2017). A acidificação é o efeito mais preponderante conduzindo à mortalidade de plantas e animais e a danos nos edifícios.

### **1.1.3. Mitigação e Adaptação**

Existem dois processos para dar resposta aos problemas ambientais: mitigação e adaptação. Mitigação consiste na intervenção humana para a redução de emissões antropogénicas de diversos poluentes. Por exemplo, em Portugal adotou-se o Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020/2030. Um dos objetivos é a redução das emissões de GEE em 30% a 40% até 2030, em relação ao ano de 2005. Adaptação consiste no ajustamento das atividades humanas e dos sistemas naturais a fim de minimizar limitações e vulnerabilidades. Instalações e equipamentos capazes de suportar picos de temperatura acima de 40 °C, superfícies expostas projetadas para um eficaz escoamento perante casos de precipitação intensa e sistemas de monitorização da erosão costeira são exemplos do que tem vindo a ser objeto de estudo (CQNUAC, 2017).

As medidas de mitigação devem incidir em todos os setores, mas maioritariamente naqueles que mais contribuem para a degradação do ambiente. Os setores produção de eletricidade e calor, agricultura e floresta, indústria e transporte são aqueles que mais contribuem para o efeito de estufa. No ano de 2010 o setor do transporte contribuiu em 14% para as emissões de GEE (IPCC, 2014). Atualmente este setor continua a constituir-se como uma das maiores fontes de emissão de GEE e por isso é um dos quais onde se deve primeiramente incidir. As medidas mais relevantes para este setor são: utilização de combustíveis alternativos, redução da intensidade de utilização dos vários tipos de veículos, desenvolvimento de motores mais eficientes e utilização do transporte multimodal aliado a melhorias no desenvolvimento urbano e à implementação de novas infraestruturas.

Segmentando o setor do transporte verifica-se um desnivelamento ao nível das emissões de GEE. A Figura 2 apresenta a emissão de GEE por modos de transporte no ano de 2010, a nível mundial.

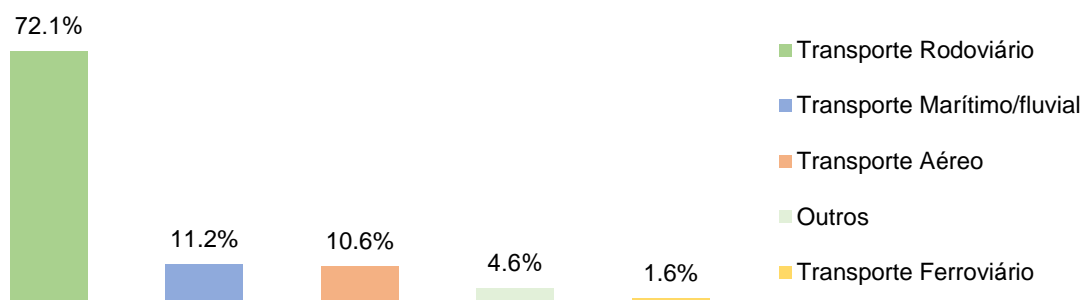


Figura 2 - Emissão de GEE por modos de transporte no ano de 2010, adaptado de (IPCC, 2014).

Observa-se que o transporte rodoviário é o mais influente perfazendo aproximadamente 72% do total de emissões. Deste valor a maior porção deve-se à utilização de veículos individuais de passageiros, sendo que a movimentação de mercadorias também é responsável por emissões significativas. Os transportes marítimo/fluvial e aéreo tiveram uma contribuição de aproximadamente 11% do total de emissões. Outros refere-se, por exemplo, ao transporte através de gasodutos e a emissões indiretas provenientes do consumo de eletricidade no transporte, contabilizando aproximadamente 4.6% do total de emissões. Por último, o transporte ferroviário perfaz 1.6% do total de emissões.

Apesar do transporte rodoviário ser o mais influente é neste onde se tem vindo a verificar substanciais melhorias na descarbonização. De acordo com a Agência Internacional da Energia (AIE) atingiu-se um novo recorde no ano de 2016 ao serem vendidos mais de 750,000 veículos elétricos de passageiros (IEA, 2017). Em sentido contrário, o transporte de mercadorias através de caminhões pesados, transporte marítimo e transporte aéreo são aqueles onde não se têm verificado tais melhorias. Estes constituem os modos de transporte mais difíceis de serem descarbonizados (IEA, 2017). O transporte marítimo é atualmente responsável por 80% do transporte mundial de mercadorias, medido em unidades físicas, e pela emissão de 2% de CO<sub>2</sub> (IEA, 2017). Embora vários estudos indiquem que o transporte marítimo seja o mais eficiente em termos de quantidade de CO<sub>2</sub> libertado por tonelada-quilómetro, estima-se que nos transportes marítimo e aéreo ir-se-á verificar até ao ano de 2025, e desde 2015, um crescimento contínuo de emissões de GEE na ordem dos 1.9% e 2% anuais, respetivamente (IEA, 2017). Até ao ano de 2050 estima-se que os transportes marítimo e aéreo podem vir a ser responsáveis por 17% e 22% das emissões totais de CO<sub>2</sub>, respetivamente, caso novas políticas não sejam implementadas (AEA, 2017). Verifica-se um défice nas políticas aplicadas nestes transportes e são nestes que medidas de mitigação devem ser fortemente aplicadas.

Relativamente à emissão de outros poluentes, o setor do transporte é aquele que mais minimiza a qualidade do ar, prejudicando severamente a saúde das pessoas e o meio ambiente. A Figura 3 apresenta alguns dos principais poluentes atmosféricos e o respetivo contributo dos subsectores do transporte. Outros setores, representados a cinzento, são todos os setores que não os transportes responsáveis pela emissão dos poluentes. Os transportes rodoviário e marítimo são os mais preponderantes nesta análise. O transporte rodoviário exerce maior peso na emissão de todos os poluentes à exceção de Óxidos de Enxofre (SO<sub>x</sub>). Emissões de NO<sub>x</sub> e CO são as mais relevantes perfazendo 30% e 20% do total de emissões, respetivamente. As emissões de Compostos Orgânicos Voláteis exceto CH<sub>4</sub> (COVNM), PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub> são também derivadas em grande parte deste subsector.

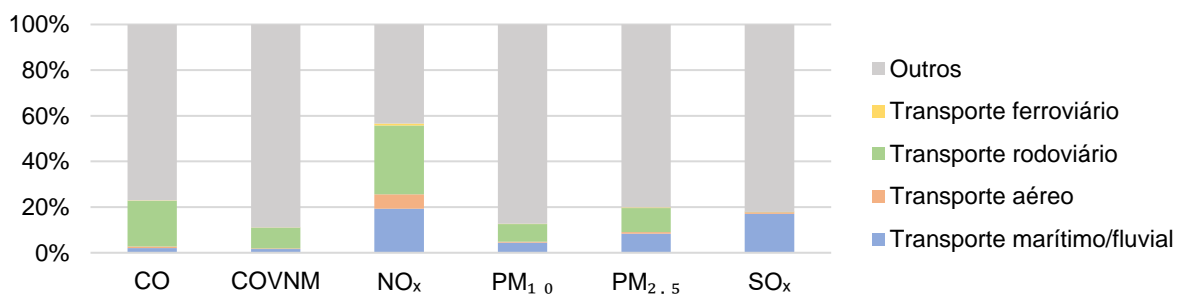


Figura 3 - Emissão dos principais poluentes atmosféricos por modos de transporte no ano de 2015 através de dados recolhidos nos 28 Estados-membros, adaptado de (AEA, 2017).

O transporte marítimo é o maior responsável por emissões de  $SO_x$ , perfazendo 17% do total de emissões, e também grande contribuidor de emissões de  $NO_x$ , perfazendo 19% do total de emissões. Estima-se que do combustível consumido por navios, e em viagens internacionais, resultam emissões de  $SO_2$  na ordem dos 90% do total de emissões derivadas dos transportes (IEA, 2016).

Em suma, considerando as emissões de GEE e de gases que degradam a qualidade do ar, o transporte marítimo é um dos maiores contribuidores para a poluição do ambiente e por isso aquele onde devem ser aplicadas medidas rigorosas e eficazes, algumas das quais atualmente em vigor.

#### 1.1.4. Transporte Marítimo Internacional

A Organização Marítima Internacional (IMO) é um organismo internacional maioritariamente responsável por aplicar medidas ao nível da segurança e do desempenho ambiental no transporte marítimo e navegação. É através da Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (MARPOL) que pretende limitar e regular a poluição do ambiente marinho causado pela operação de navios e por causas acidentais. O Anexo VI da Convenção, Prevenção da Poluição do Ar por Navios, pretende estabelecer regras para a prevenção de emissões de  $SO_x$ ,  $NO_x$ , PM, COV, Substâncias Destrutivas da Camada do Ozono (ODS) e emissões provenientes da incineração de resíduos. Para este efeito a IMO estabeleceu as Zonas de Controlo de Emissões (ECAs) incidindo nos poluentes  $SO_x$ ,  $NO_x$  e PM. Embora não sejam definidos limites para as emissões de PM, ao limitar-se o teor de enxofre dos combustíveis navais indiretamente restringe-se as emissões destes poluentes. A Figura 4 apresenta as ECAs atualmente em vigor, definidas pelo Anexo VI da MARPOL.

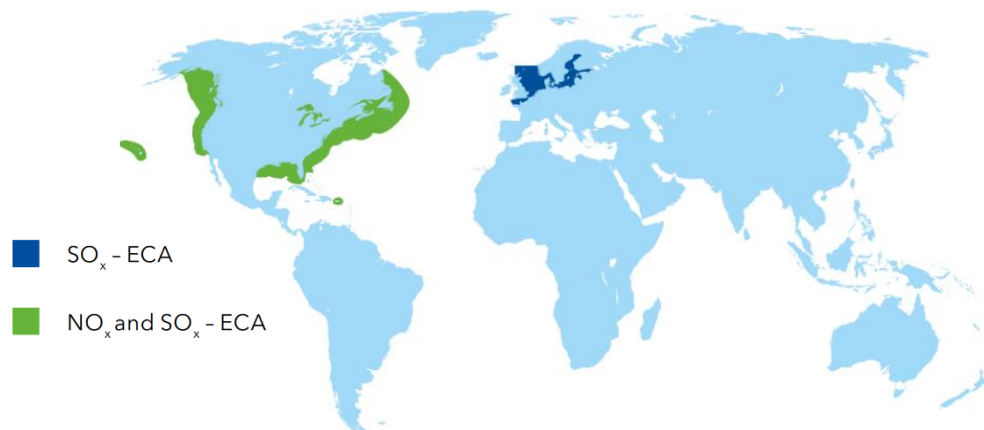


Figura 4 - ECAs em vigor estabelecidas pelo Anexo VI da MARPOL, retirado de (DNV GL, 2014).

Analisando a Figura 4 observa-se que o Mar Báltico, Mar do Norte, zona costeira da América do Norte e Mar das Caraíbas dos Estados Unidos são as ECAs estabelecidas. As zonas representadas a azul regulam emissões de SO<sub>x</sub> e as zonas representadas a verde regulam emissões de SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>. As zonas podem ser Zonas de Controlo de Emissões de Enxofre (SECAs), Zonas de Controlo de Emissões de Azoto (NECAs) ou ambas. Vários estudos indicam ainda a possibilidade de que, no futuro, as ECAs venham a aumentar, sendo o Mar Mediterrâneo uma das possibilidades de novas ECAs.

O teor de enxofre presente nos combustíveis navais é aquele que tem merecido maior atenção pela IMO através de restrições cada vez mais severas. A Figura 5 apresenta a evolução dos limites de SO<sub>x</sub> nos combustíveis navais ao longo dos anos, no interior das SECAs e a nível global.

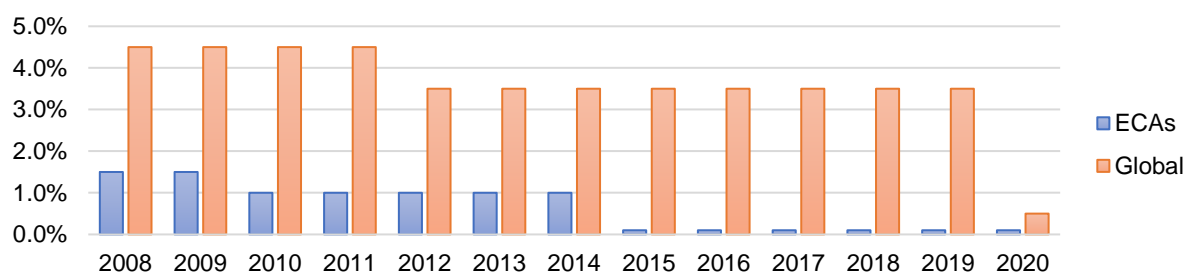


Figura 5 - Evolução do teor máximo de enxofre presente nos combustíveis navais, expresso em massa de enxofre por massa de combustível (Resolução MEPC.176[58]).

Atualmente o teor de enxofre não pode exceder, em massa, 0.1% e 3.5% nas SECAs e nas zonas exteriores a estas, respetivamente. A partir do ano de 2020, e nas zonas que não as SECAs, o valor irá reduzir-se para 0.5%.

Quanto às emissões de NO<sub>x</sub> são definidas três categorias para regular navios que tenham instalados a bordo motores diesel com potência superior a 130 kW. A Figura 6 ilustra as restrições de NO<sub>x</sub> em função da categoria e da velocidade nominal do motor.

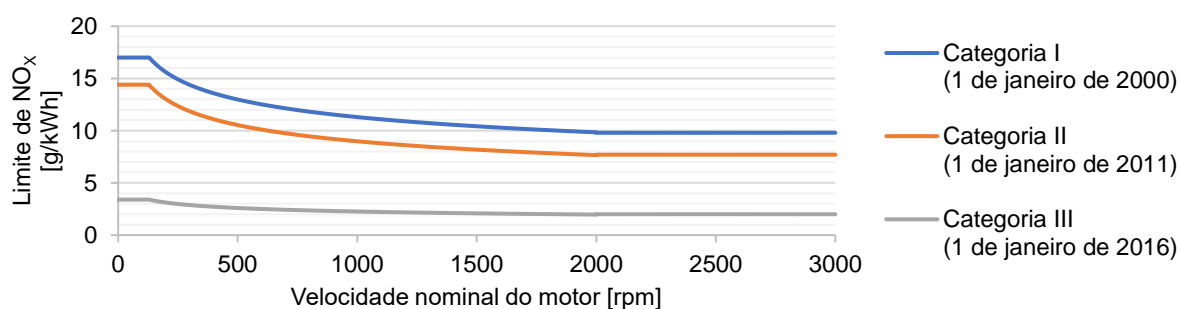


Figura 6 - Limites às emissões de NO<sub>x</sub> consoante as diferentes categorias e em função da velocidade nominal do motor (Resolução MEPC.176[58]).

As diferentes categorias são em função da data de construção do navio. Navios mais recentes são aqueles que estão sob a alçada de maiores restrições. Destaca-se que a categoria III apenas é aplicada a navios que naveguem nas NECAs enquanto que as restantes são aplicadas a navios que naveguem em qualquer área marítima. Esta categoria é a mais restrita, destacando-se em muito das restantes, conforme é visível pela Figura 6.

O Anexo VI da MARPOL introduz também medidas na prevenção à emissão de GEE. São os casos do Índice de Eficiência Energética (EEDI) e o Plano de Gestão da Eficiência Energética dos Navios



(SEEMP). O EEDI tem como objetivo a implementação de equipamentos e motores mais eficientes. Minimizando o EEDI maximiza-se a eficiência dos motores e dos equipamentos e conseqüentemente liberta-se quantidades inferiores de CO<sub>2</sub>. O SEEMP é um plano que visa otimizar a eficiência do navio, também ao nível das emissões de CO<sub>2</sub>, através de melhorias no planeamento da viagem, gestão da velocidade, potência dos motores, manutenção do casco e nos combustíveis utilizados. O EEDI é de carácter obrigatório para novas construções enquanto que o SEEMP é de carácter obrigatório para todos os navios (Resolução MEPC.203[62]).

São várias as opções para cumprir com as regras no interior das ECAs: utilização de combustíveis marítimos com teor de enxofre reduzido, utilização de combustíveis alternativos e utilização de métodos para redução de emissões. Os combustíveis marítimos dividem-se em dois grupos: destilados e residuais. Os combustíveis com teor de enxofre reduzido são normalmente descritos como combustíveis destilados, designados Gasóleo Marítimo (MGO) e Óleo Diesel Marítimo (MDO), apresentando um teor de enxofre igual ou inferior a 0.5% em massa (IMO, 2016). DMA e DMB são os equivalentes do MGO e MDO, respetivamente, e segundo a norma ISO 8217 (IMO, 2016). Apesar do MDO conter uma fração de combustíveis residuais é considerado como destilado. O termo combustíveis residuais refere-se àqueles com menor grau de refinação e são designados como Fuelóleo Pesado (HFO) apresentando um teor de enxofre médio de 2.5% em massa, sendo as classes IFO180 e IFO380 os combustíveis intermédios dos mesmos (IMO, 2016). RME25 e RMG35 são os equivalentes do IFO180 e IFO380, respetivamente, segundo a norma ISO 8217 (IMO, 2016). Os combustíveis com teor de enxofre reduzido podem ser utilizados de modo permanente ou apenas no interior das SECAs, no exterior são utilizados combustíveis que por o menos satisfaçam as regras globais de emissões de SO<sub>x</sub>. O modo mais frequente é o segundo, utilizado essencialmente por navios empregues em longas viagens visto que o tempo no interior das SECAs é reduzido. Contudo, neste modo são necessários tanques e sistemas de transferência de combustível separados e alguns problemas têm vindo a ser verificados, como por exemplo os motores a desligarem-se na operação de troca de combustível (IMO, 2016).

Os combustíveis alternativos são o GNL, Gás de Petróleo Liquefeito (GPL), Metanol, combustíveis sintéticos e biocombustíveis, sendo que a energia nuclear também pode ser considerada como combustível alternativo embora com os devidos riscos (IMO, 2016). O GNL é um dos combustíveis que apresenta maior potencial para cumprir com as regras, nomeadamente devido a medidas mais severas a partir de 2020, relativamente a emissões de SO<sub>x</sub>, e para navios sujeitos à categoria III da IMO. Pode ser queimado de modo permanente ou ser alternado/misturado com outro tipo de combustível.

Os métodos para redução de emissões consistem no processo de tratamento de gases de escape. A remoção de SO<sub>x</sub> é efetuada através de *Scrubbers*, equipamentos capazes de reter estes poluentes presentes nos produtos da combustão. A remoção de NO<sub>x</sub> é efetuada através de processos de SCR (Redução Catalítica Seletiva) e de EGR (Recirculação de Gases de Escape).

A decisão quanto à opção para cumprir com as regras baseia-se nos seguintes fatores: potência do motor e consumo específico, custos operacionais e de capital, tempo de operação nas ECAs, espaço disponível, tipo de serviço e volatilidade dos preços dos combustíveis. Com base nos custos,

disponibilidade e preços dos combustíveis as opções MGO, HFO + *Scrubber* e GNL são as correntemente consideradas pelos armadores para cumprir com as ECAs (MEC+, 2015).

#### 1.1.4.1. Regras Aplicadas pela União Europeia

A fim de agir em conformidade com o Anexo VI da MARPOL a União Europeia (UE) tem vindo a adotar esforços para esse efeito. Muitas das medidas pretendem também, através de iniciativa própria, estabelecer regras mais estritas a fim de assegurar melhorias na qualidade do ar. Tem-se como exemplo as diretivas UE 2016/802 e 2001/81/CE. A primeira pretende estabelecer o teor máximo de enxofre nos combustíveis navais. Além de vincar a necessidade de serem cumpridas as regras da IMO, dadas pela Figura 5, a UE assegura ainda que navios atracados por mais de 2 horas nos respetivos portos e navios de passageiros que efetuam serviços regulares com partida/destino nos mesmos não utilizem combustíveis navais com teor de enxofre superior a 0.5% e 1.5% em massa, respetivamente (UE, 2016). São exceções navios militares, navios cuja segurança esteja em risco, navios utilizados para salvar vidas no mar e navios que utilizem métodos alternativos para redução de emissões num grau pelo menos equivalente ao que se conseguiria obter pela combustão de combustíveis com teor de enxofre reduzido (EU, 2016). A segunda pretende limitar emissões de poluentes prejudiciais à saúde humana e aos ecossistemas. São os casos das emissões de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COV e NH<sub>3</sub> para as quais foram estabelecidos valores limites nacionais de emissões a serem cumpridos após 2010 (CE, 2001). A fim de viabilizar o cumprimento das medidas adotadas a UE tem vindo a incentivar o uso de combustíveis alternativos e um desenvolvimento uniforme nas infraestruturas dos vários modos de transporte. Até 2025 e 2030 têm de ser instalados pontos de abastecimento de GNL nos portos marítimos e interiores, respetivamente, em toda a Rede Transeuropeia de Transportes (RTE-T) de base (CE, 2014).

#### 1.1.4.2. Potencial de Portugal no Transporte Marítimo

Portugal usufrui de uma localização geoestratégica privilegiada no transporte marítimo internacional. Coincide com duas das três maiores rotas: Europa-Estados Unidos, Europa-Ásia e Estados Unidos-Ásia. A Figura 7 apresenta as rotas mais influentes no transporte de mercadorias no ano de 2007, para navios com Arqueação Bruta (GT) superior a 10,000.

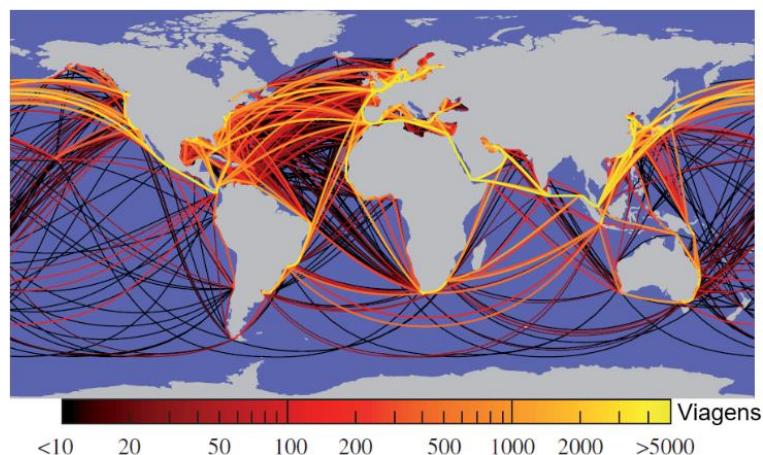


Figura 7 - Intensidade do tráfego marítimo no ano de 2007 e a nível mundial de todos os navios de carga com GT superior a 10,000, adaptado de (Kaluza *et al.*, 2010).

As rotas representadas por cores diferentes referem-se à intensidade do número de viagens. Verificam-se as maiores e mais influentes rotas, conforme referidas. As rotas Estados Unidos-Europa e Europa-Ásia são próximas da costa portuguesa o que leva a que várias companhias utilizem os portos nacionais para o manuseamento de mercadorias e/ou para operações de abastecimento de combustível.

Por outro lado, os portos de Sines, Lisboa e Leixões perfazem os pontos mais ocidentais do Corredor Atlântico da RTE-T e por isso Portugal é também favorecido com uma posição privilegiada no sistema de transporte Europeu. Os portos de Funchal e Ponta Delgada, entre outros portos nacionais, pertencem à rede global da RTE-T. A RTE-T tem como objetivo criar infraestruturas modernas e eficazes nos vários países da UE de modo a permitir o transporte eficiente de mercadorias e de passageiros. São abrangidos todos os modos de transporte e o transporte multimodal assume-se crucial permitindo uma deslocação rápida e eficiente. É, também, neste sentido que a UE exige a instalação de meios de fornecimento de combustíveis alternativos nos portos marítimos e interiores até 2025 e 2030, respetivamente, de acordo com a diretiva 2014/94/EU (CE, 2014).

Portugal usufrui ainda da atual importância estratégica do Porto de Sines. Hoje assume-se como centro de abastecimento atlântico de GNL. Em 2016 recebeu o primeiro carregamento de GNL para a Europa e desde então tem sido o principal importador europeu deste combustível proveniente dos Estados Unidos (T & N, 2017). Os portos dos Açores e Madeira também se assumem como cruciais pela capacidade de servirem como ponto de abastecimento a cruzeiros oceânicos e outros navios empregues em viagens transatlânticas. Em 2017, no porto do Funchal, deu-se o primeiro abastecimento de GNL numa ilha atlântica ao navio *AIDAprima*, através de um contentor-cisterna criogénico proveniente do Porto de Sines (Gromicho, 2017). Neste navio o GNL serve unicamente para a produção e consumo de eletricidade em porto.

Neste contexto o GNL tem vindo a atrair atenções como uma das mais prometedoras soluções do futuro do transporte marítimo, permitindo cumprir com as regras estabelecidas e beneficiar o ambiente, tendo Portugal todas as condições para assumir-se como determinante neste processo rumo a um desenvolvimento sustentável. Num futuro próximo estão previstas em Portugal construções e melhorias ao nível das infraestruturas marítimo-portuárias, muito em parte pela obrigatoriedade da construção de pontos de abastecimento de GNL nos portos marítimos e interiores. O principal objetivo é reforçar o papel de Portugal como destino e área de serviço de GNL. Pretende-se também utilizar GNL nas viagens continente-ilhas e nas viagens inter-ilhas. O plano nacional de abastecimento de navios com GNL pode ser observado em anexo ao documento (Anexo A).

No entanto, apesar do GNL permitir atenuar os problemas ambientais que se têm manifestado e cumprir com a legislação aplicável ao transporte marítimo apresenta-se como uma fonte de energia recente quando utilizado para a propulsão de navios. São, por isso, muitas as dúvidas quanto à viabilidade económica de negócios futuros envolvendo este combustível. No capítulo seguinte serão levantadas alguns dos motivos que levam a estas dúvidas. Deste modo torna-se indispensável todos os esforços necessários a fim de serem cumpridas as normas técnicas nacionais e internacionais e serem desencadeados estudos a fim de analisar a viabilidade económica desta solução.

## **1.2. Objetivos**

O principal objetivo da dissertação consiste em realizar uma análise quanto à viabilidade económica de operações de abastecimento de GNL nos principais portos portugueses, Sines, Lisboa e Leixões, e portos da Madeira e Açores (Funchal e Ponta Delgada). Para tal, numa primeira fase estima-se a procura futura de GNL nos portos marítimos nacionais. Com estes dados procede-se a uma simulação de eventos discretos através de um navio tanque sediado no Porto de Sines, com a função de dar resposta á procura e abastecer os navios com GNL. Pretende-se estimar a capacidade ideal do navio, o número de navios e as melhores decisões ao nível do modelo de viagem para as quais o negócio é mais promissor. Após análise dos resultados o objetivo consiste em determinar a viabilidade económica de operações de abastecimento de GNL a navios, a curto e médio prazo, num horizonte de 12 anos. O projeto contempla ainda o estado da arte do tema, onde vários temas sobre o GN são abordados.

## **1.3. Estrutura da Dissertação**

A presente dissertação encontra-se organizada em 6 capítulos. O presente capítulo é referente à introdução, onde se realiza a contextualização geral do tema em estudo, bem como os objetivos principais e onde se apresenta a estrutura geral da dissertação.

O capítulo 2 consiste na revisão bibliográfica do tema, isto é, o estado da arte. São abordados vários tópicos: o que é o gás natural e quais as suas vantagens, tipos de navios que utilizam este combustível, métodos de abastecimento, custos das várias soluções, vantagens e desvantagens de cada solução e procura de GNL a nível mundial e local.

O capítulo 3 descreve detalhadamente as metodologias utilizadas para o cumprir do objetivo principal. Os processos efetuados para a estimativa da procura futura de GNL nos portos marítimos e para a simulação de eventos discretos são aqui abordados.

O capítulo 4 apresenta os dados da procura de GNL obtidos, valores decisivos para as conclusões do trabalho visto que influenciam veementemente os resultados obtidos pela simulação.

O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos pelo processo de simulação, os resultados necessários à conclusão da viabilidade económica do abastecimento de GNL e a comparação de investimento entre os resultados económico-financeiros obtidos e os mesmos resultados dados por estudos semelhantes. A par do capítulo da conclusão é o mais importante e a partir do qual se obtém as informações necessárias para satisfazer o objetivo principal do trabalho.

Finalmente, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões obtidas e as considerações finais relativas à dissertação, bem como algumas recomendações para desenvolvimentos futuros.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Gás Natural

O GN é uma fonte de energia natural, essencialmente composta por hidrocarbonetos, resultante da decomposição e acumulação de matéria orgânica. É maioritariamente composto por  $\text{CH}_4$ , com teores acima de 70%, e também constituído por Etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), Propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), Butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), Pentano ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ) e outros gases residuais como Azoto ( $\text{N}_2$ ), Sulfureto de Hidrogénio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e  $\text{CO}_2$  (Corre e Loubar, 2010). Pode ser extraído a partir de jazidas subterrâneas ou rochas porosas e não sofre processos significativos desde a sua extração, sendo sujeito a um tratamento onde são removidos alguns hidrocarbonetos e gases residuais. Após tratamento obtém-se uma mistura essencialmente composta por  $\text{CH}_4$  e por  $\text{C}_2\text{H}_6$ . A composição exata varia de acordo com a origem, mistura e qualidade. Após a combustão do GN resultam essencialmente emissões de vapor de água e  $\text{CO}_2$ .

O GN é o terceiro combustível mais utilizado, perfazendo 24% do consumo total das energias primárias (WEC, 2016). Os Estados Unidos, Rússia e Irão são os principais produtores enquanto que os Estados Unidos, Rússia e China são os principais consumidores (BP, 2017).

#### 2.1.1. Transporte e Distribuição

O GN pode ser transportado por 2 vias: marítima e terrestre. A Figura 8 apresenta, de um modo simplificado, a cadeia de transporte e distribuição do GN e do GNL.

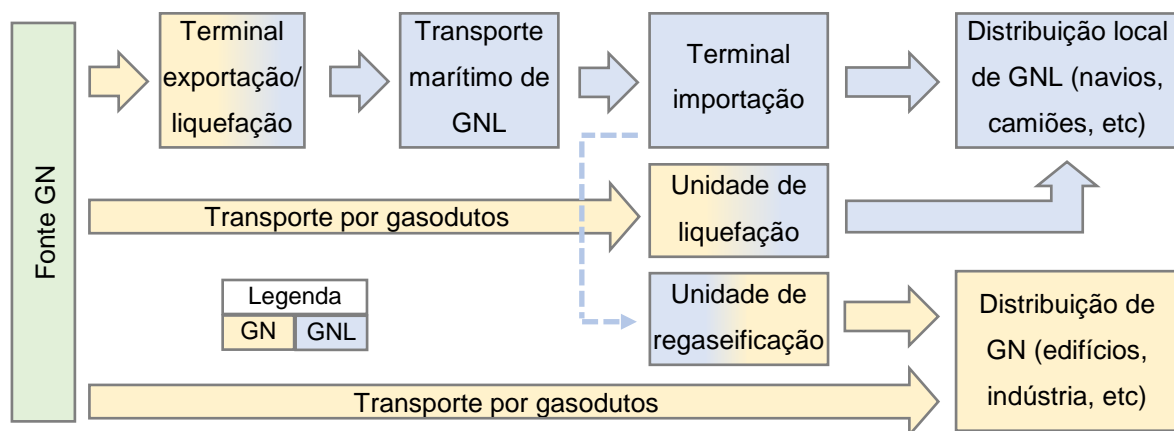


Figura 8 - Cadeia de transporte e distribuição de GN e GNL, adaptado de (EMSA, 2016).

No transporte marítimo o GN é primeiramente arrefecido e convertido em GNL nos terminais de exportação e com recurso a unidades de liquefação. Após o processo de conversão é armazenado aproximadamente à pressão atmosférica e a uma temperatura de  $160\text{ }^\circ\text{C}$  negativos, ocupando um volume 600 vezes inferior em comparação com o estado gasoso (EMSA, 2016). Posteriormente o GNL é transportado por navios tanques, conhecidos por navios metaneiros, para terminais de importação. A partir destes é diretamente distribuído para diferentes tipos de veículos, para consumo ou transporte, ou convertido novamente em GN em unidades de regaseificação e distribuído para os diversos utilizadores. No transporte terrestre, por meio de gasodutos, o GN é diretamente transportado e distribuído para os diversos utilizadores ou direcionado para unidades de liquefação, onde é convertido em GNL e distribuído para os diferentes tipos de veículos, para consumo ou transporte.

No caso de Portugal o GN é importado essencialmente do Norte e do Ocidente de África visto que não existem jazidas desta fonte de energia. O GN é importado através de um gasoduto, que estabelece ligação com a rede de Espanha em Campo Maior e em Valença do Minho, ou importado através do terminal de GNL de Sines. A Rede Nacional de Transporte de Gás Natural (RNTGN) é constituída pelo gasoduto em alta pressão e pelas respetivas infraestruturas que viabilizam o transporte por este meio. A RNTGN dispõe de 1375 km de condutas e é constituída por 2 eixos. O eixo Sul-Norte perfaz a ligação entre o Terminal de Sines e Valença do Minho e um eixo que perfaz a ligação entre Campo Maior e o armazenamento subterrâneo no Ouriço. Os eixos cruzam-se em Leiria e estão ligados por um terceiro eixo, entre Monforte e Cantanhede.

A nível internacional o GN percorre longas distâncias até chegar ao destino final. A Figura 9 apresenta as quantidades de GN transportado através das principais rotas marítimas e terrestres no ano de 2016.

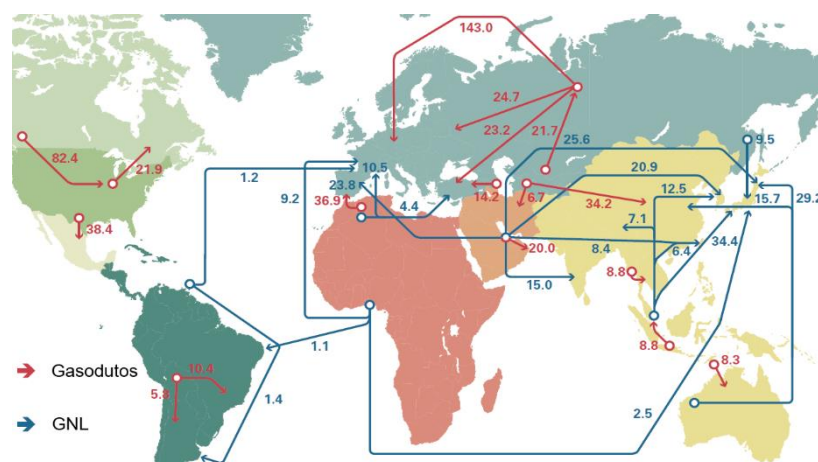


Figura 9 - Quantidades de GN, expresso em bilhões de m<sup>3</sup>, transportado nas principais rotas marítimas e terrestres no ano de 2016, adaptado de (BP, 2017).

Os principais exportadores de GNL são o Qatar, Austrália e Malásia contabilizando 30.1%, 16.4% e 9.3% das exportações, respetivamente (BP, 2017). Os principais importadores de GNL são o Japão, Coreia do Sul e China contabilizando 31.3%, 12.7% e 9.9% das importações, respetivamente (BP, 2017). No transporte por gasodutos, a Rússia, Noruega e o Canadá são os principais exportadores enquanto que a Alemanha, Estados Unidos e Itália são os principais importadores (BP, 2017).

### 2.1.2. Aplicações

O GN tem inúmeras aplicações. É largamente utilizado nos setores produção de eletricidade e calor, indústria, edifícios e transporte. No ano de 2013, e a nível mundial, estes setores foram responsáveis por 87.3% do consumo total de GN sendo que a maior porção foi destinada à produção de energia com um consumo na ordem de 40.3% (WEC, 2016). No mesmo ano, o consumo de GN nos setores indústria, edifícios e transporte foi de 22.1%, 21.6% e 3.3%, respetivamente (WEC, 2016). Na produção de energia é largamente utilizado nas centrais termoelétricas. Na indústria é utilizado como matéria-prima nalguns produtos químicos e petroquímicos. Nos edifícios é utilizado para a confeção de alimentos, produção de vapor, aquecimento de água e aquecimento ambiente. No transporte é essencialmente utilizado nos veículos de passageiros e, mais recentemente, utilizado para a propulsão de navios. As aplicações mencionadas constituem apenas alguns exemplos da versatilidade do GN.

### 2.1.3. Vantagens e Desvantagens

São vários os aspetos positivos e negativos do GN. A Tabela 1 apresenta, de um modo geral, as vantagens e desvantagens desta fonte de energia.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens da utilização de GN como fonte de energia (WEC, 2016).

Vantagens	Desvantagens
Disponibilidade	Incerteza na procura futura
Preço competitivo	Volatilidade do preço
Eficiência	Regulações
Redução de emissões	Emissões de CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub>

Existe elevada disponibilidade de GN e de acordo com vários estudos as reservas conhecidas são consideráveis, permitindo 120 anos de consumo ao ritmo atual. Apresenta um preço competitivo em relação a outras fontes de energia. A elevada eficiência energética do GN viabiliza a substituição do carvão e derivados do petróleo, permitindo reduções significativas nas emissões de GEE e de gases que degradam a qualidade do ar. Por outro lado, existem incertezas na procura futura, essencialmente devido à ausência de apoio governamental e a elevados custos das infraestruturas em regiões importadoras. A volatilidade do preço, por exemplo devido a efeitos sazonais, origina insegurança na aplicação do GN. A inexistência de regulações adequadas para a extração de GN, nomeadamente a partir de rochas porosas, conduz ao uso excessivo da terra, pobre gestão da água, contaminação da água e libertações de CH<sub>4</sub>. As emissões de CO<sub>2</sub> são em muito inferiores em comparação com a utilização do carvão e derivados do petróleo, ainda assim consideráveis.

No contexto do presente documento, onde o GNL é estudado como combustível marítimo, apresenta-se a Tabela 2 onde são estabelecidas as vantagens e desvantagens das várias opções que permitem cumprir com as ECAs. Pretende-se comparar a aplicação do GNL em relação às outras opções.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens do GNL, combustíveis com teor de enxofre reduzido e HFO + *Scrubber*, adaptado de (IMO, 2016).

Opção	Vantagens	Desvantagens
GNL	- Preço - Emissões de SO <sub>x</sub> e NO <sub>x</sub> , PM e CO <sub>2</sub> - Benefícios ambientais	- Custo de capital - Infraestruturas de abastecimento - Espaço Ocupado
Teor de enxofre reduzido	- Custos de capital - Emissões de SO <sub>x</sub> e NO <sub>x</sub> - Disponibilidade	- Preço - Troca de combustível - Categoria III da IMO implica SCR ou EGR
HFO + <i>Scrubber</i>	- Preço HFO - Custos de capital face aos do GNL - Disponibilidade	- Manutenção - Gestão de resíduos - Categoria III da IMO implica SCR ou EGR

O GNL é a opção que menos produz emissões e é disponibilizado a preços bastante atrativos. Verifica-se que o GNL é a opção preferível para o cumprir com as regras aplicadas à navegação do ponto de vista ambiental. Em relação ao HFO as emissões de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> são reduzidas em aproximadamente 25%-30% e 40%-80%, respetivamente, e as emissões de SO<sub>x</sub> e PM são praticamente negligenciáveis sendo reduzidas em aproximadamente 95%-100% e 90%-100%, respetivamente (EMSA, 2016). A Figura 10 ilustra as reduções médias das emissões em comparação com o HFO.

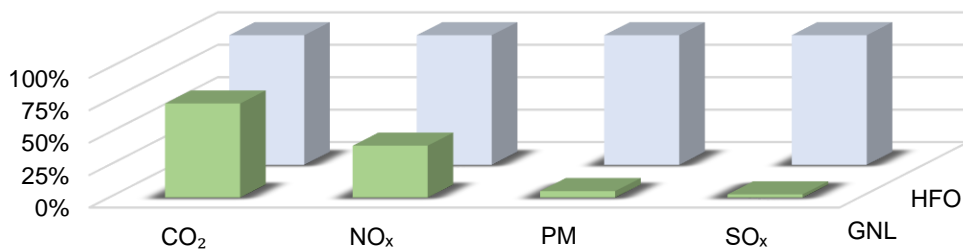


Figura 10 – Emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM e SO<sub>x</sub> do GNL em comparação com o HFO (EMSA, 2016).

Contudo, os custos de capital são elevados e atualmente são poucas as infraestruturas de abastecimento. Levantam-se questões como o preço futuro do GNL, disponibilidade futura e emissões de CH<sub>4</sub>. Os combustíveis com teor de enxofre reduzido apresentam melhorias nas emissões de SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> e são facilmente acessíveis, no entanto são mais dispendiosos do que o HFO. Na operação de troca de combustíveis podem originar problemas e não satisfazem a categoria III da IMO. Levantam-se questões como disponibilidade futura, qualidade e possível subida dos preços. Por último, o HFO é o combustível menos dispendioso. Conciliado com *Scrubbers* apresenta custos de capital inferiores aos do GNL. No entanto exige manutenção dos equipamentos de filtragem e não satisfaz a categoria III da IMO. Levantam-se questões como problemas de aprovação e de fiabilidade relativamente à corrosão.

Apesar do GNL ser aquele que mais viabiliza a descarbonização e melhorias significativas na qualidade do ar, agindo em conformidade com as políticas ambientais, a decisão quanto à opção a adotar é fundamentalmente assente na atratividade financeira. Os custos dos equipamentos e da instalação, tempo de operação no interior das ECAs e preço do combustível são os fatores cruciais a esta análise. Atualmente, e após a ponderação também de outros fatores, o GNL é ainda muitas vezes preterido.

## 2.2. Tipos de Navios que Utilizam GNL

De um modo geral, os navios movidos a GNL, e os que futuramente possam também vir a adotar este combustível, apresentam um certo tipo de perfil que os torna mais apropriados para a utilização de GNL. Este perfil é caracterizado por uma combinação de diversos fatores. De acordo com o estudo IMO (2016) os mais relevantes são:

- Navios que operam maioritariamente nas ECAs;
- Navios cujos custos de combustível são elevados;
- Navios cuja dimensão e espaço disponível permitem a instalação dos equipamentos;
- Navios que usufruem da existência de infraestruturas de abastecimento e de preços de combustível reduzidos;
- Navios que apresentam a possibilidade de conversão;
- Navios com serviços regulares;
- Navios em que o perfil ambiental é benéfico para o negócio.

São vários os tipos de navios que utilizam GNL. A Figura 11 apresenta o número de navios em operação e o número de navios requisitados, consoante os diferentes tipos de navio. Destaca-se que no presente ponto do documento a informação dada pelas Figuras 11, 12, 13, 14 e 15 é relativa a 1 de Agosto de 2018 e exclui informação relativa a navios metaneiros e a navios empregues em vias fluviais.



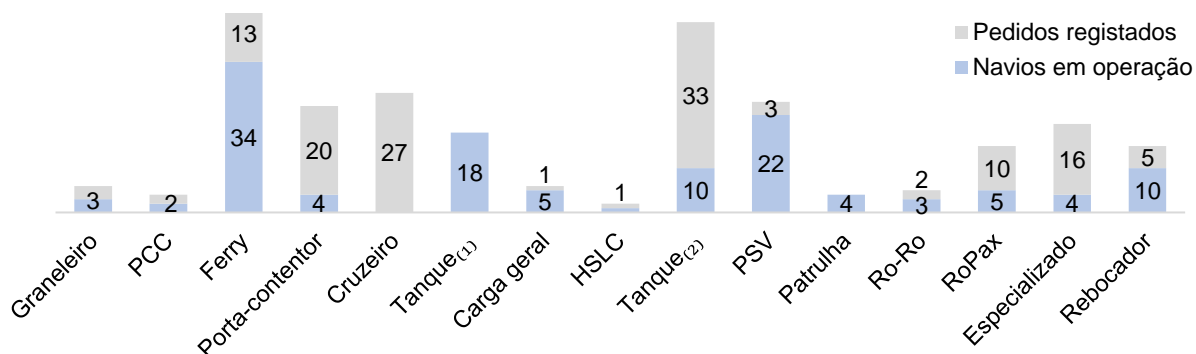


Figura 11 – Número de navios movidos a GNL, navios em operação e número de pedidos registados consoante o tipo de navio, adaptado de (DNV GL, 2018).

Navios tanque <sup>(1)</sup> são destinados ao transporte de gases e navios tanque <sup>(2)</sup> destinados ao transporte de derivados do petróleo/ produtos químicos. Observa-se que os principais navios movidos a GNL são ferries, Navios de Apoio a Plataformas (PSV) e navios tanque <sup>(1)</sup>, contabilizando 34, 22 e 18 navios em operação, respetivamente. Estes tipos de navio são normalmente utilizados em grande parte no interior das ECAs, razão pela qual constituem o maior número de navios em operação. Outras razões levam a que estes sejam os principais navios em operação. No caso dos ferries e dos PSV o abastecimento é realizado nos mesmos terminais, pelo que a ausência de infraestruturas de abastecimento não é uma limitação. No caso dos navios tanques, pela capacidade de armazenar os depósitos de GNL acima do convés, a quantidade de carga a transportar não é comprometida. Navios tanque <sup>(2)</sup>, cruzeiros e navios porta-contentores são os tipos de navios com maior número de pedidos registados, contabilizando 33, 27 e 20 pedidos, respetivamente. Pelo facto de os cruzeiros passarem grande parte do seu tempo atracados nos portos e pelo facto de este tipo de navio estar sujeito a regras mais restritas impostas pela UE, faz com que as companhias comecem a transitar para o GNL. Os navios de cruzeiros são também aqueles navios em que o perfil ambiental é crucial para o negócio. Não existem navios de cruzeiros em operação pela razão da opção HFO + *Scrubber* ser a mais corrente para navios já existentes. No entanto, de acordo com a informação da Tabela 2, para navios sujeitos à categoria III da IMO esta opção implica SCR ou EGR, razão pela qual o GNL tem vindo a ser considerado para novas construções. Navios porta-contentores apresentam serviço regular e normalmente são empregues em longas viagens, estabelecendo muitas vezes ligação com portos da América do Norte. Por este motivo são favorecidos pelos preços reduzidos praticados nesta região, razão pela qual têm vindo a adotar o GNL. Em anexo ao documento podem ser consultados os principais tipos de navios movidos a GNL (Anexo B).

### 2.2.1. Navios em Operação, Pedidos Registados e Navios Preparados para Conversão

Atualmente são 125 navios a operarem com GNL e 136 pedidos registados. Existem ainda navios projetados para uma possível conversão futura de combustível para o GNL. Atualmente são 111 os navios preparados para esse efeito. A Figura 12 apresenta a evolução, ao longo dos anos, do número de navios em operação, pedidos registados e navios preparados para futura conversão para GNL. Verifica-se que os números de navios em operação, pedidos registados e de navios preparados para conversão têm vindo a aumentar progressivamente, com um crescimento bastante acentuado entre os anos de 2015 e 2020.

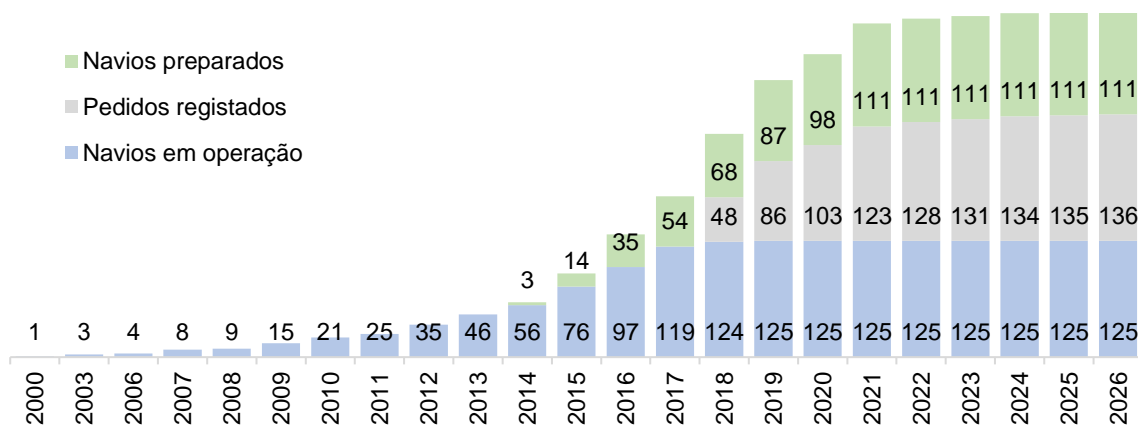


Figura 12 - Evolução do número de navios em operação, pedidos registados e de navios preparados para a conversão para o GNL, adaptado de (DNV GL, 2018).

Tal acontece porque em 2015 o limite do teor de enxofre dos combustíveis utilizados nas ECAs fixou-se em 0.1% e a partir de 2020 o limite global do teor de enxofre ir-se-á reduzir para 0.5%. Verifica-se que as companhias pretendem ter capacidade de resposta face às regras aplicadas.

### 2.2.2. Área de Operação

O primeiro navio movido a GNL foi um ferry para transporte de veículos ligeiros na Noruega e desde então é neste tipo de navios onde o GNL tem vindo a ser abundantemente adotado (IMO, 2016). Atualmente tem-se verificado a adoção do GNL também para navios de carga e, mais recentemente, a expansão destes navios para várias regiões do mundo. A Figura 13 apresenta as áreas de atuação dos 125 navios em operação e futuras áreas de operação dos 136 navios em operação ou encomendados.

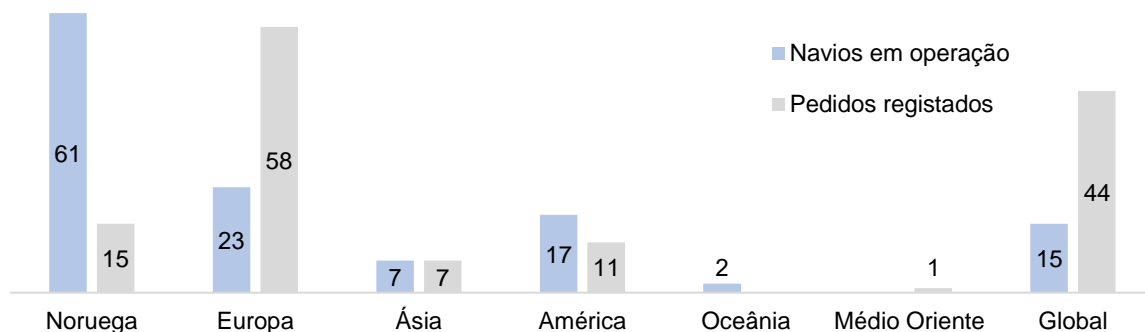


Figura 13 - Área de operação de navios movidos a GNL, adaptado de (DNV GL, 2018).

A Noruega é onde existe maior tráfego marítimo de navios movidos a GNL, contabilizando 61 navios. São esperados um total de 58 navios para operarem na Europa, maioritariamente nas regiões do Norte onde são situadas as ECAs e onde existem restrições mais severas aplicadas pela União Europeia. Na América do Norte, e com o aumento da produção de GN a partir de rochas porosas, os preços do GN têm-se vindo a verificar os mais reduzidos e novos projetos têm vindo a baixar (IMO, 2016). Os 11 navios esperados, adicionados aos 17 navios já existentes, são resultado do preço reduzido do GN e dos progressos desencadeados a nível do transporte na América do Norte. Pelos números apresentados verifica-se a expansão de navios movidos a GNL da Noruega para a Europa e para o resto do mundo. Em anexo ao documento podem ser consultadas as áreas de operação dos navios movidos a GNL (Anexo C).

### 2.2.3. Localização de Pontos de Abastecimento de GNL

Atualmente o número de pontos de abastecimento de GNL a navios é reduzido. A Figura 14 apresenta o número de pontos de abastecimento existentes, aprovados e em discussão.

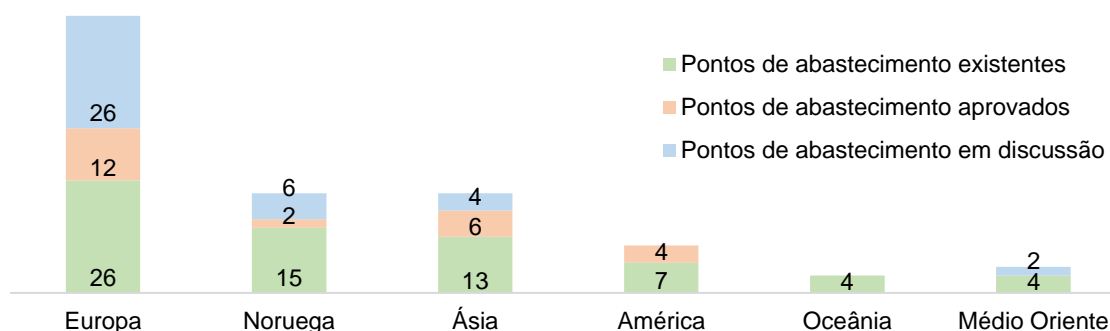


Figura 14 - Número de pontos de abastecimento de GNL existentes, aprovados e em discussão, adaptado de (DNV GL, 2018).

No total são 69 o número de pontos onde é possível o abastecimento de GNL a navios, 26 dos quais estão localizados na Europa. De um modo geral, e maioritariamente na América, Oceânia e médio Oriente, são poucos os locais onde é possível proceder ao abastecimento de GNL a navios. Por esta razão muitas companhias mostram-se reticentes em transitar para este combustível precisamente pela falta de disponibilidade de GNL. Na Europa já foram tomadas medidas para dar resposta a esta limitação, muito em parte pela entrada em vigor da Diretiva 2014/94/EU.

### 2.2.4. Tecnologia dos Motores

Existem essencialmente três tipos de motores disponíveis para queima de GN: motores a gás, motores *dual-fuel* de 4 tempos e motores *dual-fuel* de 2 tempos (DMA, 2012). Os motores a gás queimam exclusivamente GN. Os motores *dual-fuel* de 4 tempos têm a capacidade de alternar entre GN e combustíveis convencionais. Os motores *dual-fuel* de 2 tempos queimam combustíveis convencionais ou uma mistura de combustíveis convencionais e GN. Da utilização de motores *dual-fuel* a 2 tempos resultam maiores emissões de NO<sub>x</sub> e por isso não são respeitados os limites da categoria III da IMO, neste caso é necessária a implementação de EGR ou SCR (DMA, 2012).

A Figura 15 apresenta o tipo de tecnologia dos motores aplicada nos navios em operação e nos navios requisitados.

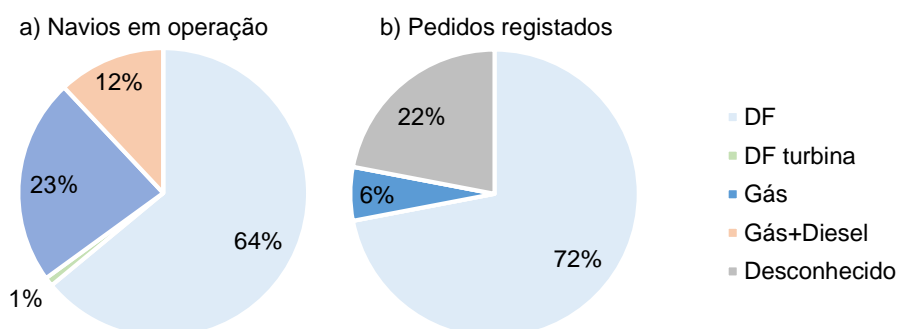


Figura 15 – Tipo de tecnologia dos motores nos navios em operação e nos navios requisitados, adaptado de (DNV GL, 2018).

Na Figura 15 DF significa navios com motores dual-fuel, Gás significa navios com motores a gás, Gás+Diesel significa navios com motores a gás e diesel e desconhecido representa as tecnologias que não foram publicadas. Observa-se que 64% dos navios em operação funcionam com motores DF, 72% dos navios requisitados irão utilizar o mesmo tipo de motor. Esta é, portanto, a tecnologia mais aplicada no mercado. A principal razão é a flexibilidade que apresenta, contornando questões como ausência de um número adequado de postos de abastecimento de GNL e volatilidade do preço do combustível. Dos navios em operação, 23% funcionam com motores a gás. Observa-se que existe uma menor adesão a estes motores visto que apenas 6 % dos navios requisitados irão utilizar o mesmo tipo de motor. A menor adesão a este motor deve-se a uma menor flexibilidade e maior dependência do GNL. Para navios já existentes a conversão para GNL pode não ser a solução mais atrativa em termos financeiros. Como o custo da conversão é elevado, devido às modificações na casa das máquinas e à instalação de tanques criogénicos, é espectável que a maioria de navios movidos a GNL sejam novas construções (IMO, 2016). Neste caso, as opções por combustíveis com teor de enxofre reduzido ou HFO+*Scrubber*, por apresentarem custos de capital inferiores aos do GNL, são as mais prováveis.

### 2.3. Métodos de Abastecimento de GNL a Navios

A cadeia de abastecimento de GNL a navios varia de porto para porto consoante o tipo de infraestruturas existentes, nomeadamente se existe ou não um terminal de importação. A Figura 16 representa uma configuração possível dos diferentes percursos ao nível do transporte, armazenamento local e distribuição do combustível a navios.

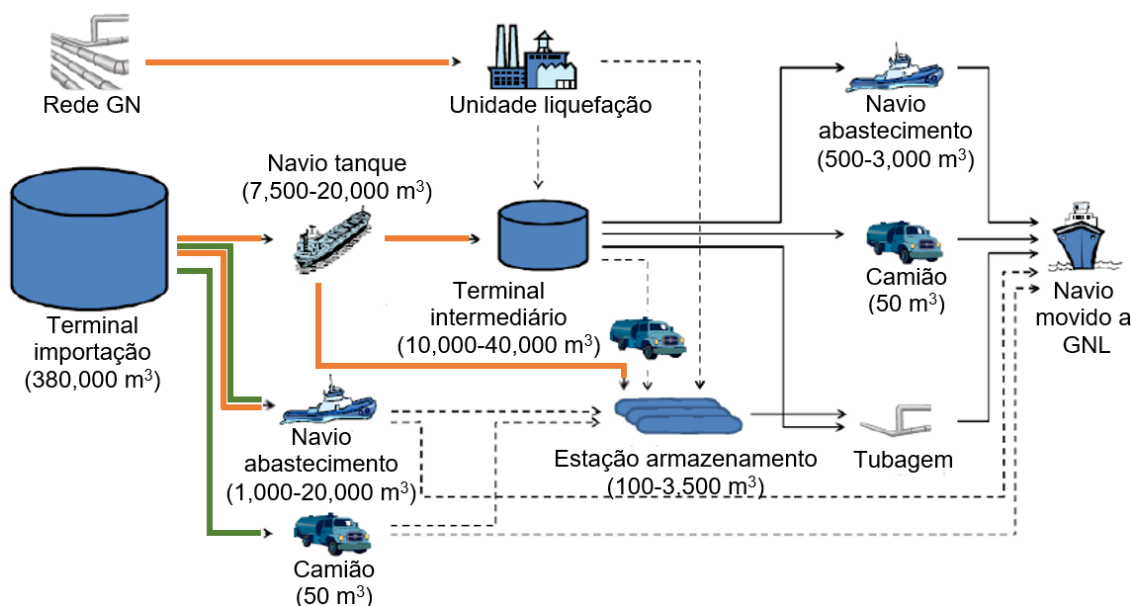


Figura 16 – Representação geral dos percursos possíveis de aprovisionamento de GNL a navios nalguns países do Norte da Bélgica, adaptado de (MPE, 2012).

A configuração dada pela Figura 16 é baseada nos percursos alternativos para o abastecimento de GNL nalguns portos do Norte da Bélgica. Assinalados a laranja são os percursos possíveis para a entrada de GNL nos portos, na inexistência de um terminal de importação, e assinalados a verde são os percursos possíveis para o transporte de GNL no interior dos portos, na existência de um terminal de importação.

Na ausência de um terminal de importação o GNL pode ser transportado para o porto através de navios tanque, através de navios de abastecimento ou através da rede de GN. Os navios tanques em operação e em construção apresentam uma capacidade entre 7,500 e 30,000 m<sup>3</sup> e podem ser carregados e descarregados a uma taxa compreendida entre 1,000 e 6000 m<sup>3</sup>/h (EMSA, 2016). Após o carregamento nos terminais de importação transportam o GNL para terminais intermediários ou para estações de armazenamento com capacidade compreendida entre 10,000 e 40,000 m<sup>3</sup> e entre 100 e 3,500 m<sup>3</sup>, respetivamente. A partir do terminal intermediário o GNL pode ser conduzido para os navios através de navios de abastecimento, com capacidade compreendida entre 500 e 3,000 m<sup>3</sup>, através de camiões cisterna, com capacidade de 50 m<sup>3</sup>, ou através das tubagens do porto. A receção de GNL pelo navio pode também ser proveniente da estação de armazenamento. Neste caso são utilizados camiões cisterna para o transporte desde o terminal intermediário até à estação de armazenamento e tubagens para a distribuição ao navio. Os percursos até aqui mencionados são considerados os principais em alguns portos do Norte da Bélgica, casos do porto de Antwerp e do porto de Ghent (MPE, 2012). Os percursos alternativos são aqueles em que o GN chega ao porto através de navios de abastecimento ou através da rede. No primeiro caso o GNL é transportado diretamente para o navio através de navios de abastecimento, com capacidade compreendida entre 1,000 e 20,000 m<sup>3</sup>, ou para a estação de armazenamento. No segundo caso o GN é direcionado para unidades de liquefação e convertido em GNL. Posteriormente é conduzido para o terminal intermediário ou para a estação de armazenamento.

Na existência de um terminal de importação o GNL pode ser transportado diretamente para o navio através de navios de abastecimento, com capacidade compreendida entre 500 e 3,000 m<sup>3</sup>, ou através de camiões cisterna, com capacidade de 50 m<sup>3</sup>. À semelhança dos percursos já referidos o GNL pode ser transportado primeiro para a estação de armazenamento e só depois para os navios movidos a GNL. Estes percursos constituem as alternativas possíveis no porto de Zeebrugge (MPE, 2012).

De um modo geral, e para diferentes portos, o número de percursos possíveis varia consoante as infraestruturas existentes e em função dos diferentes métodos de abastecimento direto a navios. Alguns portos podem apresentar ligeiras diferenças em relação aos percursos até aqui descritos.

O abastecimento direto de combustível a navios pode acontecer através de três métodos: camião cisterna-navio (TTT), navio/barcaça-navio (STS) e infraestruturas portuárias-navio (PTS). A Figura 17 ilustra os três métodos de abastecimento de GNL existentes.

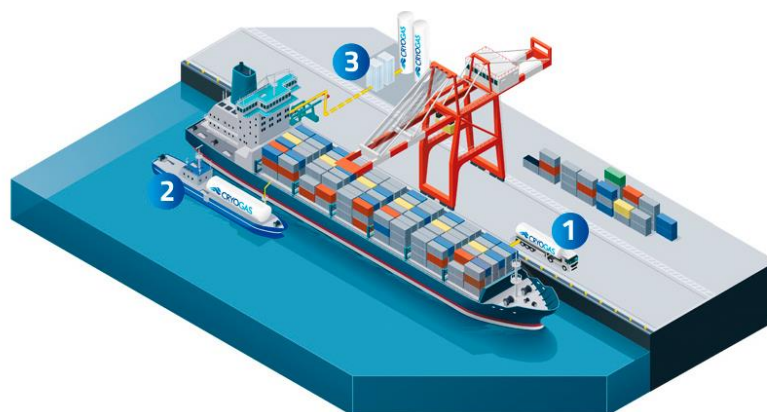


Figura 17 - Métodos de abastecimento de GNL a navios, retirado de (CRYOGAS).

Na Figura 17 os números 1, 2 e 3 referem-se aos métodos de abastecimento TTT, STS e PTS, respetivamente. Os métodos mais adequados de abastecimento de GNL variam em função das características e particularidades dos navios. A dimensão e configuração do navio, quantidade de volume a abastecer e tempo no porto são alguns dos fatores que fazem com que certos métodos de sejam mais adequados do que outros. Em anexo ao documento podem ser consultados os métodos mais adequados para vários tipos de navios (Anexo D).

### **2.3.1. Abastecimento TTS**

Atualmente o método TTS é o mais comum. Face ao reduzido investimento nos camiões cisterna faz com que seja uma opção atrativa. No entanto, através deste método o volume de abastecimento é reduzido, tipicamente compreendido entre 50 e 100 m<sup>3</sup>, e a distância percorrida não deve ser superior a 500 km (EMSA, 2016). Caso sejam requisitados volumes superiores então outros métodos de abastecimento devem ser considerados. Os camiões cisterna são carregados a uma taxa compreendida entre 50 e 100 m<sup>3</sup>/h e o abastecimento a navios dá-se a uma taxa compreendida entre 40 a 60 m<sup>3</sup>/h (EMSA, 2016). Estes veículos apresentam uma capacidade entre 35 e 56 m<sup>3</sup>, na presença de um atrelado é possível atingir-se uma capacidade de 80 m<sup>3</sup> (EMSA, 2016). Com este método é possível carregar os navios com contentores tanques ISO para consumo a bordo do navio. Neste caso o tempo de operação inferior, sendo somente necessário transportar os contentores para o interior do navio. Caso seja utilizado um contentor padrão de 20 pés (TEU) a capacidade do tanque é de 21 m<sup>3</sup>, caso seja utilizado um contentor padrão de 40 pés (FEU) a capacidade do tanque é de 45 m<sup>3</sup> (EMSA, 2016).

### **2.3.2. Abastecimento STS**

O método STS é aquele que permite maior flexibilidade na operação de abastecimento. O navio movido a GNL pode ser carregado quando acostado ao cais, noutras zonas do porto ou mesmo em alto mar. Neste último podem surgir dificuldades em caso de mau tempo. O volume de abastecimento é considerável, tipicamente compreendido entre 100 e 6,500 m<sup>3</sup>, sendo o GNL fornecido normalmente a uma taxa compreendida entre 500 e 1,000 m<sup>3</sup>/h (EMSA, 2016). Para o abastecimento é possível o uso de navios de abastecimento ou barcaças. A principal diferença reside na área de operação, as barcaças são plataformas normalmente utilizadas no mesmo porto enquanto que os navios podem recorrer a vários locais. Os navios de abastecimento apresentam uma capacidade entre 500 e 20,000 m<sup>3</sup>, alguns dos quais são de menor dimensão apresentando uma capacidade máxima de 3,000 m<sup>3</sup> (EMSA, 2016). São carregados a uma taxa compreendida entre 200 e 3,000 m<sup>3</sup>/h, dependendo da dimensão do navio de abastecimento (EMSA, 2016). Perante volumes e velocidades de abastecimento consideráveis e pelo facto de a operação poder ser efetuada também em alto mar é espetável que venha a ser o método de abastecimento mais comum no futuro.

### **2.3.3. Abastecimento PTS**

O abastecimento PTS é aquele que permite maiores volumes de abastecimento e a uma velocidade considerável. Contudo, apresenta limitações do ponto de vista operacional e económico quando o GNL é transportado através de longas distâncias no interior do porto. Tal acontece quando não é possível

implementar estações de armazenamento nas proximidades do cais onde será dado o abastecimento. A maior limitação reside na falta de flexibilidade visto que o abastecimento é dado num local fixo, ao contrário dos outros métodos. A fim de ultrapassar esta limitação é possível a utilização de barcaças como ponto de armazenamento de GNL. Nesta situação trata-se de uma combinação entre os métodos PTS e STS. O método PTS apresenta volumes de abastecimento elevados, tipicamente compreendido entre 500 e 20,000 m<sup>3</sup>, sendo o GNL fornecido normalmente a uma taxa compreendida entre 1,000 e 2,000 m<sup>3</sup>/h (EMSA, 2016). As estações de armazenamento de onde provém o GNL neste método, constituídas por diversos tanques, apresentam normalmente uma capacidade compreendida entre 100 e 3,500 m<sup>3</sup> (EMSA, 2016).

## 2.4. Vantagens e Desvantagens de cada Solução

Com o presente ponto pretende-se enunciar as principais vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de abastecimento, assim como possíveis limitações que possam ocorrer durante o processo.

### 2.4.1. Abastecimento TTS

O método TTS é atualmente o tipo de abastecimento mais comum, principalmente devido a custos de investimento e operacionais reduzidos. A Tabela 3 apresenta as principais vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 3 - Principais vantagens e desvantagens do método de abastecimento TTS.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibilidade operacional</li> <li>- Não são necessárias infraestruturas</li> <li>- Volume de GNL ajustável</li> <li>- Adaptável às regras de segurança</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volume de GNL reduzido (50 - 100 m<sup>3</sup>)</li> <li>- Caudal volúmico reduzido (40 - 60 m<sup>3</sup>/h)</li> <li>- Impacto nas operações envolventes</li> <li>- Risco no transporte por estrada</li> </ul>

Do ponto de vista operacional este método permite uma flexibilidade considerável. O processo de abastecimento pode ser realizado em diversos locais do porto e em diferentes tipos de navio. Não são necessárias infraestruturas de abastecimento e o volume a abastecer é facilmente ajustável, para tal podem ser requisitados mais do que um camião para o aprovisionamento de GNL. Devido à simplicidade é facilmente adaptado para agir em conformidade com as regras de segurança. Contudo, a capacidade dos camiões e o caudal volúmico com que o GNL é descarregado são reduzidos aumentando significativamente o tempo do navio no porto. A presença de camiões/tanques de GNL limita as operações adjacentes ao navio, nomeadamente ao nível do manuseamento de carga. Por último, o transporte de GNL por estrada não deve ser realizado para distâncias superiores a 500 km e apresenta vários riscos como, por exemplo, a possibilidade de acidentes rodoviários.

### 2.4.2. Abastecimento STS

O abastecimento STS é o método que permite maior flexibilidade na operação de abastecimento. É espectável que venha a ser o método mais comum, nomeadamente com a implementação de novas infraestruturas para o aprovisionamento de GNL em vários países. A Tabela 4 apresenta as principais vantagens e desvantagens do abastecimento STS.

Tabela 4 - Principais vantagens e desvantagens do método de abastecimento STS.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizado em paralelo com outras operações</li> <li>- Volume de GNL considerável (100 - 6,500 m<sup>3</sup>)</li> <li>- Caudal volúmico considerável (500 - 1,000 m<sup>3</sup>/h)</li> <li>- Flexibilidade operacional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevado investimento do navio/barcaça</li> <li>- Custos operacionais substanciais</li> <li>- Dimensão do navio de abastecimento limitada</li> </ul>

Por norma o abastecimento através deste método não interfere com as operações de manuseamento de mercadorias podendo ser realizado em paralelo com as mesmas, reduzindo significativamente o tempo do navio no porto. O abastecimento por navio/barcaça permite o aprovisionamento de elevadas quantidades de GNL e a uma velocidade considerável, em comparação com o método TTS, e pode ser realizado em várias zonas do porto. A operação pode ser realizada no exterior do porto reduzindo-se assim substancialmente o tempo efetivo de abastecimento. Contudo, o navio de abastecimento acarreta elevados custos de capital e operacionais, não sendo por isso uma solução atrativa. Por último a configuração do porto e eventuais congestionamentos podem originar restrições quanto à manobrabilidade do navio.

### 2.4.3. Abastecimento PTS

O abastecimento PTS é aquele que permite maiores volumes de abastecimento a uma velocidade considerável. A Tabela 5 apresenta as principais vantagens e desvantagens do abastecimento PTS.

Tabela 5 - Principais vantagens e desvantagens do método de abastecimento PTS.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volume de GNL elevado (500 - 20,000 m<sup>3</sup>)</li> <li>- Caudal volúmico elevado (1,000 - 2,000 m<sup>3</sup>/h)</li> <li>- Disponibilidade de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distância aos pontos de abastecimento</li> <li>- Falta de flexibilidade</li> <li>- Espaço ocupado</li> </ul>

O método PTS é aquele que permite o abastecimento de maiores quantidades de GNL e a velocidades elevadas. Existe bastante disponibilidade de GNL visto que as tubagens podem ser conectadas a terminais intermediários e a estações de armazenamento. Contudo, nem sempre é possível garantir a proximidade destes pontos de armazenamento ao local onde o GNL é providenciado. Caso não seja possível, problemas de natureza operacional e económica são prováveis de acontecer. Este é o método menos flexível visto que o local de abastecimento é fixo. Por último, a existência de estações de armazenamento, constituídas por diversos tanques, ocupam um espaço considerável no terminal pelo que apenas determinados portos têm o espaço necessário para a implementação deste método.

## 2.5. Custos das várias Soluções de Abastecimento

Os custos da distribuição de GNL variam em função do método de abastecimento utilizado e da distância desde o terminal de importação até ao navio a abastecer. Face aos custos das várias soluções os consumidores finais terão de pagar um custo adicional que se somará ao custo do combustível praticado no terminal de importação. A Tabela 6 apresenta as estimativas dos custos de investimento ao nível das infraestruturas e dos meios de transporte para as várias soluções de abastecimento.



Tabela 6 - Custos de investimento para os diferentes métodos de abastecimento, adaptado de (EU, 2015).

Método de abastecimento	Custo estimado [Milhões EUR]
- TTS	0.2 - 100
-STS	23 - 73
- PTS	33 - 237

Destaca-se que os valores discriminados pela Tabela 6 são somente relativos ao investimento nas infraestruturas e nos meios de transporte direto aos navios. No método TTS um camião cisterna custa aproximadamente 0.2 Milhões de Euros, caso seja necessário a implementação de um ponto de armazenamento o valor pode ascender a um valor de 80 Milhões de Euros (EU, 2015). Os custos de investimento do método STS advêm essencialmente do investimento nos navios de abastecimento. Um navio com capacidade de 1000 m<sup>3</sup> custa aproximadamente 20 milhões de Euros enquanto que um navio com capacidade de 10,000 m<sup>3</sup> pode levar a um investimento de 41 Milhões de Euros (EU, 2015). Por último o método PTS é aquele onde é necessário um maior investimento. Um ponto de armazenamento de 5,000 m<sup>3</sup> pode custar 13 Milhões de Euros e as infraestruturas presentes no cais podem custar 15 Milhões de Euros (EU, 2015). Tendo em conta os volumes de abastecimento praticados neste método podem ser necessários pontos de armazenamento com maior capacidade, neste caso um ponto de armazenamento de aproximadamente 50,000 m<sup>3</sup> pode conduzir a um investimento de 80 Milhões de Euros (EU, 2015). As tubagens instaladas no porto e a possibilidade de aquisição de terreno para a construção das respetivas infraestruturas podem conduzir a um investimento ainda mais elevado. Inerente a todos os métodos existem também custos relacionados com equipamentos necessários às operações e custos relacionados com procedimentos de segurança e qualificação dos trabalhadores, entre outros.

A par dos gastos acima mencionados existem ainda custos operacionais, custos relacionados com o transporte do combustível, custos de manutenção, custos administrativos e custos relacionados com o abastecimento de GNL a navios. Após a consideração de todos os gastos associados aos vários métodos, e dependendo do modelo de negócio aplicado, é possível quantificar o custo adicional de combustível a pagar pelo consumidor final.

São vários os estudos que analisam os preços adicionais de GNL praticados para diferentes portos e para diferentes tipos de abastecimento. Contudo, não é possível determinar e comparar em concreto qual a solução mais benéfica em termos financeiros para o consumidor. Isto porque os custos globais das operações de abastecimento, a procura de GNL e o modelo de negócio variam em cada porto e como tal para o mesmo método podem ser obtidos valores diferentes. Mais ainda, certos métodos de abastecimento não são os mais adequados para determinados tipos de navios e nem todos os portos têm a capacidade de implementar todos as soluções, nomeadamente o método PTS, devido à necessidade da existência de um espaço considerável.

De acordo com o estudo DMA (2012) o custo adicional de GNL a ser cobrado será em média 170 Euros/ton. Este valor é obtido através de uma análise a 2 terminais distintos e para um modelo de negócio em que o período do retorno do investimento são 10 anos. Neste estudo um dos terminais viabiliza todos os métodos de abastecimento enquanto que o outro exclui o método STS.

## 2.6. Previsões da Procura do GNL no Sector Marítimo

O presente ponto visa quantificar a procura futura de GNL nos portos marítimos, a nível mundial e nos portos portugueses. São já vários os estudos publicados acerca desta matéria, a informação aqui apresentada será relativa a estes estudos.

Atualmente a procura futura de GNL é incerta. Os resultados são normalmente obtidos pela realização de vários cenários, uns onde a procura é reduzida e outros onde a procura é elevada. Apesar de existirem processos capazes de permitirem previsões com níveis satisfatórios de precisão, para variadíssimas matérias, quando se trata de um conceito novo surgem novas dúvidas que podem inviabilizar a precisão dos resultados obtidos. Como referido o GN natural é uma fonte de energia bastante trabalhada em vários setores, no entanto assume-se como uma tecnologia recente quando utilizada para a propulsão de navios. É por este motivo que normalmente são estabelecidos vários cenários, muitos deles apresentando resultados bastante distantes entre si. A Tabela 7 apresenta as estimativas da procura futura mundial de GNL no setor marítimo.

Tabela 7 - Previsão da procura futura de GNL a nível mundial expressa em Milhões de toneladas, retirado de (Oxford Institute for Energy Studies, 2018).

Fonte	2025	2030	2035	2040
IEA – Sustainable Development	11.6	18.8	26.8	37
IEA – New Policies	23.9	29.7	36.2	41.3
ENGIE/PWC	-	24 - 30	-	-
Lloyds Register	8 - 30	10 - 40	15 - 45	20 - 65

Destaca-se que os valores da procura futura de GNL a nível mundial não têm em consideração o consumo por parte de navios metaneiros. Focando somente o ano de 2030, e segundo os valores obtidos pelas várias entidades, é possível afirmar que na generalidade a procura neste ano será compreendida entre 20 e 30 Milhões de toneladas de GNL.

No caso de Portugal são poucos os estudos publicados acerca da procura futura no setor marítimo. A Figura 18 ilustra 2 cenários estabelecidos tendo como horizonte máximo o ano de 2030.

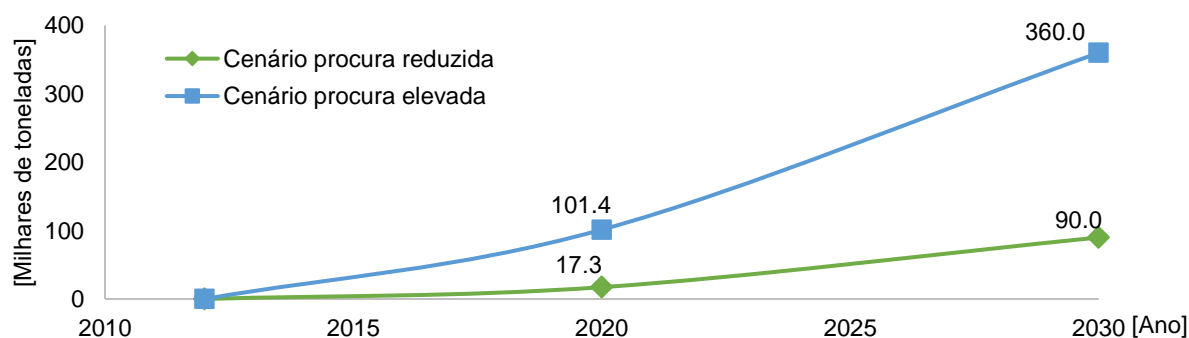


Figura 18 - Previsão da procura futura de GNL nos portos portugueses (Cid, 2014).

De acordo com a informação dada pela Figura 18 no ano de 2030 existirá uma procura de 90 Mil toneladas e uma procura de 360 Mil toneladas de acordo com os cenários de procura reduzida e elevada, respetivamente. Tanto a nível mundial como a nível nacional verifica-se a dificuldade em quantificar com precisão a procura de GNL no setor marítimo.

### 3. Metodologia

O presente capítulo tem como objetivo descrever as metodologias aplicadas para a estimativa da procura futura de GNL, a nível nacional, e para a implementação do modelo de viagem do navio de abastecimento. Os processos realizados para a construção da análise financeira e respetiva análise também são aqui abordados. Os resultados e análise de cada um são abordados nos capítulos 4. Estudo de Procura de GNL como Combustível Marítimo, 5. Simulação de Abastecimento de GNL e 6. Análise Económico-Financeira.

#### 3.1. Estimativa da Procura de GNL nos Portos Nacionais

No presente ponto ir-se-á mencionar todo o raciocínio adotado para a obtenção da procura futura de GNL nos principais portos do continente, Sines, Lisboa e Leixões, e nos principais portos das ilhas, Funchal e Ponta Delgada. Como referido, a estimativa da procura de GNL no setor marítimo é um processo delicado pois são várias as incertezas acerca da resposta futura do setor marítimo a esta fonte de energia. Neste sentido aqui ir-se-á ser construir diversos cenários com o objetivo de identificar e quantificar as várias hipóteses que podem vir a tornar-se uma realidade.

Para a estimativa da procura nos portos portugueses implementou-se a seguinte equação:

$$PGNL_{ijk} = Pen_{jk} \times F_k \times N_{ijk} \times P_{jk} \times T_k \times Q_k \quad (1)$$

Onde,

$PGNL_{ijk}$  – Procura de GNL [ $m^3$ ]

$Pen_{jk}$  – Penetração dos navios movidos a GNL na frota mundial [%]

$F_k$  – Fator de correção para a penetração nos portos portugueses [%]

$N_{ijk}$  – Número de entrada de navios nos portos portugueses

$P_{jk}$  – Probabilidade de abastecimento [%]

$T_k$  – Capacidade média dos tanques [ $m^3$ ]

$Q_k$  – Volume de combustível abastecido [%]

$i$  – Porto;  $j$  – Ano;  $k$  – Tipo de navio

A equação é composta por 6 elementos. Dos 3 primeiros obtém-se o número de navios movidos a GNL que recorrem aos portos nacionais. Introduzindo o elemento  $P_{jk}$  determina-se em quantos destes navios são realizadas operações de abastecimento de combustível. Os restantes elementos permitem determinar qual o volume de combustível a abastecer. Ao aplicar a equação acima descrita obtém-se a procura de GNL, expressa em  $m^3$ , ao longo dos anos, para diferentes tipos de navios e para os portos considerados. Relativamente ao horizonte da estimativa da procura estabeleceu-se o ano de 2030 como limite por 2 razões. A primeira porque considera-se que após 2030 os diferentes cenários podem não traduzir estimativas fiáveis. Isto porque determinados dados têm de ser assumidos e quanto maior o horizonte do estudo maior será a probabilidade de existir um acumular da incerteza e um agravar dos resultados. A segunda porque o projeto COSTA (Cid, 2014) estabelece a estimativa da procura somente até 2030 e é com a informação contida neste estudo que é possível estabelecer uma

comparação de resultados e, se possível, validá-los. Destaca-se que a análise quando à estimativa da procura tem como início o ano de 2019. As secções que se seguem pretendem elucidar como são quantificados todos os elementos com os quais é possível estimar a procura ao longo de 12 anos.

### 3.1.1. Penetração dos Navios Movidos a GNL na Frota Mundial

O cálculo da penetração dos navios movidos a GNL na frota mundial é aquele que suscita maiores dúvidas na obtenção dos resultados. Um primeiro método consiste em tentar adotar uma função sigmóide, mais conhecida por uma curva em forma de “S”, com o objetivo de descrever a penetração destes navios na frota mundial. De acordo com factos históricos, e tendo em conta vários novos tipos de tecnologias, como por exemplo a introdução do motor a vapor e do motor diesel marítimo, a função sigmóide é aquela que apresenta maior potencial para a previsão da penetração futura dos navios movidos a GNL (Aronietis *et al.*, 2016). Trata-se de uma curva que assume uma taxa de adoção reduzida nos primeiros anos e uma saturação após um determinado período de tempo. Evidências históricas indicam que, para novas tecnologias ao nível de combustíveis marítimos, a saturação dá-se num período de aproximadamente 100 anos (Aronietis *et al.*, 2016). A Figura 19 ilustra o comportamento da função sigmóide, até ao período de saturação, para alguns tipos de navios no porto de Antuérpia.

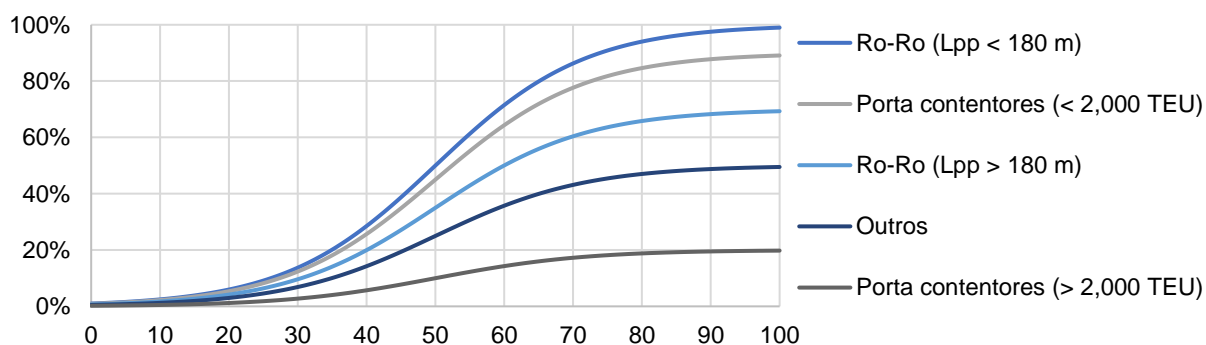


Figura 19 - Exemplo da evolução da penetração de navios movidos a GNL no porto de Antuérpia descrita por uma função sigmóide (Aronietis *et al.*, 2016)

Destaca-se que as curvas apresentadas pela Figura 19 são meramente ilustrativas, têm apenas como referência a adoção possível de GNL na fase de saturação. Estes valores são aqueles que se acredita que possam vir a ser verificados no porto de Antuérpia (Aronietis *et al.*, 2016). No estudo de onde é retirada a informação dada pela Figura 19 são também quantificados os valores da penetração possível de GNL noutros tipos de navios.

A fim de construir as curvas que descrevem a penetração de navios movidos a GNL na frota mundial é necessário ser conhecida a penetração para os vários tipos de navios, na fase de saturação, assim como a penetração dos navios verificada até à data. Aqui surgem as limitações à implementação deste modelo. Por um lado, nada garante que, na fase de saturação, os valores da penetração dos vários tipos de navios da frota mundial sejam semelhantes aos valores estimados para o porto de Antuérpia. Por outro lado, e tendo em conta um período estimado de 100 anos até à fase de saturação, acredita-se que os valores da penetração dos navios movidos a GNL que se obteriam até à data seriam insuficientes para reproduzir uma curva com um nível aceitável de precisão. Mais ainda, existem alguns

tipos de navios movidos a GNL em que a sua entrada em funcionamento é recente. São, por exemplo, os casos dos navios porta-contentores e dos navios de carga Geral. Para estes tipos os valores para a construção da curva seriam ainda mais reduzidos e por isso considera-se inviável implementar este modelo. A fim de cimentar que de facto não existem dados suficientes para a aplicação do método acima descrito apresenta-se a Figura 20 que ilustra o ano de início de operação para os vários tipos de navios.

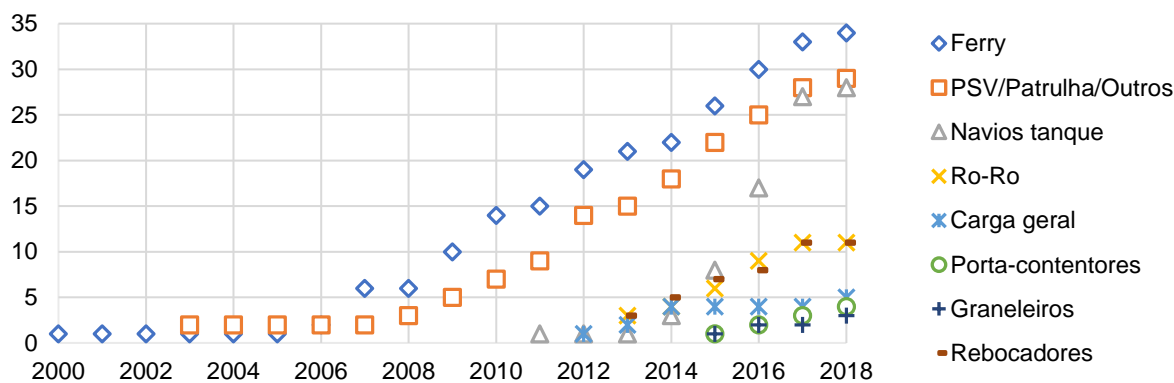


Figura 20 - Evolução do número de navios movidos a GNL de acordo como os vários tipos de navio (DNV GL, 2018).

Observa-se que somente após o ano de 2011 surgem alguns tipos de navio tais como rebocadores, navios tanque e navios porta-contentores. Pelas razões que aqui são enumeradas optou-se por excluir este método.

Uma abordagem alternativa, e aquela que é efetivamente implementada, consiste em pesquisar-se qual a evolução do número de navios movidos a GNL necessário para dar origem à procura mundial de GNL estimada para o setor marítimo. O objetivo passa também por, sabendo a evolução do número de navios até ao ano de 2030, estabelecer a relação com os vários tipos de navios da frota mundial e assim determinar a penetração para os vários segmentos. A Tabela 8 apresenta o número de navios a serem construídos anualmente para satisfazer a procura de GNL de 20 e 30 Milhões de toneladas no ano de 2030.

Tabela 8 – Número anual de novas construções de navios movidos a GNL para satisfazer a procura estimada no setor marítimo, adaptado de (Oxford Institute for Energy Studies, 2018).

Procura de GNL no ano de 2030 [Milhões de toneladas]	20	30
Número de novas construções (cenário 1)	170	255
Número de novas construções (cenário 2)	400	600

De acordo com a informação dada pela Tabela 8 verificam-se 2 cenários. O primeiro indica que para existir uma procura de 20 e 30 Milhões de toneladas é necessário serem construídos entre 170 e 255 navios por ano, respetivamente, enquanto que o segundo indica serem necessários entre 400 e 600 navios por ano. Destaca-se que as novas construções são consideradas apenas para o ano de 2020 e considera-se que o número atual de navios movidos a GNL em operação é suficiente para satisfazer a procura no ano de 2019. Existem ainda navios preparados para conversão que a qualquer instante podem transitar para a utilização de GNL, contribuindo também para se atingir a procura estimada neste ano, embora estes não sejam aqui considerados. Deste modo, no ano de 2019 considera-se 125

navios em operação e a partir de 2020 surgem as novas construções que somam a este número. No final do ano de 2030 estima-se existirem entre 1,995 e 2,930 navios de acordo com o primeiro cenário enquanto que no mesmo ano estima-se existirem entre 4,525 e 6,725 navios de acordo com o segundo cenário. Naturalmente as novas construções surgem com uma determinada dispersão ao longo do ano. Contudo, não sendo possível prever a data na qual entram em funcionamento, assume-se que todas as novas construções entram em operação no início do respetivo ano.

Com o intuito de verificar se o número de navios movidos a GNL se encontra dentro de valores razoáveis optou-se por analisar outras estimativas existentes. Para esse efeito apresenta-se a Figura 21 que identifica as estimativas quando ao número de navios estabelecidas por outras entidades.

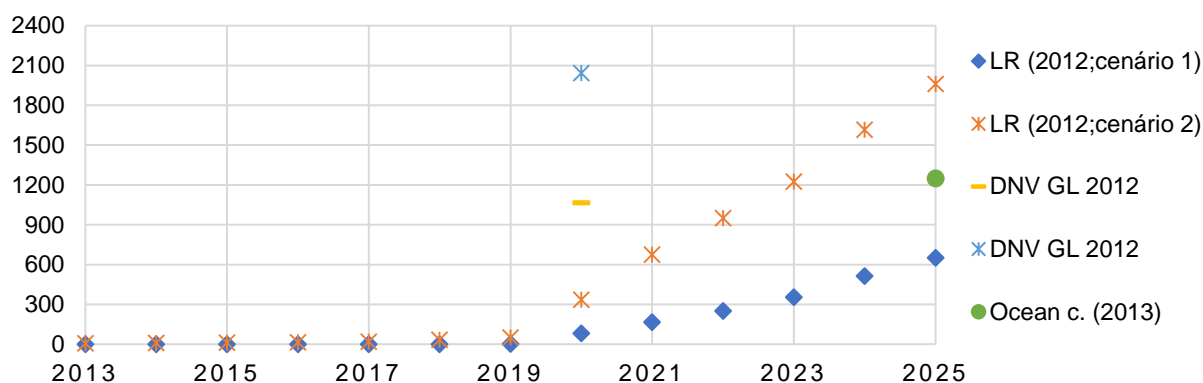


Figura 21 - Previsão do número de navios movidos a GNL, adaptado de (Aronietis *et al.*, 2016).

A Figura 21 identifica as estimativas de 3 entidades distintas e são relativas a estudos publicados nos anos de 2012 e 2013. A Sociedade Classificadora Det Norske Veritas (DNV GL) quantifica 2 cenários para o ano de 2020, um onde o número de navios é de 1,068 e outro onde o número de navios é de 2,043. Tendo em conta o número atual de navios movidos a GNL (125 navios), e faltando pouco mais de 1 ano até atingir-se o horizonte da estimativa, trata-se de uma previsão bastante otimista e quase impossível de vir a ser comprovada. As restantes entidades são aquelas que, perante o número atual de navios, apresentam os resultados mais razoáveis. A Sociedade Classificadora Lloyd's Register (LR) quantifica também 2 cenários, um onde o número de navios é de 653 e outro onde o número de navios é de 1,963. Os cenários têm como horizonte o ano de 2025 e contabilizam somente navios empregues em viagens internacionais. Em todo o caso, é aquela que apresenta um maior conjunto de dados que viabilizam estabelecer uma comparação. Com os dados apresentados extrapolou-se os valores até ao ano de 2030. No cenário mais conservador obtém-se aproximadamente 1,668 navios enquanto que no cenário mais otimista obtém-se aproximadamente 4,767 navios. Comparando os valores retirados no estudo Oxford (2018) com os que aqui são estimados verifica-se que em apenas uma ocasião o número de navios não se encontra contido neste intervalo. Contudo, e como referido, os valores da Sociedade Classificadora LR têm apenas em consideração navios empregues em viagens internacionais pelo que, caso todos os outros fossem considerados, ir-se-ia obter um valor mais aproximado dos 6,725 navios. Após comparação considera-se que os valores dados no estudo Oxford Institute for Energy Studies (2018) apresentam níveis satisfatórios de precisão.

Definido o número de navios que entram em operação anualmente torna-se necessário identificar qual a percentagem associada a cada tipo de navio. Para tal assume-se que, em termos percentuais, as

novas construções são desagrupadas de acordo com a porção existente de navios em operação e de pedidos requisitados. A Tabela 9 apresenta o número total de navios conhecidos, em operação e requisitados, e respetiva percentagem associada a cada tipo de navio.

Tabela 9 - Número total de navios em operação e de pedidos requisitados e respetiva percentagem (DNV GL, 2018).

Tipo(s) de Navio(s)	Navios em operação/requisitados	Percentagem [%]
Navios de passageiros	74	28.4
PSV/Patrolha/Outros	31	11.9
Navios tanque	61	23.4
Ro-Ro	24	9.2
Rebocadores	15	5.7
Carga geral	26	10.0
Porta-contentores	24	9.2
Graneleiros	6	2.3
Total	261	100

De acordo com a informação dada pela Tabela 9 existem um total de 261 navios, dos quais 125 encontram-se atualmente em operação e 136 em fase de projeto. Perante uma ausência de informação acerca de quais os tipos de navios que se estimam existir no futuro decidiu-se assumir que, desde o ano de 2020 até o ano de 2030, as novas construções para cada tipo de navio seguem as percentagens aqui indicadas.

Por último, e para concluir os dados necessários ao cálculo da penetração de navios movidos a GNL, é necessário saber-se a evolução dos diferentes tipos de navios da frota mundial ao longos dos anos, para tal apresenta-se a Figura 22.

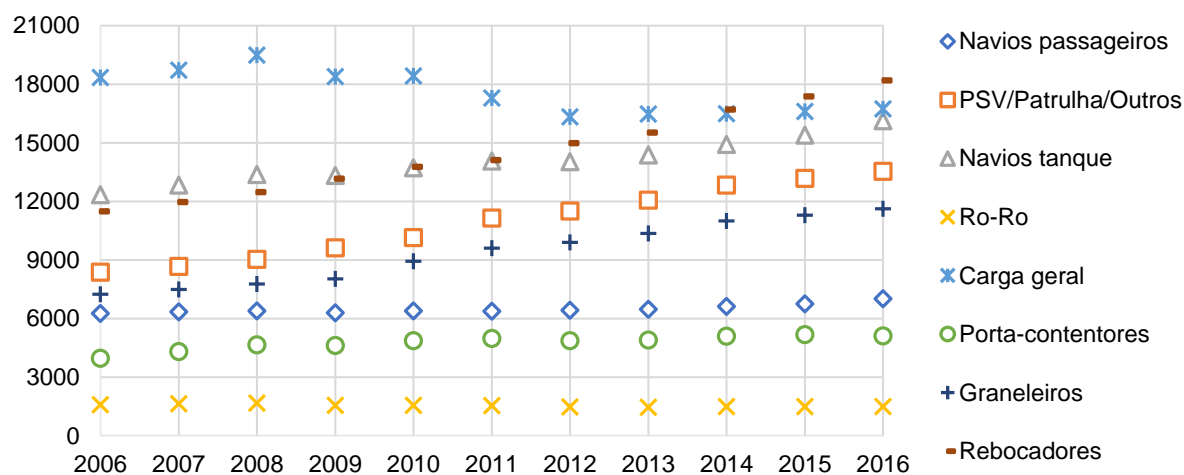


Figura 22 - Evolução do número de navios de carga da frota mundial (EMSA, 2006-2016).

A Figura 22 apresenta a evolução do número de navios, de acordo com o tipo de navio, desde o ano de 2006 até ao ano de 2016. Os valores referem-se a navios de carga e de passageiros. Verifica-se em todos os casos, à exceção dos navios graneleiros, um crescimento contínuo no número de navios. No ano de 2006 observa-se um total de 69,572 navios enquanto que no ano de 2016 verifica-se um total de 89,804 navios.

Após serem conhecidos os valores acima mencionados está-se apto a determinar a penetração dos navios movidos a GNL. Contudo, é necessário aqui salientar um detalhe. Como é observável pela Figura 22 a evolução dos vários tipos de navios não é constante. Isto quer dizer que, ao calcular a penetração dos navios, em determinados tipos de navios os valores de penetração podem apresentar uma tendência decrescente caso o aumento do número de navios da frota mundial seja em muito superior ao aumento do número de navios movidos a GNL. Como tal, e para a aplicação correta da equação 1, a penetração dos navios deve ser relativa a um valor constante e de referência. Para esse efeito utiliza-se os valores relativos ao ano de 2016. Considera-se que desde este ano, onde são conhecidos os últimos valores do número de navios para cada tipo, a evolução do número de navios assume-se constante. De facto, sabe-se que a dimensão dos navios é cada vez maior fazendo com que a cada ano, e com a renovação da frota, seja necessário cada vez menos navios para o transporte da mesma quantidade de carga. Estima-se que em 2050 a frota mundial de navios de carga seja constituída por apenas entre 60,600 e 63,800 navios (DNV GL, 2017). Deste modo acredita-se razoável assumir que deste 2016 até 2030 o número de navios não diverge e não considerar o possível aumento contínuo da maioria dos tipos de navios que seria espectável após análise da Figura 22.

### **3.1.2. Fator de Correção para a Penetração de Navios nos Portos Portugueses**

Neste ponto torna-se necessário avaliar a penetração nos portos portugueses. Para tal assume-se que os valores da penetração nos portos portugueses seguem a mesma tendência da penetração a nível mundial para os diferentes tipos de navios. Apesar da área marítima de Portugal não estar contida nas ECAs, o que faz com que certos tipos de navios possam antes utilizar combustíveis convencionais ao invés de combustíveis com teor de enxofre reduzido, situa-se próximo das áreas marítimas do Norte da Europa. São nestas onde existe o maior número de navios movidos a GNL em operação e onde existe o maior número de pontos de abastecimento para este combustível, conforme pode ser verificado pelas Figuras 13 e 14, respetivamente. Por esta razão acredita-se que Portugal irá beneficiar da posição geográfica e que a penetração de navios nos portos portugueses acompanha a penetração a nível mundial.

### **3.1.3. Número de Entrada de Navios nos Portos Portugueses**

O número de entradas de navios nos portos considerados é facilmente obtido nos documentos publicados pelas respetivas administrações portuárias. Na maioria dos documentos são mencionados os vários tipos de navios que recorrem ao porto e o respetivo número. Contudo, por vezes existe um número de navios que não é identificado pelo tipo, são normalmente denominados por “outros”, e são em muito inferiores quando comparados com o número dos vários tipos de navios identificados. Deste modo, não existindo maneira de classificar estes navios quanto ao tipo, não são aqui considerados. Além destes navios existem outros que também não são considerados: navios de pesca e rebocadores. Os primeiros porque tratam-se na sua maioria de embarcações de dimensão reduzida e por isso a probabilidade de adoção do GNL como combustível é reduzida. Os segundos porque, de acordo com a informação dada no Anexo D – Métodos mais adequados para alguns tipos de navios, o método STS não é adequado para este tipo de navio.



De acordo com os documentos publicados pela Administração dos Portos de Sines e do Algarve (APS) os tipos de navios que entram no porto de Sines são: navios tanque, graneleiros, porta-contentores e navios de carga geral. A Figura 23 apresenta a evolução do número de navios neste porto.

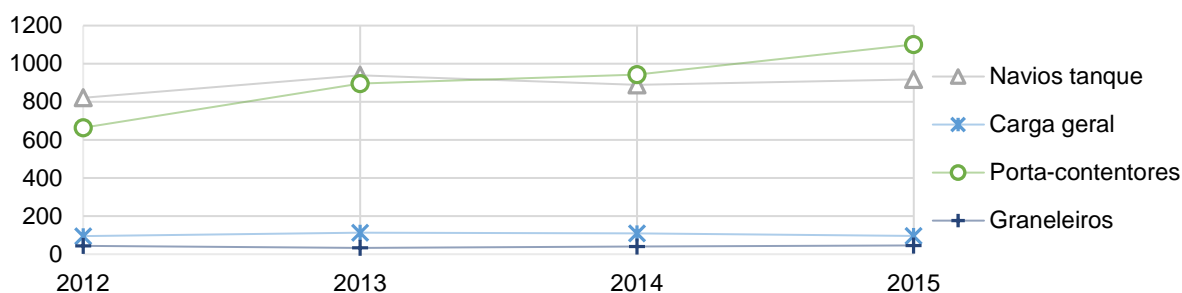


Figura 23 - Evolução do número de navios no porto de Sines (APS).

Anualmente entram em média 1,936 navios no porto de Sines. Navios tanque e navios porta-contentores são os que recorrem ao porto com maior frequência.

De acordo com os documentos publicados pela Administração do Porto de Lisboa (APL) os tipos de navios que entram no porto de Lisboa são: navios de passageiros, navios tanque, Ro-Ro, navios de carga geral, porta-contentores e graneleiros. A Figura 24 apresenta a evolução do número de navios neste porto.

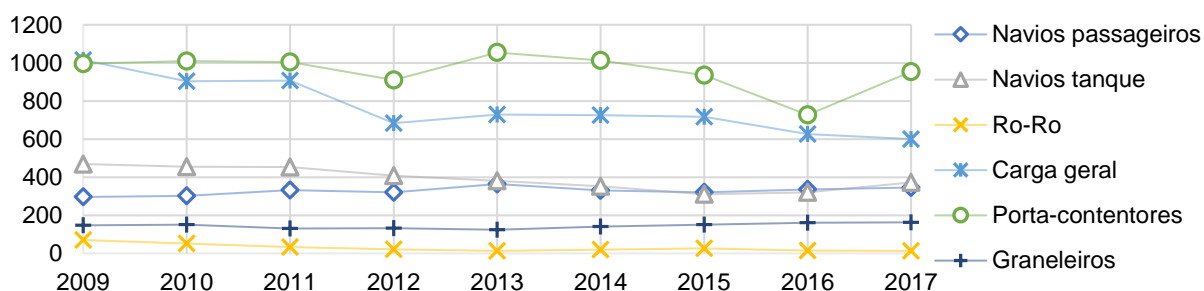


Figura 24 - Evolução do número de navios no porto de Lisboa (APL).

Anualmente entram em média 2,615 navios no porto de Lisboa. Navios porta-contentores e navios de carga geral são os que recorrem ao porto com maior frequência.

De acordo com os documentos publicados pela Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL) os tipos de navios que entram no porto de Leixões são: navios de passageiros, navios tanque, Ro-Ro, navios de carga geral, porta-contentores e graneleiros. A Figura 25 apresenta a evolução do número de navios neste porto.

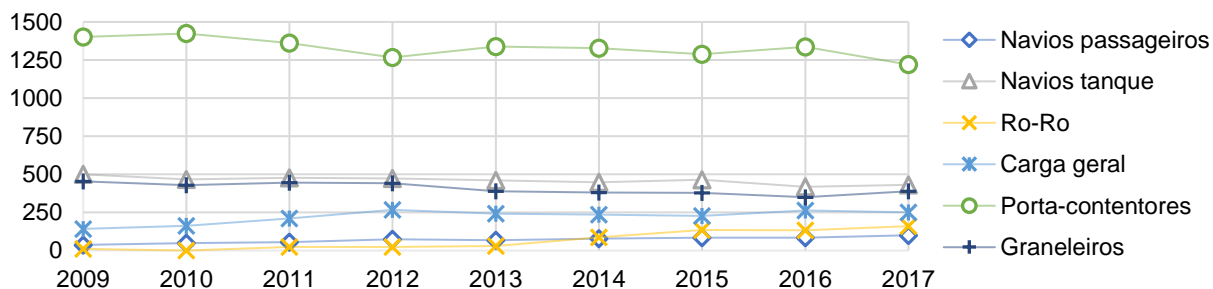


Figura 25 - Evolução do número de navios no porto de Leixões (APDL).

Anualmente entram em média 2,554 navios no porto de leixões. Navios porta-contentores são os que recorrem ao porto com maior frequência.

De acordo com os documentos publicados pela Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira (APRAM) os tipos de navios que entram no porto do Funchal são: navios de passageiros, PSV, navios de guerra, navios especializados, navios tanque, carga geral, porta-contentores e graneleiros. A Figura 26 apresenta a evolução do número de navios neste porto.

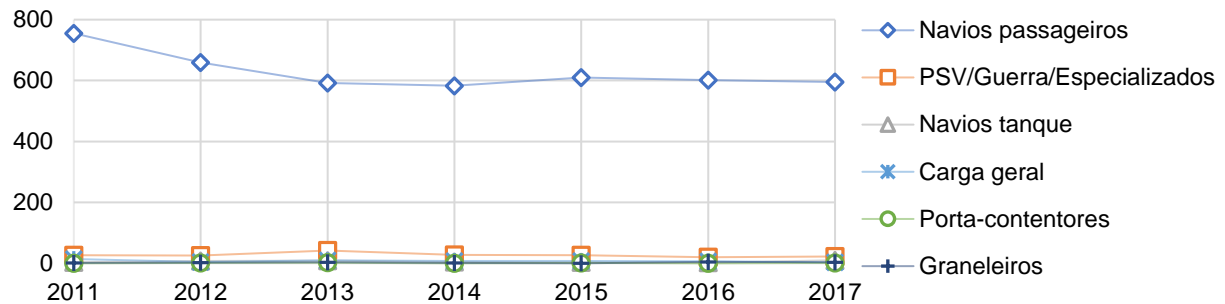


Figura 26 - Evolução do número de navios no porto do Funchal (APRAM).

Anualmente entram em média 672 navios no porto do Funchal. Navios de passageiros são os que recorrem ao porto com maior frequência.

De acordo com os documentos publicados pela Administração da Portos dos Açores (APA) os tipos de navios que entram no porto de Ponta Delgada são: navios de passageiros, navios tanque, navios de carga geral, porta-contentores e graneleiros. A Figura 27 apresenta a evolução do número de navios neste porto.

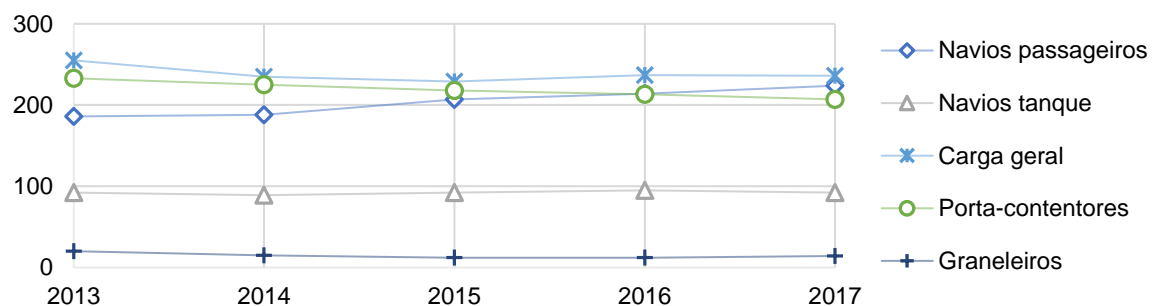


Figura 27 - Evolução do número de navios no porto de Ponta Delgada (APA).

Anualmente entram em média 773 navios no porto de Ponta Delgada. Navios de passageiros, navios porta-contentores e navios de carga geral são os que recorrem ao porto com maior frequência.

Para a aplicação da equação 1 optou-se por trabalhar com os valores médios do número de navios que entram nos portos visto que não existem diferenças significativas nos valores ao longo dos anos. Aqui ir-se-á considerar 2 hipóteses até 2030. Uma em que o número médio de navios mantém-se constante e outra onde existe um aumento gradual de 3%.

### 3.1.4. Probabilidade de Abastecimento

O valor probabilidade de abastecimento é aquele que permite determinar o número de navios em que são requisitadas operações de abastecimento do total de navios movidos a GNL que recorrem aos portos considerados. De acordo com dados da Galp, esta companhia é hoje responsável pelo

abastecimento de cerca de 2,000 navios a nível nacional, perfazendo um total de aproximadamente 800,000 toneladas de combustível vendidos (Revista Cargo, 2018). Segundo o documento publicado pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) no ano de 2017 deu-se um total de vendas de 966,453 toneladas de combustível em bancas marítimas (DGEG, 2017). Comparando as quantidades de combustível verifica-se que a empresa Galp é a mais influente no mercado de bancas marítimas e por isso deduz-se que, anualmente, o número total de navios a abastecer ronda os 2,000 navios. De acordo com a informação publicada pelos documentos das administrações portuárias o número de navios que recorreram aos portos do continente e das ilhas foi de 15,872 navios. Este valor é relativo ao ano de 2015, ano em que é possível aceder ao número total de navios que entraram nos portos. Deste modo estima-se existir uma probabilidade de abastecimento de cerca de 12.6% nos portos portugueses. Face à inexistência de informação suplementar assume-se que a probabilidade de abastecimento é igual em todos os portos e para todos os tipos de navios. Ao longo dos anos considera-se 2 hipóteses. Uma em que a probabilidade de abastecimento mantém-se constante, outra em que existe um acréscimo anual de aproximadamente 1% a este valor, o equivalente a afirmar que no ano de 2030 a probabilidade de abastecimento é de 25%.

### 3.1.5. Capacidade Média dos Tanques de Combustível

O presente ponto tem como objetivo identificar a capacidade dos tanques de GNL de alguns navios em operação e de outros em fase de projeto. Pretende-se determinar os valores médios que melhor generalizem a capacidade dos tanques dos navios.

A capacidade dos tanques varia em cada tipo de navio. Para o mesmo tipo é possível encontrar tanques com dimensões substancialmente diferentes. A Figura 28 apresenta as dimensões dos tanques encontradas para 4 navios, para os vários tipos.

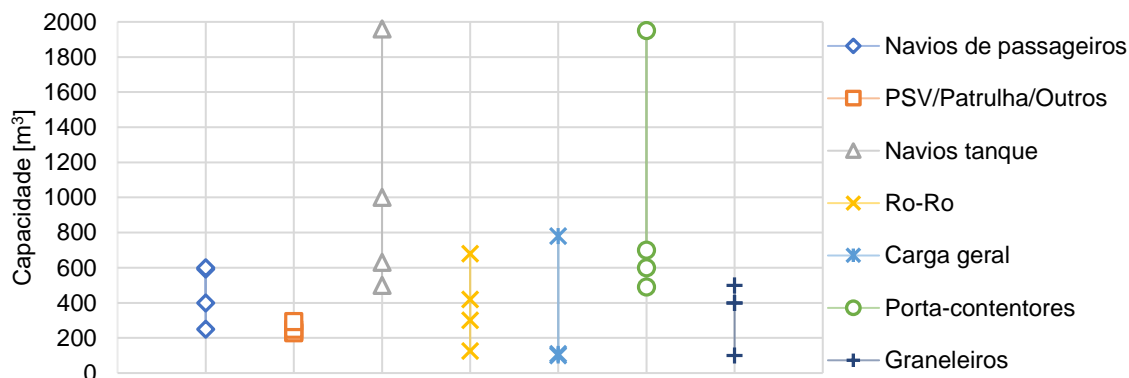


Figura 28 - Capacidade dos tanques de GNL de acordo com o tipo de navio (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015; DME, 2010; Thygesen, J., 2015; ESL Shipping; EVERGAS; EU, 2015; IMO, 2016).

Verifica-se que os navios tanque e porta-contentores são aqueles onde se podem encontrar tanques com dimensão mais elevada, em comparação com os demais, atingindo volumes próximos de 2,000 m³. Navios de apoio a plataformas, navios patrulha, navios graneleiros e navios de carga geral são aqueles onde o volume dos tanques de alguns navios encontrados é mais reduzido. Relembra-se que as dimensões dos tanques dadas pela Figura 28 são obtidas para 4 navios diferentes, para os tipos de navios considerados. Sabe-se que se trata de um número reduzido de navios, contudo nem sempre é possível aceder à informação de navios mais recentes. Por vezes para navios menos recentes

também se torna difícil aceder a esta informação. Apesar de existirem tanques com volumes diferentes, em vários tipos de navios, acredita-se que a diferença não é significativa e que os valores dados pela Figura 28 são suficientes para quantificar o valor médio dos tanques de forma satisfatória. Procurou-se sempre encontrar tanques com volumes diferentes de modo a aumentar o intervalo de confiança e a obter valores médios que sejam capazes de traduzir a capacidade geral dos tanques existentes.

A Tabela 10 apresenta os volumes médios considerados para cálculo. Em média os navios tanques e os navios porta-contentores, aqueles que apresentam capacidades mais elevadas, são caracterizados por uma capacidade de 1,023 e 935 m<sup>3</sup>, respetivamente. São várias as razões que levam a que estes navios sejam os que possuam ou possam vir a possuir tanques com maior dimensão. Por exemplo, e como referido no ponto 2.2. Tipos de Navios que Utilizam GNL, nos navios tanque é possível introduzir os tanques em cima do convés sem comprometer a carga a transportar.

Tabela 10 - Volume médio dos tanques de GNL para vários tipos de navios.

Tipo(s) de Navio(s)	Volume médio tanques GNL [m <sup>3</sup> ]
Navios de passageiros	461
PSV/Patrolha/Outros	252
Navios tanque	1,023
Ro-Ro	381
Carga geral	273
Porta-contentores	935
Graneleiros	350

Nos navios porta-contentores também é dito que quando empregues em viagens internacionais, e num serviço regular, é possível usufruírem dos preços reduzidos de GNL praticados na América do Norte. Em sentido contrário, tipos de navios empregues em mercados altamente competitivos, caso dos graneleiros, não apresentam serviço regular e por isso apresentam dimensões de tanques reduzidas. Tal facto prende-se principalmente à preocupação da ausência de pontos de abastecimento de GNL ao longo de rotas que possam a ter de vir a percorrer. A reduzida capacidade dos tanques também é justificada pela configuração deste tipo de navio, não é possível introduzir tanques no convés como acontece nos navios tanque. Os outros tipos de navios apresentam capacidades médias e reduzidas sendo que os navios de apoio a plataformas e navios patrulha são caracterizados por capacidades inferiores em relação aos demais. Destaca-se que as capacidades obtidas para navios de passageiros são obtidas unicamente para navios do tipo ferry pois não existem cruzeiros em operação e por isso a informação existente é escassa. Contudo, existem vários navios do tipo ferry que pelas características e elevadas dimensões assemelham-se em muito a cruzeiros pelo que se acredita que os valores encontrados traduzem de modo satisfatório a capacidade dos tanques que será aplicada nestes navios.

### 3.1.6. Volume de Combustível abastecido

O volume de combustível abastecido não é igual à capacidade dos tanques de um dado navio. Naturalmente os navios não chegam ao porto completamente sem combustível, no pior dos cenários chegam com uma margem de reserva mínima. Para quantificar qual o volume de combustível abastecido optou-se por considerar um abastecimento de 75% da capacidade média, para todos os

navios. Acredita-se ser um valor que traduz a realidade de operações de abastecimento e, face à ausência de informação acerca desta matéria, este é o valor a ser considerado.

### 3.1.7. Síntese do Método de Estimativa de Procura de GNL

O presente ponto tem como objetivo proceder à síntese do método aplicado para a estimativa da procura de GNL nos portos portugueses. Pretende-se identificar todos os diferentes cenários. Para tal apresenta-se a Tabela 11 que identifica os cenários considerados.

Tabela 11 - Síntese dos parâmetros considerados para a construção dos diferentes cenários de procura de GNL.

Cenário	Número de novas construções anuais	Variação de $N_{ijk}$	Variação de $P_{jk}$
1.a (20x10 <sup>6</sup> ton)	170	0%	0%
1.b (20x10 <sup>6</sup> ton)	170	+3%	+1%
2.a (20x10 <sup>6</sup> ton)	400	0%	0%
2.b (20x10 <sup>6</sup> ton)	400	+3%	+1%
3.a (30x10 <sup>6</sup> ton)	255	0%	0%
3.b (30x10 <sup>6</sup> ton)	255	+3%	+1%
4.a (30x10 <sup>6</sup> ton)	600	0%	0%
4.b (30x10 <sup>6</sup> ton)	600	+3%	+1%

Destaca-se que a informação contida na Tabela 11 é somente referente aos valores variáveis. Observam-se 4 cenários a serem construídos, 2 para a procura estimada de 20 Milhões de toneladas e 2 para a procura estimada de 30 Milhões de toneladas, procura essa a nível mundial e no ano de 2030. Cada cenário é constituído por um limite inferior e um limite superior. Nestes cenários são 3 os parâmetros que diferem: número de novas construções anuais,  $N_{ijk}$  (Número de entradas de navios nos portos portugueses) e  $P_{jk}$  (Probabilidade de abastecimento). O número de novas construções anuais é considerado desde o ano 2020, como referido considera-se que o número de navios em operação (125 navios) é suficiente para perfazer a procura mundial estimada no ano de 2019. Quanto ao número de entrada de navios nos portos portugueses consideram-se 2 hipóteses, uma em que o número médio de entradas mantém-se inalterado e outra em que desde o ano de 2019 existe um aumento constante de 3%. Por último, relativamente à probabilidade de abastecimento consideram-se também 2 hipóteses, uma em que a probabilidade de abastecimento nos portos é sempre cerca de 12.6% e outra em que anualmente existe um acréscimo de aproximadamente 1% a este valor, o equivalente a dizer que por volta do ano de 2030 existe uma probabilidade de abastecimento de 25%. Os restantes parâmetros são constantes para todos os cenários. São eles o fator de penetração nos portos portugueses, a capacidade média dos tanques e o volume de combustível abastecido.

Como pode ser observado alguns tipos de navios são agrupados num único conjunto: PSV/Patrolha/Outros. Outros referem-se a alguns tipos de navios tais como navios quebra-gelo e navios de perfuração. Optou-se por proceder deste modo com o intuito simplificar a estimativa da procura de GNL. Atendendo à semelhança das capacidades dos tanques de combustível destes navios os valores de procura de GNL não são afetados e o processo de procura torna-se substancialmente mais simples. Navios do tipo Ro-Ro referem-se também a navios do tipo Ropax e *Car carrier*.

A estimativa da procura de GNL é um processo no qual são várias as considerações realizadas. Algumas delas com base naquilo que se acha ser razoável e não devidamente fundamentadas com

base em factos, muito em parte pela ausência de informação publicamente disponível. Por estas razões optou-se pela construção de vários cenários a fim de elevar o grau de confiança nos resultados obtidos e respetiva análise. A secção seguinte pretende mencionar todas as etapas ao nível da simulação e tratamento de dados para que seja possível analisar a viabilidade económica de um negócio de abastecimento de GNL, assente nos cenários estipulados.

### 3.2. Simulação do Sistema de Abastecimento de GNL como Combustível Marítimo

A simulação de eventos discretos permite avaliar o comportamento de um determinado sistema assente numa sucessão de processos ao longo do tempo. Trata-se de um método computacional caracterizado por uma elevada capacidade de processamento. Desde modo é possível avaliar o comportamento do sistema perante os diversos cenários de procura de GNL e perante a aleatoriedade de alguns eventos e processos necessários às operações de abastecimento. Procedendo a múltiplas simulações do mesmo sistema viabilizam-se tomadas de decisão e otimização dos processos que o definem. Destaca-se que a implementação do sistema e a respetiva simulação são realizadas com recurso ao programa de simulação ARENA.

O presente ponto visa mencionar todas as etapas adotadas para a construção do modelo de viagem do navio de abastecimento, isto é, o sistema em questão. Com ele, e através do programa ARENA, é possível proceder ao estudo do seu comportamento perante diversas situações. Posteriormente, e com os dados recolhidos após simulação, é possível realizar uma análise financeira a fim de concluir a viabilidade ou não do negócio em termos económico-financeiros.

#### 3.2.1. Modelo de Viagem

O modelo de viagem é definido por todos os processos necessários às operações de abastecimento por parte de um navio de abastecimento sediado no porto de Sines. Este navio é responsável pelo abastecimento de navios movidos a GNL nos portos de Sines, Lisboa, Leixões, Funchal e Ponta Delgada. A Figura 29 ilustra os portos nos quais são necessárias operações de abastecimento.



Figura 29 - Portos marítimos portugueses nos quais são necessárias operações de abastecimento, retirado de (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015).

Como referido o navio de abastecimento encontra-se sediado no porto de Sines. Este é o único porto onde existe um terminal de importação no qual o navio reabastece os tanques de GNL. Após o reabastecimento o navio é capaz de dar resposta a pedidos de abastecimento que surgem nos portos ilustrados pela Figura 29. O número, local e a quantidade dos pedidos de abastecimento regem-se de acordo com os diferentes cenários da estimativa da procura de GNL.

O estado inicial do modelo de viagem, isto é, o momento exato em que se inicia o processo de simulação, é definido pelo navio de abastecimento a aguardar missão no porto de Sines. Caso não existam pedidos de abastecimento o navio permanece inativo e a aguardar missão. Caso existam pedidos de abastecimento o navio inicia viagem até ao porto no qual é solicitado o pedido e procede à operação de abastecimento. Após o abastecimento coloca-se a mesma questão do instante inicial da simulação. Caso não existam pedidos o navio aguarda missão em porto, o último no qual procedeu ao abastecimento, caso existam pedidos o navio inicia novamente viagem para o porto onde é solicitado o novo pedido. Naturalmente, nem sempre é possível serem realizados abastecimentos consecutivos. Após o processo de abastecimento num determinado porto a capacidade remanescente dos tanques pode verificar-se insuficiente para satisfazer o pedido seguinte. Caso assim seja surge a necessidade de o navio retornar ao porto de Sines e proceder ao reabastecimento dos tanques. Com os tanques cheios o navio encontra-se em condições de iniciar um novo ciclo de viagem.

Uma vez por ano é necessário serem conduzidas ações de manutenção. Para esse efeito o navio suspende as operações de abastecimento. As ações de manutenção são agendadas para decorrerem na metade de cada ano. Caso o navio esteja a aguardar missão a manutenção dá-se nesse mesmo instante. Caso o navio esteja a atender um pedido a manutenção dá-se no final da operação. Considera-se um período de 15 dias para a atividade de manutenção.

O modelo de viagem considera, a nível de tomada de decisão, que no caso de o navio concluir uma operação de abastecimento e não existir nenhum pedido em fila de espera o navio suspende o funcionamento, aguardando por um novo pedido. Esta situação pode ou não ser benéfica para o negócio. Por um lado, após o surgir de um novo pedido o navio pode ter a capacidade suficiente para proceder à operação. Caso assim seja a capacidade remanescente permite o abastecimento e evita-se uma ida desnecessária ao porto de Sines. Por outro lado, o volume do pedido pode ser superior à capacidade existente nos tanques. Nesta situação não existem condições para o abastecimento, primeiro é necessário reabastecer os tanques e por isso a operação torna-se menos eficiente, aumentando-se substancialmente o tempo de atendimento do pedido. Esta situação é agravada caso, por exemplo, o navio esteja a aguardar missão no Porto do Funchal e o local do próximo pedido seja o porto de Ponta Delgada. As distâncias entre os portos das ilhas e do continente são elevadas, em comparação com as distâncias entre os portos do continente, e por isso o tempo de atendimento torna-se excessivo. Por estas razões, e nos casos onde o navio se encontre a aguardar missão e não existam pedidos em lista de espera, optou-se por definir uma quantidade limite como critério. Caso a capacidade existente do navio de abastecimento seja inferior a esse valor o navio tem ordem para viajar até ao porto de Sines, reabastecer e aguardar nova missão. Caso a capacidade existente seja superior à quantidade limite o navio permanece a aguardar pelo próximo pedido.

Com o intuito de simular-se um modelo mais realista, optou-se também por adotar uma condição relativamente ao tempo de espera dos pedidos. Em certos momentos da simulação pode verificar-se um acumular de pedidos, sendo as causas as seguintes: número de pedidos elevado, navio em atividade de manutenção e operações de abastecimento com duração elevada, incluindo o tempo de viagem. Logicamente, nestes casos, os clientes que os requisitam podem optar por desistir do pedido e abastecer noutra porto caso o tempo de espera seja superior ao que seria espectável. Por esta razão admite-se que os pedidos de abastecimento são requisitados com 72 horas de antecedência. Caso o tempo de atendimento seja superior a este valor dá-se a desistência do pedido. Caso contrário o navio de abastecimento encontra-se dentro do prazo de atendimento e o pedido permanece na lista. Destaca-se que o navio de abastecimento inicia o atendimento no momento exato em que retira o pedido da lista de espera. Dependendo do porto onde se encontra e do local onde o abastecimento é necessário certos clientes podem ter de esperar mais de 72 horas até o pedido ser satisfeito. Admite-se tratar-se de um tempo adicional de espera, tolerável, no qual não existem desistências.

Destaca-se que não existe gestão ao nível do atendimento dos diferentes pedidos, o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido. Em anexo ao documento pode ser consultado o fluxograma do modelo de viagem acima descrito (Anexo E).

### 3.2.1.1. Navios de Abastecimento Utilizados

Como referido no ponto 2.3.2. Abastecimento STS os navios de abastecimento apresentam uma capacidade entre 500 e 20,000 m<sup>3</sup>, alguns dos quais com capacidade máxima de 3,000 m<sup>3</sup>. Face ao reduzido número de entradas de navios nos portos portugueses os valores de procura de GNL serão sempre inferiores quando comparados com os valores de procura em alguns portos marítimos espalhados pelo mundo. Deste modo aqui ir-se-á considerar 2 navios com capacidades distintas, um com capacidade de 1,530 m<sup>3</sup> e outro com capacidade de 3,000 m<sup>3</sup>. Pretende-se avaliar qual dos navios apresenta maior potencial para as operações de abastecimento, isto é, determinar com qual dos navios é possível obter resultados financeiros mais atrativos. A Tabela 12 apresenta as características principais do navio de abastecimento com capacidade de 1,530 m<sup>3</sup>.

Tabela 12 - Características principais do navio de abastecimento com capacidade de 1,530 m<sup>3</sup>, adaptado de (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015).

LOA [m]	73
LPP [m]	67.4
B [m]	12.8
D [m]	6.5
T [m]	3.5
GT	2,300
P <sub>ME</sub> [kW]	2x1,100
P <sub>AE</sub> [kW]	2x640
Q bombas [m <sup>3</sup> /h]	4x200
v [kn]	14

As características principais dadas pela Tabela 12 são referentes a um navio de abastecimento com capacidade de 1,530 m<sup>3</sup> trabalhado no estudo T.A. Santos, C. Guedes Soares (2015), estudo esse



semelhante ao que aqui é realizado excetuando principalmente a simulação de eventos discretos e a comparação com um outro navio de abastecimento.

O navio de abastecimento com capacidade de 3,000 m<sup>3</sup> é baseado num projeto da empresa Wärtsilä. A Tabela 13 apresenta as características principais do navio de abastecimento com capacidade de 3,000 m<sup>3</sup>. Destaca-se que o número de bombas e o caudal volúmico de cada uma não é disponibilizado para este navio. Por esta razão optou-se por assumir a mesma condição do navio de abastecimento com capacidade de 1,530 m<sup>3</sup>, 4 bombas com caudal volúmico individual de 200 m<sup>3</sup>/h.

Tabela 13 - Características principais do navio de abastecimento com capacidade de 3,000 m<sup>3</sup> (Wärtsilä).

LOA [m]	84.7
LPP [m]	82.6
B [m]	15.2
D [m]	8
T [m]	4.25
GT	3,900
P <sub>ME</sub> [kW]	2x1,200
P <sub>AE</sub> [kW]	2x1,065
Q̇ bombas [m <sup>3</sup> /h]	4x200
v [kn]	12

Em anexo ao documento podem ser consultadas as características principais e o arranjo geral do navio com capacidade de 3,000 m<sup>3</sup> (Anexo F).

### 3.2.1.2. Duração das Viagens

A duração das viagens é definida essencialmente pela distância entre o porto de origem e o porto de destino e pela velocidade de navegação. A Tabela 14 apresenta as distâncias entre os portos marítimos considerados.

Tabela 14 - Distância expressa em milhas náuticas entre os portos marítimos considerados (APA, 2015; T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015).

Portos	Sines	Lisboa	Leixões	Funchal	Ponta Delgada
Sines	2	-	-	-	-
Lisboa	54	2	-	-	-
Leixões	207	168	2	-	-
Funchal	506	529	648	2	-
Ponta Delgada	803	783	815	530	2

Considera-se uma distância de 2 milhas náuticas a ser percorrida no interior de todos os portos. Pretende-se ter em conta a distância percorrida na deslocação e em manobras quando o local de origem do navio de abastecimento coincide com o local onde é requisitado o novo pedido.

Para os 2 navios de abastecimento considera-se uma velocidade de 12 kn apesar de, de acordo com a Tabela 12, o navio de 1,530 m<sup>3</sup> apresentar uma velocidade de serviço de 14 kn. O objetivo passa por equilibrar a duração das viagens a fim de concluir com certeza qual a dimensão mais indicada para operações de abastecimento nos portos portugueses. Também para os 2 navios considera-se uma velocidade de 6 kn dentro dos portos. Por norma, de acordo com as regras existentes de navegação, não são definidos os limites de velocidades dentro do porto. A velocidade deve ser aquela que não

perturbe nem apresente riscos a todo o meio envolvente. Acredita-se que, para os 2 navios de abastecimento considerados, a velocidade considerada não interfere de qualquer maneira nas atividades decorrentes no interior do porto.

A duração das viagens não é constante e definida exclusivamente pela distância percorrida e pela velocidade de operação, existem alguns acontecimentos que podem prolongar o tempo de viagem, estes são: existência de mau tempo, avarias dos motores e congestionamento no interior dos portos. Deste modo assume-se que em alguns casos pode existir um acréscimo no tempo de viagem. Adotou-se uma distribuição triangular para descrever a variabilidade das durações das viagens. Os valores mínimos e médios são iguais e dados pelas distâncias e velocidades consideradas. O valor máximo é definido por um acréscimo de 25% na duração de viagem. De acordo com o considerado, a variabilidade do tempo de viagem é definida por  $T \sim \text{TRIA}(1, 1, 1.25)$ .

### **3.2.1.3. Duração dos Processos de Reabastecimento e Abastecimento**

A par da duração das viagens, duração da atividade anual de manutenção e do tempo em que aguarda missão existe ainda o tempo consumido nas operações de reabastecimento, no porto de Sines, e abastecimento em todos os portos considerados.

A duração do processo de abastecimento é dada pelo volume de GNL requisitado e pela capacidade das bombas do navio de abastecimento. Como referido, cada navio possui 4 bombas com caudal volúmico individual de 200 m<sup>3</sup>/h. Contudo, considera-se que somente uma bomba funciona no processo de abastecimento. De acordo com o Anexo F o navio de abastecimento de 3,000 m<sup>3</sup> é constituído por 2 tanques de GNL. Face à ausência de informação sobre o número de tanques do navio de 1,530 m<sup>3</sup> assume-se que também é constituído por 2 tanques. Desta forma existem 2 bombas para cada tanque, uma para a operação de abastecimento e outra para caso existam avarias e a possível interrupção da bomba principal. Considera-se que o GNL abastecido nunca é proveniente dos 2 tanques em simultâneo, assim o caudal volúmico nunca é superior a 200 m<sup>3</sup>/h. Trata-se de um valor consideravelmente reduzido em comparação com o caudal típico para operações de abastecimento através deste método, 500 - 1,000 m<sup>3</sup>/h de acordo com a Tabela 4. Contudo, como referido, a velocidade de abastecimento varia de acordo com as dimensões dos tanques do navio a abastecer. De acordo com o estudo EMSA (2018) um navio de passageiros existente com capacidade de 445 m<sup>3</sup> é caracterizado por uma velocidade máxima de abastecimento de precisamente 200 m<sup>3</sup>/h (EMSA, 2018). Deste modo, acredita-se que se trata de uma velocidade de abastecimento razoável para a maioria dos navios e por isso considera-se uma velocidade constante de 200 m<sup>3</sup>/h em todos os processos de abastecimento.

A duração do processo de reabastecimento é dada pela capacidade remanescente dos tanques do navio de abastecimento e pelo caudal volúmico das bombas do terminal. Como é referido no ponto 2.3.2. Abastecimento STS a capacidade dos navios de abastecimento varia entre 500 e 20,000 m<sup>3</sup> e os navios são carregados a uma taxa compreendida entre 200 e 3,000 m<sup>3</sup>/h. Não sabendo a velocidade com que é possível reabastecer os tanques no porto de Sines assume-se que a velocidade de reabastecimento (200 - 3,000 m<sup>3</sup>/h) varia linearmente de acordo com a dimensão dos navios (500 -

20,000 m<sup>3</sup>). Para o navio de abastecimento de 1,530 m<sup>3</sup> obtém-se uma velocidade de 347.9 m<sup>3</sup>/h e para o navio de abastecimento de 3,000 m<sup>3</sup> obtém-se uma velocidade de 559.0 m<sup>3</sup>/h.

A duração dos processos de abastecimento e reabastecimento não é constante e definida exclusivamente pelos volumes de GNL manuseados e pelas velocidades de abastecimento. Por um lado, as bombas não têm a capacidade de providenciar GNL sempre a uma velocidade constante. No início do processo existe um aumento gradual na velocidade de abastecimento, durante o processo a velocidade é constante e no final do processo dá-se uma redução gradual da velocidade. Por esta razão, e com o objetivo de fornecer a quantidade exata, a duração será sempre ligeiramente superior ao que seria espetável. Aqui considera-se também possíveis avarias das bombas e condições climatéricas adversas que possam limitar os processos e aumentar a duração dos mesmos. À semelhança do que é considerado para a duração das viagens, adotou-se uma distribuição triangular para descrever a variabilidade da duração dos processos. Os valores mínimos e médios são iguais e dados pelo total de GNL manuseado e pela velocidade do processo. O valor máximo é definido por um acréscimo de 10% a esse valor. De acordo com o considerado, a variabilidade do tempo dos processos é definida por T-TRIA (1, 1, 1.10).

Associado aos processos de abastecimento e reabastecimento existem ainda alguns procedimentos que acarretam consumo de tempo. Alguns destes procedimentos são: abertura e fecho de válvulas, arrefecimento dos componentes e equipamentos, conexão de mangueiras aos pontos de abastecimento, drenagens, inertizações, entre outros (EMSA, 2018). De um modo geral o tempo de preparação é de 0.5 horas (EU, 2015). A fim de contabilizar estes procedimentos na simulação considera-se um tempo de preparação e de finalização de 0.5 horas nos processos de abastecimento e reabastecimento que somará aos tempos efetivos das operações.

#### **3.2.1.4. Tomada de Decisão**

Como referido optou-se por introduzir uma condição a ser verificada nas situações em que o navio conclui uma operação de abastecimento e não existem pedidos em lista de espera. Caso a quantidade remanescente dos tanques seja inferior à quantidade limite o navio tem ordem para reabastecer em Sines, caso contrário o navio aguarda pelo próximo pedido. Nesta situação, em que a quantidade remanescente é superior à quantidade limite, nada garante que o navio seja capaz de satisfazer o próximo pedido. Deste modo ao introduzir-se esta condição possibilitam-se tomadas de decisão. Pretende-se encontrar qual a melhor decisão que conduz a resultados financeiros mais atrativos. Para o navio de 1,500 m<sup>3</sup> considera-se os limites de 510, 1,020 e 1,530 m<sup>3</sup>. Para o navio de 3,000 m<sup>3</sup> considera-se os limites de 1,000, 2,000 e 3,000 m<sup>3</sup>.

#### **3.2.2. Pedidos de Abastecimento Requisitados**

O número de pedidos de abastecimento é obtido de acordo com os vários cenários estipulados. Em cada cenário sabe-se o número anual de pedidos requisitados, em cada porto e para cada tipo de navio. A fim de introduzir o número de pedidos no sistema é necessário determinar-se qual a periodicidade com que estes são efetuados. A melhor opção consiste em encontrar uma distribuição que melhor se adequa aos dados estatísticos de entradas de navios nos portos considerados. Contudo, estes dados

não foram encontrados. Quando apenas existe informação acerca do número anual de entradas de navios a distribuição de Poisson assume-se como a opção mais credível para traduzir a evolução do número de entradas ao longo do tempo (Asperen *et al.*, 2004). Deste modo aqui ir-se-á considerar a distribuição de Poisson. Ao utilizar-se esta distribuição o tempo entre chegadas consecutivas é dado por uma distribuição exponencial negativa (Asperen *et al.*, 2004). Para a sua implementação é necessário conhecer-se a média do tempo entre chegadas consecutivas. Este valor é obtido relacionando o número de entradas de navios, em cada porto e para cada tipo, e o tempo relativo a 1 ano de operação. De acordo com o considerado, o tempo entre pedidos de abastecimento consecutivos, para cada tipo e em cada porto, é definido por T-EXPO ( $\bar{X}$ ) em que  $\bar{X}$  representa o tempo médio entre chegadas consecutivas. No decorrer dos anos de simulação o número de navios movidos a GNL que entram nos portos aumenta e por isso o valor médio diminui. Desta forma, o parâmetro da distribuição exponencial é diferente em cada ano de simulação, caso de facto se verifique um aumento do número de chegadas em relação ao ano anterior.

### **3.2.3. Simulação do Sistema**

Após estabelecido o modelo de viagem e a periodicidade de chegada dos pedidos está-se apto a proceder à simulação. O tempo de simulação são 12 anos, começa no início de 2019 e termina no final de 2030. A simulação é realizada para todos os limites de todos os cenários, para os 2 navios de abastecimento e para os critérios de quantidade limite definidos para cada um. No total existem 48 sistemas possíveis de se simular. Destaca-se que cada simulação é replicada 100 vezes. Isto quer dizer que para a mesma simulação é possível analisar o comportamento do sistema quando existem variações das distribuições aplicadas. Estas variações são ao nível da:

- Duração das viagens;
- Duração dos processos de abastecimento e reabastecimento;
- Da distribuição de pedidos de abastecimento requisitados.

Neste último numa dada replicação o número de navios a requisitar GNL pode ser superior ao estimado e noutra replicação pode ser inferior. Ao simular o mesmo sistema 100 vezes o valor médio dos pedidos requisitados tende a igualar o valor estimado.

## **3.3. Análise Económico-Financeira**

Após conhecidos os resultados do processo de simulação está-se apto a estabelecer a análise financeira. Com esta é possível analisar a viabilidade económica do negócio de operações de abastecimento através do método STS. Pretende-se concluir se existem condições para a existência de um negócio rentável e atrativo. Os pontos que se seguem mencionam todas as etapas e considerações para a implementação da análise financeira.

### **3.3.1. Custos do Navio**

São vários os tipos de custos associados à operação do navio: custos de capital, custos operacionais, custos de viagem, custos de manutenção periódica e custos relacionados com manuseamento do GNL. Os custos de capital consistem nos gastos associados à aquisição do navio. Os custos operacionais

consistem nos gastos associados a abastecimentos e lubrificantes, manutenção e reparação de rotina, seguros, à administração e à tripulação. Os custos de viagens consistem nos gastos portuários e de combustíveis. Os custos de manutenção periódica consistem nos gastos de reparação e manutenção. Custos relacionados com operações de carga e de descarga consistem nos gastos associados ao manuseamento da carga. Os custos do navio podem ser agrupados com algumas variantes, aqui ir-se-á considerar 5 tipos de custos com as categorias acima descritas.

### 3.3.1.1. Custos de Capital

De acordo com o estudo EU (2015) o custo de aquisição de um navio de abastecimento de dimensão reduzida pode atingir os 20 Milhões de euros (EU, 2015). A Tabela 15 apresenta o custo de aquisição para navios de abastecimento com dimensão diferente.

Tabela 15 - Custo de aquisição de alguns navios de abastecimento (Adaptado de [EU, 2015])

Dimensão [m <sup>3</sup> ]	Custo de aquisição [Milhões de euros]
1,000	20
3,000	28
4,000	32
10,000	41

Destaca-se que, de acordo com o estudo de onde é retirada a informação dada pela Tabela 15, os custos de aquisição são para navios com vida útil de 20 anos. A fim de estimar o custo de aquisição do navio de abastecimento de 1,500 m<sup>3</sup> procedeu-se a uma aproximação linear. Deste modo obtém-se um custo de 23.815 Milhões de euros. O navio de 3,000 m<sup>3</sup> requer um custo de 28 Milhões de euros, conforme indicado pela Tabela 15.

### 3.3.1.2. Custos Operacionais

Os custos da tripulação incluem salários, encargos sociais, recrutamento e treino, entre outros. De acordo com D'Almeida (2009) o custo anual da tripulação é estimado pela seguinte equação.

$$Ct = K \times N^{0.95} \quad (2)$$

Onde,

Ct – Custo anual da tripulação [\$]

K – Coeficiente em função do tipo de tripulação e de navio

N – Número de tripulantes

O valor do coeficiente K é de 56,000 e é dado para um navio petroleiro e para uma tripulação sul-europeia. De acordo com D'Almeida (2009) o número dos tripulantes é estimado pela seguinte equação.

$$N = K1 + K2 \times CN/1000 + K3 \times HP^{0.5} \quad (3)$$

Onde,

K1 - Coeficiente em função do tipo de tripulação e de navio

K1, K3 - Coeficiente em função do tipo de navio

CN – Número cúbico do navio [m<sup>3</sup>]

HP – Potência instalada [hp]

O valor do coeficiente K1 é de 7 e é dado para um navio petroleiro e para uma tripulação sul-europeia. Os valores dos coeficientes K2 e K3 são de 0.05 e de 0.020, respetivamente, e são dados para navios petroleiros.

Os custos de abastecimentos e lubrificantes são normalmente designados por consumíveis. Trata-se, por exemplo, de alimentos e de produtos de higiene e de limpeza. De acordo com D'Almeida (2009) o custo anual dos consumíveis é estimado pela seguinte equação.

$$Cal = K1 \times N + K2 \times CN^{0.25} + K3 \times HP^{0.7} \quad (4)$$

Onde,

Cal – Custo anual dos abastecimentos e lubrificantes [\\$]

K1 – Coeficiente geral

K2 - Coeficiente em função do tipo de navio

K3 - Coeficiente em função do tipo de motor

O valor do coeficiente K1 é de 3,500 e é comum a todos os navios. Os valores dos coeficientes K2 e K3 são de 5,000 e de 250, respetivamente. O primeiro é dado para navios tanque e o segundo é dado para navios com motores a 4-tempos.

Os custos de manutenção e reparação referem-se a atividades de manutenção corrente e a reparações de rotina, incluindo sobressalentes. De acordo com D'Almeida (2009) o custo anual de reparação e manutenção é estimado pela seguinte equação.

$$Cmr = K1 \times P + K2 \times HP^{0.66} \quad (5)$$

Onde,

Cmr – Custo anual de reparação e manutenção [\\$]

K1 – Coeficiente geral

K2 - Coeficiente em função do tipo de motor

P – Custo de aquisição do navio [\\$]

Os valores dos coeficientes K1 e K2 são de 0.0035 e de 125, respetivamente. O primeiro é dado para todos os navios e o segundo é dado para navios com motores a 4-tempos.

Os custos relacionados com seguros cobrem os riscos de danos próprios e de danos contra terceiros. Os seguros são estabelecidos por meio de companhias de seguros e por meio de companhias mútuas de armadores (P&I). De acordo com D'Almeida (2009) o custo anual dos seguros é estimado pela seguinte equação.

$$Cs = K1 \times V + K2 \times GT \quad (6)$$

Onde,

Cs – Custo anual dos seguros [\\$]

K1, K2 – Coeficiente em função do tipo de navio e do porte bruto

V – Capital seguro [\\$]

GT – Arqueação bruta

Os valores dos coeficientes K1 e K2 são de 0.019 e de 12.0, respetivamente. Os coeficientes são dados para navios tanque com porte bruto inferior a 20,000 toneladas. O capital seguro é definido pelas companhias de seguros. Aqui assume-se o valor corrente no navio, isto é, o correspondente à subtração entre o valor de aquisição e a depreciação verificada até à data.

Os custos administrativos dependem do modelo de gestão do armador, da dimensão da frota, entre outros. De acordo com D'Almeida (2009) os custos anuais administrativos podem ascender a 150,000 dólares para um navio tanque.

Destaca-se que se considera um aumento anual de 2% em todos os custos, a partir de 2020, à exceção dos custos relacionados com os seguros e com as manutenções e reparações de rotina. Para os custos das manutenções e reparações de rotina considera-se um aumento anual de 7%, também a partir de 2020. Este incremento nos custos retrata aquilo que geralmente acontece ao longo da vida útil do navio.

### **3.3.1.3. Custos de Manutenção Periódica**

Os custos de manutenção periódica referem-se aos gastos de atividades de manutenção e reparação mais complexas e exigentes, realizadas com um determinado intervalo de tempo entre si. De acordo com D'Almeida (2009) o custo anual associado à manutenção periódica é estimado pela seguinte equação:

$$Cd = K1 \times P \quad (7)$$

Onde,

Cd – Custo anual de docagem [€]

K1 - Coeficiente em função do tipo de navio

P – Custo de aquisição do navio [€]

O valor do coeficiente K1 é de 0.005 e é dado para navios petroleiros. Destaca-se que a atividade de manutenção periódica é efetuada em intervalos que podem ir até 5 anos. Contudo, face à dificuldade em estimar os custos das atividades de manutenção e reparação e o tempo exato em que decorrem, o custo é considerado anual.

À semelhança dos custos operacionais aqui também se considera um incremento anual. Assume-se um aumento anual de 7% nos custos de manutenção periódica.

### **3.3.1.4. Custos de Viagem**

Os custos de viagem compreendem os gastos relacionados com o consumo de combustível, a nível dos motores principais e dos motores geradores, e os gastos associados às tarifas cobradas pelo uso do porto. Destaca-se que na presente dissertação os custos associados ao uso do porto são desprezados. Sabe-se que em determinados portos marítimos existem reduções substanciais nos valores cobrados a navios que recorrem ao porto com frequência e que prestam serviços de elevada importância estratégica. O negócio de abastecimento de GNL permite que os navios possam recorrer aos portos portugueses para operações de abastecimento. Deste modo os portos são favorecidos em termos financeiros. Por outro lado, Portugal é também favorecido na imagem que expõe visto que se

trata de um combustível mais limpo que os combustíveis convencionais. Por estas razões assume-se um acordo hipotético com as várias administrações portuárias em que existe total isenção das tarifas cobradas.

Os motores principais dos navios de abastecimento funcionam a GNL. Os valores de potência dos motores dadas pelas Tabelas 12 e 13 referem-se à Potência Máxima Propulsora (MCR). Sabe-se que os motores não trabalham no máximo das suas capacidades. Por norma a potência necessária para atingir a velocidade de serviço é equivalente a 90% da MCR. Para os navios considerados ir-se-á trabalhar com esta redução de potência. Quanto ao consumo específico dos motores considera-se um valor de 144.7 g/kWh. De acordo com o documento de onde são retiradas as características principais do navio de 3,000 m<sup>3</sup> o consumo diário de GNL é de 7.5 toneladas (Wärtsilä). Após conversão, e considerando a redução de 90% da MCR, obtém-se o consumo específico acima mencionado. Não existindo informação acerca do consumo para o navio de 1,530 m<sup>3</sup> considera-se também um consumo específico de 144.7 g/kWh. Sabendo as velocidades de serviço e o valor de potência dado por 90% da MCR é possível estimar a potência necessária para diferentes velocidades. A Figura 30 ilustra a potência necessária para diferentes velocidades, para os 2 navios de abastecimento considerados.

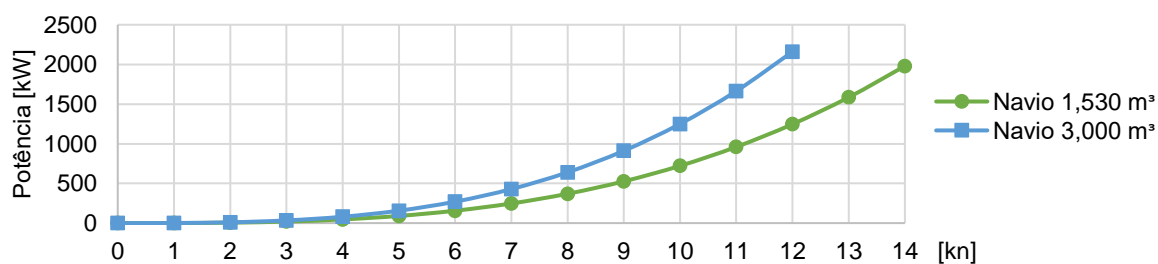


Figura 30 – Estimativa da potência necessária em função da velocidade do navio.

Naturalmente, e conforme pode ser verificado pela Figura 30, quanto maior a velocidade maior é a potência necessária. O navio de 3,000 m<sup>3</sup> é aquele cujos valores de potência são superiores. Destaca-se que os valores de potência são estimados de uma forma algo grosseira. Contudo, não existindo informação adicional acerca da curva de potência dos motores, são estes os valores considerados.

Perante os dados enunciados, e com a duração das viagens obtida após o processo de simulação, está-se apto a determinar a quantidade de combustível necessária para as viagens, dentro e fora dos portos. A fim de se calcular o custo do combustível dos motores principais torna-se necessário saber o custo atual e futuro de GNL cobrado no terminal de Sines. Contudo estes valores não são conhecidos. Perante esta limitação optou-se por utilizar a estimativa dada no documento EU (2015). De acordo com a informação aí contida o custo de GNL a ser cobrado nos terminais de importação é de 7 euros/mmBtu, entre os anos de 2020 e 2030 (EU, 2015). Sabe-se que 1 mmBtu corresponde a aproximadamente 0.0187 toneladas de GNL (IGU, 2012). Deste modo ao longo dos anos considera-se um custo de GNL constante de 374.3 euros/tonelada praticado no terminal de Sines.

Os gastos de combustível provêm também do consumo dos motores geradores. Ao contrário dos motores principais os motores dos grupos geradores funcionam com MDO como combustível. Para determinar os gastos destes motores é necessário primeiro definir as suas condições de funcionamento. Aqui ir-se-á considerar as mesmas condições do estudo T.A. Santos, C. Guedes



Soares (2015). Em todas as situações em que não são utilizadas bombas do navio existe somente 1 gerador a funcionar a 50% da sua capacidade (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015). Esta situação acontece quando o navio se encontra em viagem, a reabastecer ou a aguardar missão. Destaca-se que no processo de reabastecimento são utilizadas as bombas do terminal e não as bombas do navio. No processo de abastecimento existe uma bomba em funcionamento levando a que a potência utilizada dos geradores seja superior. De acordo com o mesmo estudo a potência necessária ao funcionamento de cada bomba é de 110 kW (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015). Assim sendo nas operações de abastecimento o navio de 1,530 m<sup>3</sup> funciona com 1 gerador a 67.2% da sua capacidade e o navio de 3,000 m<sup>3</sup> funciona com 1 gerador a 60.3% da sua capacidade. Em nenhuma situação existem 2 geradores em funcionamento, o segundo gerador apenas é acionado em casos de avaria do primeiro. Por norma o consumo específico dos motores geradores ronda os 200 g/kWh. Aqui ir-se-á considerar este valor para os motores auxiliares dos 2 navios.

Após o processo de simulação obtêm-se todas as durações com as quais são possíveis calcular a quantidade total de MDO consumida. Logicamente, nas durações obtidas não está incluído o tempo no qual o navio está sujeito à atividade de manutenção periódica. Nesta situação não existe qualquer tipo de consumo elétrico a bordo. A fim de se obter o custo total de MDO é necessário saber qual o seu custo de aquisição. De acordo com o estudo EU (2015) é estimado um custo de 12, 17 e 19 mmBtu nos anos de 2020, 2025 e 2030, respetivamente (EU, 2015). De acordo com a tabela de conversão dada em IGU (2012) é o equivalente a dizer que o custo estimado é de 522, 753 e 856 euros/tonelada nos anos de 2020, 2025 e 2030, respetivamente. Deste modo considera-se um custo de 522 euros/tonelada entre 2019 e 2024, um custo de 753 euros/tonelada entre 2025 e 2029 e um custo de 856 euros/tonelada a partir de 2030.

#### **3.3.1.5. Custo de Manuseamento do GNL**

O custo de manuseamento do GNL é unicamente relativo à tarifa cobrada no terminal de Sines na operação de reabastecimento do navio. Esta tarifa reflete o valor a ser cobrado pelo uso dos equipamentos do terminal. Numa primeira abordagem tentou-se obter o valor real cobrado atualmente neste terminal, no entanto este não foi encontrado. Numa segunda tentativa optou-se por pesquisar as tarifas praticadas noutros locais. De acordo com o estudo EU (2015) a tarifa a ser cobrada nos terminais de importação em geral é cerca de 8 euros/m<sup>3</sup>, aproximadamente 17.86 euros/tonelada (EU, 2015). Nalguns terminais de França as tarifas cobradas são ligeiramente diferentes e em função da dimensão do navio a abastecer. Para um navio de 15,000 m<sup>3</sup> existe um custo de 6.7 euros/m<sup>3</sup> e para um navio de 7,500 m<sup>3</sup> existe um custo de 10 euros/m<sup>3</sup>, aproximadamente 14.9 euros/tonelada e 22.32 euros/tonelada, respetivamente (Elengy, 2017). Aqui ir-se-á considerar uma tarifa de aproximadamente 17.86 euros/tonelada. Sabendo a quantidade de GNL reabastecida facilmente obtêm-se os custos associados ao manuseamento de GNL.

#### **3.3.2. Fluxo de Caixa**

O fluxo de caixa é uma ferramenta financeira que permite analisar a viabilidade económica de um dado negócio. São várias as medidas de mérito que podem ser obtidas através desta ferramenta a fim de verificar a atratividade do negócio. Aqui ir-se-á trabalhar com o Frete Mínimo Requerido (FMR). Este

FMR, expresso em euros/tonelada, reflete o valor adicional a ser cobrado pelo GNL para que o Valor Atual Líquido (VAL) seja igual a zero após 12 anos de análise. Como referido anteriormente, a estimativa da procura de GNL é estabelecida até 2030 por 2 razões. A mais preponderante é o facto de considerar-se que após 2030 o processo adotado para a estimativa possa não traduzir valores razoáveis. Acredita-se que a probabilidade de existir um acumular da incerteza e um agravar dos resultados após 2030 é considerável.

O fluxo de caixa anual entra em consideração com todos os gastos necessários à operação do navio, receitas, tributação e com uma taxa de desconto aplicável. A Tabela 16 apresenta os valores considerados para a elaboração do fluxo de caixa e obtenção do FMR.

Tabela 16 - Parâmetros para implementação da análise financeira (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015).

Empréstimo bancário [%]	50
Prazo de reembolso do empréstimo [Anos]	8
Taxa de juro [%]	6/8
Depreciação do navio após 12 anos [%]	52.8
Taxa de desconto [%]	8/10
IRC [%]	21

Considera-se um empréstimo bancário de 50% do valor de aquisição do navio. Aqui ir-se-á considerar duas situações, uma onde a taxa de juro é de 6% e outra onde a taxa de juro é de 8%. O prazo de reembolso do empréstimo é de 8 anos. Após este ano todo o valor do empréstimo é liquidado. Destaca-se que o valor do empréstimo bancário, incluindo os valores resultantes dos juros, é liquidado anualmente de acordo com o sistema Alemão de Reembolso do Empréstimo. Após os 12 anos de operação dá-se a venda do navio. O custo de revenda do navio é equivalente a uma depreciação de 52.8% do valor de aquisição do mesmo. Deste modo o navio de 1,500 m<sup>3</sup> é revendido por aproximadamente 12.574 Milhões de euros e o navio de 3,000 m<sup>3</sup> revendido por aproximadamente 14.784 Milhões de euros. A par dos parâmetros associados aos custos de capital do navio existem outros com os quais é possível determinar o FMR. A taxa de desconto reflete o valor temporal do dinheiro e o risco associado ao negócio. Quanto maior o risco maior será esta taxa pois o retorno do investimento pretendido pelos investidores é superior. À semelhança da taxa de juros aqui ir-se-á considerar duas situações, uma onde a taxa de retorno é de 8% e outra onde a taxa de retorno é de 10%. Por último tem-se o Imposto sobre o Rendimento das Pessoas Coletivas (IRC). Consiste no valor a ser cobrado sobre as receitas de um negócio, neste caso nas receitas provenientes das operações de abastecimento de GNL. Considera-se um IRC de 21%. Sabe-se que em algumas situações a tributação pode ser substancialmente inferior. Para navios registados no Registo Internacional de Navios da Madeira (RIN-MAR) a tributação pode reduzir-se para 5% (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015). Recentemente foi aprovado um novo modelo de tributação (RP, 2018). Trata-se de um modelo opcional no qual os navios são tributados de acordo com o tempo de operação e de acordo com a arqueação líquida. Contudo, aqui ir-se-á considerar o modelo de tributação convencional para um navio não registado no RIN-MAR. Os valores dados pela Tabela 16 são aqueles considerados no estudo T.A. Santos, C. Guedes Soares (2015).

## 4. Estudo da Procura de GNL como Combustível Marítimo

Com o presente capítulo pretende-se mostrar os resultados obtidos ao nível da procura de GNL nos portos marítimos em estudo: Sines, Lisboa, Leixões, Funchal e Ponta Delgada. Os resultados aqui apresentados derivam de todo o processo descrito na secção 3.1. Estimativa da Procura de GNL nos Portos Nacionais. Após a demonstração dos resultados ir-se-á proceder à comparação entre os resultados e os resultados obtidos no âmbito do projeto COSTA (Cid, 2014).

### 4.1. Penetração dos Navios Movidos a GNL

Como referido, e de acordo com a Tabela 8, prevê-se entre 170 e 400 novas construções para se atingir a procura de 20 Milhões de toneladas e entre 255 e 600 novas construções para se atingir a procura de 30 Milhões de toneladas. O presente ponto visa mostrar os resultados obtidos para a penetração de navios movidos a GNL na frota mundial.

#### 4.1.1. Navios de Passageiros

A Figura 31 representa a penetração dos navios de passageiros em função do número de novas construções de navios movidos a GNL.

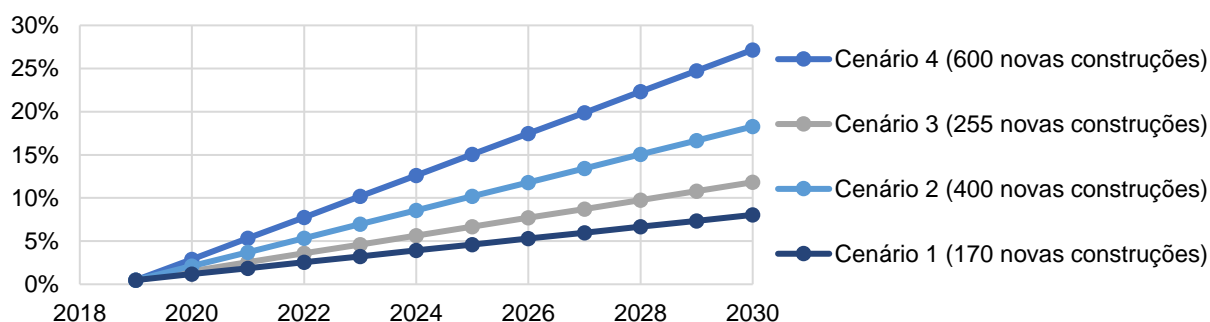


Figura 31 - Penetração de navios de passageiros na frota mundial em função dos diversos cenários.

Observando a Figura 31 verifica-se que a penetração de navios de passageiros é de aproximadamente 8% no cenário mais conservador e aproximadamente 27% no cenário mais otimista, no ano de 2030.

#### 4.1.2. Grupo de Navios PSV/Patrolha/Outros

A Figura 32 representa a penetração do grupo de navios PSV/Patrolha/Outros em função do número de novas construções de navios movidos a GNL.

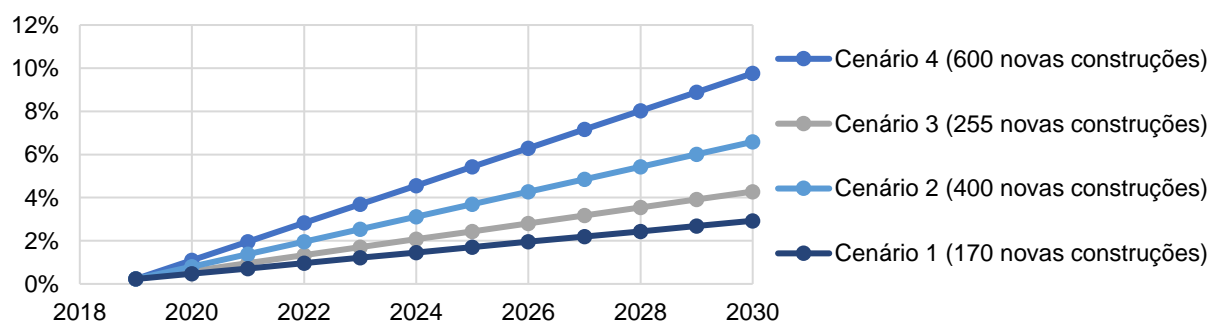


Figura 32 - Penetração do grupo PSV/Patrolha/Outros na frota mundial em função dos diversos cenários.

Observando a Figura 32 verifica-se que a penetração do grupo de navios PSV/Patrolha/Outros é de aproximadamente 3% no cenário mais conservador e aproximadamente 10% no cenário mais otimista, no ano de 2030.

#### 4.1.3. Navios Tanque

A Figura 33 representa a penetração de navios tanque em função do número de novas construções de navios movidos a GNL.

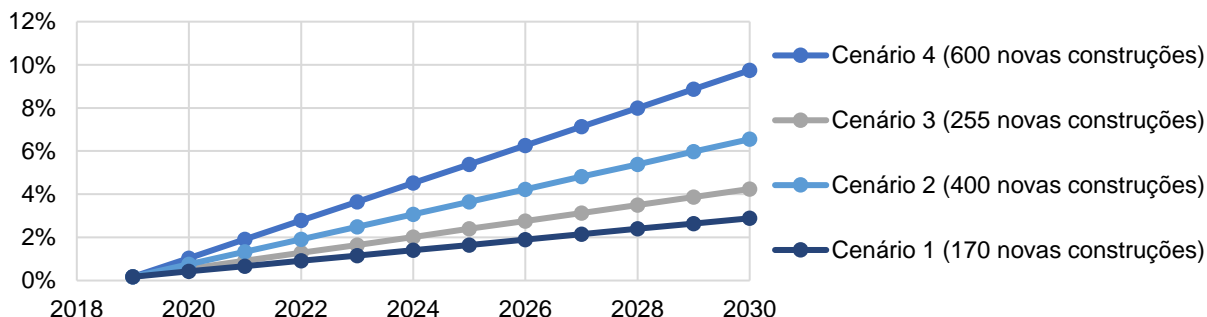


Figura 33 - Penetração de navios tanque na frota mundial em função dos diversos cenários.

Observando a Figura 33 verifica-se que a penetração de navios tanque é de aproximadamente 3% no cenário mais conservador e aproximadamente 10% no cenário mais otimista, no ano de 2030. Trata-se de uma penetração igual à do grupo PSV/Patrolha/outros quando considerando somente valores inteiros.

#### 4.1.4. Navios Ro-Ro

A Figura 34 representa a penetração de navios Ro-Ro em função do número de novas construções de navios movidos a GNL.

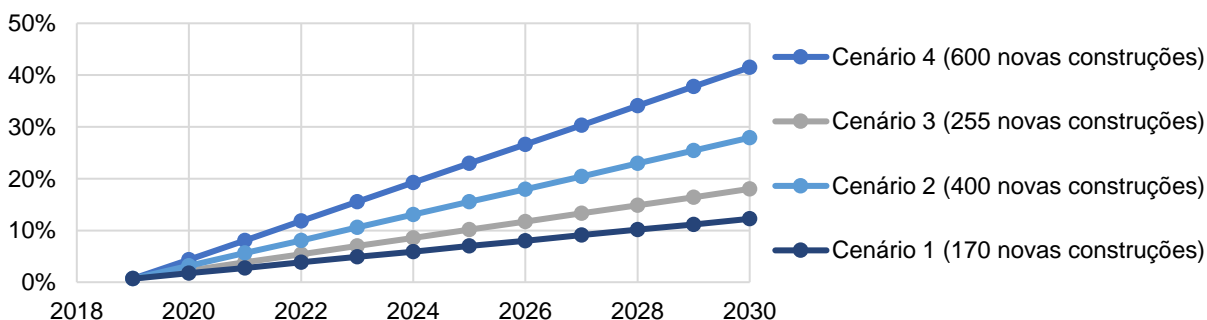


Figura 34 - Penetração de navios Ro-Ro na frota mundial em função dos diversos cenários.

Observando a Figura 34 verifica-se que a penetração de navios Ro-Ro é de aproximadamente 12% no cenário mais conservador e aproximadamente 41% no cenário mais otimista, no ano de 2030. Face ao número reduzido de navios Ro-Ro na frota mundial e ao número de navios que se estimam vir a ser construídos é neste tipo de navio onde a penetração assume os valores mais elevados.

#### 4.1.5. Navios de Carga Geral

A Figura 35 representa a penetração de navios de carga geral em função do número de novas construções de navios movidos a GNL.

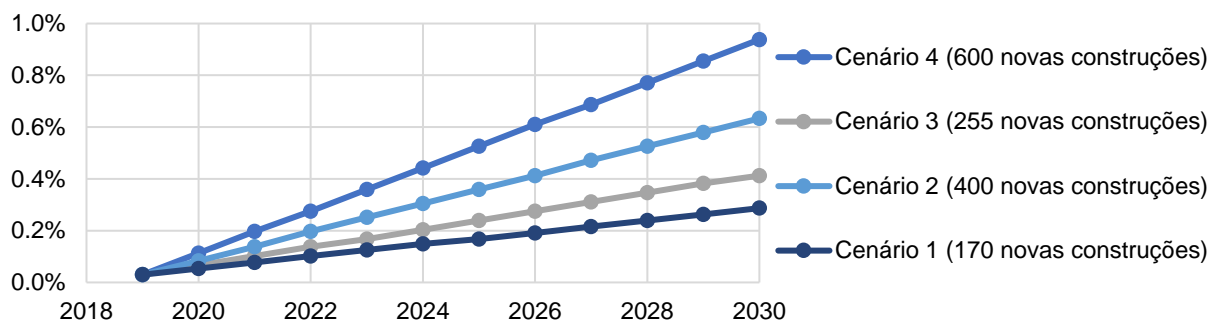


Figura 35 - Penetração de navios de carga geral na frota mundial em função dos diversos cenários.

Observando a Figura 35 verifica-se que a penetração de navios de carga geral é de aproximadamente 0.3% no cenário mais conservador e aproximadamente 0.9% no cenário mais otimista, no ano de 2030. Face ao número elevado de navios de carga geral na frota mundial e à reduzida probabilidade de virem a adotar GNL é neste tipo de navio onde a penetração assume os valores mais reduzidos.

#### 4.1.6. Navios Porta-Contentores

A Figura 36 representa a penetração de navios porta-contentores em função do número de novas construções de navios movidos a GNL.

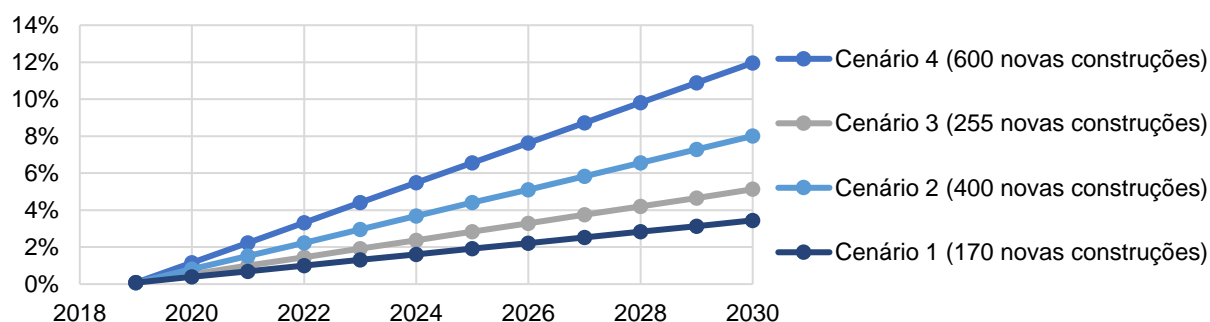


Figura 36 - Penetração de navios porta-contentores na frota mundial em função dos diversos cenários.

Observando a Figura 36 verifica-se que a penetração de navios porta-contentores é de aproximadamente 3% no cenário mais conservador e aproximadamente 12% no cenário mais otimista, no ano de 2030.

#### 4.1.7. Navios Graneleiros

A Figura 37 representa a penetração de navios graneleiros em função do número de novas construções de navios movidos a GNL.

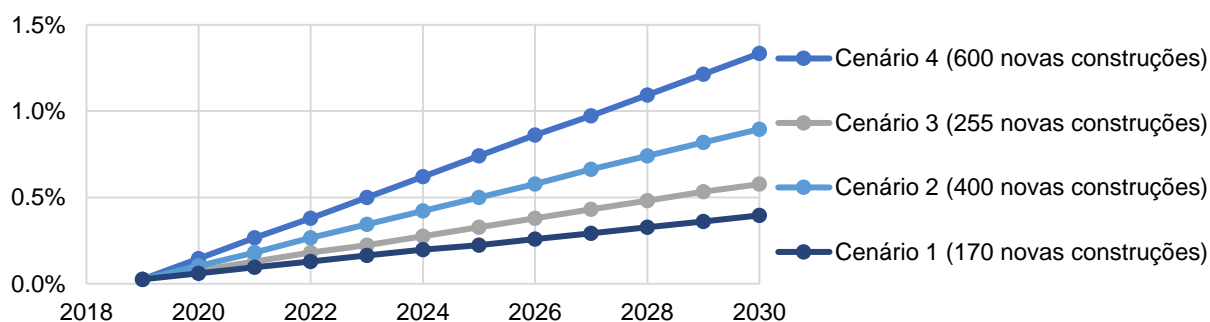


Figura 37 - Penetração de navios graneleiros na frota mundial em função dos diversos cenários.

Observando a Figura 37 verifica-se que a penetração de navios graneleiros é de aproximadamente 0.4% no cenário mais conservador e aproximadamente 1.3% no cenário mais otimista, no ano de 2030. A par dos navios de carga geral é neste tipo de navio onde os valores de penetração são os mais reduzidos.

## 4.2. Número de Navios que recorrem aos Portos Portugueses

O número de entrada de navios nos portos portugueses é essencialmente assente no número médio de entradas de navios registadas no decorrer dos anos. Existem duas as hipóteses consideradas, uma em que o número médio de entradas mantém-se inalterado e outra em que desde o ano de 2019 existe um aumento gradual de 3%.

### 4.2.1. Número Médio de Navios

A Tabela 17 apresenta o número médio de navios que recorrem aos portos. O número de navios é dado para cada porto e para cada tipo de navio.

Tabela 17 - Número médio de entradas dos vários tipos de navios nos portos portugueses.

Portos	Sines	Lisboa	Leixões	Funchal	Ponta Delgada
Navios de passageiros	0	328	70	628	216
PSV/Patrolha/Outros	0	0	0	27	0
Navios tanque	892	391	460	6	80
Ro-Ro	0	29	66	0	0
Carga geral	104	767	222	8	214
Porta-contentores	901	956	1,329	1	231
Graneleiros	41	144	406	2	33
<b>Total</b>	<b>1,938</b>	<b>2,615</b>	<b>2,553</b>	<b>672</b>	<b>774</b>

Os navios de passageiros recorrem a todos os portos marítimos exceto ao porto de Sines. O porto do Funchal é aquele onde existe um maior número de navios de passageiros, em média são 628 navios que recorrem anualmente a este porto. O porto do Funchal é o único no qual entram os navios contidos no grupo PSV/Patrolha/outros, mais concretamente navios de apoio a plataformas, navios de guerra e navios especializados. Navios Ro-Ro recorrem somente aos portos de Lisboa e de Leixões. Os restantes tipos de navios recorrem a todos os portos, no porto do Funchal com menor frequência quando comparado com os demais. Destaque para os navios tanques no porto de Sines, em média são 892 navios que recorrem a este porto, e para os navios porta-contentores que recorrem ao porto de Leixões, em média são 1,329 navios que recorrem a este porto. Atendendo ao número total de navios que entram nos portos tem-se por ordem decrescente os portos de Lisboa, Leixões, Sines, Ponta Delgada e Funchal.

Como referido, não se tem em consideração navios de pesca, rebocadores e navios denominados por "outros", estes últimos pela impossibilidade de os distinguir pelo tipo. No entanto o número destes navios são em muito inferiores quando comparados com o número dos vários tipos de navios dados pela Tabela 17 pelo que estimativa da procura de GNL não é comprometida.

#### 4.2.2. Número Médio de Navios com Incremento Anual

A Tabela 18 apresenta o número médio total de navios no ano de 2030 que se obtém ao se considerar o aumento anual de 3%.

Tabela 18 - Número médio de entradas dos vários tipos de navios nos portos portugueses no ano de 2030 considerando um aumento anual de 3%.

Portos	Sines	Lisboa	Leixões	Funchal	Ponta Delgada
Navios de passageiros	0	468	100	895	308
PSV/Patrolha/Outros	0	0	0	38	0
Navios tanque	1,272	557	656	9	114
Ro-Ro	0	41	94	0	0
Carga geral	148	1,094	317	11	305
Porta-contentores	1,285	1,363	1,895	1	329
Graneleiros	58	205	579	3	47
<b>Total</b>	<b>2,763</b>	<b>3,728</b>	<b>3,641</b>	<b>957</b>	<b>1,103</b>

O número de navios dados pela Tabela 18 é unicamente relativo ao ano de 2030. Pretende-se demonstrar o efeito do aumento anual considerado no último ano em estudo. Como referido, nos cenários onde se considera um aumento anual de 3%, o incremento é aplicado desde o início da operação do navio de abastecimento, isto é, desde o ano de 2019.

#### 4.3. Resultados da Estimativa da Procura de GNL nos Portos Marítimos

O presente ponto tem como objetivo mostrar os resultados obtidos quanto à procura de GNL estimada nos portos considerados. Destaca-se que a quantidade de GNL estimada é expressa em toneladas. Para a conversão sabe-se que a massa específica do GNL é de 448 kg/m<sup>3</sup> para uma pressão de 1 bar e uma temperatura de aproximadamente 160°C negativos (EMSA, 2018).

##### 4.3.1. Procura de GNL em função da Procura Mundial de 20 Milhões de Toneladas

A procura de GNL aqui apresentada é relativa à procura mundial de 20 Milhões de toneladas. A Figura 38 ilustra a procura de GNL, expressa em toneladas, para os limites dos 2 cenários identificados.

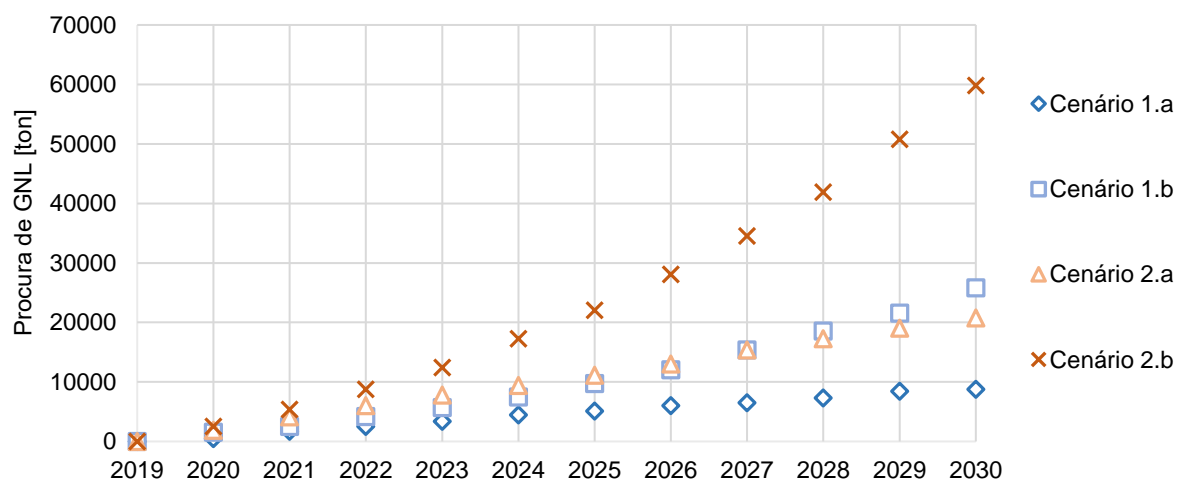


Figura 38 - Procura de GNL nos portos portugueses em função da procura mundial de 20 Milhões de toneladas.

O primeiro cenário, compreendido pelos limites 1.a e 1.b, é caracterizado por valores de procura de GNL reduzidos. Com este cenário estima-se, no ano de 2030, uma procura compreendida entre 8,759 e 25,860 toneladas e um número de navios movidos a GNL compreendido entre 34 e 102. O segundo cenário, compreendido pelos limites 2.a e 2.b, é caracterizado por valores de procura de GNL intermédios. Com este cenário estima-se, no ano de 2030, uma procura compreendida entre 20,798 e 59,853 toneladas e um número de navios movidos a GNL compreendido entre 82 e 237. Em todos os cenários o porto de Leixões é aquele que apresenta valores de procura mais elevados. É neste porto que entram navios tanque e navios porta-contentores com maior frequência, aqueles cuja capacidade média dos tanques é superior quando comparada com a capacidade média dos restantes tipos de navios.

Em anexo ao documento podem ser consultadas as estimativas obtidas para estes cenários, relativamente à quantidade de GNL e ao número de navios, em cada porto e para cada tipo de navio (Anexo G, H, I e J).

#### 4.3.2. Procura de GNL em função da Procura Mundial de 30 Milhões de Toneladas

A procura de GNL aqui apresentada é relativa à procura mundial de 30 Milhões de toneladas. A Figura 39 ilustra a procura de GNL, expressa em toneladas, para os limites dos 2 cenários identificados.

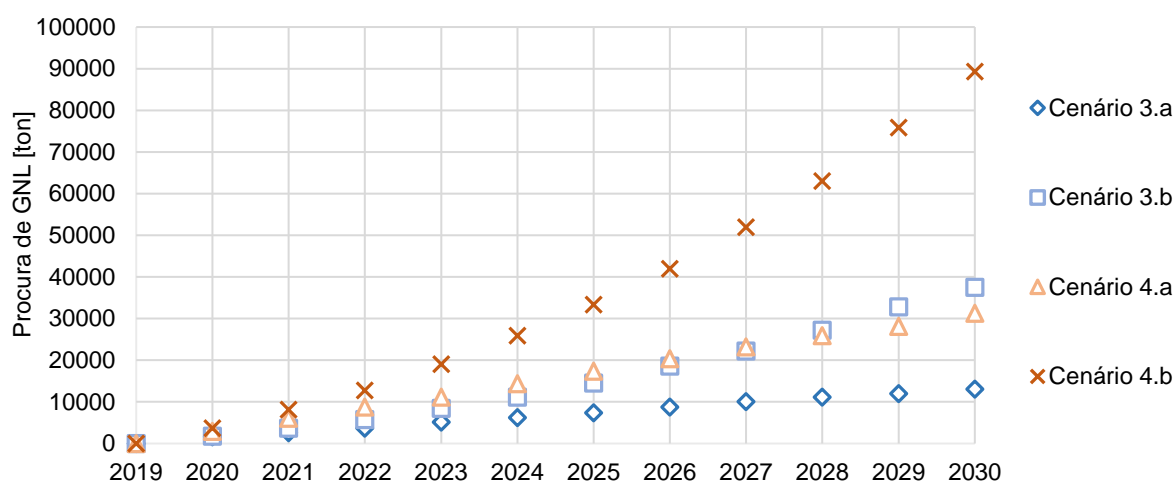


Figura 39 - Procura de GNL nos portos portugueses em função da procura mundial de 30 Milhões de toneladas. O primeiro cenário, compreendido pelos limites 3.a e 3.b, é caracterizado por valores de procura de GNL intermédios. Com este cenário estima-se, no ano de 2030, uma procura compreendida entre 13,045 e 37,464 toneladas e um número de navios movidos a GNL compreendido entre 51 e 148. O segundo cenário, compreendido pelos limites 4.a e 4.b, é caracterizado por valores de procura de GNL elevados. Com este cenário estima-se, no ano de 2030, uma procura compreendida entre 31,273 e 89,268 toneladas e um número de navios movidos a GNL compreendido entre 123 e 354. À semelhança do ponto anterior verifica-se em todos os cenários que o porto de Leixões é aquele que apresenta valores de procura mais elevados.

Em anexo ao documento podem ser consultadas as estimativas obtidas para estes cenários, relativamente à quantidade de GNL e ao número de navios, em cada porto e para cada tipo de navio (Anexo K, L, M e N).



#### **4.4. Comparação dos Valores Obtidos pela Estimativa da Procura de GNL**

A presente secção visa comparar os valores obtidos pela estimativa da procura de GNL com aqueles dados pelo projeto COSTA (Cid, 2014), o único encontrado com a estimativa da procura de GNL nos portos marítimos portugueses.

De acordo com a Figura 18, onde é apresentada a procura de GNL dada pelo projeto COSTA (Cid, 2014), no ano de 2030 estima-se uma procura de GNL compreendida entre 90,000 e 360,000 toneladas nos portos portugueses. Comparando os valores de procura aqui obtidos com aqueles dados neste projeto verifica-se uma discrepância considerável, todos os cenários apresentam valores de procura inferiores a 90,000 toneladas. O cenário 4.b, aquele caracterizado por valores de procura elevados, é o que permite estimar valores de procura próximos deste valor (89,268 toneladas).

Contudo, algumas considerações acerca da estimativa dada pelo projeto COSTA (Cid, 2014) devem ser mencionadas. Em primeiro lugar a estimativa é realizada para todos os portos marítimos portugueses. Desta forma seria sempre espectável que os valores estimados apresentassem uma certa superioridade em relação aos valores que aqui são obtidos. Sabe-se, no entanto, que é nos portos de Sines, Lisboa e Leixões onde existe um maior registo de entrada de navios. No total, estes portos contabilizaram cerca de 71% do total de entradas de navios nos principais portos do continente no ano de 2012 (Cid, 2014). Com isto é espectável, ao considerar somente os portos de Sines, Leixões, Lisboa, Funchal e Ponta Delgada, que os valores de procura de GNL sejam ligeiramente inferiores, mas nunca com a diferença que é observada. Em segundo lugar a estimativa dada por este projeto é obtida em função da procura de GNL estimada a nível mundial, compreendida entre 37 e 136 Milhões de toneladas (Cid, 2014). De acordo com a Tabela 7, onde são apresentados os valores estimados da procura mundial de GNL, verifica-se uma discrepância considerável em relação a estes valores. No ano de 2030 tem-se um máximo de 40 Milhões de toneladas e, como referido, é possível afirmar que na generalidade a procura neste ano será compreendida entre 20 e 30 Milhões de toneladas de GNL. Conclui-se que os valores de procura nos portos portugueses dados pelo projeto COSTA (Cid, 2014) são inflacionados por valores estimados de procura a nível mundial muito otimistas e improváveis.

Perante todas as considerações mencionadas é possível, no entanto, estabelecer a comparação entre o cenário de procura reduzida dada pelo projeto COSTA (Cid, 2014), aquele dado em função da procura mundial de 37 Milhões de toneladas, e os cenários obtidos em função da procura mundial de 30 Milhões de toneladas. Trata-se de estimativas obtidas em função de valores de procura mundial mais próximos pelo que se acredita ser a única situação na qual é possível estabelecer a comparação entre os diversos cenários. A Figura 40 ilustra a comparação entre os resultados dados pelo projeto COSTA (Cid, 2014) e os cenários obtidos em função da procura mundial de 30 Milhões de toneladas. Observa-se que os valores do cenário de procura 4.b são de facto aqueles que mais se aproximam dos valores dados pelo projeto em questão. No ano de 2020 o cenário 4.b é caracterizado por um valor de procura na ordem de 3,689 toneladas, substancialmente inferior à procura de 17,288 toneladas dada pelo cenário de procura reduzida do projeto COSTA (Cid, 2014). No último ano de simulação verifica-se a proximidade entre os valores de procura de ambos os cenários.

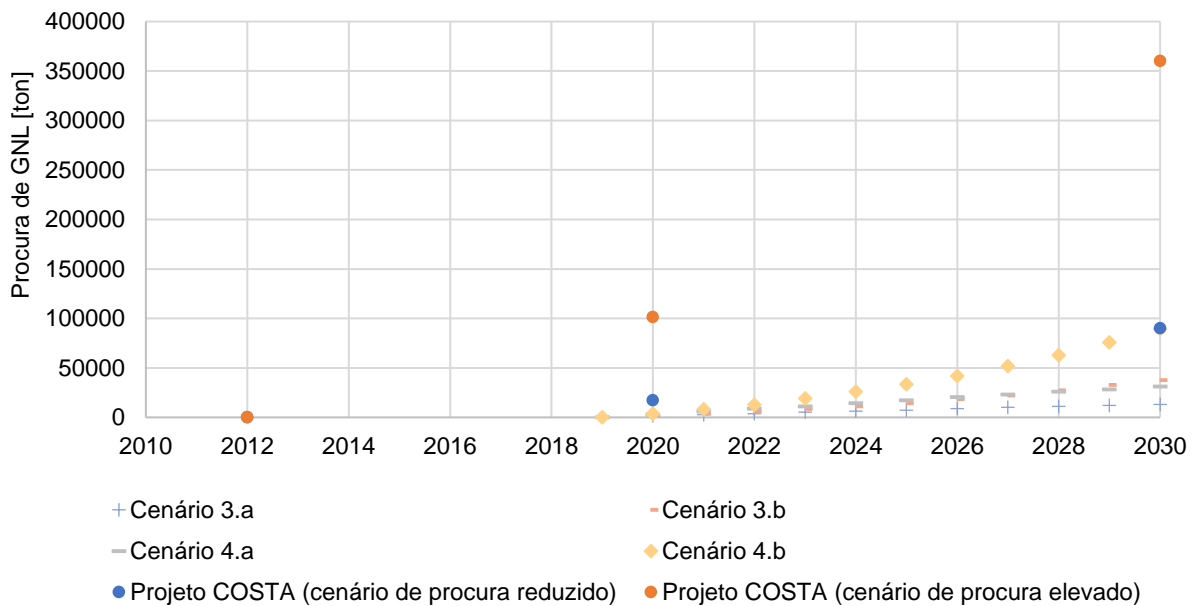


Figura 40 - Comparação entre os cenários de procura dados pelo projeto COSTA (Cid, 2014) e os cenários de procura obtidos em função da procura mundial de 30 Milhões de toneladas.

No ano de 2030 o cenário 4.b é caracterizado por um valor de procura na ordem de 89,268 toneladas enquanto que o cenário de procura reduzida do projeto em questão é caracterizado por um valor na ordem de 90,000 toneladas. A fim de demonstrar a disparidade entre os valores dados pelo cenário de procura elevada do projeto COSTA (Cid, 2014) e os demais optou-se por também incluir os respetivos valores na Figura 40. De um modo geral acredita-se que caso os cenários aqui obtidos fossem em função de uma procura mundial de 37 Milhões de toneladas, ao invés de uma procura mundial de 30 milhões de toneladas, e tivessem em consideração outros portos marítimos portugueses ir-se-iam verificar valores mais coerentes com os valores dados pelo cenário de procura reduzida do projeto COSTA (Cid, 2014) e, conseqüentemente, não tão distantes em relação ao cenário de procura elevada.

Em suma, e sabendo que os cenários aqui obtidos resultam essencialmente de uma procura mundial inferior àquela estimada pelo projeto em questão e apenas para os portos de Sines, Leixões, Lisboa, Funchal e Ponta Delgada, acredita-se que a procura de GNL estimada assume valores razoáveis.

Destaca-se que em todos os cenários estipulados a procura de GNL obtida no ano de 2019 é nula. Sabe-se que não existem barcas/navios de abastecimento de GNL em operação nos portos portugueses e que as infraestruturas portuárias do porto de Sines permitem apenas a receção de GNL e não a exportação (Revista Cargo, 2018). Atualmente o único método de abastecimento disponível é o método TTS, aplicado com pouca regularidade no porto do Funchal. Sabendo que o número de navios a requisitar GNL é ainda bastante reduzido, e que o método TTS apenas permite o abastecimento de quantidades reduzidas de GNL, acredita-se que o modelo aplicado para a obtenção da procura nos portos portugueses considerados, descrito pela equação 1, reflete de modo satisfatório a procura prevista no ano de 2019 e nos anos seguintes.

## 5. Simulação do Abastecimento de GNL como Combustível Marítimo

O objetivo principal do presente capítulo consiste em apresentar os resultados económico-financeiros, derivados em parte dos valores obtidos após a simulação dos vários sistemas considerados. Como referido existem 48 sistemas possíveis de se simular, cada um replicado 100 vezes. Existem, por este motivo, vários conjuntos de dados a serem analisados e trabalhados. Com o propósito de atingir o objetivo do presente capítulo este é dividido nas seguintes secções:

- Custos de capital, custos operacionais e custos de manutenção periódica;
- Frete Mínimo Requerido (FMR);
- Resultados da simulação do abastecimento de GNL;
- Fluxo de caixa;
- Análise económico-financeira.

Numa primeira fase apresentam-se os custos fixos, isto é, aqueles que não dependem da simulação do abastecimento de GNL. São eles os custos de capital, custos operacionais e custos de manutenção periódica. Após os custos fixos surgem os resultados do FMR obtidos. Como referido, trata-se da medida de mérito selecionada a fim de verificar a atratividade do negócio que compreende o abastecimento de GNL a navios. Posteriormente tem-se os valores obtidos através da simulação dos vários sistemas. Aqui encontram-se essencialmente os valores relativos aos tempos de viagem, reabastecimento, abastecimento e de inatividade e também as quantidades de GNL adquiridas e vendidas. Trata-se dos dados necessários ao cálculo das receitas e dos custos variáveis, isto é, aqueles dependentes da simulação de eventos discreto. Os custos variáveis compreendem os custos de viagem (incluem somente os gastos de combustível) e os custos de manuseamento do GNL. A título de curiosidade são também apresentados outros dados provenientes da simulação tais como número de pedidos requisitados, número de desistências, número de pedidos atendidos em cada porto, entre outros. Em penúltimo lugar apresenta-se o fluxo de caixa, ferramenta financeira com a qual é possível obter os resultados do FMR. O fluxo de caixa contabiliza todos os custos associados à operação do navio, receitas provenientes do aprovisionamento de GNL, tributação e taxa de retorno.

Perante o número elevado de simulações efetuadas e os modelos de negócio considerados são vários os resultados obtidos. É por este motivo que os resultados obtidos através da simulação do abastecimento de GNL e o fluxo de caixa são mencionados após os resultados do FMR e somente para a situação mais vantajosa (sistema caracterizado pelo navio de abastecimento de 1,530m<sup>3</sup>, cenário de procura de GNL 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>). Os resultados relativos ao FMR são apresentados em função de todos os sistemas e de todas as taxas de juro e de retorno consideradas. Destaca-se que ambas as taxas de juro são também consideradas quando apresentados os custos de capital.

O presente capítulo é terminado com a análise económico-financeira. Esta consiste numa comparação entre os FMR obtidos no presente estudo e os FMR dados por estudos similares. É a partir desta análise que é possível obter conclusões acerca da viabilidade da implementação de um serviço de abastecimento de GNL em Portugal, através da utilização de um navio de abastecimento sediado no porto de Sines.

## 5.1. Custos de Capital, Custos Operacionais e Custos de Manutenção Periódica

A presente secção visa apresentar os custos fixos, custos estes independentes da simulação de eventos discretos. Os resultados são relativos ao navio de abastecimento com capacidade de 1,530 m<sup>3</sup> e aos 2 modelos de negócio considerados.

### 5.1.1. Custos de Capital

A aquisição do navio de abastecimento de 1,530 m<sup>3</sup> acarreta um custo de 23.815 Milhões de euros. Perante um empréstimo bancário de 50% do valor de aquisição do navio e juros associados surgem gastos a serem pagos no decorrer do período de amortização, período este iniciado no ano de 2019 e com duração de 8 anos. Destaca-se que o empréstimo bancário, incluindo o montante resultante dos juros, é liquidado anualmente de acordo com o sistema Alemão de Reembolso do Empréstimo.

A Figura 41 ilustra as componentes do empréstimo bancário (navio com capacidade de 1,530 m<sup>3</sup>), considerando uma taxa de juro de 6%. Estas constituem os custos de capital.

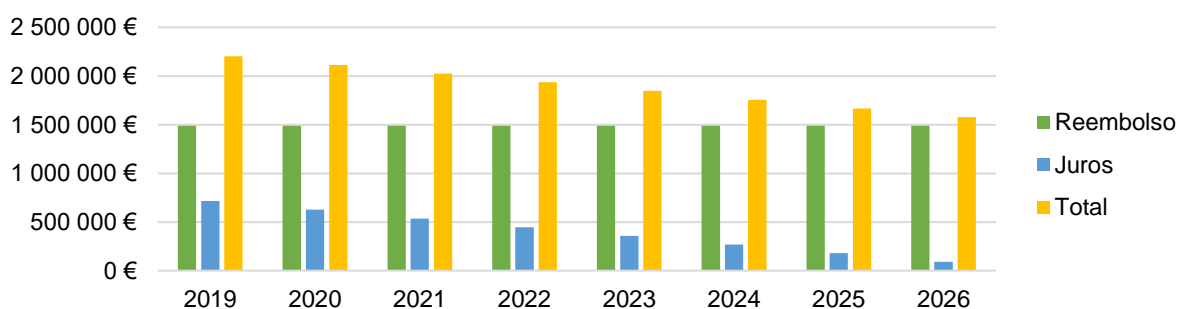


Figura 41 - Componentes do empréstimo bancário em função do navio de 1,530 m<sup>3</sup> e taxa de juro de 6%.

O reembolso, representado a verde, indica o total a pagar relativamente ao empréstimo de 50% do valor de aquisição do navio. Após o pagamento do respetivo montante dividido em 8 parcelas iguais, concluído no final do ano de 2026, tem-se liquidado o equivalente a metade do valor de aquisição do navio. Os juros, representados a azul, indicam o total a pagar de acordo com a taxa de juro aplicável. Após o período de amortização tem-se liquidado juros na ordem de 3.215 Milhões de euros. Contabilizando o investimento próprio correspondente a metade do valor de aquisição do navio os custos de capital ascendem a um total de aproximadamente 27.030 Milhões de euros.

A Figura 42 ilustra as componentes do empréstimo bancário (navio com capacidade de 1,530 m<sup>3</sup>), considerando uma taxa de juro de 8%. Estas constituem os custos de capital.

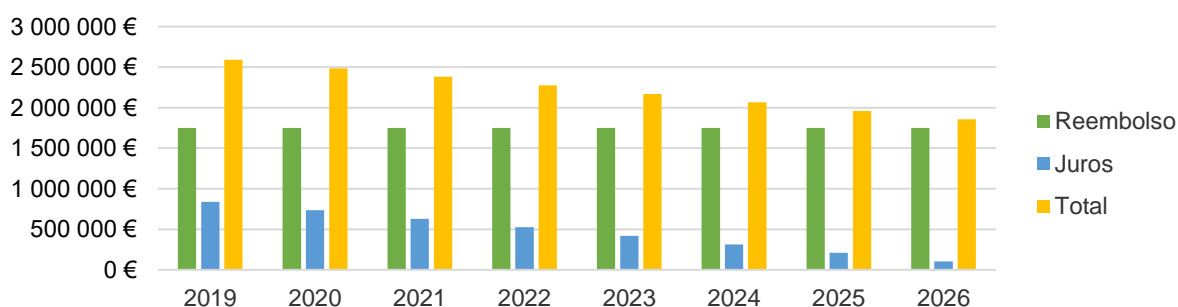


Figura 42 - Componentes do empréstimo bancário em função do navio de 1,530 m<sup>3</sup> e taxa de juro de 8%.

A Figura 42 ilustra os componentes do empréstimo bancário para o navio de abastecimento de 1,530 m<sup>3</sup>, à semelhança da Figura 41, no entanto em função de uma taxa de juro aplicável de 8%. De igual modo o reembolso encontra-se representado a verde e os juros associados representados a azul. Após o período de amortização tem-se liquidado juros na ordem de 4.287 Milhões de euros. Contabilizando o investimento próprio correspondente a metade do valor de aquisição do navio os custos de capital ascendem a um total de aproximadamente 28.102 Milhões de euros.

### 5.1.2. Custos Operacionais

Os custos operacionais vão-se agravando com o decorrer do tempo de operação à exceção dos custos relacionados com seguros. Estes custos assumem uma tendência decrescente derivada da constante depreciação do navio. Destaca-se que os custos operacionais são obtidos de acordo com o procedimento dado em D'Almeida (2009), procedimento a partir do qual o resultado é expresso em dólares. Para conversão, e atendendo à cotação do dólar em 17/09/2018, sabe-se que 1 dólar equivale a aproximadamente 0.856 euros.

A Figura 43 ilustra a evolução dos custos operacionais em função do navio com capacidade de 1,530 m<sup>3</sup> no decorrer dos 12 anos de operação.

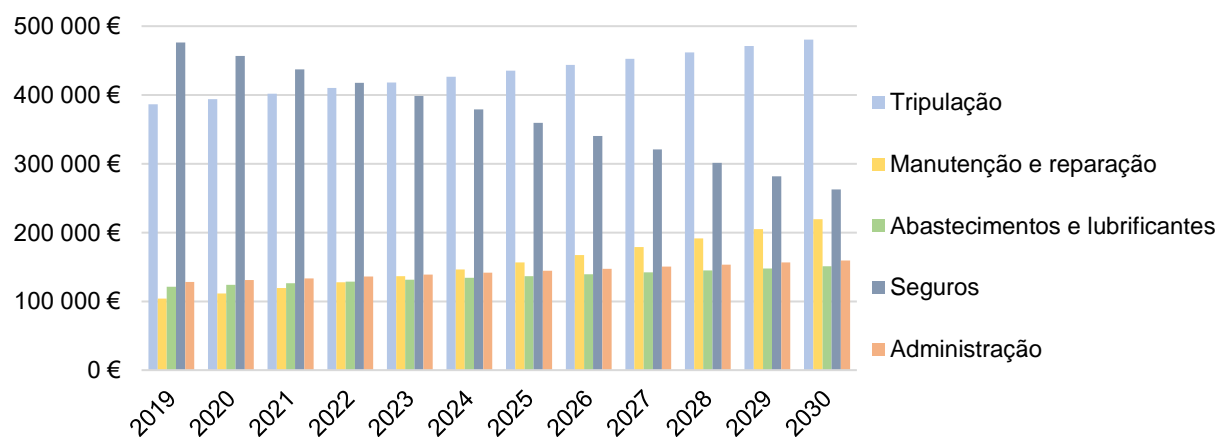


Figura 43 - Evolução dos custos operacionais em função do navio de 1,530 m<sup>3</sup>.

Analisando a Figura 43 observa-se que os custos derivados da tripulação e os custos relacionados com seguros são os mais elevados. No ano de 2030, mesmo após a depreciação do navio e consequente redução de custos, os custos relacionados com seguros são consideráveis. Decorridos os 12 anos de operação o total dos custos derivados da tripulação e dos custos relacionados com seguros é de aproximadamente 5.182 e 4.432 Milhões de euros, respetivamente. Os restantes custos são os mais reduzidos. Desde o ano de 2019 até ao ano de 2030 encontram-se compreendidos entre aproximadamente 104,208 e 219,343 euros. Decorridos os 12 anos de operação o total dos custos de manutenção e reparação, custos de abastecimentos e lubrificantes e custos de administração é de aproximadamente 1.864, 1.628 e 1.722 Milhões de euros, respetivamente.

Para uma melhor perceção do peso dos diferentes constituintes dos custos operacionais apresenta-se a Figura 44. Nela estão contidos, em termos percentuais, os custos no final do ano de 2019 e 2030. Como referido os custos derivados da tripulação e os custos relacionados com seguros são os mais

elevados. No final do ano de 2019 os primeiros perfazem aproximadamente 32% e os segundos aproximadamente 39% do total dos custos.

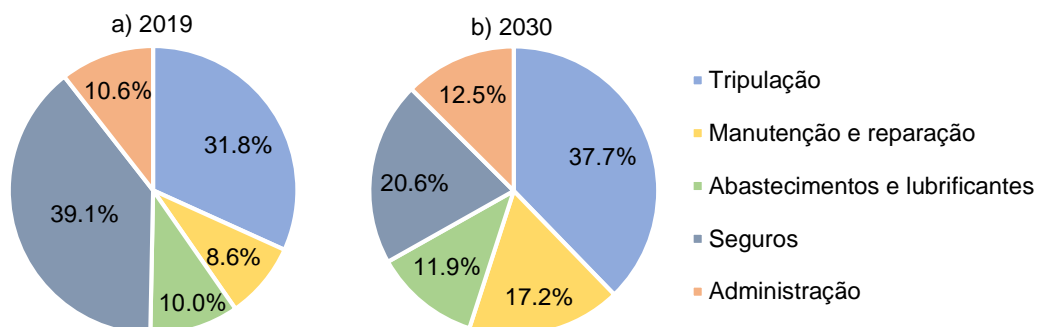


Figura 44 - Peso dos custos operacionais em função do navio de 1,530 m<sup>3</sup>.

Em sentido contrário os restantes custos são consideravelmente inferiores. No final do ano de 2030 verifica-se uma uniformização dos custos. Como exceção tem-se os custos derivados da tripulação, perfazendo aproximadamente 38% do total dos custos verificados no final deste ano.

### 5.1.3. Custos de Manutenção Periódica

Os custos de manutenção periódica são associados a atividades de manutenção e reparação complexas e exigentes. Perante um agravamento anual de 7% assumido nos custos de manutenção estes assumem uma tendência crescente. A Figura 45 ilustra a evolução dos custos de manutenção periódica para o navio com capacidade de 1,530 m<sup>3</sup> no decorrer dos 12 anos de operação.

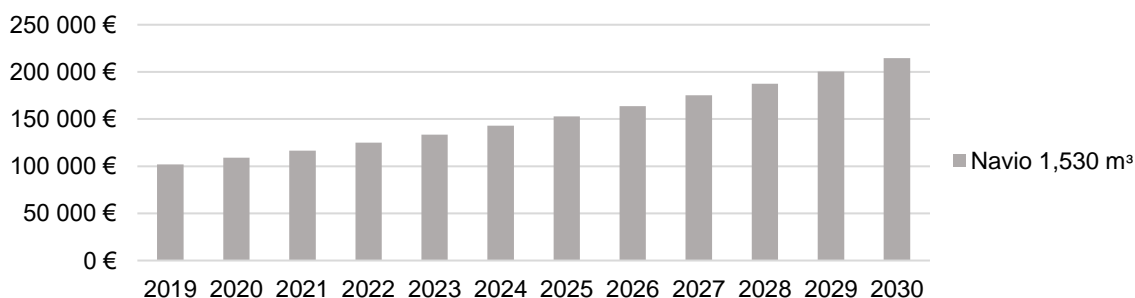


Figura 45 - Evolução dos custos de manutenção periódica em função do navio de 1,530 m<sup>3</sup>.

Observa-se que, desde o ano de 2019 até ao ano de 2030, os custos de manutenção periódica encontram-se compreendidos entre aproximadamente 101,892 e 214,469 euros. Decorridos os 12 anos de operação o total dos custos de manutenção periódica ascende a aproximadamente 1.823 Milhões de euros.

## 5.2. Frete Mínimo Requerido

A presente secção visa apresentar os resultados do FMR obtidos. Os resultados são relativos aos 2 navios de abastecimento, a todos os cenários de procura de GNL, aos critérios definidos para tomada de decisão e aos 2 modelos de negócio implementados. Numa primeira fase ir-se-á mencionar os resultados médios do FMR obtidos. Estes derivam da média de todos os resultados obtidos após as 100 replicações de todos os sistemas. Considerando os 2 modelos de negócio existem, no total, 96 resultados a apresentar. Numa segunda fase ir-se-á apresentar os resultados do FMR obtidos em cada

replicação de cada sistema. Considerando os 2 modelos de negócio existem, no total, 960 resultados do FMR a apresentar. Pretende-se, desta forma, evidenciar o contributo da aleatoriedade presente nalguns processos constituintes do modelo de viagem e a dispersão entre os diferentes resultados obtidos. Por último estabelece-se a comparação entre os navios de abastecimento considerados.

### 5.2.1. Resultados Médios do FMR relativos ao Navio de Abastecimento de 1,530 m<sup>3</sup>

A Tabela 19 apresenta os resultados médios do FMR obtidos para o navio de 1,530 m<sup>3</sup>. Os valores derivam do modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 6% e uma taxa de retorno de 8%, do modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 8% e uma taxa de retorno de 10%, das quantidades limites de 510, 1,020 e 1,530 m<sup>3</sup> e de todos os cenários de procura de GNL.

Tabela 19 – Resultados médios do FMR, expresso em euros/tonelada, obtidos em função do navio de 1,530 m<sup>3</sup>.

Cenário de Procura de GNL	T.J. (6%) / T.R. (8%)			T.J. (8%) / T.R. (10%)		
	Q.L. (510)	Q.L. (1,020)	Q.L. (1,530)	Q.L. (510)	Q.L. (1,020)	Q.L. (1,530)
1.a	1 357.5	1 341.3	1 364.0	1 555.1	1 537.2	1 562.2
1.b	659.1	652.6	653.0	757.9	750.5	750.9
2.a	623.7	610.3	612.3	711.0	696.1	698.1
2.b	344.6	336.9	338.2	393.7	384.7	386.3
3.a	906.9	911.7	905.2	1 035.2	1 040.9	1 033.8
3.b	474.1	468.3	469.0	543.9	537.4	538.1
4.a	434.5	428.2	426.7	493.8	486.7	485.0
4.b	266.4	261.3	260.9	302.2	296.4	296.0
<b>Média</b>	<b>633.36</b>	<b>626.32</b>	<b>628.68</b>	<b>724.10</b>	<b>716.22</b>	<b>718.81</b>

Legenda: T.J. – Taxa de Juro; T.R. – Taxa de Retorno; Q.L. – Quantidade Limite (m<sup>3</sup>)

Verifica-se, naturalmente, que quanto maior é a procura menor é o valor adicional de combustível a ser cobrado ao cliente. A partir dos cenários de procura mais elevados originam-se receitas superiores que permitem melhor fazer face a todos os custos inerentes ao aprovisionamento de GNL. Evidentemente observa-se que o custo adicional de combustível a ser cobrado é inferior quando considerado o modelo de negócio mais vantajoso, isto é, aquele caracterizado por uma taxa de juro de 6% e uma taxa de retorno de 8%. Perante os resultados do FMR obtidos é possível constatar que ao aplicar-se este modelo de negócio os resultados são em média 12.5% inferiores àqueles derivados do modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 8% e uma taxa de retorno de 10%. Relativamente às quantidades limites para tomada de decisão verifica-se uma tendência nos resultados obtidos apesar de algumas singularidades. Por esta razão, e a fim de viabilizar uma melhor compreensão, aplica-se uma gradação de cores no interior da Tabela 19, quanto mais escuro mais reduzido é o resultado. Observa-se que a quantidade limite de 510 m<sup>3</sup> conduz a resultados superiores em todos os cenários à exceção dos cenários de procura 1.a e 3.a. Em sentido contrário a quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup> origina resultados inferiores em todos os cenários à exceção dos cenários de procura 3.a, 4.a e 4.b. A quantidade limite de 1,530 m<sup>3</sup>, aquela coincidente com a capacidade total do navio, assume-se como o critério a partir do qual se obtêm valores satisfatórios, no entanto não os mais atrativos. Apesar de traduzir resultados mais reduzidos em 3 situações fica aquém dos resultados obtidos quando considerado o critério de 1,020 m<sup>3</sup>.

A fim de aumentar o grau de confiança na análise e não se induzir em erro estabeleceu-se a média das médias dos valores do FMR obtidos, conforme pode ser verificado na Tabela 19. Acontece que nalgumas situações o resultado mais reduzido pode ser próximo do resultado intermédio e noutras situações o resultado pode ser distante. Deste modo aquela que origina um maior número de resultados inferiores não é necessariamente a mais vantajosa ou a que apresenta maior potencial. Por isso é necessário avaliar a média das médias e não confiar unicamente no maior número de resultados mais atrativos. Como a quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup> é de facto a que traduz um valor médio inferior, mais concretamente 626.32 euros/tonelada, conclui-se que é a que tem maior potencial de vir a gerar resultados económico-financeiros mais atrativos, utilizando o navio de abastecimento de 1,530 m<sup>3</sup> e considerando todos os cenários de procura. Contudo, visto que nem sempre é o mesmo critério que conduz a resultados mais atrativos, conclui-se que o ideal é ajustar o critério para tomada de decisão no decorrer da operação do navio e em função da procura de GNL verificada/prevista.

### 5.2.2. Resultados Médios do FMR relativos ao Navio de Abastecimento de 3,000 m<sup>3</sup>

A Tabela 20 apresenta os resultados médios do FMR obtidos para o navio de 3,000 m<sup>3</sup>. Os valores derivam do modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 6% e uma taxa de retorno de 8%, do modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 8% e uma taxa de retorno de 10%, das quantidades limites de 1,000, 2,000 e 3,000 m<sup>3</sup> e de todos os cenários de procura de GNL.

Tabela 20 - Resultados médios do FMR, expresso em euros/tonelada, obtidos em função do navio de 3,000 m<sup>3</sup>

Cenário de Procura de GNL	T.J. (6%) / T.R. (8%)			T.J. (8%) / T.R. (10%)		
	Q.L. (1,000)	Q.L. (2,000)	Q.L. (3,000)	Q.L. (1,000)	Q.L. (2,000)	Q.L. (3,000)
1.a	1 604.4	1 610.1	1 610.4	1 836.8	1 842.1	1 842.9
1.b	763.5	768.1	767.4	876.9	882.6	881.5
2.a	720.8	716.4	726.7	821.3	816.1	827.5
2.b	392.6	391.1	391.3	448.2	446.5	446.4
3.a	1 070.6	1 083.5	1 079.9	1 220.9	1 235.6	1 231.4
3.b	555.5	545.6	549.2	637.1	625.5	629.4
4.a	504.8	499.1	503.0	573.3	566.7	570.9
4.b	300.6	298.3	298.5	340.8	338.1	338.2
<b>Média</b>	<b>739.08</b>	<b>739.02</b>	<b>740.80</b>	<b>844.40</b>	<b>844.15</b>	<b>846.05</b>

Legenda: T.J. – Taxa de Juro; T.R. – Taxa de Retorno; Q.L. – Quantidade Limite (m<sup>3</sup>)

Verifica-se, naturalmente, que quanto maior é a procura de GNL e mais vantajoso é o modelo de negócio menor é o valor adicional de combustível a ser cobrado ao cliente. É possível constatar que ao aplicar-se este modelo de negócio os resultados do FMR são em média 12.4% inferiores àqueles derivados do modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 8% e uma taxa de retorno de 10%. Relativamente às quantidades limites para tomada de decisão é possível verificar-se uma determinada tendência nos resultados obtidos, à semelhança do que se sucede com os resultados relativos ao navio de 1,530 m<sup>3</sup>. Observa-se que a quantidade limite de 1,000 m<sup>3</sup> conduz a resultados tanto desejáveis como indesejáveis. Em 3 cenários obtém-se os resultados mais reduzidos e noutros 4 cenários os resultados mais elevados. A quantidade limite de 2,000 m<sup>3</sup> origina resultados inferiores em todos os cenários à exceção dos cenários de procura 1.a, 1.b e 3.a. A quantidade limite de 3,000 m<sup>3</sup>,



aquela coincidente com a capacidade total do navio, assume-se como o critério a partir do qual se obtêm os resultados menos otimistas. Destaca-se que quando considerando o modelo de negócio mais exigente a quantidade limite de 2,000 m<sup>3</sup> origina resultados inferiores em 4 cenários, ao invés de 5, e a quantidade limite de 3,000 m<sup>3</sup> passa a originar um resultado mais reduzido num dos cenários. Trata-se de um caso pontual devido à proximidade dos resultados invertidos.

Pela mesma razão referida na análise dos resultados relativos ao navio de 1,530 m<sup>3</sup> aqui também é necessário recorrer-se à média das médias com o propósito de auxiliar a respetiva análise. Como a quantidade limite de 2,000 m<sup>3</sup> é a que traduz um valor médio ligeiramente inferior, mais concretamente 739.02 euros/tonelada, conclui-se que é a que tem maior potencial de vir a gerar resultados económico-financeiros mais atrativos, utilizando o navio de abastecimento de 3,000 m<sup>3</sup> e considerando todos os cenários de procura. Também à semelhança do concluído na secção anterior o ideal é ajustar o critério para tomada de decisão no decorrer da operação do navio e em função da procura de GNL verificada/prevista.

### 5.2.3. Resultados do FMR obtidos em cada Replicação do mesmo Sistema

A presente secção visa apresentar resultados do FMR obtidos em cada replicação de cada sistema. Como referido, existem no total 960 resultados a apresentar quando consideradas todas as simulações de todos os sistemas e os 2 modelos de negócio. Face ao elevado número de resultados aqui ir-se-á apresentar unicamente aqueles cujos valores são mais reduzidos. Em anexo ao documento podem ser consultados todos os resultados aqui não mencionados (Anexos O e P).

#### 5.2.3.1. Resultados do FMR em função do Navio de Abastecimento de 1,530 m<sup>3</sup>

Com a presente secção pretende-se apresentar os resultados do FMR obtidos em função do navio de abastecimento de 1,530 m<sup>3</sup>, aos 2 modelos de negócio, a todas as quantidades limites para tomada de decisão e aos cenários de procura de GNL a partir dos quais obtém-se os valores mais reduzidos (cenários de procura de GNL 2.b e 4.b).

A Figura 46 apresenta os resultados do FMR obtidos de acordo com o cenário de procura 2.b, modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 6% e uma taxa de retorno de 8% e quantidades limites de 510, 1,020 e 1,030 m<sup>3</sup>.

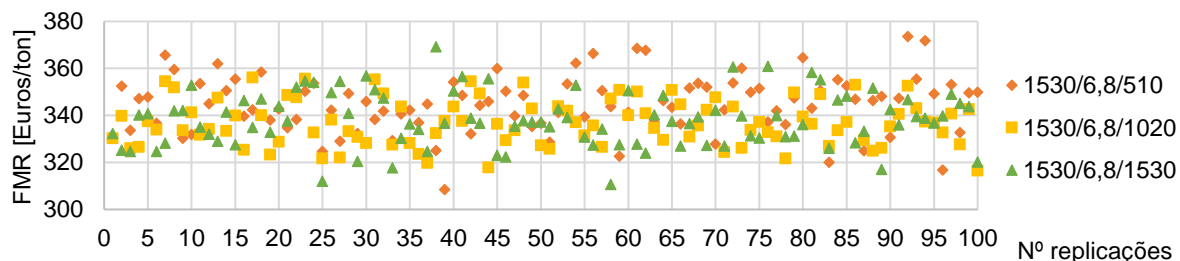


Figura 46 - Resultados do FMR em função do navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 2.b, modelo de negócio com taxa de juro de 6% e taxa de retorno de 8% e de todas as quantidades limites.

- a) Quantidade limite de 510 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 308.4 €/ton; Média: 344.6 €/ton; Máximo: 373.5 €/ton**
- b) Quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 316.5 €/ton; Média: 336.9 €/ton; Máximo: 356.1 €/ton**
- c) Quantidade limite de 1,530 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 310.6 €; Média: 338.2 €; Máximo: 369.2 €**

A Figura 47 apresenta os resultados do FMR obtidos em função do cenário de procura 2.b, modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 8% e uma taxa de retorno de 10% e quantidades limites de 510, 1,020 e 1,030 m<sup>3</sup>.

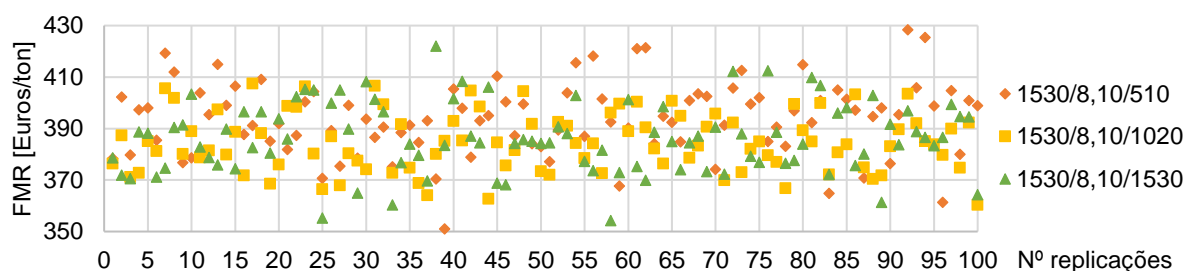


Figura 47 - Resultados do FMR em função do navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 2.b, modelo de negócio com taxa de juro de 8% e taxa de retorno de 10% e de todas as quantidades limites.

- a) Quantidade limite de 510 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 351.0 €/ton; Média: 393.7 €/ton; Máximo: 428.4 €/ton**
- b) Quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 360.3 €/ton; Média: 384.7 €/ton; Máximo: 407.4 €/ton**
- c) Quantidade limite de 1,530 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 354.2 €/ton; Média: 386.3 €/ton; Máximo: 422.0 €/ton**

A Figura 48 apresenta os resultados do FMR obtidos em função do cenário de procura 4.b, modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 6% e uma taxa de retorno de 8% e quantidades limites de 510, 1,020 e 1,030 m<sup>3</sup>.

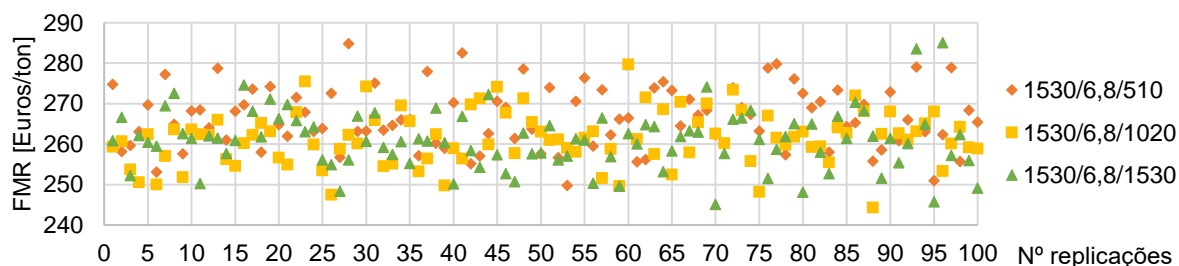


Figura 48 - Resultados do FMR em função do navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b, modelo de negócio com taxa de juro de 6% e taxa de retorno de 8% e de todas as quantidades limites.

- a) Quantidade limite de 510 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 249.7 €/ton; Média: 266.4 €/ton; Máximo: 284.8 €/ton**
- b) Quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 244.3 €/ton; Média: 261.3 €/ton; Máximo: 279.7 €/ton**
- c) Quantidade limite de 1,530 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 245.0 €/ton; Média: 260.9 €/ton; Máximo: 285.0 €/ton**

A Figura 49 apresenta os resultados do FMR obtidos em função do cenário de procura 4.b, modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 8% e uma taxa de retorno de 10% e quantidades limites de 510, 1,020 e 1,030 m<sup>3</sup>.

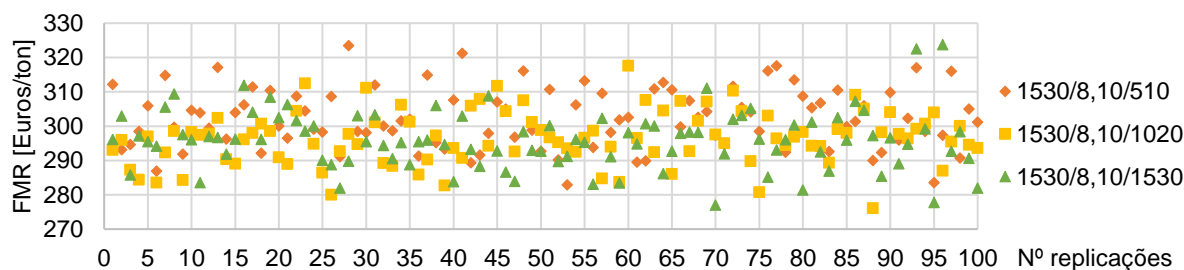


Figura 49 - Resultados do FMR em função do navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b, modelo de negócio com taxa de juro de 8% e taxa de retorno de 10% e de todas as quantidades limites.

- a) Quantidade limite de 510 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 282.9 €/ton; Média: 302.2 €/ton; Máximo: 323.5 €/ton**
- b) Quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 276.1 €/ton; Média: 296.4 €/ton; Máximo: 317.6 €/ton**
- c) Quantidade limite de 1,530 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 277.0 €/ton; Média: 296.0 €/ton; Máximo: 323.7 €/ton**

### 5.2.3.2. Resultados do FMR em função do Navio de Abastecimento de 3,000 m<sup>3</sup>

Com a presente secção pretende-se apresentar os resultados do FMR obtidos em função do navio de abastecimento de 3,000 m<sup>3</sup>, aos 2 modelos de negócio, a todas as quantidades limites para tomada de decisão e aos cenários de procura de GNL a partir dos quais obtém-se os valores mais reduzidos (cenários de procura de GNL 2.b e 4.b).

A Figura 50 apresenta os resultados do FMR obtidos em função do cenário de procura 2.b, modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 6% e uma taxa de retorno de 8% e quantidades limites de 1,000, 2,000 e 3,000 m<sup>3</sup>.

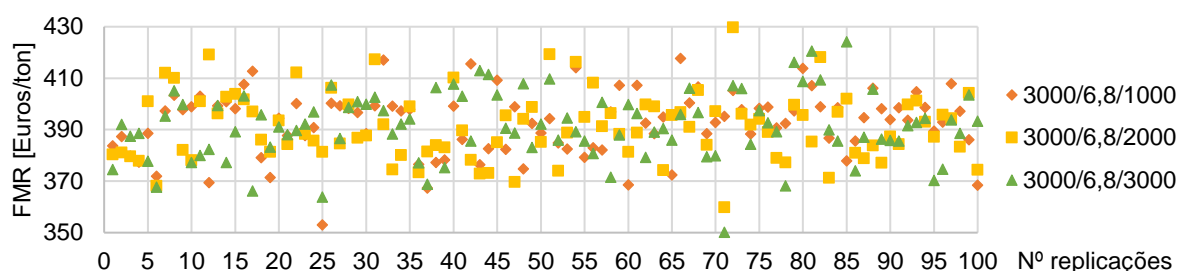


Figura 50 - Resultados do FMR em função do navio de 3,000 m<sup>3</sup>, cenário de procura 2.b, modelo de negócio com taxa de juro de 6% e taxa de retorno de 8% e de todas as quantidades limites.

- a) Quantidade limite de 1,000 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 353.1 €/ton; Média: 392.6 €/ton; Máximo: 417.7 €/ton**
- b) Quantidade limite de 2,000 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 359.8 €/ton; Média: 391.1 €/ton; Máximo: 429.8 €/ton**
- c) Quantidade limite de 3,000 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 350.2 €/ton; Média: 391.3 €/ton; Máximo: 424.1 €/ton**

A Figura 51 apresenta os resultados do FMR obtidos em função do cenário de procura 2.b, modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 8% e uma taxa de retorno de 10% e quantidades limites de 1,000, 2,000 e 3,000 m<sup>3</sup>.

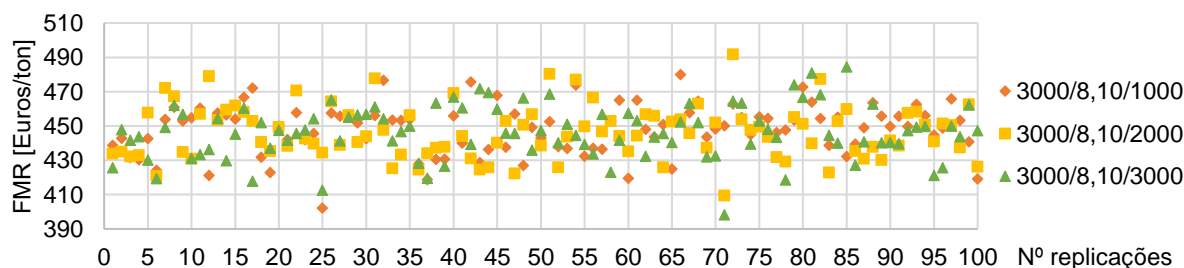


Figura 51 - Resultados do FMR em função do navio de 3,000 m<sup>3</sup>, cenário de procura 2.b, modelo de negócio com taxa de juro de 8% e taxa de retorno de 10% e de todas as quantidades limites.

- a) Quantidade limite de 1,000 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 402.2 €/ton; Média: 448.2 €/ton; Máximo: 480.0 €/ton**
- b) Quantidade limite de 2,000 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 409.6 €/ton; Média: 446.5 €/ton; Máximo: 491.7 €/ton**
- c) Quantidade limite de 3,000 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 398.4 €/ton; Média: 446.4 €/ton; Máximo: 484.4 €/ton**

A Figura 52 apresenta os resultados do FMR obtidos em função do cenário de procura 4.b, modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 6% e uma taxa de retorno de 8% e quantidades limites de 1,000, 2,000 e 3,000 m<sup>3</sup>.

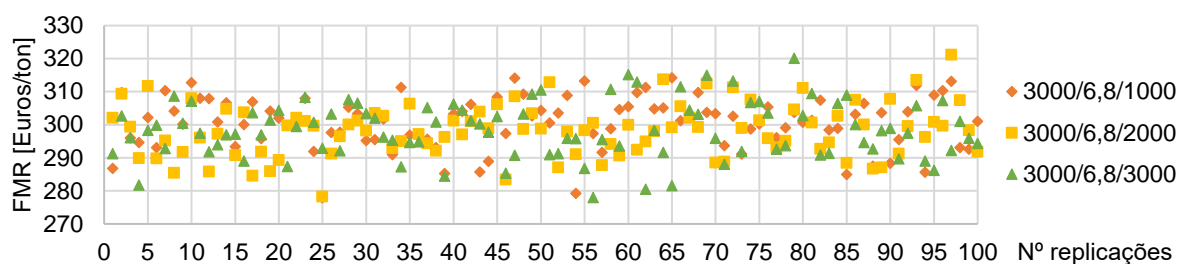


Figura 52 - Resultados do FMR em função do navio de 3,000 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b, modelo de negócio com taxa de juro de 6% e taxa de retorno de 8% e de todas as quantidades limites.

- a) Quantidade limite de 1,000 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 277.9 €/ton; Média: 300.6 €/ton; Máximo: 314.2 €/ton**
- b) Quantidade limite de 2,000 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 278.3 €/ton; Média: 298.3 €/ton; Máximo: 321.2 €/ton**
- c) Quantidade limite de 3,000 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 278.0 €/ton; Média: 298.5 €/ton; Máximo: 320.1 €/ton**

A Figura 53 apresenta os resultados do FMR obtidos em função do cenário de procura 4.b, modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 8% e uma taxa de retorno de 10% e quantidades limites de 1,000, 2,000 e 3,000 m<sup>3</sup>.

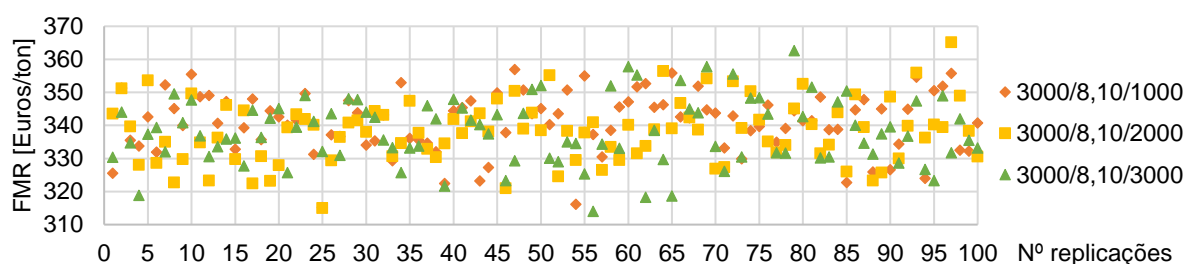


Figura 53 - Resultados do FMR em função do navio de 3,000 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b, modelo de negócio com taxa de juro de 8% e taxa de retorno de 10% e de todas as quantidades limites.

- a) Quantidade limite de 1,000 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 315.1 €/ton; Média: 340.8 €/ton; Máximo: 356.9 €/ton**
- b) Quantidade limite de 2,000 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 315.0 €/ton; Média: 338.1 €/ton; Máximo: 365.1 €/ton**
- c) Quantidade limite de 3,000 m<sup>3</sup> – **Mínimo: 314.0 €/ton; Média: 338.2 €/ton; Máximo: 362.6 €/ton**

#### 5.2.4. Conclusão quanto à Capacidade Ótima

A fim de definir os contornos do negócio que melhor viabilizam a obtenção de resultados económico-financeiros mais atrativos incluiu-se no presente estudo diferentes critérios para tomada de decisão e 2 navios de abastecimento com capacidades diferentes. As considerações acerca dos critérios para tomada de decisão são mencionadas nas secções antecedentes. Como referido, verifica-se, numa perspetiva geral, que a quantidade limite correspondente a dois terços da capacidade dos navios é aquela que permite obter os resultados do FMR mais reduzidos.

Sabendo qual a melhor quantidade limite fica por concluir qual a capacidade do navio mais competente para dar resposta à procura de GNL na costa portuguesa. A presente secção serve precisamente para obter-se conclusões acerca desta matéria. Analisando as Tabelas 19 e 20 verifica-se, facilmente, que o navio de 1,530 m<sup>3</sup> é aquele a partir do qual se obtêm os resultados do FMR inferiores. Considerando

os valores médios do FMR dados por estas tabelas 19 e 20 verifica-se que os resultados são em média 14.3% inferiores quando considerando o navio de abastecimento de 1,530 m<sup>3</sup>. Conclui-se, portanto, que o navio com capacidade de 1,530 m<sup>3</sup> é o mais indicado para dar resposta à procura de GNL prevista nos portos portugueses.

### 5.3. Resultados da Simulação do Abastecimento de GNL

A presente secção tem como objetivo apresentar os valores relativos aos tempos de viagem, reabastecimento, abastecimento e de inatividade e também as quantidades de GNL adquiridas e vendidas. Como referido, consistem nos dados necessários ao cálculo dos custos variáveis e das receitas. Face à impossibilidade de mencionar todos os resultados provenientes de todas as simulações aqui ir-se-á incidir somente nos resultados relativos a uma replicação do sistema definido pelo navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>. Relativamente ao número da replicação optou-se por considerar a primeira replicação desse mesmo sistema.

#### 5.3.1. Navio de 1,530 m<sup>3</sup>, Cenário de Procura 4.b e Quantidade Limite de 1,020 m<sup>3</sup>

A Tabela 21 apresenta os tempos de viagem, reabastecimento, abastecimento e de inatividade e as quantidades de GNL adquiridas e vendidas, de acordo com a primeira replicação do sistema caracterizado pelo navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>. Tratam-se de valores anualizados, considerando um horizonte de 12 anos. Destaca-se que os tempos relativos à duração das viagens compreendem a duração das viagens no interior e no exterior dos portos. Como referido anteriormente em nenhuma das previsões da procura de GNL existem pedidos requisitados no primeiro ano. Como tal, e de acordo com a Tabela 21, a manutenção anual é o único processo desencadeado, processo cuja duração é de 360 horas, ficando o navio a aguardar missão no restante tempo do ano, isto é, 8,400 horas.

Tabela 21 - Duração dos processos e quantidade de GNL adquirida e vendida de acordo com o navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>.

Ano	Viagem (h)	Reabastecimento (h)	Abastecimento (h)	Inatividade (h)	GNL adquirido (m <sup>3</sup> )	GNL vendido (m <sup>3</sup> )
2019	0	0	0	8,400	1,530	0
2020	595	29	51	7,726	6,965	7,310
2021	1,188	87	142	6,983	20,862	20,516
2022	1,723	126	206	6,345	29,627	29,627
2023	3,371	175	304	4,537	43,156	43,857
2024	2,706	228	377	5,102	55,634	54,933
2025	4,345	290	498	3,243	71,467	71,812
2026	4,461	299	515	3,127	75,374	75,029
2027	5,568	287	515	2,050	73,003	73,003
2028	5,837	349	627	1,581	89,356	90,403
2029	5,963	361	649	1,433	93,436	93,157
2030	7,125	364	664	249	94,548	95,184

Neste mesmo ano não existe consumo de tempo no reabastecimento dos tanques do navio apesar de existir GNL adquirido. Lembra-se que no momento inicial da simulação o navio encontra-se com os tanques no máximo da sua capacidade, razão pela qual não existe duração associada a este processo. Após o primeiro ano verifica-se o aumento gradual da duração das viagens, dos processos de reabastecimento e abastecimento e das quantidades de GNL adquiridas e vendidas. Quanto maior a frequência de chegada de pedidos de abastecimento mais acentuado é este crescimento. Em sentido contrário, com o aumento do número de pedidos efetuados menor é o tempo de inatividade do navio, isto é, o tempo em que se encontra a aguardar missão.

A fim de se ter uma melhor compreensão acerca do tempo gasto em cada processo optou-se por focar na duração dos mesmos na metade e no final da simulação. A Figura 54 apresenta, percentualmente, o peso da duração de cada processo no ano de 2024 e 2030.

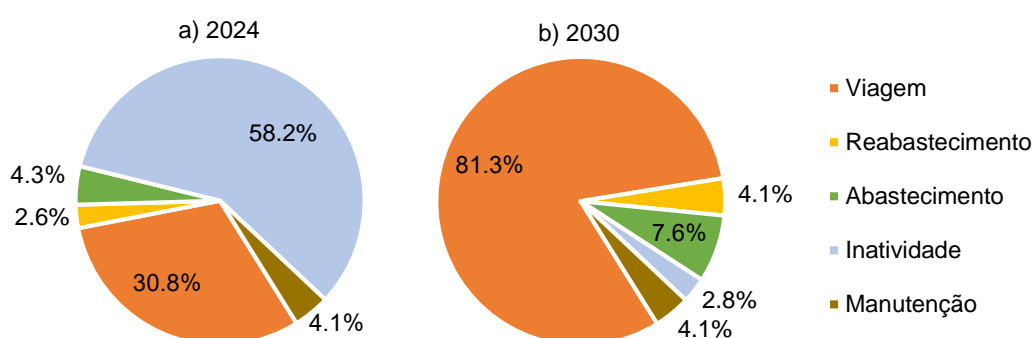


Figura 54 – Peso da duração dos processos de acordo com o navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>.

Observa-se que no ano de 2024 o período de inatividade do navio é o mais preponderante perfazendo cerca de 58.2% do tempo total. Verifica-se o elevado tempo de inatividade neste ano mesmo estando-se perante o cenário de procura de GNL mais elevado. A duração das viagens, tanto no exterior como no interior dos portos, situa-se em segundo lugar na lista dos processos mais morosos ocupando cerca de 30.8% no tempo relativo ao ano de 2024. Os restantes processos são os que apresentam durações mais reduzidas em comparação com os demais. No ano de 2024 os processos de abastecimento, manutenção periódica e reabastecimento perfazem cerca de 4.3%, 4.1% e 2.6%, respetivamente, do tempo total do respetivo ano. Relativamente ao ano de 2030 verifica-se, naturalmente, o aumento da duração dos processos de viagem, abastecimento e reabastecimento, consequência do aumento do número de pedidos atendidos. Neste ano o processo de viagem é o mais preponderante perfazendo cerca de 81.3% do tempo total. O tempo de inatividade decresce substancialmente quando comparando com o ano de 2024, mais concretamente para 2.8%. Os restantes processos são os que apresentam durações mais reduzidas em comparação com os demais. No ano de 2030 os processos de abastecimento ocupam cerca de 7.6% do tempo total enquanto que os processos de reabastecimento e manutenção anual ocupam cerca de 4.1% do tempo total do mesmo ano.

Como referido existem outros dados obtidos através da simulação de eventos discretos que, apesar de não serem necessários ao cálculo dos custos variáveis, são apresentados no presente documento a título de curiosidade. Estes podem ser consultados em anexo ao documento (Anexo Q).

Por último, analisemos o momento exato no qual os pedidos de abastecimento são efetuados. A principal razão prende-se ao facto de mesmo tendo os modelos de viagem devidamente concebidos e estruturados, no programa de simulação ARENA, de nada adiantar prosseguir com o projeto caso se verifiquem problemas nos dados de entrada. Entende-se como dados de entrada o número de pedidos de abastecimento requisitados em função do ano, tipo de navio e porto. Relembra-se que é considerada a distribuição de Poisson para a previsão da chegada dos pedidos, cujo tempo entre chegadas consecutivas é dado por uma distribuição exponencial negativa. Pelo motivo acima mencionado optou-se por compilar o momento no qual cada pedido de abastecimento é efetuado e proceder à respetiva análise. A Figura 55 ilustra o momento em que cada pedido de abastecimento atendido surge.

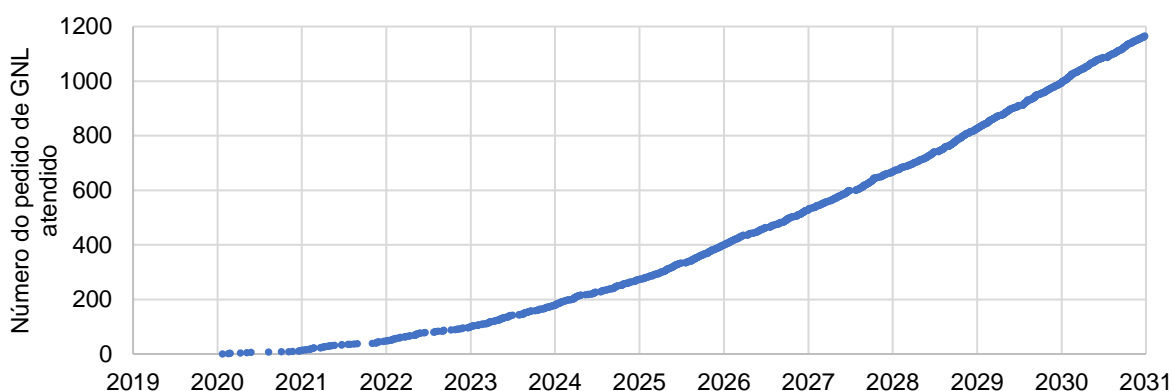


Figura 55 - Momento em que o pedido de abastecimento é efetuado para todos os pedidos atendidos de acordo com o navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>.

No eixo das ordenadas tem-se o número de cada pedido de GNL atendido em toda a simulação. No eixo das abcissas tem-se o momento exato em que cada um dos pedidos foi solicitado. Destaca-se que os pedidos de abastecimento desistentes, aqueles cujo tempo de permanência na lista de espera excede 72 horas, não são considerados. Observa-se que a curva dada pela Figura 55 segue a tendência desejada, isto é, apresenta um crescimento contínuo no número de pedidos, e não são verificadas irregularidades a destacar. Como tal sabe-se que no decorrer da simulação o tempo entre chegadas consecutivas é cada vez inferior. Deste modo conclui-se que a simulação é assente em dados de entrada coerentes com aquilo que é estimado e por essa razão os resultados obtidos não são comprometidos.

### 5.3.2. Considerações acerca do Programa de Simulação e dos Resultados Obtidos

Com a presente secção pretende-se estabelecer algumas considerações acerca do modelo de viagem dos diversos sistemas e sobre os resultados da simulação do abastecimento de GNL obtidos.

A construção do modelo de viagem, com recurso ao programa ARENA, é relativamente simples de ser efetuada. O programa de simulação assume-se como intuitivo, versátil e fácil de ser trabalhado. Contudo, o mesmo não acontece quando se trata da recolha e análise de dados. Trata-se de um processo complexo que pode originar erros nos resultados que se prolongam em toda a simulação. Por esta razão optou-se por processar os mesmos resultados da simulação de duas maneiras diferentes. A primeira, aquela que é correntemente utilizada, consiste na leitura de resultados em determinados períodos de tempo. Neste caso a leitura de resultados dá-se no final de cada ano. Deste modo é

possível obter os resultados pretendidos sem sobrecarregar o programa de simulação. A segunda consiste numa leitura de resultados mais arcaica após todo e qualquer processo de abastecimento ou reabastecimento. No final destes processos tem-se toda a informação relativa ao último ciclo da simulação (duração dos processos, quantidades de GNL manuseadas, momento em que o pedido é efetuado, entre outros). Uma vez que segundo este método existe a constante leitura de dados o programa é sobrecarregado e a simulação torna-se substancialmente morosa. Inicialmente, e após a implementação dos 2 métodos de recolha de dados, procedeu-se ao teste de diversos sistemas a fim de comparar os resultados e validá-los. Verificou-se que os resultados eram coerentes entre si e assim validou-se todo o modelo de viagem e processos de recolha de dados.

Relativamente aos resultados obtidos existem também algumas considerações a mencionar. É possível verificar que nos resultados relativos à duração dos processos e ao número de pedidos requisitados e atendidos, presentes no tronco comum do documento e em anexo ao mesmo, podem parecer existir algumas incoerências. Por um lado, é espectável que ao somar a duração de todos os processos de um determinado ano o tempo obtido seja o equivalente a 8,760 horas, o que nem sempre ocorre. Por outro lado, é espectável que para um mesmo ano a soma entre o número de pedidos atendidos e o número de desistências seja equivalente ao número de pedidos requisitados, o que também nem sempre ocorre. Acontece que a simulação do abastecimento de GNL é contínua e que os resultados obtidos contabilizam somente processos finalizados. Por exemplo, caso o navio navegue entre Sines e Leixões a duração da viagem é guardada no programa somente quando o navio chegar ao destino. Sabendo a hora de chegada e a hora de partida facilmente obtém-se a duração da viagem. Verificam-se situações semelhantes no decorrer da simulação, alguns processos têm início num determinado ano e são concluídos somente no ano seguinte. Nestes casos toda a duração de um dado processo é unicamente contabilizada no ano seguinte. Idealmente, nestas situações, o procedimento seria pausar a simulação e proceder à diferenciação da duração do processo entre os anos consecutivos. Visto não ser possível pausar os processos de viagem, abastecimento, reabastecimento e de manutenção anual existirá sempre situações desta natureza que influenciam com maior ou menor intensidade a duração total de um determinado ano. Relativamente à relação entre pedidos requisitados, desistências e pedidos atendidos podem também parecer existir incoerências pela razão acima mencionada. Por exemplo, um dado pedido requisitado pode acontecer perto do fim do ano fazendo com que apenas seja possível de ser atendido no ano seguinte. Assim sendo conclui-se que não existe incoerência nos resultados obtidos, mas sim algumas limitações incontornáveis.

Por último pretende-se mencionar algumas considerações acerca dos pedidos requisitados e do modo como influenciam a resposta da simulação. Como referido cada simulação é replicada 100 vezes a fim de analisar o comportamento do sistema quando existem variações das distribuições aplicadas. Variações estas ao nível das viagens, dos processos de abastecimento e reabastecimento e ao nível da periodicidade de pedidos de abastecimento requisitados. Neste último numa dada replicação o número de navios a requisitar GNL pode ser superior ao estimado e noutra replicação pode ser inferior, consequência da aplicação da distribuição de Poisson para a previsão da chegada dos pedidos. Deste modo, flutuações ocorridas nos números de pedidos requisitados acabam por conferir ainda mais confiança nos resultados obtidos. Para um determinado cenário por vezes a quantidade de GNL



requisitada é ligeiramente superior e noutras situações ligeiramente inferior áquilo que é estipulado. Contudo, e a fim de garantir que de facto o modelo probabilístico é aplicado corretamente, é necessário verificar se ao simular o mesmo sistema 100 vezes o valor médio dos pedidos requisitados tende a igualar o valor estimado. Verifica-se, de facto, que em todos os 48 modelos simulados a média do número de pedidos requisitados e da quantidade de GNL requisitada nunca apresenta um erro superior a 1% em relação aos mesmos valores estipulados nos cenários de procura de GNL. Por exemplo, com o sistema caracterizado pelo navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup> obtém-se uma média de 1,682 pedidos requisitados e uma média de 948,194 m<sup>3</sup> de GNL requisitado. Sabendo que o número previsto de pedidos requisitados são 1,681 existe um erro associado de cerca de 0.1%, sabendo que a quantidade prevista de GNL requisitada é de 947,877 m<sup>3</sup> existe um erro associado de cerca de 0%. Perante os erros associados verifica-se que a distribuição de Poisson é corretamente aplicada e que o número de 100 replicações é necessário e suficiente para que os valores médios se aproximem dos valores previstos.

## **5.4. Fluxo de Caixa**

A presente secção visa apresentar os componentes que constituem o fluxo de caixa não mencionados até ao momento. São eles os custos variáveis e as receitas do aprovisionamento de GNL. Com o intuito de agir em linha com os resultados da simulação do abastecimento de GNL, mencionados na secção anterior, aqui ir-se-á dar continuidade ao mesmo sistema considerado. Os resultados são relativos à primeira replicação desse mesmo sistema. Destaca-se que o fluxo de caixa contabiliza também o próprio fluxo de caixa (soma dos custos e das receitas), tributação (fruto do imposto de 21% sobre as receitas), fluxo de caixa após impostos (soma do fluxo de caixa e dos impostos), fator de desconto calculado em função da taxa de retorno e, por fim, o VAL (valor atual líquido obtido pela multiplicação entre o fluxo de caixa após impostos e o fator de desconto). O FMR, expresso em euros/tonelada, reflete o valor adicional a ser cobrado pelo GNL para que o VAL seja igual a zero após 12 anos de análise. Como referido aqui ir-se-á debruçar somente sobre os custos variáveis e sobre as receitas do aprovisionamento do GNL. Em anexo ao documento pode ser consultado o fluxo de caixa inerente ao sistema em causa (Anexo S). O sistema é caracterizado por um FMR de aproximadamente 259.3 euros.

### **5.4.1. Custos Variáveis**

Com a presente secção pretende-se apresentar os custos variáveis. Estes compreendem os custos de viagem (incluem exclusivamente os gastos de combustível) e os custos do manuseamento do GNL.

#### **5.4.1.1. Custos de Viagem**

Os custos de viagem compreendem todos os gastos de combustível, a nível dos motores principais e a nível dos motores auxiliares, em todos os processos de viagem, reabastecimento, abastecimento e de inatividade do navio. Lembra-se que se considera total isenção das tarifas cobradas pela utilização dos portos derivada de um acordo hipotético com as várias administrações portuárias. A Figura 56 ilustra a evolução dos custos de viagem para o sistema definido pelo navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup> no decorrer dos 12 anos de operação.

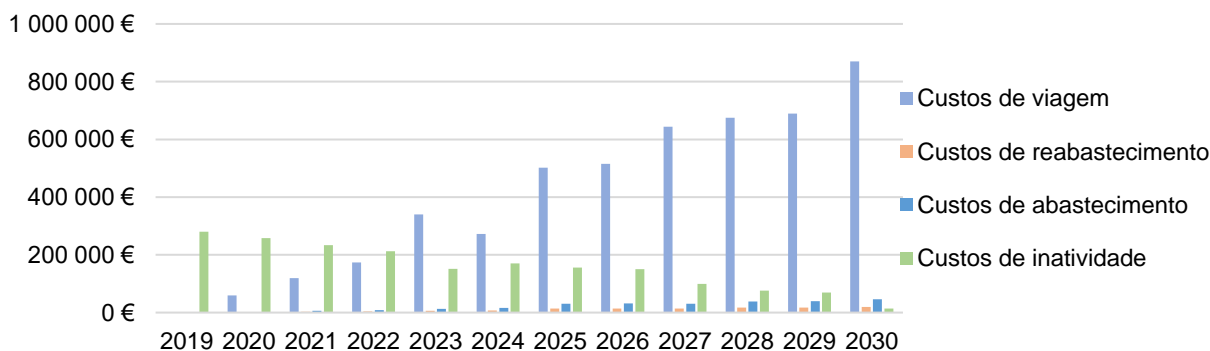


Figura 56 - Custos de viagem de acordo com o navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>.

Analisando a Figura 56 observa-se que os custos de viagem e os custos de inatividade são os mais elevados. Os primeiros encontram-se compreendidos entre 59,954 e 870,414 euros (desprezando naturalmente o ano de 2019 cujo número de pedidos é nulo), os segundos encontram-se compreendidos entre 13,629 e 280,615 euros. Decorridos os 12 anos de operação do navio o total dos custos de viagem e de inatividade são de aproximadamente de aproximadamente 4.861 e de 1.871 Milhões de euros, respetivamente. Os restantes custos são os mais reduzidos. Desde o ano de 2020 até ao ano de 2030 encontram-se compreendidos entre aproximadamente 961 e 45,612 euros. Decorridos os 12 anos de operação o total dos custos de reabastecimento e abastecimento são de aproximadamente 117,909 e 260,523 de euros, respetivamente. Destaca-se os valores dados pela Figura 56 são relativos à primeira replicação do sistema em análise.

#### 5.4.1.2. Custo de Manuseamento do GNL

O custo de manuseamento do GNL deriva da tarifa cobrada no terminal de Sines na operação de reabastecimento do navio. Esta tarifa reflete o valor a ser cobrado pelo uso dos equipamentos do terminal. A Figura 57 ilustra a evolução dos custos de manuseamento do GNL em função do sistema definido pelo navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>.

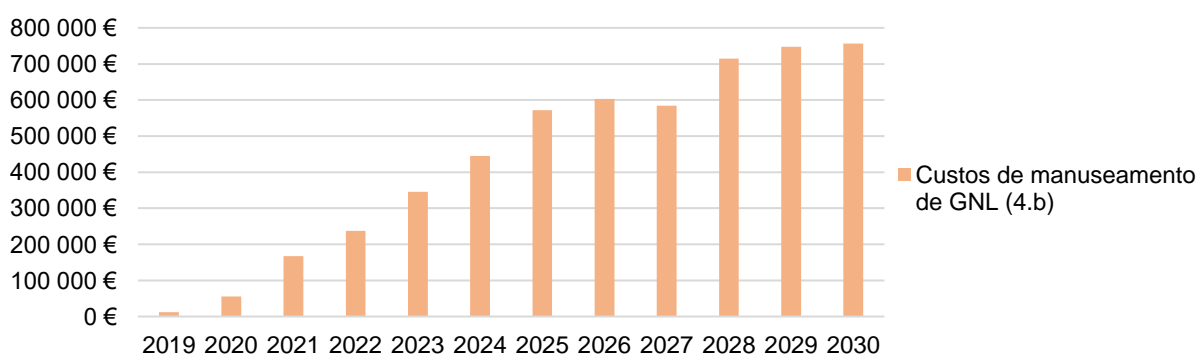


Figura 57 - Custos de manuseamento do GNL de acordo com o navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>.

Observa-se, naturalmente, uma tendência crescente nos custos de manuseamento de GNL. Quanto maior o número de pedidos a atender maior é a quantidade carregada no terminal de Sines. Relembra-se que se considera uma tarifa aplicada no terminal de Sines de aproximadamente 17.86 euros/tonelada. Deste modo verifica-se que desde o ano de 2019 até ao ano de 2030 os custos encontram-se compreendidos entre aproximadamente 12,240 e 756,385 euros. Decorridos os 12 anos

de operação do navio tem-se um total de custos de manuseamento do GNL, derivados de tarifas aplicadas, de aproximadamente 5.240 Milhões de euros. Destaca-se os valores dados pela Figura 57 são relativos à primeira replicação do sistema em análise.

#### 5.4.2. Receitas

As receitas do abastecimento de GNL devem-se ao FMR cobrado ao cliente. Sabendo a quantidade de GNL vendida e o valor adicional de combustível obtêm-se as receitas. A Figura 58 ilustra a evolução das receitas em função do sistema definido pelo navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>.

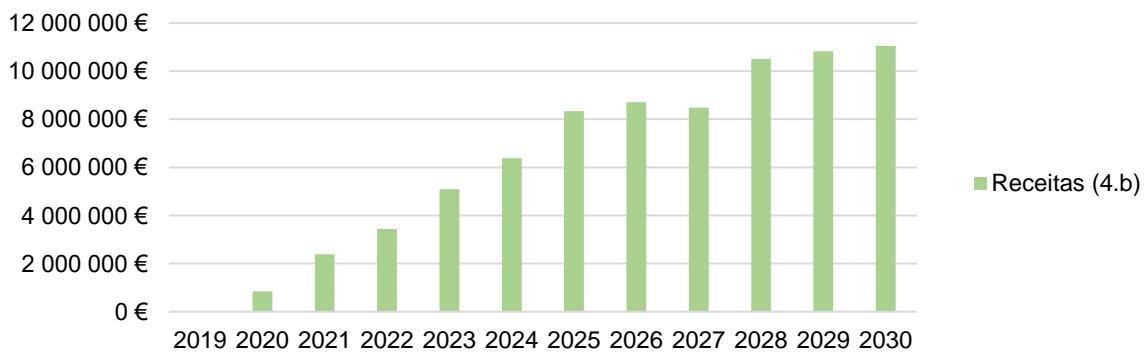


Figura 58 – Receitas do abastecimento de GNL de acordo com o navio de 1,530 m<sup>3</sup>, cenário de procura 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>.

Observa-se que as receitas no ano de 2019 são inexistentes. Como não existem pedidos atendidos neste ano verifica-se somente custos relacionados com a inatividade do navio de abastecimento. Desde o ano de 2020 até ao ano de 2030 as receitas relativas aos 2 casos encontram-se compreendidas entre aproximadamente 849,254 euros e 11.830 Milhões de euros. Decorridos os 12 anos de operação do navio tem-se um total de receitas de aproximadamente 76.076 Milhões de euros. Destaca-se que a receita proveniente da revenda do navio não é contabilizada na Figura 58. Caso considerado no ano de 2030 ir-se-ia verificar uma receita total de aproximadamente 23.633 Milhões de euros. À semelhança das secções anteriores, os valores dados pela Figura 58 são relativos à primeira replicação do sistema em análise.

#### 5.4.3. Considerações acerca dos Custos Variáveis e das Receitas

A fim de ter uma melhor perceção acerca da evolução dos custos e das receitas existem algumas considerações que devem de ser referidas. Seria espectável observar, em função do aumento gradual do número de pedidos requisitados, uma tendência contínua nos custos variáveis e nas receitas. Verifica-se, contudo, algumas singularidades nos resultados apresentados. Em primeiro lugar é necessário ter-se em consideração que a simulação de eventos discretos é assente na aleatoriedade dos processos constituintes da simulação e na aleatoriedade relativa ao surgir dos pedidos requisitados. O comportamento do navio na simulação de abastecimento de GNL pode, por isso, contrariar tendências inicialmente previstas. Por exemplo, em função da sequência e quantidade de pedidos de abastecimento poderá existir maior ou menor necessidade de recorrer ao porto de Sines para proceder ao reabastecimento dos tanques. Isto quer dizer que, mesmo perante números semelhantes de pedidos atendidos, não é garantido verificar tendências constantes nas durações dos

processos e, conseqüentemente, nos custos. Em segundo lugar existe também a influência das desistências dos pedidos. Por vezes podem estar reunidas todas as condições para que o número de desistências seja o mais reduzido possível. Por vezes o inverso pode ocorrer. Atendendo ainda à desistência de pedidos convém salientar que por vezes pode existir um maior número de desistências de pedidos caracterizados por uma quantidade de GNL reduzida, por vezes pode existir um maior número de desistências caracterizadas por uma quantidade de GNL elevada e por vezes pode dar-se um equilíbrio a este respeito. Destaca-se que por volta de metade da simulação do navio o número de pedidos efetuados torna-se em muito superior ao número de pedidos que de facto são possíveis de serem atendidos. Dá-se, por isso, a saturação do sistema e o desacelerar das tendências previstas. Por último tem-se o contributo da variação do preço do MDO. Ao considerar-se diferentes preços de aquisição deste combustível (522 euros/tonelada entre 2019 e 2024, 753 euros/tonelada entre 2025 e 2029 e 856 euros/tonelada a partir de 2030) existirá sempre um contrariar da evolução dos custos de inatividade do navio.

## 5.5. Análise Económico-Financeira

A presente secção tem como objetivo estabelecer a comparação entre os resultados económico-financeiros obtidos e os resultados económico-financeiros dados por estudos semelhantes. A comparação baseia-se na medida de mérito FMR com a qual é possível concluir a atratividade do negócio de abastecimento de GNL. Este FMR, expresso em euros/tonelada, reflete o custo adicional a ser cobrado ao cliente por cada tonelada de GNL fornecido. A comparação de resultados é efetuada entre os resultados obtidos no presente documento e os resultados dados por 3 estudos diferentes. Estes são: DMA (2012), T.A. Santos, C. Guedes Soares (2015) e Filippi, E. (2015).

### 5.5.1. Resultados Económico-Financeiros de Estudos Similares

Os resultados obtidos em DMA (2012) são em função de 3 portos distintos pertencentes à UE, contudo não identificados. Estes diferem nos equipamentos, infraestruturas e métodos de abastecimento existentes. As diferenças devem-se à necessidade de dar resposta à procura de GNL prevista em cada porto. A Figura 59 apresenta os resultados dados pelo estudo DMA (2012) em função de um período de retorno do investimento correspondente a 8 e 12 anos, para 3 portos distintos.

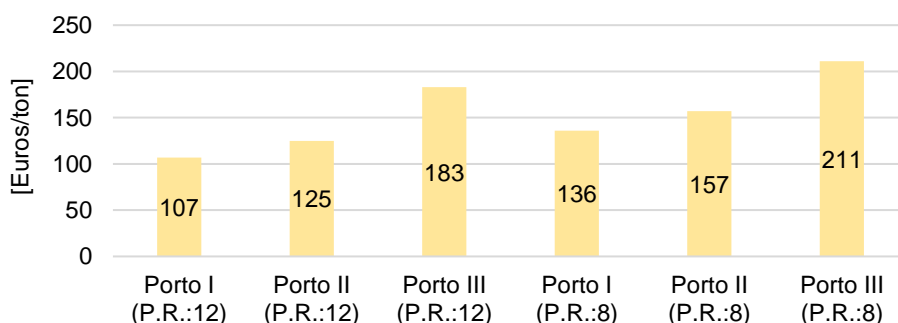


Figura 59 - Custo adicional de combustível (DMA, 2012).

Analisando a Figura 59 verifica-se, naturalmente, que quanto maior o período de retorno (P.R.) menor é o custo adicional de combustível a cobrar ao cliente. Considerando todos os portos e o período de retorno de 12 anos verifica-se que o custo adicional de combustível se encontra compreendido entre

107 e 183 euros/toneladas. Em média tem-se um custo adicional de combustível de aproximadamente 138 euros/tonelada. Considerando todos os portos e o período de retorno de 8 anos verifica-se que o custo adicional de combustível se encontra compreendido entre 136 e 211 euros/toneladas. Em média tem-se um custo adicional de combustível de aproximadamente 168 euros/tonelada. Destaca-se que o projeto em questão apresenta os custos adicionais de GNL também em função de períodos de retorno correspondentes a 10 e 15 anos. Contudo optou-se somente por considerar o período de retorno que conduz aos valores mais elevados (8 anos) e o período de retorno equivalente ao considerado no presente estudo (12 anos).

Os resultados obtidos em T.A. Santos, C. Guedes Soares (2015) derivam de um estudo em muito semelhante ao da presente dissertação. A principal diferença reside no facto de os resultados serem em função do cenário de procura reduzida obtida no projeto COSTA (Cid, 2014) e no facto de não existir simulação do abastecimento de GNL. Neste estudo existem também resultados obtidos para alguns portos de Itália, resultados esses também utilizados para comparação. A Figura 60 apresenta os resultados dados pelo estudo T.A. Santos, C. Guedes Soares (2015), para o caso de Portugal e para alguns portos de Itália.

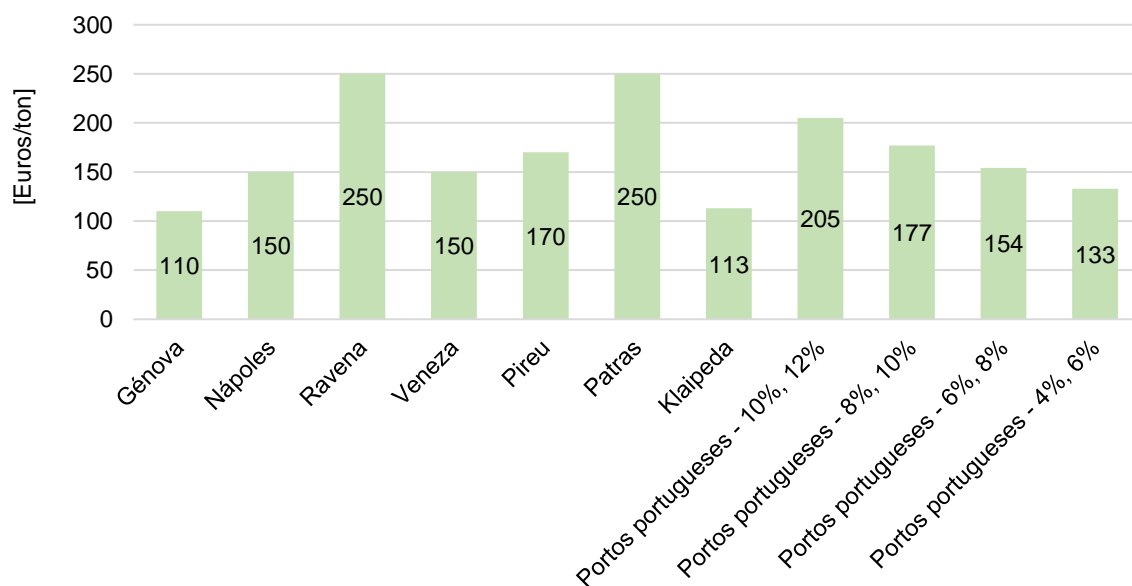


Figura 60 - Custo adicional de combustível, adaptado de (T.A. Santos, C. Guedes Soares, 2015).

Relativamente aos portos portugueses existem 4 perspetivas acerca do custo adicional de GNL. Cada uma difere entre si pelo tipo de modelo de negócio aplicado. Na Figura 60 os portos portugueses são identificados com 2 parâmetros, o primeiro refere-se à taxa de juro e o segundo à taxa de retorno. Verifica-se um custo adicional de 154 euros/tonelada para uma taxa de juro de 6% e uma taxa de retorno de 8% e um custo adicional de 177 euros/tonelada para uma taxa de juro de 8% e uma taxa de retorno de 10%. Estes 2 modelos de negócio são iguais aos modelos aplicados na presente dissertação. Considerando os custos provenientes dos restantes modelos de negócio verificam-se custos adicionais na ordem de 133 e de 177 euros/tonelada. Em média tem-se um custo adicional de combustível de aproximadamente 167 euros/tonelada. Relativamente aos portos de Itália verifica-se que o custo adicional de combustível se encontra compreendido entre 110 e 250 euros/toneladas. Os

portos de Ravenna e de Patras são aqueles cujo custo adicional de combustível é em muito superior em comparação com os demais. Em média tem-se um custo adicional de combustível de aproximadamente 170 euros/tonelada nos portos de Itália. Destaca-se que os valores do custo adicional de combustível presentes na Figura 60 são em função de um período de retorno do investimento de 15 anos.

Os resultados obtidos no estudo de Filippi, E. (2015) resultam de uma análise geral daquilo que se perspetiva acontecer em portos de reduzida dimensão de países pertencentes à UE. A Figura 61 apresenta os resultados dados pelo estudo de Filippi, E. (2015) para portos de dimensão reduzida. Este estudo resulta de uma conferência decorrida em Glasgow com o objetivo de explicar os resultados obtidos no projeto “*On the MoS Way Network*”. Este projeto tem como objetivo dar resposta a desafios existentes no setor marítimo Europeu, fornecendo, para este efeito, conhecimentos e competências para agir em conformidade com políticas em vigor e futuras.

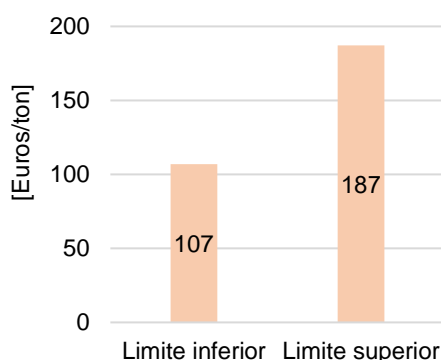


Figura 61 - Custo adicional de combustível (Filippi, E.,2015).

De acordo com a Figura 61 observa-se que o custo adicional de combustível é estimado entre 107 e 187 euros/tonelada. Em média tem-se um custo adicional de combustível de aproximadamente 147 euros/tonelada em portos de dimensão reduzida e pertencentes à EU. Destaca-se que não é sabido o período de retorno nem o modelo de negócio que servem de suporte aos resultados dados pela Figura 61.

### 5.5.2. Comparação de Resultados

A presente secção tem como objetivo estabelecer a comparação entre o custo adicional de GNL obtido na presente dissertação e aqueles dados pelos 3 projetos acima mencionados. Antes de prosseguir para tal comparação existem algumas considerações a efetuar. Em primeiro lugar pretende-se comparar unicamente o custo adicional de combustível. Uma vez que este é de facto o valor a ser cobrado, a somar naturalmente ao preço de mercado do GNL, o cliente é alheio ao modelo de negócio implementado e ao investimento dos equipamentos e infraestruturas. Ao cliente apenas interessa o que efetivamente tem de pagar por cada tonelada de GNL. Por esta razão o pretendido é saber se perante o negócio de abastecimento de GNL considerado para a costa portuguesa existem custos atrativos, capazes de colocar Portugal competitivo neste mercado. Em segundo lugar a comparação é estabelecida unicamente entre os resultados mais reduzidos do presente projeto e os resultados mais elevados dos 3 projetos utilizados para comparação, por razões que mais adiante são perçetíveis.

A Figura 62 apresenta a comparação do custo adicional de combustível entre os resultados mais reduzidos aqui obtidos e os resultados mais elevados dados nos estudos DMA (2012), T.A. Santos, C. Guedes Soares (2015) e Filippi, E. (2015).

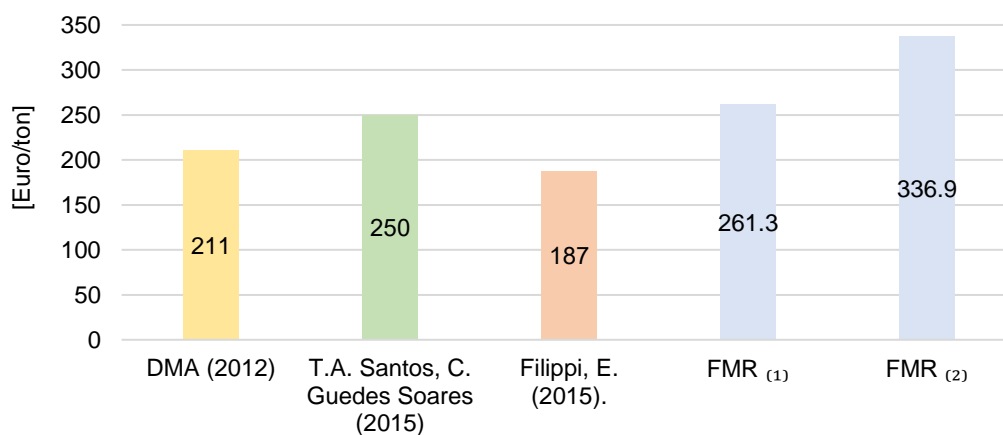


Figura 62 - Comparação do custo adicional de combustível através de estudos semelhantes

Na Figura 62 FMR (1) refere-se ao custo adicional de combustível médio obtido para o sistema caracterizado pelo navio de abastecimento de 1,530m<sup>3</sup>, cenário de procura de GNL 4.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>. Por sua vez, FMR (2) refere-se ao custo adicional de combustível médio obtido para o sistema caracterizado pelo navio de abastecimento de 1,530m<sup>3</sup>, cenário de procura de GNL 2.b e quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup>. Ambos os valores referem-se também ao modelo de negócio caracterizado por uma taxa de juro de 6% e uma taxa de retorno de 8%. Tratam-se dos sistemas e do modelo de negócio através dos quais se obtêm os valores mais reduzidos. Analisando a Figura 62 verifica-se que o FMR (1) e o FMR (2) são superiores aos valores mais elevados dados pelos estudos em questão, perfazendo cerca de 261.3 e 336.9 euros/tonelada, respetivamente. De facto, não esquecendo que os valores obtidos resultam da média de 100 replicações, verifica-se que mesmo os valores mínimos obtidos não se assumem como atrativos em comparação com os demais. De entre os 100 resultados que perfazem a média do FMR (1) existe um mínimo de 244.3 euros/tonelada e de entre os 100 resultados que perfazem a média do FMR (2) existe um mínimo de 316.8 euros/tonelada. Estes valores podem ser conferidos na secção 5.2.3.1. Resultados do FMR em função do Navio de Abastecimento de 1,530 m<sup>3</sup>. Verifica-se que somente o resultado mínimo relativo ao FMR (1) é ligeiramente inferior aos resultados dados para os portos de Ravena e de Patras (250 euros/tonelada), ainda assim muito superior aos resultados dados para todos os outros portos.

Verifica-se que os resultados obtidos no presente documento são muito elevados em comparação com os resultados dados pelos projetos identificados, por si só já elevados. Conclui-se que não existe a possibilidade de Portugal praticar preços inferiores aos dos outros portos europeus mencionados.





## 6. Conclusões e Recomendações

O presente capítulo visa apresentar as conclusões e considerações relativas à dissertação bem como algumas recomendações para desenvolvimentos futuros.

### 6.1. Conclusões

O GN é um combustível alternativo àqueles correntemente utilizados, permitindo mitigar ou mesmo a evolução das alterações climáticas e a degradação da qualidade do ar. Quando aplicado como combustível marítimo o GNL permite cumprir com a regulamentação em vigor e futura. Sabe-se que o transporte marítimo é um dos modos de transporte mais difíceis de ser descarbonizado e por isso o GNL assume-se como uma fonte eficiente de energia indispensável, permitindo reduzir as emissões de poluentes altamente prejudiciais ao ambiente e aos ecossistemas, maioritariamente CO<sub>2</sub> e SO<sub>x</sub>. Contudo, existem aspetos negativos inerentes a este combustível. O principal é o facto de se tratar ainda assim de um combustível fóssil e por isso limitado. Emissões de alguns poluentes no processo de extração e produção e a volatilidade do preço são outros dos aspetos negativos existentes. Estabelecendo um balanço entre os aspetos positivos e negativos conclui-se que o GNL é uma boa alternativa aos derivados do petróleo, contudo somente a curto e médio prazo. Acredita-se que no futuro, e face aos problemas ambientais que se enfrentam atualmente, dever-se-á transitar para combustíveis ainda mais limpos e renováveis.

Na presente dissertação tem-se em consideração diversos sistemas e dois modelos de negócio. Os sistemas diferem no cenário de procura de GNL, critério para tomada de decisão e na capacidade do navio de abastecimento. Os dois modelos de negócio diferem nas taxas de juro e de retorno. Após a análise financeira conclui-se que o navio de abastecimento de 1,530 m<sup>3</sup> é o que conduz a um custo adicional de combustível inferior. Em média o custo adicional de combustível é inferior em cerca de 14.3% em relação ao custo adicional de combustível obtido pela utilização do navio de 3,000 m<sup>3</sup>. O navio de 1,530 m<sup>3</sup> é, portanto, o navio mais adequado para dar resposta à procura de GNL prevista na costa portuguesa. Conclui-se, também, que na maioria dos casos o critério de decisão definido por uma quantidade limite correspondente a dois terços da capacidade do navio é o que conduz a um custo adicional de combustível inferior. Deste modo, sabe-se que na inexistência de pedidos em lista de espera o ideal é o navio regressar ao porto de Sines e proceder ao reabastecimento dos tanques caso a quantidade remanescente seja inferior a 1,020 e 2,000 m<sup>3</sup>, considerando o navio de 1,530 e 3,000 m<sup>3</sup>, respetivamente.

Dependendo do sistema considerado e do modelo de negócio aplicado o FMR pode variar entre aproximadamente 261 e 1,843 euros/tonelada. O FMR de 261 euros/tonelada é obtido em função do sistema caracterizado pelo navio de 1,530 m<sup>3</sup>, quantidade limite de 1,020 m<sup>3</sup> e cenário de procura 4.b e pelo modelo de negócio definido por um juro bancário de 6% e uma taxa de retorno de 8%. O FMR de 1,843 euros/tonelada é obtido em função do sistema caracterizado pelo navio de 3,000 m<sup>3</sup>, quantidade limite de 3,000 m<sup>3</sup> e cenário de procura 1.a e pelo modelo de negócio definido um juro bancário de 8% e uma taxa de retorno de 10%. Sabendo que estudos semelhantes indicam que o custo adicional de combustível a cobrar ao cliente esteja compreendido entre 107 e 250 euros/tonelada, em

países pertencentes à UE, conclui-se que os resultados obtidos são muito elevados e, por isso, é pouco provável que Portugal venha a praticar preços inferiores aos portos de países pertencentes à UE e a atrair potenciais clientes. Destaca-se que o FMR ou custo adicional de combustível refere-se ao custo a cobrar ao cliente por toda a logística de transporte desde o terminal de importação até ao navio a abastecer. Da soma deste valor ao custo de mercado do GNL obtém-se o custo que o cliente tem de efetivamente pagar.

O elevado custo adicional de combustível resulta dos elevados custos inerentes à operação do navio, mas, principalmente, da reduzida procura de GNL prevista em Portugal. Verifica-se que todos os cenários apresentam valores de procura inferiores a 90,000 toneladas. O cenário 4.b, aquele caracterizado por valores de procura elevados, é o único que permite estimar valores de procura consideráveis, atingindo cerca de 89,268 toneladas no ano de 2030. Por exemplo, a fim de demonstrar que de facto a procura é bastante reduzida da costa portuguesa, sabe-se que no porto de Antuérpia a previsão da procura de GNL que gera maior consenso é de cerca de 156 Mil toneladas no ano de 2025 (Aronietis *et al.*, 2016). Trata-se de uma procura de GNL superior em cerca de 75% em relação a toda a procura prevista na costa portuguesa no ano de 2030. Acrescenta-se, a fim de cimentar a reduzida procura de GNL na costa portuguesa, que mesmo considerando o cenário de procura mais elevado (cenário 4.b) o navio encontra-se em inatividade em mais de 50% do tempo no ano de 2024, isto é, a meio do horizonte em estudo. Por esta razão os custos vão-se agravando no decorrer do tempo e não existem pedidos suficientes para gerar as receitas necessárias, principalmente nos primeiros anos de operação do navio.

## **6.2. Recomendações**

Existem alguns desenvolvimentos futuros a ter-se em consideração. Trata-se de desenvolvimentos que podem originar reduções substanciais no FMR e, assim, tornar o negócio de abastecimento de GNL competitivo e atrativo. Em primeiro lugar sabe-se que existem navios de abastecimento que tanto podem ser utilizados para o aprovisionamento de GNL como para o aprovisionamento de combustíveis convencionais. De acordo com CEPESA (2018) existe, sediado no porto de Huelva, um navio de abastecimento com a capacidade de fornecer diferentes tipos de combustível. Deste modo, mesmo em situações de procura reduzida de GNL, existe a possibilidade de abastecer outros combustíveis e continuar a gerar receitas. Ainda relativamente ao navio de abastecimento existe também a possibilidade de adquirir um navio em segunda mão, por exemplo, um navio tanque, e inserir tanques de GNL no topo do convés. Assim evitam-se elevados custos de aquisição do navio e o investimento total empregue no negócio pode vir a verificar-se inferior.

À parte do navio de abastecimento existem outras possibilidades que podem conduzir a um custo adicional de combustível inferior e que devem de ser testadas, estas são: implementar o novo modelo de tributação dado pelo Decreto-lei 92/2018 ao invés do modelo de tributação convencional, introduzir um sistema de gestão de pedidos a fim de otimizar rendimentos, incluir um maior número de portos no estudo e, por último, encontrar métodos alternativos que possibilitem a previsão da procura de GNL a longo prazo e testar os sistemas para um período de retorno superior a 12 anos.

## 7. Referências Bibliográficas

- AEA (2017). European Environment Agency. Air Quality in Europe – 2017 Report.
- AEA (2017). European Environment Agency. Aviation and Shipping – Impacts on Europe's Environment. TERM 2017: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report.
- APA (2015). Administração do Porto de Aveiro – Agenda navegar.
- APA. Administração da Portos dos Açores – Estatísticas. [Online]. Disponível em: <https://www.portosdosacores.pt/outrosdocs.html>, acessado a 15 de junho de 2018.
- APDL. Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo - Estatísticas. [Online]. Disponível em: <https://www.apdl.pt/publicacoes>, acessado a 15 de junho de 2018.
- APL. Administração do Porto de Lisboa - Estatísticas. [Online]. Disponível em: [https://www.portodelisboa.pt/portal/page/portal/PORTAL\\_PORTO\\_LISBOA](https://www.portodelisboa.pt/portal/page/portal/PORTAL_PORTO_LISBOA), acessado a 15 de junho de 2018.
- APRAM. Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira – Estatísticas. [Online]. Disponível em: <http://www.apram.pt/site/index.php/pt/>, acessado a 15 de junho de 2018.
- APS. Administração dos Portos de Sines e do Algarve – Estatísticas. [Online]. Disponível em: <https://www.portodesines.pt/>, acessado a 15 de junho de 2018.
- Aronietis, R., Sys, C., Hassel, E., & Vanelslender, T. (2016). Journal of Shipping and Trade (2016) 1:2. Forecasting port-level demand for LNG as a ship fuel - The case of the port of Antwerp, p.8 - 9.
- Asperen, E., Dekker, R., Polman, M., & Arons, H. (2004). Arrival processes in port modeling: insights from a case study (No. EI 2004-16). Econometric Institute Research Papers.
- BP (2017). Statistical Review of World Energy.
- CE (2001). DIRECTIVA 2001/81/CE relativa ao estabelecimento de valores-limite nacionais de emissão de determinados poluentes atmosféricos, outubro de 2001.
- CE (2014). DIRETIVA 2014/94/EU relativa à criação de uma infraestrutura para combustíveis alternativos.
- CEPSA (2018). Multi-product barge at port of Huelva. [Online]. Disponível em: <https://www.cepsa.com/en/press/press%E2%80%93releases/Cepsa-presents-the-first-multi%E2%80%93product-supply-vessel-in-southern-Europe>, acessado a 30 de Dezembro de 2018.
- Cid, H. 2014. COSTA Action, LNG – The Portuguese view for ports and shipping. 13ª Jornadas Técnicas de Engenharia Naval, Lisboa.
- Corre, O., Loubar, K. (2010). Natural Gas Physical Properties and Combustion Features.
- CQNUAC (2015). Acordo de Paris. 21.ª Conferência das Partes na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas, Paris.

CQNUAC (2017). Investing in Climate Resilient Infrastructure. Forum of the UNFCCC Standing Committee on Finance “Mobilising Finance for Climate-Resilient Infrastructure”, Rabat.

CRYOGAS. LNG Facilities Scheme. [Online]. Disponível em: [https://www.cryogas.pl/en/lng\\_facilities\\_-\\_scheme](https://www.cryogas.pl/en/lng_facilities_-_scheme), acessado a 28 de abril de 2018.

D’Almeida, J. (2009). Arquitetura Naval – O Dimensionamento do Navio, Prime Books.

DGEG (2017). Direção-Geral de Energia e Geologia - Vendas Mensais de Produtos de Petróleo em Portugal.

DMA (2012). North European LNG Infrastructure Project A feasibility study for an LNG filling station Infrastructure and test of recommendations. Report of the North European LNG Infrastructure project. Copenhagen. Denmark.

DME (2010). Natural gas for ship propulsion in Denmark - Possibilities for using LNG and CNG on ferry.

DNV GL (2014). Preparing for Low Sulphur Operation – Technical Update.

DNV GL (2017). Maritime Forecast to 2050 – Energy transition Outlook.

DNV GL (2018). Comprehensive insights on worldwide LNG bunkering availability and market data on LNG as fuel for ships. LNGi status update.

Easton, M., Carrodus, G., Delany, T., Howitt, B., & Smith, R. (2014). Oxford Big Ideas Geography/History 9. Australian curriculum, Capítulo 5, p.272-281.

Elengy (2017). French Regulated LNG Terminals – Tariffs Applicable.

EMSA (2006-2016). The world merchant fleet – Statistics from Equasis.

EMSA (2018). Guidance on LNG Bunkering to port Authorities and Administrations. European maritime Safety Agency.

Engels, F. (1845). The condition of the Working Class in England. Analia C. Torres, trad. (1975), Capítulo 1.

ESL Shipping. Dry Bulk Sea Transport Company. [Online]. Disponível em: <https://www.eslshipping.com/en/home>, acessado a 28 de junho de 2018.

EU (2015). Study on the Completion of an EU Framework on LNG-fuelled Ships and its Relevant Fuel Provision Infrastructure - Analysis of the LNG market development in the EU, Brussels.

EVERGAS. Danish Shipping Company. [Online]. Disponível em: <https://evergas.net/fleet/fleet-list-overview/lng/>, acessado a 28 de junho de 2018.

Filippi, E. (2015). LNG Bunkering & Training Challenges - LNG Investment Assessment scheme. Glasgow, September 2015.

Gromicho, I. (2017). “Galp faz primeiro abastecimento de gás natural a navio numa ilha Atlântica”. Ambiente Magazine. [Online]. Disponível em: <https://www.ambientemagazine.com/galp-faz-primeiro-abastecimento-de-gas-natural-a-navio-numa-ilha-atlantica/>, acessado a 20 de abril de 2018.

IEA (2016). Energy and Air Pollution - World Energy Outlook Report, International Energy Agency.

IEA (2017). Tracking Clean Energy Progress 2017 - Energy Technology Perspectives 2017 Excerpt Informing Energy Sector transformations, International Energy Agency.

IGU (2012). International Gas Unit. Natural Gas Conversion Pocketbook.

IMO (2016). Studies on the Feasibility and Use of LNG as a Fuel for Shipping. Air pollution and Energy Efficiency Study Series.

IPCC (2014). Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate.

IPCC (2014). Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate.

Kaluza, P., Kölzsch, A., Gastner, M. & Blasius, B. (2010). The complex network of global cargo ship movements, journal of the Royal Society Interface.

MEC+ (2015). Shipping industry's response to ECA 2015. February. Copenhagen. Denmark.

MEPC (2008). RESOLUTION MEPC.176(58). Revised MARPOL Annex VI. Adopted on 10 October 2008.

MEPC (2011). RESOLUTION MEPC.203(62). Inclusion of regulations on energy efficiency for ships in MARPOL Annex VI. Adopted on 15 July 2011.

MPE (2012). M-tech Protec Engineering. Safety study – Chain analysis: Supplying Flemish port with LNG as a marine fuel. Brussels.

Oxford Institute for Energy Studies (2018). A review of demand prospects for LNG as a marine transport fuel.

Revista Cargo (2018). Balanço da Atividade da Empresa GALP no Fornecimento de Combustível a navios. Revista Cargo Nº 271. [Online]. Disponível em: <https://revistacargo.pt/susana-broco-galp-entrevista/>, acedido a 24 de junho de 2018.

RP (2017) Resolução do Conselho de Ministros nº 175/2017. Rede de Portos Comerciais do Continente - Horizonte 2026, DR 227/2017, Série I.

RP (2018). DL 92/2018. Decreto-Lei n.º 92/2018 – Regime especial de determinação de matéria coletável com base na tonelagem dos navios e embarcações.

Santos, T.A., Guedes Soares, C. (2015). Economic assessment of LNG bunkering in the Portuguese coast. In Towards Green Marine Technology and Transport, Guedes Soares, C., Dejhalla, P. (Eds.), pp.695-704, Taylor & Francis Group, London.

T & N (2017). "Sines assume-se porta de entrada de GNL na Europa". Transportes & Negócios. [Online]. Disponível em: <https://www.transportesenegocios.pt/sines-assume-se-porta-de-entrada-de-gnl-na-europa/>, acedido a 20 de abril de 2018.

Thygesen, J. (2015). Caribbean Shippers Association LNG Designs – Now and the Future.

UE (2016). DIRECTIVA 2016/802 relativa à redução de enxofre de determinados combustíveis líquidos, maio de 2016.

Wärtsilä. 3,000 m<sup>3</sup> LNG Bunkering Vessel, Type 2G – WSD59 3K. [Online]. Disponível em: [https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/sd/merchant/lng/data-sheet-ship-design-lng-bunker-wsd59-3k.pdf?sfvrsn=c103f045\\_15](https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/sd/merchant/lng/data-sheet-ship-design-lng-bunker-wsd59-3k.pdf?sfvrsn=c103f045_15), acessado a 10 de julho de 2018.

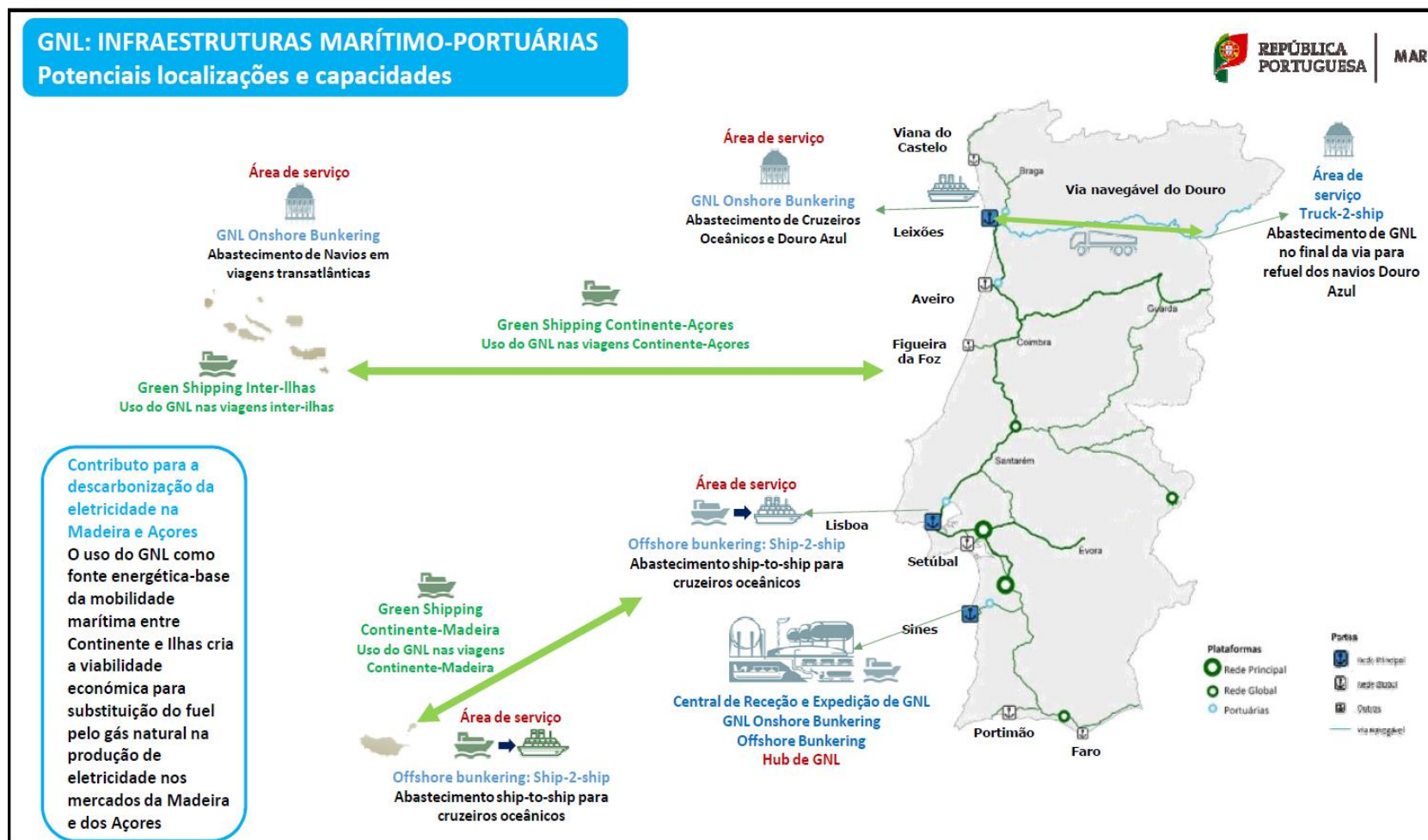
WEC (2016). World Energy Resources. Natural Gas. World Energy Council.

# **ANEXOS**





## ANEXO A – Infraestruturas Marítimo-Portuárias para GNL



Nota: Adaptado de (RP, 2017)



**ANEXO B – Tipos de Navios Movidos a GNL (navios mais relevantes de acordo com a Figura 11)**



Nome: MS Stavangerfjord  
Tipo: Ferry passageiros/veículos  
Função: Transporte de passageiros e veículos  
Tecnologia: GNL



Nome: Bit Viking  
Tipo: Navio tanque  
Função: Transporte de produtos químicos  
Tecnologia: DF



Nome: Harvey Energy  
Tipo: PSV  
Função: Provisão de consumíveis  
Tecnologia: DF



Nome: Isla Bella  
Tipo: Porta-contentores  
Função: Transporte de contentores  
Tecnologia: DF



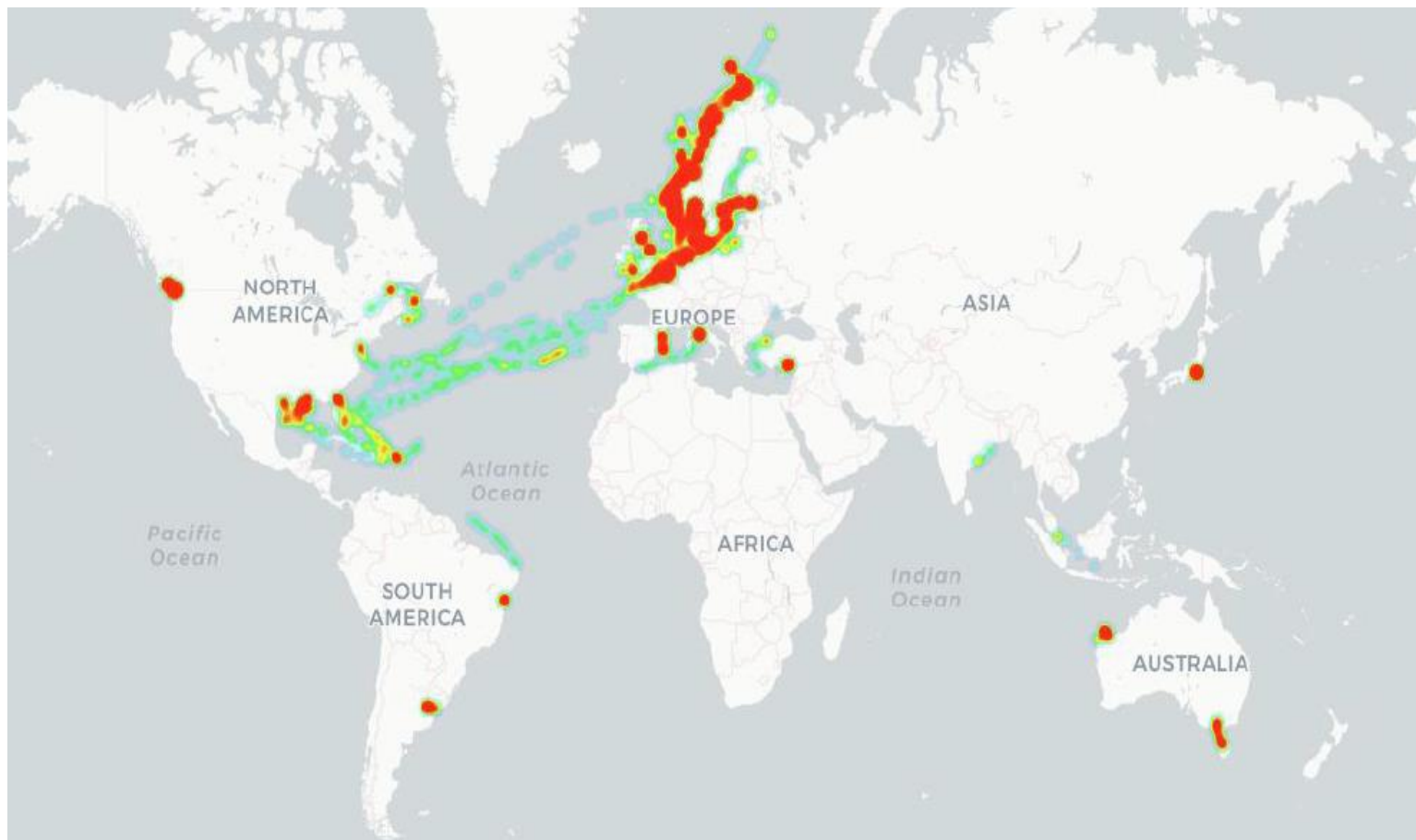
Nome: Coral Star  
Tipo: Navio tanque  
Função: Transporte de Etileno  
Tecnologia:DF



Nome: AIDAnova  
Tipo: Cruzeiro  
Função: Lazer/transporte de passageiros  
Tecnologia: DF



## ANEXO C – Áreas de Operação de Navios Movidos a GNL



Nota: Retirado de (DNV GL, 2018)



## ANEXO D – Métodos mais adequados para alguns Tipos de Navios

Tipo de navio	Tipo de abastecimento		
	STS	TTS	PTS
RoPax/Ro-Ro	1	3	2
Rebocadores	3	1	1
Navio tanque/Graneleiros (costeiros)	1	3	3
Navio porta-contentor ( <i>container feeder vessel</i> )	1	2	2
Navio tanque ( <i>LNG feeder vessel</i> )	1	3	1
Navio tanque ( <i>LNG bunker vessel</i> )	2	2	1
Navio tanque (140,000 m <sup>3</sup> )	2	3	1
Navio militar/Navio patrulha	2	1	2
OSV ( <i>Offshore Supply Vessel</i> )	2	1	2
Navio de passageiros (dimensão reduzida)	2	1	1
Navio de pesca (dimensão elevada)	1	2	1
VLCC ( <i>Very Large Crude oil Carrier</i> )	1	3	2

Legenda: 1 – Método mais adequado, 2 – Método adequado, 3 – Método não adequado

Nota: Adaptado de (DMA, 2012)

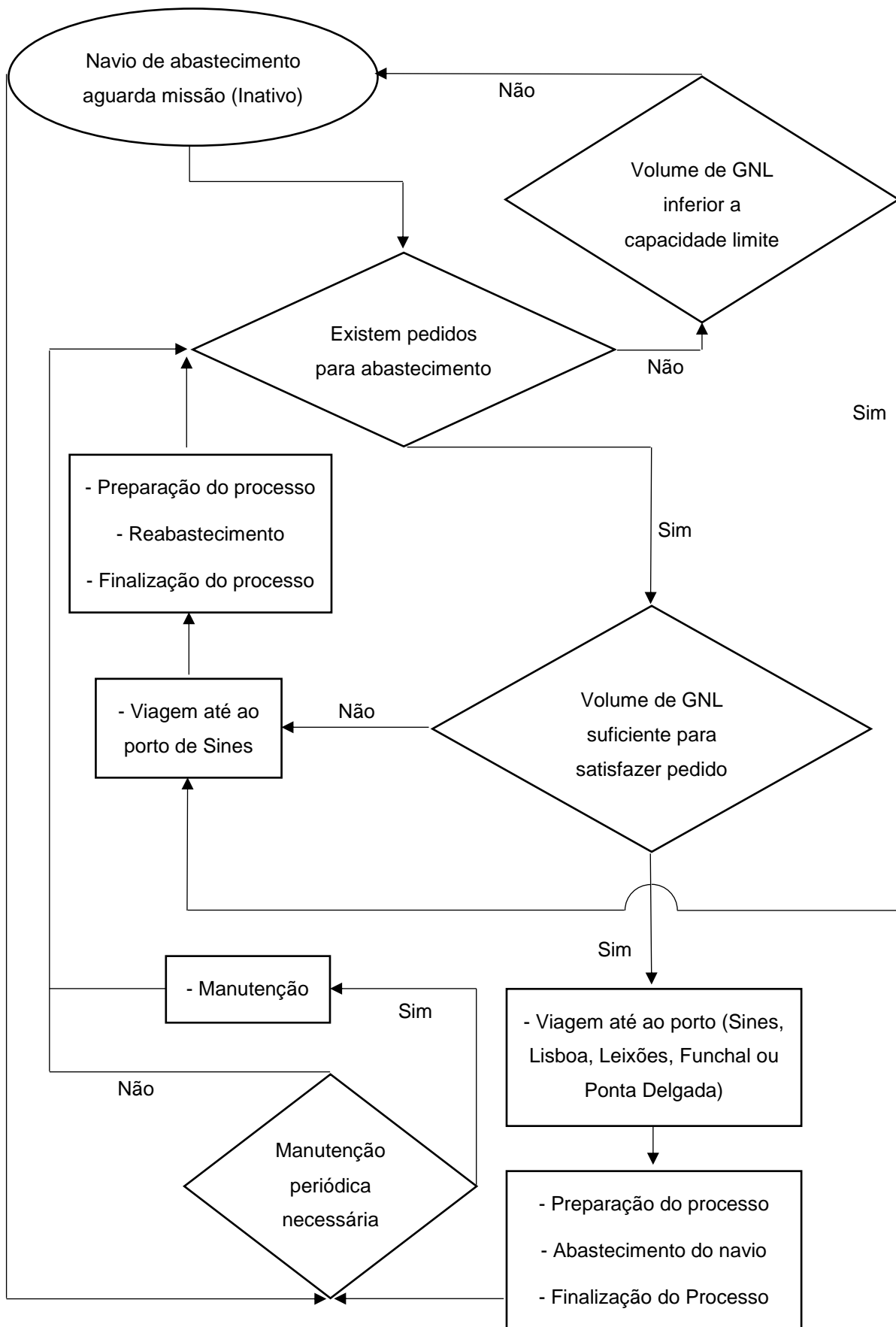
Tipo de navio	Método adequado de abastecimento
Rebocadores/navios patrulha/navios de pesca	TTS
RoPax/Ro-Ro (dimensão reduzida)	STS/TTS
RoPax/Ro-Ro (dimensão elevada)	STS
Navios porta-contentores/navios de carga (dimensão reduzida)	STS
Navios de carga (dimensão elevada)	STS
Navios-tanque/ Graneleiros/Porta-contentores (dimensão elevada)	STS/PTS
Navios porta-contentores/Navios tanque (dimensão muito elevada)	STS/PTS

Nota: Adaptado de (EMSA, 2016)



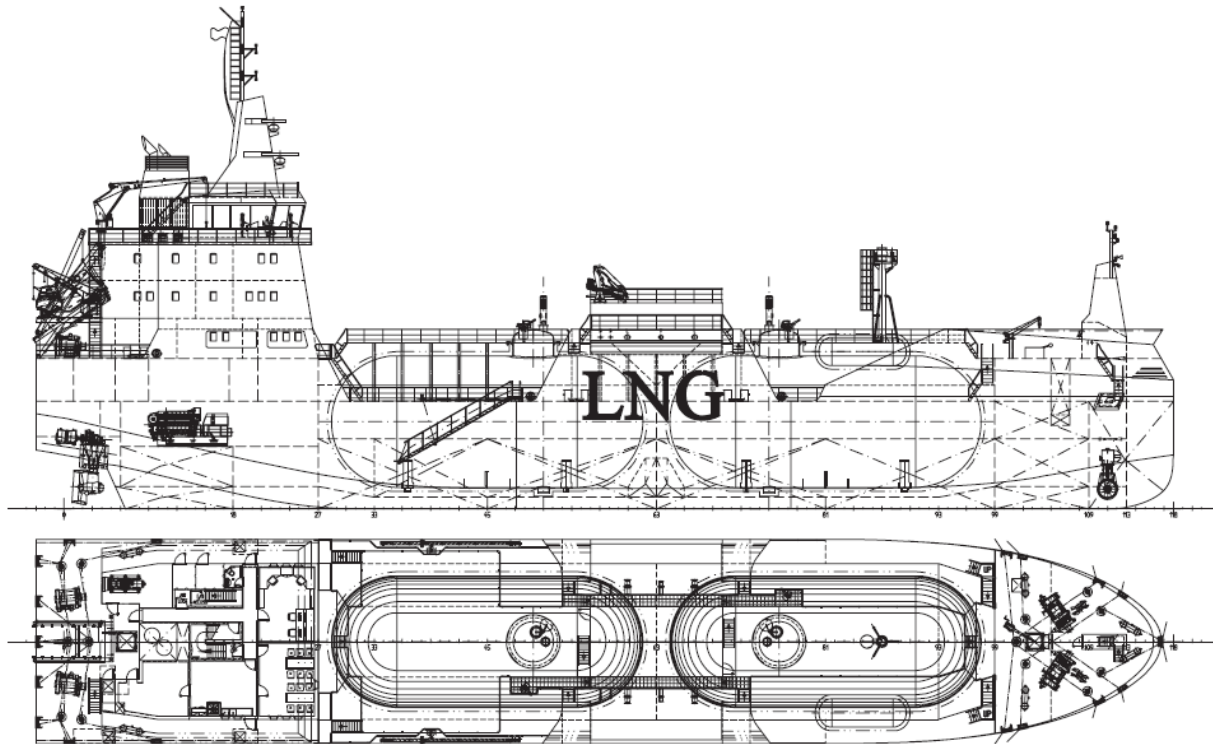


## ANEXO E – Fluxograma do Modelo de Viagem





## ANEXO F – Características principais e Arranjo Geral (Navio de abastecimento de 3,000 m<sup>3</sup>)



### MAIN DIMENSIONS

Length over all, approx. ....	84.70 m
Length PP .....	82.60 m
Breadth moulded .....	15.20 m
Depth moulded, to main deck .....	8.00 m
Draught, design (Td).....	4.25 m
Draught, scantling (Ts) .....	4.48 m

### SPEED

Design speed (Td) .....	12 kts
-------------------------	--------

### CAPACITIES

LNG cargo tanks (100%) .....	3,000 m <sup>3</sup>
BW capacity .....	1,670 m <sup>3</sup>
FW capacity .....	90 m <sup>3</sup>
MDF (MDO/MGO).....	830 m <sup>3</sup>
LNG day tank (optional) .....	40 m <sup>3</sup>

### SPECIAL EQUIPMENT

- B.W. treatment unit (option)
- Re-liquefaction unit(option)
- BOG compressor
- Nitrogen generator unit
- Cargo handling system
- Fuel gas handling system

### DECK'S MACHINERY

- 2x combined windlass/mooring winches fwd, 2x mooring winches aft, all auto-tension
- 1x telescopic knuckle boom deck crane
- 2x provision cranes
- 1x Free fall lifeboat

### DECK'S EQUIPMENT

- Davit launched lifeboats for 13 persons
- Life rafts for 13 persons

### PROPULSION PLANT

- 4-stroke Wärtsilä Genset:  
2x 1,065 kWe Wärtsilä 6L20DF  
1x 1,420 kWe Wärtsilä 8L20DF
- Ducted Azimuth thrusters:  
2x 1,200 kW Wärtsilä FS200
- 1x Emergency diesel, 99 kWe
- 1x Bow thruster 250kW

### E-PLANT 230 V/450 V

Power .....	450V, 60Hz
Lighting .....	230V, 60Hz
Automation .....	230V, 60Hz / 24VDC

### CLASSIFICATION

ABS +A1, +AMS, E, LIQUEFIED NATURAL GAS CARRIER (-163DEGc, 0.5T/M3, 4BAR), SH, SHCM, DFD, RELIQ, UWILD, TCM, ENVIRO, +ACCU, NBLES

Or equivalent

Nota: Retirado de Wärtsilä























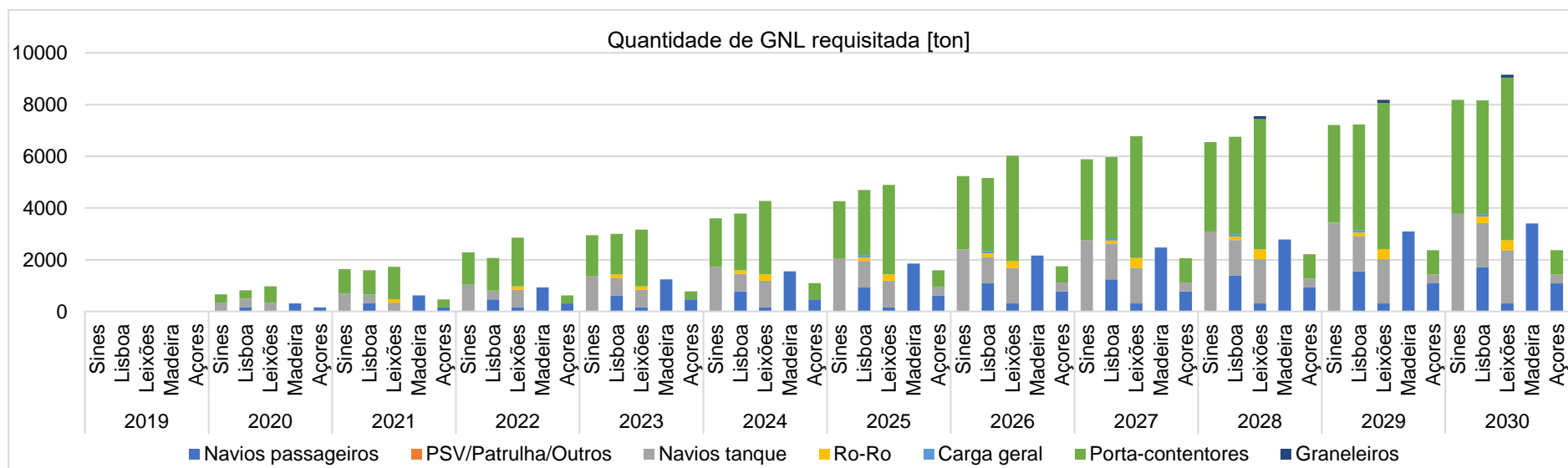
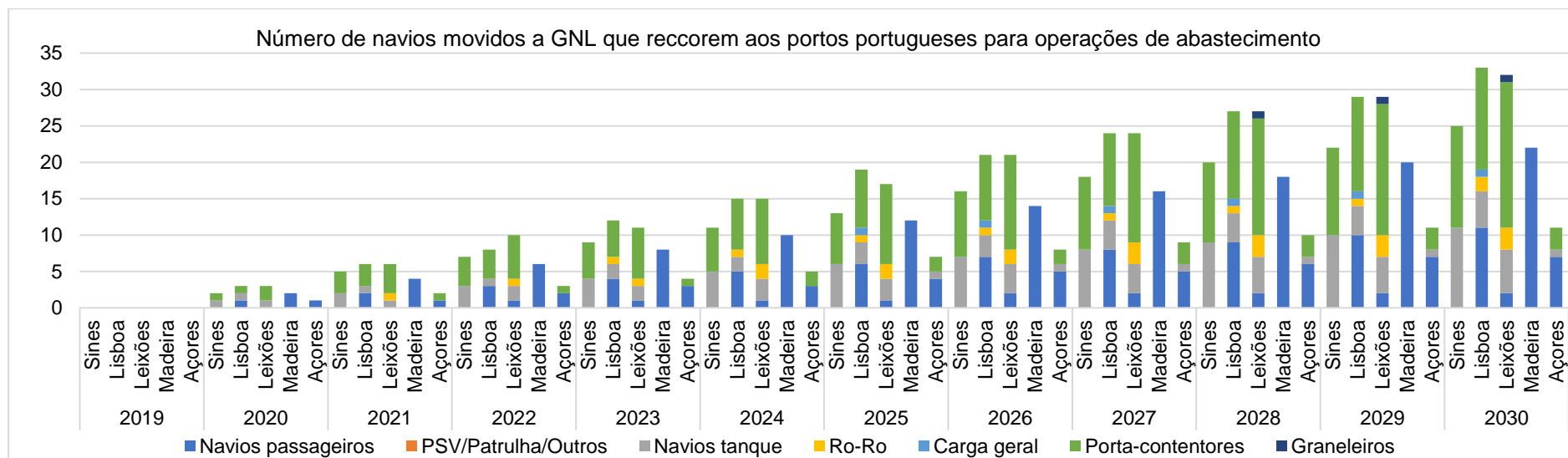








## ANEXO M – Resultados obtidos para a Procura de GNL nos Portos Portugueses (4.a)

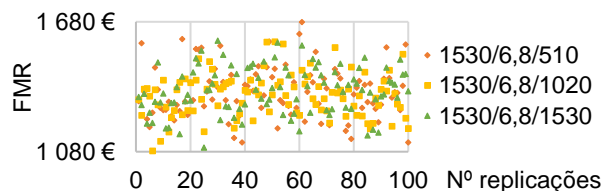




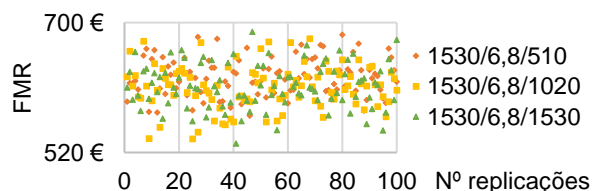




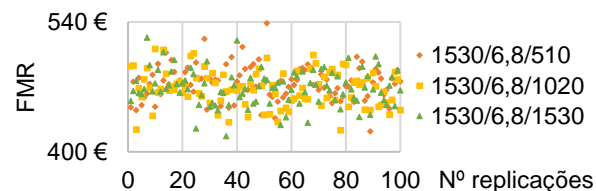
**ANEXO O - Resultados do FMR obtidos em cada Replicação do mesmo Sistema (Navio de Abastecimento de 1,530 m<sup>3</sup>)**



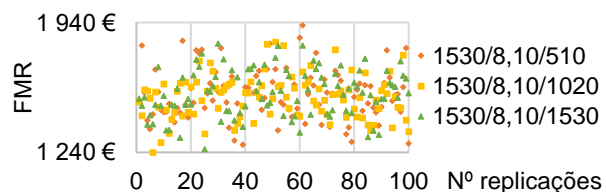
**Cenário 1.a** (Mínimo:1,085 €; Máximo:1,680 €)



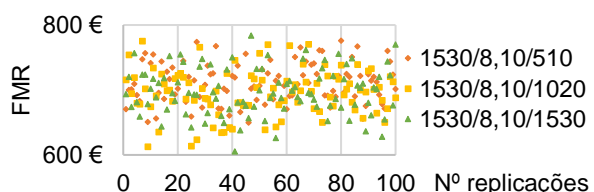
**Cenário 2.a** (Mínimo:532 €; Máximo:687 €)



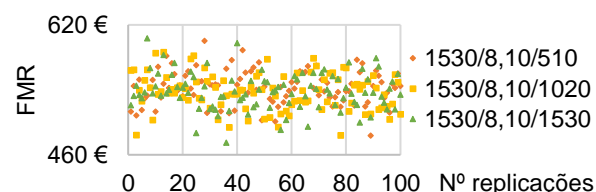
**Cenário 3.b** (Mínimo:417 €; Máximo:539 €)



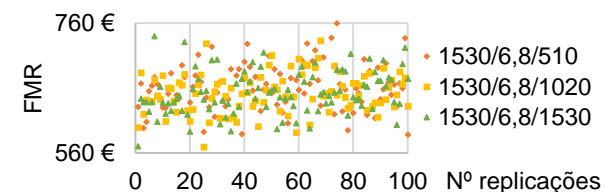
**Cenário 1.a** (Mínimo:1,241 €; Máximo:1,925 €)



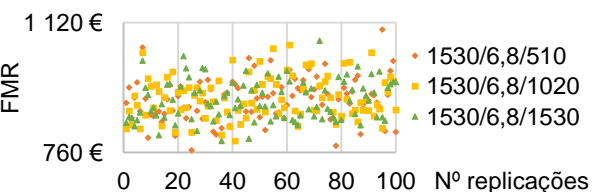
**Cenário 2.a** (Mínimo:605 €; Máximo:784 €)



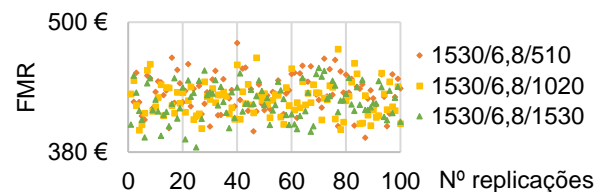
**Cenário 3.b** (Mínimo:475 €; Máximo:620 €)



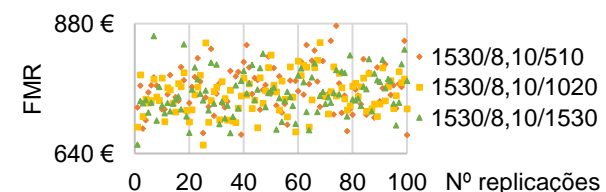
**Cenário 1.b** (Mínimo:569 €; Máximo:759 €)



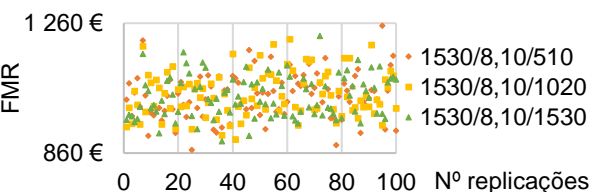
**Cenário 3.a** (Mínimo:766 €; Máximo:1.101 €)



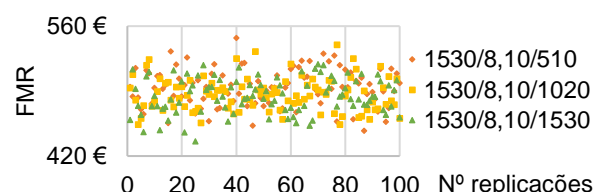
**Cenário 4.a** (Mínimo:385 €; Máximo:481 €)



**Cenário 1.b** (Mínimo:656 €; Máximo:876 €)



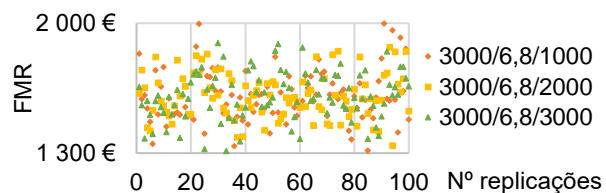
**Cenário 3.a** (Mínimo:869 €; Máximo:1,252 €)



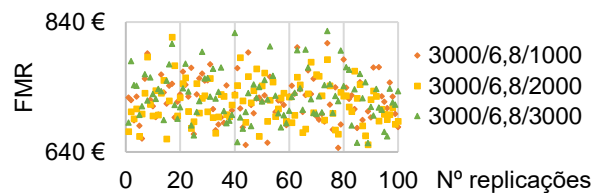
**Cenário 4.a** (Mínimo:436 €; Máximo:547 €)



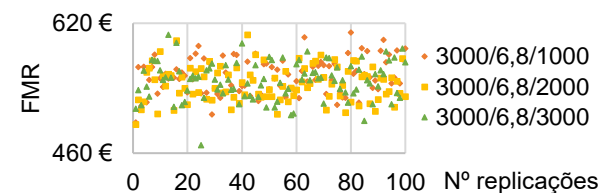
## ANEXO P - Resultados do FMR obtidos em cada Replicação do mesmo Sistema (Navio de Abastecimento de 3,000 m3)



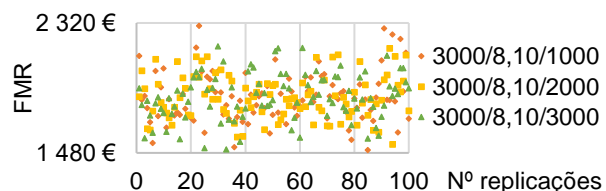
**Cenário 1.a** (Mínimo:1,313 €; Máximo:2,000 €)



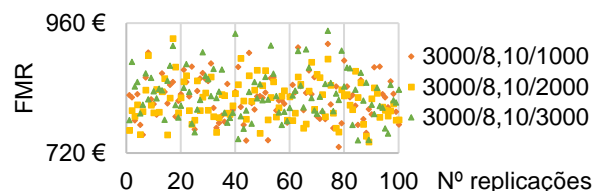
**Cenário 2.a** (Mínimo:647 €; Máximo:826 €)



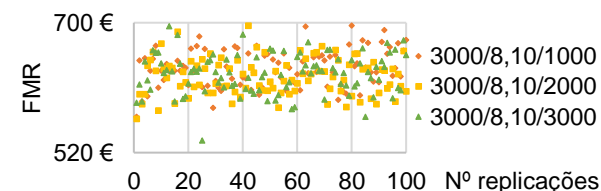
**Cenário 3.b** (Mínimo:470 €; Máximo:609 €)



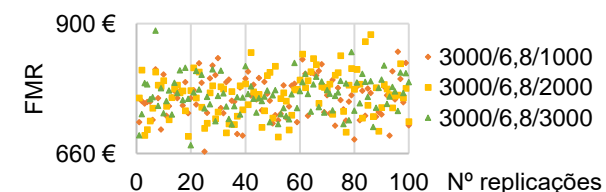
**Cenário 1.a** (Mínimo:1,498 €; Máximo:2,303 €)



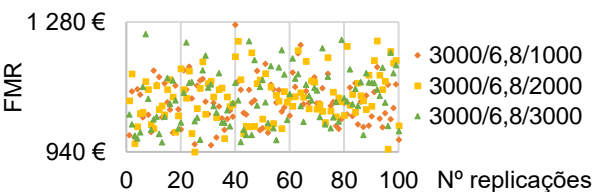
**Cenário 2.a** (Mínimo:731 €; Máximo:946 €)



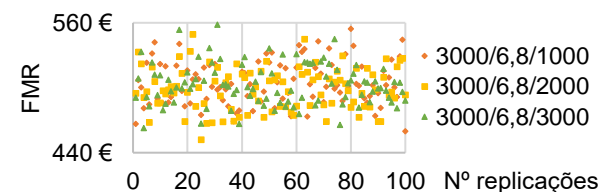
**Cenário 3.b** (Mínimo:537 €; Máximo:696 €)



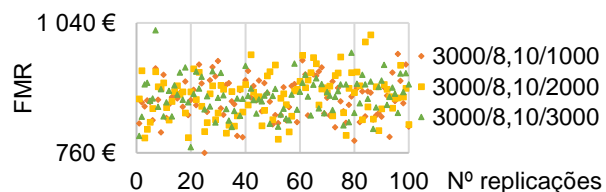
**Cenário 1.b** (Mínimo:663 €; Máximo:887 €)



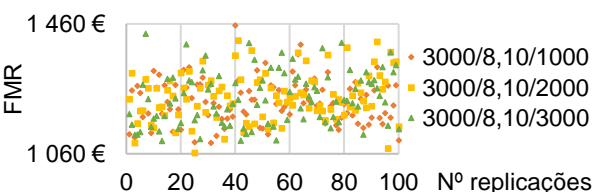
**Cenário 3.a** (Mínimo:940 €; Máximo:1,273 €)



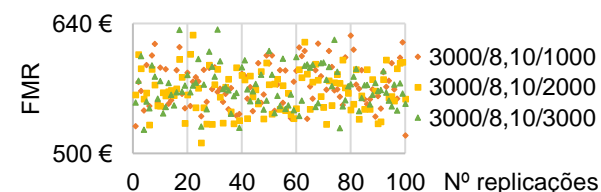
**Cenário 4.a** (Mínimo:452 €; Máximo:558 €)



**Cenário 1.b** (Mínimo:760 €; Máximo:1,024 €)



**Cenário 3.a** (Mínimo:1,063 €; Máximo:1,455 €)



**Cenário 4.a** (Mínimo:511 €; Máximo:633 €)





**ANEXO Q - Resultados da simulação do abastecimento de GNL (Sistema: 1,530 m<sup>3</sup>, Cenário de Procura 4.b e Quantidade Limite de 1,020 m<sup>3</sup>; 1ª replicação)**

Ano	Pedidos requisitados	GNL requisitado (m <sup>3</sup> )	Número de desistências	Pedidos atendidos Sines	Pedidos atendidos Lisboa	Pedidos atendidos Leixões	Pedidos atendidos Madeira	Pedidos atendidos Açores	Número de reabastecimentos Sines
2019	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2020	13	7,310	0	1	3	4	3	2	8
2021	36	21,218	1	9	9	7	8	2	25
2022	55	30,673	2	9	19	12	9	4	38
2023	91	50,620	12	12	18	23	14	11	47
2024	98	57,098	5	20	23	34	14	3	63
2025	151	87,959	22	22	36	33	27	8	78
2026	165	97,736	38	27	34	37	18	13	76
2027	197	105,824	56	20	39	38	25	17	70
2028	233	133,752	76	24	49	36	32	19	83
2029	277	153,278	108	27	54	42	28	16	84
2030	356	205,699	182	27	36	51	33	25	83

Ano	Viagem entre portos (h)	Viagem dentro dos portos (h)	Tempo reabastecimento (h)	Tempo abastecimento (h)	Tempo inatividade (h)	GNL adquirido (m <sup>3</sup> )	Quantidade de GNL vendido (m <sup>3</sup> )	Início manutenção (h)	Manutenção anual (h)
2019	0	0	0	0	8,400	1,530	0	4,380	360
2020	593	1	29	51	7,726	6,965	7,310	4,380	360
2021	1,182	6	87	142	6,983	20,862	20,516	4,380	360
2022	1,715	8	126	206	6,345	29,627	29,627	4,380	360
2023	3,362	9	175	304	4,537	43,156	43,857	4,380	360
2024	2,692	14	228	377	5,102	55,634	54,933	4,380	360
2025	4,331	15	290	498	3,243	71,467	71,812	4,380	360
2026	4,440	21	299	515	3,127	75,374	75,029	4,419	360
2027	5,555	13	287	515	2,050	73,003	73,003	4,394	360
2028	5,819	17	349	627	1,581	89,356	90,403	4,390	360
2029	5,945	18	361	649	1,433	93,436	93,157	4,404	360
2030	7,106	18	364	664	249	94,548	95,184	4,425	360



**ANEXO R - Resultados da simulação do abastecimento de GNL (Sistema: 1,530 m<sup>3</sup>, Cenário de Procura 2.b e Quantidade Limite de 1,020 m<sup>3</sup>; 1ª replicação)**

Ano	Pedidos requisitados	GNL requisitado (m <sup>3</sup> )	Número de desistências	Pedidos atendidos Sines	Pedidos atendidos Lisboa	Pedidos atendidos Leixões	Pedidos atendidos Madeira	Pedidos atendidos Açores	Número de reabastecimentos Sines
2019	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2020	14	8,723	2	3	1	5	1	2	8
2021	20	10,605	0	2	4	5	5	4	13
2022	34	20,751	4	3	8	12	5	2	22
2023	50	27,364	4	9	12	12	11	2	31
2024	72	40,097	12	9	19	14	10	7	37
2025	89	53,845	7	16	26	21	9	11	56
2026	142	80,537	20	25	39	31	16	9	75
2027	152	86,449	24	21	32	33	28	16	68
2028	168	93,787	32	21	37	44	23	11	75
2029	203	114,537	56	29	42	30	27	17	77
2030	224	124,138	75	28	33	41	29	18	75

Ano	Viagem entre portos (h)	Viagem dentro dos portos (h)	Tempo reabastecimento (h)	Tempo abastecimento (h)	Tempo inatividade (h)	GNL adquirido (m <sup>3</sup> )	Quantidade de GNL vendido (m <sup>3</sup> )	Início manutenção (h)	Manutenção anual (h)
2019	0	0	0	0	8,400	1,530	0	4,380	360
2020	552	2	30	49	7,767	7,255	7,255	4,380	360
2021	1,021	2	45	75	7,257	10,605	10,605	4,380	360
2022	1,071	2	75	122	7,130	17,880	17,880	4,380	360
2023	1,574	7	104	175	6,540	24,915	24,915	4,380	360
2024	2,431	7	134	228	5,553	32,763	32,763	4,380	360
2025	2,927	10	202	336	4,972	49,150	49,150	4,402	360
2026	3,791	18	282	481	3,783	70,013	70,013	4,405	360
2027	5,256	14	280	503	2,390	71,545	72,247	4,388	360
2028	4,420	17	297	517	3,151	74,368	73,667	4,428	360
2029	5,338	18	312	556	2,159	78,820	79,511	4,395	360
2030	5,908	19	315	561	1,613	80,651	79,960	4,415	360



**ANEXO S – Fluxo de caixa (Sistema: 1,530 m<sup>3</sup>, Cenário de Procura 2.b/4.b e Quantidade Limite de 1,020 m<sup>3</sup>; 1ª replicação/  
T.J: 6%; T.R:8%)**

Ano	Custos totais	Receitas	Fluxo de caixa	Impostos	Fluxo de caixa após impostos	Fator de desconto	VAL
0	-11,907,500 €	0 €	-11,907,500 €	0 €	-11,907,500 €	1.00	-11,907,500 €
1	-3,814,099 €	0 €	-3,814,099 €	0 €	-3,814,099 €	0.93	-3,531,573 €
2	-3,816,041 €	1,073,353 €	-2,742,688 €	0 €	-2,742,688 €	0.86	-2,351,413 €
3	-3,794,459 €	1,568,958 €	-2,225,500 €	0 €	-2,225,500 €	0.79	-1,766,674 €
4	-3,777,492 €	2,645,419 €	-1,132,073 €	0 €	-1,132,073 €	0.74	-832,108 €
5	-3,790,676 €	3,686,148 €	-104,528 €	0 €	-104,528 €	0.68	-71,140 €
6	-3,834,236 €	4,847,370 €	1,013,133 €	-212,758 €	800,375 €	0.63	504,372 €
7	-4,054,655 €	7,271,824 €	3,217,168 €	-675,605 €	2,541,563 €	0.58	1,482,978 €
8	-4,204,791 €	10,358,417 €	6,153,626 €	-1,292,261 €	4,861,364 €	0.54	2,626,444 €
9	-2,760,878 €	10,688,953 €	7,928,075 €	-1,664,896 €	6,263,179 €	0.50	3,133,149 €
10	-2,745,458 €	10,899,058 €	8,153,600 €	-1,712,256 €	6,441,344 €	0.46	2,983,589 €
11	-2,865,061 €	11,763,727 €	8,898,666 €	-1,868,720 €	7,029,946 €	0.43	3,015,023 €
12	-3,000,500 €	24,404,477 €	21,403,977 €	-4,494,835 €	16,909,142 €	0.40	6,714,853 €

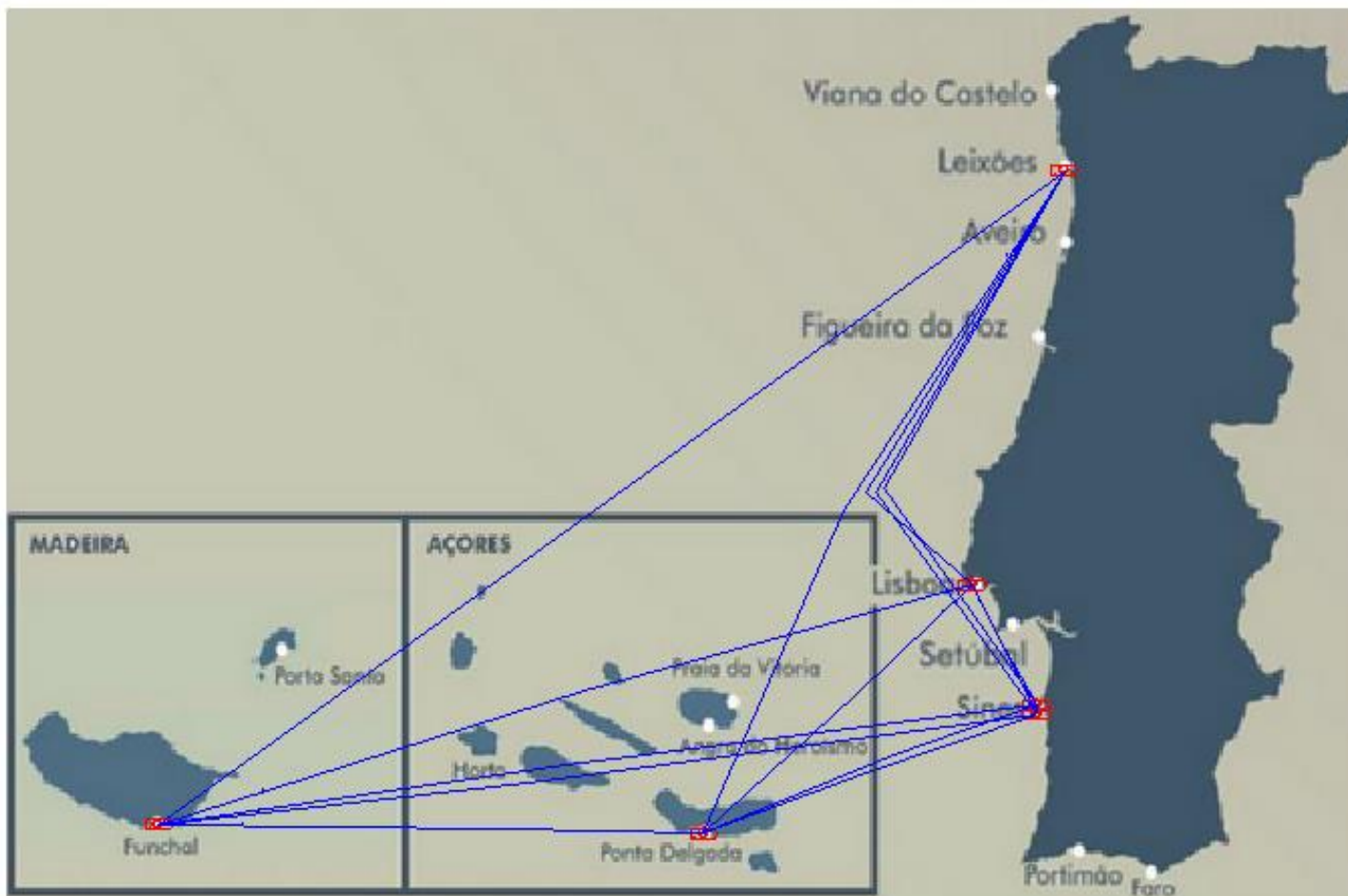
Nota: Fluxo de caixa (Sistema: 1,530 m<sup>3</sup>, Cenário de Procura 2.b e Quantidade Limite de 1,020 m<sup>3</sup>; 1ª replicação/ Taxa de Juro: 6%; Taxa de Retorno: 8%)

Ano	Custos totais	Receitas	Fluxo de caixa	Impostos	Fluxo de caixa após impostos	Fator de desconto	VAL
0	-11,907,500 €	0 €	-11,907,500 €	0 €	-11,907,500 €	1.00	-11,907,500 €
1	-3,814,099 €	0 €	-3,814,099 €	0 €	-3,814,099 €	0.93	-3,531,573 €
2	-3,816,532 €	849,253 €	-2,967,278 €	0 €	-2,967,278 €	0.86	-2,543,963 €
3	-3,888,023 €	2,383,522 €	-1,504,500 €	0 €	-1,504,500 €	0.79	-1,194,321 €
4	-3,915,766 €	3,441,941 €	-473,824 €	0 €	-473,824 €	0.74	-348,275 €
5	-4,058,077 €	5,095,152 €	1,037,075 €	-217,786 €	819,289 €	0.68	557,594 €
6	-4,038,233 €	6,381,975 €	2,343,741 €	-492,186 €	1,851,556 €	0.63	1,166,794 €
7	-4,326,660 €	8,342,938 €	4,016,278 €	-843,418 €	3,172,860 €	0.58	1,851,333 €
8	-4,294,162 €	8,716,656 €	4,422,494 €	-928,724 €	3,493,771 €	0.54	1,887,575 €
9	-2,791,710 €	8,481,305 €	5,689,595 €	-1,194,815 €	4,494,780 €	0.50	2,248,509 €
10	-2,960,942 €	10,502,773 €	7,541,832 €	-1,583,785 €	5,958,047 €	0.46	2,759,729 €
11	-3,025,199 €	10,822,644 €	7,797,445 €	-1,637,463 €	6,159,981 €	0.43	2,641,910 €
12	-3,193,267 €	23,632,478 €	20,439,211 €	-4,292,234 €	16,146,976 €	0.40	6,412,186 €

Nota: Fluxo de caixa (Sistema: 1,530 m<sup>3</sup>, Cenário de Procura 4.b e Quantidade Limite de 1,020 m<sup>3</sup>; 1ª replicação/ Taxa de Juro: 6%; Taxa de Retorno: 8%)



**ANEXO T– Mapa dos portos marítimos portugueses considerados (utilizado na simulação gráfica do programa ARENA)**



Nota: A figura é meramente ilustrativa. Não reflete a realidade da distância entre portos e das rotas percorridas.

