



ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



João Ricardo Joaquim Batista

Monitorização de espaços marítimos através do Espaço:

The Atlantic Constellation

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares
Navais, na especialidade de Marinha



Alfeite

2022



ESCOLA NAVAL

ta tant de bi faire



João Ricardo Joaquim Batista

*Monitorização de espaços marítimos através do Espaço:
The Atlantic Constellation*

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais,
na especialidade de Marinha**

Orientação de: Capitão-tenente Isabel Maria Morais Gonçalves Bué

Aluno Mestrando

Orientadora

ASPOF Joaquim Batista

CTEN Isabel Gonçalves Bué

Alfeite

2022

“Deus ao mar o perigo e o abismo deu,
Mas nele é que espelhou o céu.”

Fernando Pessoa, Mar Português

Ao meu avô Batista.

Agradecimentos

Começo por agradecer à Comandante Gonçalves Bué, orientadora deste trabalho, pelos conselhos dados após cada leitura das diversas versões que lhe enviei e também por toda a colaboração e dedicação prestadas à minha dissertação de mestrado, que me ajudaram a adotar o melhor rumo, de forma a atingir os objetivos e o final desejados. Sem ela, nada disto seria possível.

Aos entrevistados, Engenheiro Ricardo Conde, Capitão-tenente Vieira Pereira, Primeiro-tenente Martinho Nunes e Segundo-tenente Gonçalves Dias, que gentilmente dispensaram parte do seu precioso tempo para responderem às minhas questões; os seus testemunhos contribuíram bastante para me ajudar a compreender diversos aspetos fundamentais para a elaboração deste estudo, sem os quais não teria sido possível alcançar os objetivos pretendidos.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer aos meus pais, aos meus avós, aos meus tios e à minha namorada, por me apoiarem sempre, mesmo nos momentos de grande dificuldade, e por terem contribuído incansavelmente para a minha formação pessoal e académica, inculcando em mim a máxima “Dá o melhor de ti em tudo o que fazes”, que sempre fiz por cumprir.

A todos, muito obrigado.

Resumo

Portugal pretende aumentar a dimensão dos seus espaços marítimos. Por se tratar de uma vasta área, repleta de recursos naturais e cruzada por centenas de navios diariamente, é extremamente importante desenvolver, a nível nacional, meios que permitam a monitorização das águas sob soberania e/ou jurisdição nacional, contribuindo também para o aumento e desenvolvimento da indústria portuguesa. A recém-fundada Agência Espacial Portuguesa – Portugal Space (*PT Space*) viu no Espaço e no desenvolvimento de uma constelação de microssatélites a melhor forma de responder a estas questões e, como tal, lançou à indústria o desafio de desenvolver microssatélites orientados principalmente para o estudo e a observação do Atlântico, a *Atlantic Constellation*.

Esta dissertação foi desenvolvida com o objetivo de identificar as mais-valias e os inconvenientes que as informações provenientes de sensores de deteção remota têm a oferecer às suas Forças Armadas, no que diz respeito à vigilância e monitorização de espaços marítimos. Também se pretende, com esta investigação, explorar as potencialidades que os sensores que irão integrar a *Atlantic Constellation* poderão proporcionar para a monitorização da extensa zona marítima sob responsabilidade nacional, auxiliando a Marinha Portuguesa a cumprir a sua missão no mar de forma mais eficiente, bem como a levar a cabo a execução de ações de monitorização e vigilância de atividades ilícitas que possam ocorrer em todos os espaços marítimos. Através do estudo realizado, foi possível concluir que a utilização de satélites se revela como uma mais-valia para os Estados, pois estes permitem, entre outras coisas, prestar apoio às operações militares e às ações de monitorização e vigilância das atividades marítimas e ainda antecipar e responder aos riscos decorrentes de fenómenos naturais. São vários os sensores que possibilitam tudo isto, no entanto, o congestionamento das órbitas terrestres por centenas de satélites e milhares de resíduos espaciais poderá constituir-se como uma dificuldade para o lançamento de uma nova constelação, sendo, por isso, preferível optar por outras soluções. Como linha de ação para o futuro, é proposto, neste trabalho, o desenvolvimento, por parte da Marinha Portuguesa ou até mesmo das Forças Armadas, de capacidades de armazenamento de dados em bruto, provenientes de satélites já em

órbita, dando formação a equipas capazes de os processar e fornecer *outputs* distintos diretamente a unidades que se encontrem no desempenho das suas missões, aumentando assim a capacidade de tomada de decisão do comando.

Palavras Chave: Espaço, Satélites, Detecção Remota, Vigilância e Monitorização Marítima, *Atlantic Constellation*.

Abstract

Portugal intends to increase the size of its own maritime spaces. Since it is a vast area, full of natural resources and crossed by hundreds of ships, it is extremely important to develop, at a national level, means that allow the monitoring of national waters, also contributing to the increase and development of Portuguese industry. The recently founded Portuguese Space Agency - Portugal Space (PT Space) saw in Space and in the development of a microsatellite constellation the best way to answer these questions and, as such, launched the challenge to the industry to develop microsatellites mainly oriented to the study and observation of the Atlantic, the Atlantic Constellation.

The main goal of this dissertation was identifying the advantages and disadvantages that information from remote sensing sensors offers to the Portuguese Armed Forces, regarding the surveillance and monitoring of maritime spaces. This research also intends to explore the potential that the Atlantic Constellation sensors may provide for monitoring the extensive maritime area under national responsibility, helping the Portuguese Navy to fulfil its mission at sea more efficiently, as well as to carry out the monitoring and surveillance of illegal activities that may occur at sea. It was also possible to conclude that the use of satellites reveals itself as an added value for the Governments, as they allow, among other things, to provide support to military operations, as well as maritime activities, monitoring and surveillance actions, and also to anticipate and mitigate natural phenomena risks. There are several sensors that make all this possible, however, the congestion of the Earth's orbits by hundreds of satellites and thousands of space debris may jeopardize the launching of a new constellation, being therefore preferable looking for other solutions. As a line of action for the future, it is suggested in this work, the development of raw remote sensing data storage capabilities, by the Portuguese Navy or even by the Armed Forces. The data will be collected from satellites already in orbit, and it will be necessary training teams to process all the information and provide directed outputs directly to military units on mission, increasing the command decision-making capability.

Key Words: *Space, Satellites, Remote Sensing, Maritime Surveillance and Monitoring, Atlantic Constellation.*

Índice

Introdução	1
Capítulo 1. Enquadramento conceptual.....	5
1.1 Estratégia “Portugal Espaço 2030”	5
1.1.1 Empresas e principais centros de investigação nacionais	7
1.2 Vigilância e monitorização marítima	7
1.2.1 Conhecimento Situacional Marítimo (CSM)	9
1.2.2 Entidades e sistemas nacionais com responsabilidades na edificação de CSM.....	10
1.3 Detecção Remota (DR)	13
1.3.1 Sensores e plataformas	14
1.3.2 Resoluções.....	17
Capítulo 2. Monitorização de espaços marítimos através do Espaço	21
2.1 Estratégia da Defesa Nacional para o Espaço	21
2.2 O Espaço nas operações militares	23
2.2.1 Posição, navegação e tempo (PNT).....	24
2.2.2 Comunicações	25
2.2.3 <i>Intelligence, surveillance and reconnaissance</i> (ISR).....	25
2.2.4 Aviso antecipado de ameaças.....	26
2.2.5 Monitorização ambiental.....	27
2.3 Tecnologia espacial para ações de vigilância e monitorização marítima.....	27
2.3.1 SAT-AIS.....	29
2.3.2 <i>Synthetic Aperture Radar</i> (SAR).....	32

2.3.3 Sensores óticos/multiespectrais	35
2.3.4 Sensores óticos hiperespectrais	38
2.3.5 <i>Global Navigation Satellite System-Reflectometry</i> (GNSS-R)	40
Capítulo 3. The Atlantic Constellation	43
3.1 Os satélites.....	43
3.2 Centro Internacional de Investigação do Atlântico – AIR Centre.....	45
3.3 Possíveis aplicações.....	47
3.4 Características.....	49
3.5 Sensores.....	53
Capítulo 4. Análise e discussão.....	57
4.1 Pontos fortes (<i>strenghts</i>).....	59
4.2 Pontos fracos (<i>weaknesses</i>)	62
4.3 Oportunidades (<i>opportunities</i>).....	64
4.4 Ameaças (<i>threats</i>).....	66
4.5 Resumo da análise SWOT.....	70
4.6 Linhas de ação a propor – Análise SWOT	72
Conclusões	75
Bibliografia.....	79
Apêndice A – Processo de deteção remota (DR).....	89
Apêndice B – Espectro eletromagnético (EEM)	91
Apêndice C – <i>CubeSat</i>	93
Apêndice D – Programa <i>Copernicus</i>	95
Apêndice E – Resumo das entrevistas e visitas efetuadas.....	99

Índice de Figuras

Figura 1- Proposta para a extensão da plataforma continental portuguesa	8
Figura 2 - Órbita geoestacionária (vermelho) e heliosíncrona quase-polar (azul)	17
Figura 3 - Diferentes resoluções espaciais	19
Figura 4 - Diferentes níveis de resolução radiométrica (1 bit, 2 bits e 8 bits).....	20
Figura 5 - Posição dos navios ao largo da costa continental portuguesa, recebida via AIS e SAT-AIS.....	30
Figura 6 - Processo de obtenção de uma imagem RADAR, captada por um sensor SAR (A – Alvo, B – Comprimento da antena sintética)	32
Figura 7 - Navios (pontos brancos) detetados em Gibraltar por meio de um sensor SAR	33
Figura 8 - Padrão de uma esteira provocada pelo deslocamento de um navio.....	34
Figura 9 - Imagem de um possível derrame de hidrocarbonetos, obtidas a partir do satélite RADARSAT-2	35
Figura 10 - Identificação da classe de 4 navios militares chineses, com recurso a uma imagem de satélite captada por um sensor ótico	38
Figura 11 - Imagem de uma zona marítima costeira, captada pelo sensor hiperspectral do satélite Proba-1, operado pela ESA.....	39
Figura 12 - Princípio básico de funcionamento de um sistema GNSS-R.....	41
Figura 13 - Nanossatélite LEMUR, desenvolvido pela empresa Spire Global e utilizado para monitorização marítima, aérea e recolha de informação meteorológica	44
Figura 14 - Seleção ótima da distribuição dos 4 planos orbitais	51
Figura 15 - Largura da área de cobertura de um satélite da constelação e a distância compreendida entre duas passagens consecutivas do mesmo satélite no Equador	52
Figura 16 - Imagem de satélite que mostra a existência de um incêndio a bordo de um navio	61

Figura 17 - Imagem multiespectral que mostra a impossibilidade de visualizar certas áreas devido à presença de nuvens	63
Figura 18 - Radiação eletromagnética.....	91
Figura 19 - Espectro eletromagnético.....	92
Figura 20 - Possíveis configurações para SmallSats	93
Figura 21 - Serviço de Security do programa Copernicus	96

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Valor de mercado da indústria de SmallSats entre 2016 e 2021.....	65
Gráfico 2 - Evolução do número de resíduos espaciais detetados desde 1960	67
Gráfico 3 - Número de satélites ativos por ano desde 1957 até 2021	68
Gráfico 4 - Evolução esperada do número de satélites em órbita e previsão do número de satélites lançados por ano até 2026 (histograma)	69

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Resumo da análise SWOT realizada	71
---	----

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

ADS-B – Automatic Dependent Surveillance-Broadcast

AIR Centre – Atlantic International Research Centre

AIS – Automatic Identification System

AMN – Autoridade Marítima Nacional

ANI – Agência Nacional de Inovação

C2 – Comando e Controlo

CA – Comando Aéreo

CADOP – Centro de Gestão e Análise de Dados Operacionais

CE – Comissão Europeia

CeRVI – Centro de Reconhecimento, Vigilância e Informação

COMAR – Centro de Operações Marítimas

COMNAV – Comando Naval

CSM – Conhecimento Situacional Marítimo

DGRM – Direção-geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos

DR – Detecção Remota

EEM – Espectro Eletromagnético

EMSA – Agência Europeia de Segurança Marítima

EO Lab – Earth Observation Laboratory

EODC - Earth Observation Data Centre

ESA – European Space Agency

EUMETSAT – European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites

EUROSUR – European Border Surveillance System

FA – Força Aérea

FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia

FOV – *Field of View*

FRONTEX – Agência Europeia da Guarda de Fronteiras e Costeira

GEOINT – *Geospatial Intelligence*

GIFOV – *Ground-projected Instantaneous Field of View*

GNR – Guarda Nacional Republicana

GNSS-R – *Global Navigation Satellite System-Reflectometry*

GPS – *Global Positioning System*

IFOV – *Instantaneous Field of View*

IMDatE - *Integrated Maritime Data Environment*

IMINT – *Imagery Intelligence*

IMO – Organização Marítima Internacional

IoT – *Internet of Things*

IR – *Infrared*

ISR – *Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*

LEO – *Low Earth Orbit*

LIDAR – *Light Detection and Ranging*

LRIT - *Long Range Identification Tracking*

LWIR – *Long Wave Infrared*

M2M – *Machine to Machine*

MCCIS – *Maritime Command and Control Information System*

MDN – Ministério da Defesa Nacional

METOC – Informações Meteorológicas e Oceanográficas

MMSI – *Maritime Mobile Service Identity*

MONICAP – Monitorização Contínua das Atividades de Pesca

MRCC – Centro de Coordenação de Busca e Salvamento Marítimo

MWR – *Microwave Radiometer*

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NATO – *North Atlantic Treaty Organization*

NIFC – *NATO Intelligence Fusion Centre*

NIR – *Near Infrared*

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*

OODA – Observar, Orientar, Decidir e Agir

PNT – Posição, Navegação e Tempo

PoSAT – *Portuguese Satellite*

PT Space – *Portugal Space*

RADAR – *Radio Detection and Ranging*

REM – Radiação Eletromagnética

SAR – *Synthetic Apperture Radar*

SAT-AIS – *Satellite-Automatic Identification System*

SATCEN – *European Union Satellite Centre*

SATCOM – *Satellite Communication*

SEG – *SafeSeaNet Ecosystem Graphical User Interface*

SIGINT – *Signals Intelligence*

SIVICC – Sistema Integrado de Vigilância, Comando e Controlo

SOLAS – *Safety of Life at Sea*

SST – *Space Surveillance and Tracking*

SWIR – *Short Wave Infrared*

SWOT – *Stenghts, Weaknesses, Opportunities and Threats*

TIR – *Thermal Infrared*

UAV – *Unmaned Aerial Vehicle*

UCC – *Unidade de Controlo Costeiro*

UVN – *Ultraviolet, Visible and Near Infrared Sensor*

VHF – *Very Hight Frequency*

VTS – *Vessel Traffic Service*

ZEE – *Zona Económica Exclusiva*

Introdução

Nos dias que correm, a sociedade está cada vez mais dependente de produtos e serviços resultantes do processamento de dados provenientes de satélites, que, no âmbito da Defesa, podem contribuir para garantir a independência dos Estados e a segurança das suas populações (Nogueira J. , 2014). Estes dados têm um conjunto de características que permitem a sua utilização numa grande variedade de aplicações, tanto civis como militares, nomeadamente, em áreas ligadas à vigilância e monitorização dos espaços aéreo, marítimo e terrestre; monitorização ambiental; posicionamento; comunicações; produção de dados meteo-oceanográficos; monitorização de desastres ambientais e resposta a emergências complexas.

Na década de 90, o desenvolvimento de novas tecnologias espaciais, mais baratas, de fácil construção e colocação em órbita, deu origem a uma nova época, conhecida como *New Space* (Koechel & Langer, 2018). O surgimento dos primeiros micro e nanosatélites mudou o paradigma de que só os Estados economicamente mais poderosos poderiam financiar o desenvolvimento e a operação das suas próprias missões espaciais, compostas por satélites convencionais, de grandes dimensões, maioritariamente de uso exclusivo militar e com custos de produção extremamente elevados (Kim, 2019). O *New Space* surge, assim, como uma nova época, repleta de avanços tecnológicos e oportunidades bastante convidativas a indústrias, *start-ups* e centros de investigação de todos os tamanhos, sediados em países em relação aos quais o Espaço simplesmente não estava ao seu alcance até há poucos anos atrás.

Desde o início do século XXI que o Espaço se tem tornado cada vez mais acessível e apelativo para empresas privadas, as quais têm vindo a investir fortemente neste setor. Em Portugal, as empresas nacionais não são exceção e são já várias aquelas que trabalham no desenvolvimento de *softwares* e subsistemas, com vista a integrar missões espaciais de maiores dimensões. Portugal é, desde novembro de 2000, membro da Agência Espacial Europeia (ESA), mas só em 2019 é que fundou a sua própria agência, a *Portugal Space (PT Space)*, com a intenção de implementar a Estratégia Nacional para o Espaço e de promover e dinamizar a participação das empresas portuguesas nos programas espaciais da ESA (PT Space, 2020).

De modo a aproveitar esta evolução tecnológica, a *PT Space* tem trabalhado diariamente para promover a indústria espacial portuguesa, a qual, todavia, ainda não se desenvolveu o suficiente ao ponto de conseguir produzir e colocar em órbita os seus próprios satélites espaciais. Para contrariar esta situação, a *PT Space* desafiou a indústria a construir e operar uma rede de pequenos satélites, equipados com sensores de deteção remota (DR) e dedicados à observação da Terra, com especial incidência na Europa e no oceano Atlântico, dando assim origem ao nome “Constelação do Atlântico”, ou *Atlantic Constellation*, como é normalmente apelidada. Por ser constituída por vários microsatélites, a constelação irá permitir a recolha e o acesso a uma vasta quantidade de dados, com uma excelente resolução temporal, de modo a possibilitar a deteção e monitorização de eventos à pequena escala, quase em tempo real. A identificação e a definição dos sensores que irão equipar cada um dos satélites não se encontram totalmente terminadas, no entanto, pretende-se que estes sejam dotados com capacidades de DR que permitam fornecer um panorama marítimo dos espaços sob soberania e/ou jurisdição nacional.

Enquanto país maioritariamente composto por mar, Portugal é detentor de uma das maiores Zonas Económicas Exclusivas (ZEE) da União Europeia, repleta de inúmeros recursos naturais e onde o tráfego marítimo é intenso. São também várias as atividades que ocorrem dentro dos espaços marítimos nacionais, sendo muitas delas ilegais, lamentavelmente. Este facto constitui-se como razão da responsabilidade acrescida que Portugal deve assumir em questões ligadas à monitorização, vigilância e defesa do território e do oceano, garantindo assim que as leis e regulamentos do Direito Internacional Marítimo são cumpridos e que os interesses nacionais são salvaguardados.

É por isso imprescindível garantir que Portugal seja dotado de equipamentos e sistemas de vigilância que permitam a aquisição de um panorama marítimo e a recolha de informações sobre todas as atividades que decorrem nos espaços marítimos sob soberania e/ou jurisdição nacional. O desenvolvimento da *Atlantic Constellation* poderá ser uma excelente oportunidade para contribuir para a liberdade de ação do Estado Português e para o reforço da monitorização dos espaços marítimos por parte da Marinha Portuguesa, aumentando a sua eficiência e capacidade de vigilância, através da recolha de dados em locais remotos, onde, normalmente, os navios não conseguem garantir permanentemente a sua presença. Com o desenvolvimento desta constelação de satélites,

a Marinha, através do Centro de Coordenação de Busca e Salvamento Marítimo (MRCC), do Centro de Operações Marítimas (COMAR) e também do Centro de Gestão e Análise de Dados Operacionais (CADOP), poderá vir a ter melhorada a sua capacidade de monitorização e vigilância marítima; o combate à poluição no mar; a coordenação de ações de busca e salvamento marítimo; o combate a atividades ilícitas, como pirataria, pesca em áreas proibidas e tráfico de droga e ainda a identificação dos possíveis infratores.

Dada a elevada potencialidade que este projeto apresenta, pretende-se, com esta dissertação de mestrado, subordinada ao tema “Monitorização de espaços marítimos através do Espaço: *The Atlantic Constellation*”, dar a conhecer à Marinha Portuguesa as potencialidades que os satélites oferecem no apoio às operações militares e no aumento da capacidade de monitorização dos espaços marítimos. Pretende-se também avaliar, mais especificamente, as mais-valias que a *Atlantic Constellation* poderá trazer à Marinha Portuguesa, através da recolha de dados captados pelos seus sensores de DR, que poderão fornecer um panorama marítimo quase em tempo real dos espaços marítimos sob os quais Portugal tem responsabilidades, garantindo, desta forma, a vigilância e o controlo dos espaços sob soberania e/ou jurisdição nacional.

Para a elaboração desta dissertação de mestrado, foram realizadas visitas e entrevistas, nomeadamente, à *PT Space*, onde foram referidas as intenções pretendidas aquando do lançamento do desafio para desenvolver a constelação; ao COMAR/MRCC, para saber que tipos de sistemas utilizam e com que informações geoespaciais lidam no seu dia a dia; e também ao CADOP, com a intenção de perceber com que tipos de dados geoespaciais trabalham, quem fornece esses dados e quais as características ideais que estes deveriam ter para melhorar a qualidade dos produtos de informações disseminados.

A presente dissertação encontra-se estruturada em 4 capítulos. No primeiro capítulo, é realizado um enquadramento teórico dos temas e conceitos que serão desenvolvidos ao longo do trabalho. No capítulo 2, são identificadas as ambições da Estratégia da Defesa Nacional para o Espaço, assim como todas as vantagens que advêm da utilização de satélites nas operações militares; levando ainda a cabo a identificação de alguns sensores capazes de captar e transmitir dados que possam contribuir para o aumento das capacidades de vigilância e monitorização marítima. O terceiro capítulo é focado essencialmente no projeto de desenvolvimento da *Atlantic Constellation*, nas suas

aplicabilidades, características e sensores que poderão ser integrados nos *payloads* dos satélites. No quarto e último capítulo é efetuada a análise e discussão de todas as matérias abordadas, recorrendo a uma análise SWOT sobre os benefícios que a utilização dos dados provenientes desta futura constelação poderá trazer à Marinha Portuguesa e dando conta, outrossim, de todas as oportunidades identificadas, tendo em conta as entrevistas realizadas. São também propostas algumas linhas de ação que poderão ter aplicação num futuro muito próximo.

Capítulo 1. Enquadramento conceptual

1.1 Estratégia “Portugal Espaço 2030”

A utilização de tecnologias, sistemas e dados espaciais tem vindo a aumentar cada vez mais, dada a dependência que a sociedade tem deste tipo de serviços, principalmente, pelo bem-estar e a segurança que promovem. Deste modo, a exploração do Espaço, como um domínio comum, bem como a criação de novas tecnologias que lhe estão associadas, ou que dele derivam, são hoje reconhecidas como um desígnio nacional por vários países (Presidência do Conselho de Ministros, 2018). Não sendo exceção, Portugal também considera o Espaço como um recurso fundamental para as suas ambições coletivas e, como tal, por meio da Resolução de Conselho de Ministros n.º55/2019, de 13 de março de 2019, foi criada a *PT Space*, fundada em conjunto pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), pela Agência Nacional de Inovação (ANI), pelo Ministério da Defesa Nacional (MDN) e pelo Governo Regional dos Açores (ANI, 2019).

A *PT Space* tem como principal objetivo promover e executar a estratégia “Portugal Espaço 2030”, assim como articular a gestão dos vários programas nacionais ligados ao Espaço, estimulando o investimento público e privado por parte de universidades, centros de investigação e empresas. Com esta estratégia, espera-se que o ecossistema do setor espacial em Portugal se desenvolva e traga benefícios para a sociedade e para a economia nacional e internacional (FCT, 2019).

De acordo com a Resolução do Conselho de Ministros n.º 30/2018, de 12 de março de 2018, foram propostos três eixos principais para esta estratégia, que serão implementados de forma inclusiva, em estreita colaboração com a ESA, a Comissão Europeia (CE) e outros parceiros internacionais de interesse (Presidência do Conselho de Ministros, 2018):

1. *“Estimular a exploração de dados e sinais espaciais através de serviços e aplicações de base espacial, ou habilitadas por tecnologias espaciais, promovendo novos mercados e o emprego altamente qualificado em áreas diversificadas;*

2. *Fomentar o desenvolvimento, construção e operação de equipamentos, sistemas e infraestruturas espaciais e de serviços de produção de dados espaciais, com ênfase em mini, micro e nanossatélites, mas também abrindo novas áreas de intervenção em Portugal para serviços de lançadores e alargando as atuais atividades de monitorização e rastreio de satélites e observação da Terra;*
3. *Continuar a desenvolver capacidade e competências nacionais na área do Espaço através da investigação científica, inovação, educação e cultura científica, permitindo a sustentabilidade a longo prazo das infraestruturas, serviços e aplicações espaciais.”*

No âmbito da participação portuguesa na Cimeira Ministerial da ESA, “Space19+”, em Sevilha, foi elaborado um plano que veio materializar a estratégia nacional para o Espaço e no qual ficaram definidos quatro grandes desafios programáticos (PT Space, 2020):

- *“Estabelecer, manter e garantir a operação de uma “Constelação Atlântica”, em cooperação internacional e sob a coordenação do Atlantic International Research Centre – AIR Center;*
- *Construir, promover e operar uma plataforma digital de observação da Terra denominada “Planeta Digital”, capaz de integrar múltiplas fontes de dados e de extrair informação através da utilização de tecnologias digitais avançadas, que será colocada ao serviço de entidades públicas e privadas em todo o país;*
- *Desenvolver um ecossistema 5G para o desenvolvimento do Atlântico e das regiões ultraperiféricas de Portugal;*
- *Estabelecer um ecossistema de inovação espacial na ilha de Santa Maria, nos Açores.”*

1.1.1 Empresas e principais centros de investigação nacionais

A criação da *PT Space* tem sido entendida por todos os atores do mercado espacial como um marco importante nos esforços para colocar Portugal no mapa espacial europeu, caminho este que começou a ser construído há mais de 20 anos (Ferreira, 2021).

Atualmente, Portugal é considerado um caso de sucesso pela sua rápida adaptação e integração em programas espaciais, contribuindo de forma ativa nas mais variadas áreas através de empresas e centros de investigação científica e tecnológica, que, devido aos seus investimentos no sector espacial, têm obtido um grande retorno económico (Heitor, 2018).

Por meio a um inquérito lançado ao ecossistema espacial português, a *PT Space* revelou a existência de 52 empresas e 30 centros de investigação, cuja principal atividade, ou parte significativa desta, se desenrola no setor espacial (PT Space, 2021). Dentro deste vasto leque de instituições nacionais, são várias aquelas que têm colaborado diretamente com diversas agências espaciais nos mais variados projetos, sendo exemplo disso a participação de empresas nacionais em missões que vão desde a testagem da possibilidade de desviar asteroides da rota de colisão com a Terra, até à presença em projetos para o desenvolvimento de componentes das novas missões do programa *Copernicus*, dedicado à observação do planeta Terra (PT Space, 2020). Dentro deste grande ecossistema nacional de empresas e centros de investigação, destacam-se o *Atlantic Internacional Research Centre* (AIR Centre), a GEOSAT, a LusoSpace, a *Active Space Technologies*, a *Critical Software*, a *Deimos Engenharia*, a *Frezite High Performance*, o Instituto Hidrográfico, a GMV e a *Efacec*, por contribuírem de forma mais ativa no desenvolvimento do setor em Portugal (PT Space, 2021).

1.2 Vigilância e monitorização marítima

Portugal é um país oceânico, com 2.500 km de costa e com uma das maiores ZEE da Europa, detentora de grande biodiversidade de ecossistemas e recursos naturais (Presidência do Conselho de Ministros, 2021). Após a ratificação da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, em 1997, Portugal deu início ao Projeto de

Extensão da Plataforma Continental (Carinhas, 2008). Este projeto visa aumentar ainda mais o território marítimo sob jurisdição nacional, definindo o limite da plataforma continental de Portugal além das 200 milhas náuticas, dando a possibilidade ao Estado Português de poder vir a beneficiar dos recursos presentes no seu solo e subsolo marinhos (*Ibidem*). Com a aceitação desta proposta por parte da Comissão de Limites da Plataforma Continental das Nações Unidas, Portugal irá, assim, obter o reconhecimento do direito sobre uma vasta área de mar, com cerca de 2.900.000 km² (Carinhas, 2008), que necessita de ser vigiada e defendida (ver Figura 1).



Figura 1- Proposta para a extensão da plataforma continental portuguesa
Fonte: <https://www.transportesenegocios.pt/portugal-negoceia-na-onu-extensao-da-plataforma-continental/>

Para além da extensa área marítima sob soberania e/ou jurisdição nacional, que representa um dos mais importantes ativos estratégicos do país (Presidência do Conselho de Ministros, 2021), a posição geográfica de Portugal coloca-o numa zona onde o tráfego marítimo é intenso e atividades como a pesca, a exploração dos fundos marinhos e o tráfico de estupefacientes são abundantes (Carolas, 2016). Estes factos constituem-se como razão suficiente da responsabilidade acrescida que Portugal deve assumir em

questões ligadas à monitorização, vigilância e defesa do oceano, garantindo, assim, que as leis e regulamentos de Direito Internacional Marítimo são cumpridos e que os interesses nacionais são salvaguardados (Presidência do Conselho de Ministros, 2021).

1.2.1 Conhecimento Situacional Marítimo (CSM)

A possível extensão da plataforma continental portuguesa para além das 200 milhas náuticas irá não só reforçar a posição estratégica de Portugal perante o mundo, como também possibilitará ao país o acesso a recursos minerais e energéticos valiosos (Silva, 2012). No entanto, há que ter em conta que o constante crescimento de atividades como contrabando, migrações ilegais e pirataria, associado à grande dimensão dos espaços marítimos sob soberania ou jurisdição nacional, torna mais complexas as tarefas de monitorização, vigilância e defesa do mar português (Dias L. , 2014).

De modo a identificar e a localizar todas as ameaças e riscos que ocorrem no domínio marítimo e a garantir a segurança de todos aqueles que dele tiram partido, é necessário ter um forte conhecimento de todos os eventos que ocorrem nesse espaço (Fernandes, 2014). Face a essa necessidade e tendo em conta as vantagens adjacentes à existência de superioridade informacional perante os restantes intervenientes neste domínio, é necessário a criação, edificação e exploração de CSM (EMA, 2012). Este conceito é definido por S.Ex^a. o Contra-Almirante Gameiro Marques como “*a criação de saber acerca do espaço marítimo de ação ou de envolvimento (de interesse nacional ou conjuntural), com o objetivo de prever, identificar e localizar situações de interesse e propiciar a tomada de decisões atempadas e mais informadas que levem a que as ações subsequentes produzam os efeitos desejados no tempo e na medida dos interesses de quem as toma.*” (Marques, 2013).

A criação de CSM é essencial para apoiar decisores com tarefas permanentes de observação, orientação, decisão e ação (OODA *loop*) (EMA, 2012). A sua construção abrange as fases de vigilância, em que é feita a recolha contínua de dados sobre a área a monitorizar através de sensores dedicados, podendo esta fase ser comparada com a primeira etapa do ciclo OODA (observar); a análise, em que os dados recolhidos são

analisados por centros de comando e controlo para fins de produção de conhecimento – corresponde à segunda e terceira etapas do ciclo OODA (orientar e decidir); e, por fim, a partilha e disseminação do CSM pela comunidade de interesse, obtendo padrões de atuação e aumentando a eficácia operacional para melhor agir e intervir – sendo esta fase equiparada à quarta e última etapa do ciclo OODA (agir) (Dias L. , 2014). A necessidade de garantir um constante e atualizado CSM deve-se ao facto de esta capacidade aumentar a segurança marítima em ambas as perspetivas, *safety*¹ e *security*², nos espaços marítimos sob soberania ou jurisdição nacional (EMA, 2012).

Garantir este conhecimento sobre grandes áreas oceânicas requer a utilização de diferentes meios, sensores e sistemas de comunicações, sendo, por isso, necessárias a articulação e a criação de sinergias entre os sistemas que equipam as diversas entidades com competências e responsabilidades no ambiente marítimo (Carolas, 2016). De modo a zelar pelos recursos que lhe pertencem e a proteger os seus interesses nacionais no mar, Portugal conta com uma série de entidades que operam sistemas de vigilância e monitorização distintos e que dispõem de meios operacionais para o exercício das suas funções no combate à violação da lei nos espaços marítimos sob soberania ou jurisdição nacional, os quais serão identificados e descritos de seguida.

1.2.2 Entidades e sistemas nacionais com responsabilidades na edificação de CSM

A Marinha tem a sua capacidade de vigilância e monitorização marítima sob a responsabilidade do Comando Naval (COMNAV), mantida e atualizada através das unidades navais operacionais e dos sistemas em uso pelo COMAR. O COMAR nasceu da necessidade que a Marinha tinha de possuir um único órgão com capacidade de comando e controlo sobre todas as suas ações no mar, bem como de articular os seus

¹ *Safety* pode ser definido como a ausência de risco de acidentes, salvaguarda da integridade física, proteção da saúde e manutenção de boas condições de higiene.

² *Security* pode ser definido como a ausência de risco de atentados ou atos criminosos, segurança militar e salvaguarda da segurança pessoal.

meios com os outros ramos das Forças Armadas e/ou com outras entidades externas com competências de atuação nos espaços marítimos sob soberania ou jurisdição nacional (Dias, Neves, & Conceição, 2021). Uma vez que apoia as ações militares e não militares, o COMAR materializa desta forma o paradigma de duplo uso da Marinha, atuando nas mais diversas áreas, desde operações de segurança marítima, como o combate ao narcotráfico ou à imigração ilegal, passando pelas operações de apoio à proteção civil, até às operações militares ou de resposta a crises (*Ibidem*). Outra das principais tarefas do COMAR prende-se com a aquisição, processamento e disseminação de informação relativa ao CSM, o que é necessário para gerar superioridade informacional, de modo a auxiliar o planeamento das operações navais e a aumentar a capacidade de comando e controlo nos espaços marítimos de interesse nacional (Marreiros, 2018). Apesar de não possuir uma rede de vigilância própria, o COMAR tem à sua disposição diversos sistemas e fontes de informação que contribuem para o esclarecimento do panorama de superfície marítimo. Alguns destes sistemas são disponibilizados pela Agência Europeia de Segurança Marítima (EMSA), enquanto outros foram desenvolvidos a nível nacional para auxiliar as autoridades responsáveis pelas operações de busca e salvamento, como é exemplo disso o sistema *Oversee*, desenvolvido pela empresa portuguesa *Critical Software*, sob o estabelecimento de requisitos mínimos impostos por parte da Marinha Portuguesa (Rodrigues, 2017).

A Guarda Nacional Republicana (GNR), através da Unidade de Controlo Costeiro (UCC), garante a vigilância e o controlo de toda a costa e do espaço marítimo nacional até às 12 milhas náuticas de costa, dispondo, para o efeito, de meios que possibilitam o cumprimento dessa missão (Cruz, 2012). A esta unidade, compete-lhe ainda gerir e operar, através do seu Centro de Comando e Controlo Operacional em Alcântara, o Sistema Integrado de Vigilância, Comando e Controlo (SIVICC), composto por 28 postos de observação, dos quais 20 são fixos e 8 são móveis, por forma a aumentar a capacidade de deteção de ações ilegais ao largo da costa portuguesa (*Ibidem*). Ao longo dos últimos anos, a GNR tem também empenhado diversos militares da UCC nas mais variadas operações coordenadas pela Agência Europeia da Guarda de Fronteiras e Costeira

(FRONTEX). A FRONTEX é responsável por coordenar a cooperação entre os países membros da União Europeia na gestão das fronteiras externas do espaço europeu, assumindo um papel de extrema importância no combate à criminalidade transfronteiriça, no controlo das imigrações e na assistência humanitária no Mar Mediterrâneo (SGMAI, 2021). Quando empenhados nas missões no âmbito desta agência, os militares da GNR desempenham diversas tarefas, tais como a vigilância marítima e terrestre, ações de busca e salvamento, ações de investigação criminal e deteção de crimes graves, como o tráfico de seres humanos (GNR, 2021).

A Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRM) exerce funções de Autoridade Nacional de Controlo de Tráfego Marítimo e, como tal, é responsável pelo sistema VTS (*Vessel Traffic Service*) costeiro, que lhe garante uma constante monitorização do tráfego marítimo até uma distância de 50 milhas náuticas a partir de costa, e também pelo subsistema portuário, o qual reúne os vários VTS portuários localizados nos portos nacionais tendencialmente mais perigosos e com tráfego mais intenso (Presidência do Conselho de Ministros, 2009). O panorama do VTS costeiro é partilhado com o SIVICC da GNR; com a Marinha Portuguesa, através do MRCC, que, por sua vez, o disponibiliza ao COMAR para o apoiar na condução de operações marítimas; e com a rede europeia EUROSUR (*European Border Surveillance System*) (Marreiros, 2018). De referir que tanto o COMAR como o MRCC partilham exatamente o mesmo espaço físico e os mesmos recursos humanos, apesar de terem missões distintas.

Face à existência de algumas falhas³ por parte dos sistemas acima mencionados no controlo das barras dos principais portos nacionais, a Autoridade Marítima Nacional (AMN), em conjunto com a Direção de Faróis e com o apoio da Marinha, deu início ao desenvolvimento de um projeto com vista à criação de um outro sistema de vigilância e

³ O VTS costeiro apenas tem em consideração os navios com mais de 300 toneladas de arqueação bruta e o VTS portuário não está integrado com os serviços de busca e salvamento marítimos na dependência do Capitão de Porto.

monitorização marítima, designado como “Costa Segura” (Lourenço, 2018). Este sistema é operado no COMAR, por um agente da Polícia Marítima, e é considerado como um complemento aos sistemas VTS e SIVICC. Com um alcance de 24 milhas náuticas, os principais objetivos do sistema Costa Segura são promover a segurança da navegação, apoiar ações de combate à poluição e reforçar a salvaguarda da vida humana no mar nas zonas portuárias e costeiras, alertando o Capitão de Porto antes de um eventual acidente e permitindo que este atue mais rapidamente (*Ibidem*).

Por fim, a capacidade de vigilância marítima da Força Aérea (FA) está centrada no Comando Aéreo (CA), onde se inclui o Centro de Reconhecimento, Vigilância e Informações (CeRVI), que recolhe e analisa os dados obtidos por meio das aeronaves P-3C/CUP+ *Orion*, C-295M e EH-101 *Merlin*, equipadas com vários sistemas e sensores que lhes permitem fazer uma boa vigilância e monitorização da superfície marítima (Carolas, 2016).

Em suma, são várias as entidades responsáveis por garantir a constante vigilância e monitorização dos espaços marítimos nacionais, no entanto, cada uma tem os seus próprios sistemas e não existe um elevado nível de partilha da informação entre os sistemas das diversas entidades, com exceção do panorama VTS costeiro, que é partilhado pela DGRM com a Marinha e com a GNR (Bué, 2017). Esta situação poderia ser revertida se existisse uma maior cooperação entre entidades e se fosse também desenvolvido um sistema de sistemas (Carolas, 2016) que possibilitasse uma vigilância integrada dos espaços marítimos, onde poderiam ser compiladas informações provenientes de agências externas e de outros departamentos do Estado, com o intuito de edificar CSM (EMA, 2012).

1.3 Detecção Remota (DR)

A DR é um ramo da ciência que permite a aquisição de informação sobre um determinado objeto ou fenómeno através da recolha e análise de dados obtidos por um sensor que não se encontra em contacto direto com esse mesmo objeto ou fenómeno, ou seja, à distância (Martin, 2014). Os princípios de DR assentam em 4 componentes básicas,

que incluem um alvo, uma fonte de energia, uma via de transmissão e um sensor que capta a energia refletida ou emitida pelo alvo, sob a forma de radiação eletromagnética (REM) (Sutcliffe, et al., 2016). Os dados em bruto obtidos desta forma são, assim, processados e analisados de modo a extrair informação relevante sobre o alvo em questão (ver Apêndice A). É uma ciência em constante desenvolvimento, a qual tem contribuído bastante para a análise de diversos fatores, podendo ser aplicada a uma grande variedade de disciplinas, nomeadamente em áreas ligadas às alterações climáticas, agronomia, meteorologia, cartografia e oceanografia (Bué, 2017).

Apesar de os oceanos despertarem, desde há vários anos, a curiosidade do Homem, só com o aparecimento dos primeiros satélites, em 1957, e com o envio para o Espaço de sensores de DR dedicados à observação da Terra é que finalmente se pôde obter, pela primeira vez, uma visão global dos oceanos. Tendo como alvo o mar, os dados obtidos por este método são hoje fontes precisas para estudos oceanográficos e para fins de monitorização, com aplicações tanto científicas, como militares (Lira, Amorim, Silva, & Taborda, 2016).

1.3.1 Sensores e plataformas

A energia eletromagnética (ver Apêndice B) que é emitida ou refletida pelo alvo à superfície da terra é recolhida e gravada com recurso a sensores de DR. Consoante a fonte de REM, estes sensores podem ser classificados de duas formas, sensores passivos ou ativos (Schowengerdt, 2007).

Os sensores passivos limitam-se a receber e a registar a energia naturalmente disponível, refletida ou emitida pelo alvo, nas bandas do visível (300 nm – 700 nm) e do infravermelho térmico (3,0 μm – 15 μm) (Schowengerdt, 2007). A medição de energia refletida só ocorre durante os períodos diurnos, na presença de luz solar, ao passo que a radiação infravermelha térmica emitida pelo alvo pode ser captada pelo sensor mesmo quando este não se encontra exposto à radiação solar, ou seja, durante o período noturno, desde que a sua temperatura seja diferente do zero absoluto (Sutcliffe, et al., 2016) e caso o sensor trabalhe com essa porção do espectro eletromagnético (EEM).

Já os sensores ativos são portadores da sua própria fonte de iluminação, que emite radiação na banda das micro-ondas (1 mm – 1 m) diretamente para o alvo a ser estudado, sendo que esta radiação é posteriormente refletida pelo alvo e detetada pelo sensor. Estes sensores têm a grande vantagem de poderem obter registos a qualquer hora do dia/noite e em qualquer altura do ano, independentemente das condições meteorológicas, dado que o comprimento de onda das micro-ondas é suficientemente grande para que a radiação não seja afetada pela dispersão e por outros fatores atmosféricos (Fonseca & Fernandes, 2004). O RADAR (*Radio Detection And Ranging*), SAR (*Synthetic Apperture Radar*) e LIDAR (*Light Detecting and Ranging*) são alguns exemplos de sensores ativos (Amorim, 2015).

Estes sensores podem ser instalados em diversos tipos de plataformas, no entanto, as mais utilizadas são os satélites, que, devido à sua trajetória, permitem uma cobertura quase total e cíclica da superfície terrestre (CCRS, 2012). O primeiro satélite colocado em órbita foi o *Sputnik 1*, em 1957, e foi utilizado pelos soviéticos para testar o método de colocar satélites em órbita, medir a densidade das camadas atmosféricas e fornecer dados sobre o efeito da propagação das ondas rádio na ionosfera (NASA, 2017). Após o seu lançamento, foram vários os satélites colocados em órbita pelo Homem, com formas muito diversificadas, que se deslocam a diferentes velocidades e cujas órbitas se desenvolvem a altitudes distintas. As suas características e o tipo de órbita que realizam são os principais fatores que condicionam as imagens adquiridas pelos sensores de DR instalados a bordo (Fonseca & Fernandes, 2004).

As órbitas de um satélite são definidas de acordo com o seu tipo de missão e, como tal, as órbitas geoestacionárias (identificadas a vermelho na Figura 2), a aproximadamente 36.000 km de altitude do equador, são as mais adequadas para os satélites meteorológicos e de comunicações. Este tipo de satélites permanece na mesma posição relativamente à superfície do planeta, recolhendo de forma contínua informação de zonas específicas e de grandes dimensões. Um satélite geoestacionário é vantajoso para a DR, uma vez que observa a Terra sempre da mesma perspetiva e com elevada frequência temporal, o que o torna bastante útil na observação de condições meteorológicas. Devido à distância a que

o satélite se encontra da Terra, este tipo de órbita tem a grande desvantagem de reduzir a resolução espacial do sensor (ESA, 2010).

A grande maioria dos restantes satélites de observação da Terra encontram-se posicionados entre os 400 e os 1300 km e deslocam-se numa órbita circular quase-polar⁴ e heliossíncrona (identificada a azul na Figura 2), viajando desde o polo norte até ao polo sul, enquanto a Terra gira em torno do seu próprio eixo, cobrindo, desta forma, a maior parte do globo terrestre (Sutcliffe, et al., 2016). Com este tipo de órbita, os satélites passam no mesmo local, à mesma hora do dia e em intervalos de tempo constantes, os quais definem a sua resolução temporal. Uma órbita heliossíncrona permite ao satélite “observar” sempre o mesmo local da Terra exatamente à mesma hora solar, o que garante condições de iluminação iguais a cada passagem sobre uma determinada zona/área (CCRS, 2012). Esta sincronização facilita o processamento das imagens captadas e também a comparação de diferentes imagens da mesma região, mas com datas distintas (Sousa & Silva, 2011). Apesar de cobrirem áreas de menores dimensões comparativamente com os satélites geoestacionários, os sensores equipados nestes satélites captam imagens com muito maior detalhe (melhor resolução espacial), dada a sua maior proximidade da Terra (CCRS, 2012).

⁴ A sua inclinação não está totalmente alinhada com os polos.

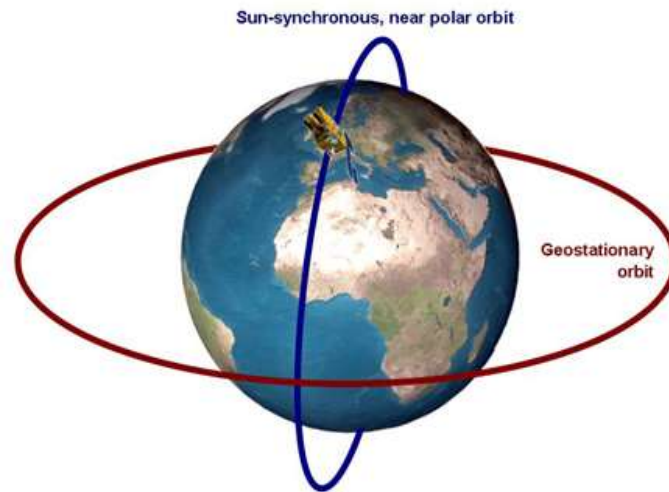


Figura 2 - Órbita geoestacionária (vermelho) e heliossíncrona quase-polar (azul)
Fonte: <https://seos-project.eu/remotesensing/remotesensing-c02-ws01-t.html>

À medida que o satélite vai percorrendo a sua órbita, o sensor vai observando uma porção diferente da superfície terrestre. A dimensão física da superfície observada, quantificada pela largura do feixe de varrimento, é conhecida como *swath width* (CCRS, 2012).

1.3.2 Resoluções

Cada sensor de DR tem associadas quatro resoluções distintas, as quais permitem medir a sua capacidade de adquirir informação, dos pontos de vista do intervalo do EEM que é captado pelo sensor (resolução espectral), da área de terreno coberta pelo sensor (resolução espacial), da frequência de passagem do sensor pelo mesmo local (resolução temporal) e também da quantidade de níveis de intensidade de energia representada em cada pixel da imagem obtida (resolução radiométrica) (Lira, Amorim, Silva, & Taborda, 2016).

A resolução espectral corresponde à amplitude dos intervalos de comprimento de onda nos quais a REM é registada, refletindo-se na quantidade de bandas⁵ que o sensor consegue distinguir. Quanto mais estreitos forem estes intervalos, ou seja, quanto maior for a resolução espectral, mais rigorosas serão as assinaturas espectrais obtidas e mais fácil será a discriminação entre diferentes objetos (Meneses, et al., 2012). Os sensores podem ser classificados como sendo pancromáticos, multiespectrais e hiperespectrais, consoante a sua capacidade de registar separadamente várias bandas, sendo que os sensores pancromáticos registam apenas uma banda e os hiperespectrais conseguem captar um número superior a 20 bandas (Lira, Amorim, Silva, & Taborda, 2016).

A resolução espacial refere-se à quantificação da superfície terrestre observada a cada instante e define ainda a distância mínima a que dois objetos podem ser diferenciados pelo sensor (Amorim, 2015). Também conhecida como *Ground-projected Instantaneous Field Of View* (GIFOV) (Schowengerdt, 2007), a resolução espacial é considerada baixa quando o sensor apenas consegue distinguir objetos de maiores dimensões, como se pode verificar na Figura 3. Um conceito associado à resolução espacial é o campo de visão instantâneo (IFOV, *Instantaneous Field Of View*), que representa a área que é observada pelo sensor à medida que este se vai deslocando ao longo do tempo e que está diretamente relacionado com a distância da plataforma à superfície observada (os sensores mais distantes captam imagens de maiores dimensões, porém, com menor resolução) (CCRS, 2012). A área visualizada é denominada de célula de resolução e determina a resolução espacial máxima de um sensor, sendo que um objeto só é detetado caso a sua dimensão seja igual ou superior à da célula de resolução ou apresente um brilho distinto, contrastando, assim, fortemente com o fundo e modificando

⁵ Regiões do EEM captadas pelo sensor.

a radiação global da célula de resolução onde se insere (*Ibidem*). Na imagem obtida, a célula de resolução é chamada de *pixel* (Sousa & Silva, 2011).



Figura 3 - Diferentes resoluções espaciais
Fonte: <https://blogs.fu-berlin.de/reseda/sensor-basics/>

A resolução temporal é definida como o tempo mínimo necessário para que o satélite complete um ciclo de órbitas, obtendo novamente uma imagem sobre a mesma área e com o mesmo ângulo de visão (Lira, Amorim, Silva, & Taborda, 2016). Tendo em conta o grau de sobreposição das faixas de cobertura e o aumento dessa sobreposição com a latitude, algumas áreas da superfície terrestre tendem a ser cobertas, ou “observadas”, mais frequentemente (CCRS, 2012). Sendo que um dos principais objetivos da DR é a monitorização de alterações no terreno, a resolução temporal é um fator muito importante a ter em consideração aquando do desenvolvimento de um sistema de DR (Sousa & Silva, 2011).

A resolução radiométrica de um sensor define-se como a sensibilidade às variações de intensidade da energia eletromagnética captada, seja ela refletida ou emitida (CCRS, 2012). Em termos de imagem que é apresentada em formato digital, a resolução radiométrica corresponde ao número de níveis de cinzento apresentados, possíveis de distinguir entre o preto e o branco (Sousa & Silva, 2011). O número de níveis é expresso por um número de bits utilizado para a codificação de números em formato binário, onde cada bit regista um expoente de base 2. Assim, uma imagem a preto e branco tem uma resolução radiométrica de 1 bit e uma imagem com 4.096 níveis de cinzento tem 12 bits,

resultado do expoente 212 (CCRS, 2012). Os diferentes níveis de cinzento podem ser observados na Figura 4, abaixo ilustrada.



Figura 4 - Diferentes níveis de resolução radiométrica (1 bit, 2 bits e 8 bits)
Fonte: <https://blogs.fu-berlin.de/reseda/sensor-basics/>

Existe um compromisso entre os diferentes tipos de resolução que tem de ser tido em conta, em função das capacidades e dos objetivos desejados, quando se desenvolve um sensor (Meneses, et al., 2012). Para resoluções espaciais altas, é necessário reduzir o IFOV ao sensor, no entanto, isto diminui a quantidade de energia que pode ser detetada, dado que a dimensão da parcela de terreno observada diminui. Para manter uma resolução espacial alta e aumentar a quantidade de energia que chega ao sensor, é necessário alargar a banda espectral em que a REM é detetada, o que irá reduzir obrigatoriamente a resolução espectral. Por outro lado, resoluções espaciais baixas permitem reduzir a banda de aquisição de REM, resultando no aumento da resolução espectral (*Ibidem*).

Capítulo 2. Monitorização de espaços marítimos através do Espaço

A definição de Espaço é uma matéria que ainda hoje não é consensual na comunidade internacional por ainda não estar definida, em qualquer convenção ou tratado, a fronteira que separa a atmosfera terrestre do espaço exterior (Nunes M. , 2010). No entanto, a Federação Aeronáutica Internacional defende que o domínio espacial se inicia a partir dos 100 km acima do nível médio das águas do mar, sendo limitado inferiormente por uma linha designada de linha de *Von Karman* (Abelho, 2016).

No passado, Portugal esteve na vanguarda da astronomia e acompanhou, desde cedo, o desenvolvimento de diversos instrumentos utilizados para efetuar navegação astronómica. Entre os séculos XV e XVII, a observação do Sol, da Lua e das estrelas permitiu aos navegadores portugueses determinarem a sua posição em alto mar com alguma precisão, enquanto navegavam até lugares que se encontravam para além do que já era conhecido, abrindo assim o caminho para o período dourado da exploração marítima, a Época dos Descobrimentos (Sandhoo, 2021). Hoje, o Espaço continua a revelar-se como um domínio fundamental para as entidades com responsabilidades nas áreas da segurança e da defesa, prestando um forte contributo a diversos países no planeamento das suas operações militares e na realização de ações de vigilância e monitorização em todo o seu território. Portugal deu um passo importante neste domínio quando desenvolveu a “Estratégia Portugal Espaço 2030”, tendo como principal objetivo desenvolver o seu setor espacial através do investimento nos setores da indústria e defesa (Figueiredo, 2019).

2.1 Estratégia da Defesa Nacional para o Espaço

A história de Portugal no Espaço teve início na década de 90, quando Portugal procurou edificar capacidades espaciais autónomas, através do desenvolvimento do projeto PoSAT (*Portuguese Satellite*), que culminou com a colocação de um satélite em órbita, o PoSAT-1, em setembro de 1993 (Nogueira J. , 2021). O desenvolvimento deste satélite permitiu não só a realização de telecomunicações em diversos países, como também serviu as Forças Armadas Portuguesas em Angola, no Zaire e na Bósnia, tendo

ainda aberto caminho para aquilo que é hoje um dos principais domínios de ação da *PT Space*, a observação da Terra através do espaço (PT Space, 2022). Em 2005, os serviços de comunicações do PoSAT-1 foram descontinuados (Marado, 2013), mas, mesmo assim, o interesse nacional no Espaço continuou e, menos de uma década depois, Portugal tomou a iniciativa de aderir à ESA. Mais recentemente, em 2018, foi desenvolvida e adotada, a nível nacional, a “Estratégia Portugal Espaço 2030”, que levou à fundação da Agência Espacial Portuguesa – *PT Space*. A Agência conta com o Ministério da Defesa Nacional como membro fundador e, como tal, este sentiu necessidade de se afirmar como “um núcleo acelerador e multiplicador da Estratégia Nacional para o Espaço” (Defesa Nacional, 2020).

Nesta Estratégia, a utilização do Espaço é reconhecida como sendo essencial para garantir a defesa e a segurança dos Estados (Conselho de Ministros, 2018), sendo, por isso, necessário assinalar a sua especial relevância para a Defesa Nacional. Foi neste contexto que a “Estratégia da Defesa para o Espaço” foi desenvolvida, tendo como propósito contribuir tanto para os interesses da Defesa Nacional como para os objetivos descritos na “Estratégia Portugal Espaço 2030” (Defesa Nacional, 2020). A Estratégia desenvolvida pela Defesa Nacional para o período compreendido entre 2020 e 2030 tem como visão “recorrer ao Espaço e às tecnologias associadas para potenciar a autonomia de atuação das Forças Armadas na defesa da soberania e dos interesses nacionais, de forma a reforçar a liberdade de ação do país” (*Ibidem*). O plano de ação onde a “Estratégia da Defesa para o Espaço” é materializada visa, entre muitas outras coisas, o cumprimento de alguns objetivos, entre os quais o desenvolvimento de capacidades de *Satellite Communication* (SATCOM), de observação da Terra (para fins de monitorização dos espaços aéreo, marítimo e terrestre) e de posição, navegação e tempo (PNT) (*Ibidem*).

Tal como foi referido no primeiro capítulo do presente trabalho, um dos objetivos programáticos definidos pela *PT Space*, na “Estratégia Portugal Espaço 2030”, é o desenvolvimento e operação de uma constelação de microssatélites com foco no oceano Atlântico, a Constelação do Atlântico, ou *The Atlantic Constellation*, como é normalmente apelidada. O desenvolvimento desta constelação poderá ter um papel

decisivo para ambas as estratégias, pois irá permitir edificar capacidades de SATCOM e de vigilância e monitorização do vasto espaço marítimo nacional e das regiões onde possam existir forças militares nacionais destacadas, contribuindo, assim, para a execução do Plano de Ação definido na Estratégia da Defesa Nacional para o Espaço (Nogueira J. , 2021).

2.2 O Espaço nas operações militares

Ao longo dos últimos anos, o Espaço tem vindo a ganhar uma importância significativa no dia a dia das pessoas, apresentando-se como uma mais-valia de duplo uso, tanto para civis, como para militares, pois permite a realização de comunicações, obtenção de informações meteorológicas e o fornecimento de serviços de posicionamento e de observação da Terra. O constante crescimento da tecnologia e das capacidades espaciais, juntamente com os ininterruptos desafios atuais impostos nas áreas da defesa e da segurança, resultaram na perceção, por parte dos Estados, de que era necessário olhar para a capacidade espacial de uma forma mais dinâmica e cuidadosa (Nogueira J. , 2014). Como tal, em 2019, a NATO (*North Atlantic Treaty Organization*) reconheceu formalmente o Espaço como um novo domínio operacional, a par da terra, do mar, do ar e do ciberespaço (Stickings, 2020). Este reconhecimento veio colocar ainda mais em evidência o papel fundamental que o Espaço tem, tanto nas operações militares, como na segurança de todos os países do mundo, sendo também uma fonte de prestígio e de demonstração de poder e capacidades (*Ibidem*).

A exploração espacial começou com o desenvolvimento, por parte dos alemães, dos primeiros mísseis balísticos, os *rockets V2*, durante a Segunda Guerra Mundial, e com o lançamento para o Espaço do satélite soviético *Sputnik*, nos primórdios da Guerra Fria (Nogueira J. , 2014). Desde então, ficou claro que o desenvolvimento de tecnologias espaciais iria acompanhar as necessidades das operações militares até aos dias de hoje (Abelho, 2015). Apesar de ser um domínio ainda recente, a componente espacial é, sem dúvida, a área onde a tecnologia militar empregue é a mais avançada, dado o papel

fundamental que tem tido na aquisição de informação, bem como na distribuição de conhecimento e auxílio na tomada de decisão (Nogueira J. , 2014).

Apesar de não possuir um sistema espacial próprio e de estar dependente das capacidades espaciais dos seus estados-membros para o planeamento e a condução de operações militares, a NATO considera que o Espaço tem um papel fundamental para a dissuasão e para a defesa da Aliança (NATO, 2021). Atualmente, o sucesso e a eficácia das operações militares realizadas no âmbito da NATO dependem essencialmente de equipamentos e sensores instalados a bordo de satélites espaciais que orbitam em torno da Terra e que têm capacidade para garantir informação precisa de PNT, comunicações, ISR (*Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*), aviso antecipado de ameaças e monitorização ambiental (Brunner, 2021).

2.2.1 Posição, navegação e tempo (PNT)

O sistema PNT mais utilizado atualmente, tanto no meio civil, como no meio militar, é o GPS (*Global Positioning System*), criado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América. O seu principal objetivo é garantir tempo e navegação de precisão, de forma contínua e global, independentemente das condições atmosféricas existentes (Mendes, 2013). O sinal de GPS civil é disponibilizado globalmente e de forma gratuita a qualquer pessoa que possua um recetor deste tipo de sinal, ao passo que o sinal militar, o GPS P(Y), só está disponível para as forças armadas norte-americanas e para os países aliados (Abelho, 2016). Apesar de ser o sistema mais utilizado, não é o único e, como tal, existem outros sistemas de navegação com igual potencial, nomeadamente, os sistemas Galileo (europeu), GLONASS (russo e indiano), BeiDou/COMPASS (chinês), entre outros (Maurício, 2015). Do ponto de vista militar, todos estes sistemas são particularmente importantes e indispensáveis para a condução e o sucesso das operações militares, por permitirem, entre outras aplicabilidades, a navegação das forças, o guiamento preciso de sistemas de armas e a indicação da posição em situações de emergência (Nogueira J. , 2014).

2.2.2 Comunicações

As comunicações a longa distância sempre foram vitais nas operações militares, por permitirem a transmissão de dados e voz além do campo de visão do ser humano (Nogueira J. , 2014). Apesar de ainda serem fundamentais, as comunicações via rádio poderão sofrer uma série de constrangimentos quando são efetuadas a grandes distâncias. Isto deve-se ao facto de serem fortemente afetadas por fatores externos, como as condições meteorológicas, e, como tal, poderão apresentar uma baixa qualidade na transmissão de voz (*Ibidem*). A realização de comunicações via satélite é particularmente vantajosa em relação às comunicações via rádio ou terrestres, por não estar sujeita a limitações físicas e/ou orográficas e ainda por apresentar uma cobertura praticamente global (Abelho, 2016). O emprego de satélites para comunicações tem vindo a aumentar cada vez mais, pois permite a capacidade de comando e controlo (C2) em locais de interesse estratégico, o acesso à internet, o suporte a operações de UAV's (*Unmanned Aerial Vehicle*) e a possibilidade de comunicações com forças nacionais destacadas em qualquer parte do mundo (Costa, 2013). Todas estas capacidades só são possíveis muito graças à largura de banda disponibilizada pelos satélites face aos outros meios de comunicação, diminuindo, assim, o tempo de transmissão da informação e aumentando a sua qualidade, o que pode ser fundamental para a tomada de decisão e para o sucesso das operações no terreno (*Ibidem*).

2.2.3 *Intelligence, surveillance and reconnaissance (ISR)*

Relativamente às ações ISR a partir do espaço, estas são caracterizadas pela recolha de informações (*Intelligence*) numa determinada área de interesse, de modo a monitorizar e a acompanhar todos os movimentos de um potencial inimigo ou de um determinado alvo, bem como identificar os seus recursos e avaliar as suas intenções (Paiva, 2021). Através de satélites, são recolhidas informações geoespaciais (GEOINT - Geospatial Intelligence), imagens da superfície da Terra (IMINT - *Imagery Intelligence*) e sinais eletromagnéticos (SIGINT - *Signals Intelligence*) que são utilizados no planeamento de operações ou na avaliação dos danos causados após a realização das

mesmas (Costa, 2013). Equipamentos de ISR, em conjunto com os sensores instalados a bordo de navios e aeronaves, fornecem informação o mais atualizada possível sobre outros navios, aeronaves ou alvos terrestres de interesse para as operações (Nunes M. , 2022). A aquisição deste tipo de informação através da exploração das capacidades de DR dos sensores espaciais permite também a monitorização constante e o aumento do conhecimento situacional dos espaços marítimos e aéreos (Nogueira J. , 2021). Os Estados que não possuem capacidade espacial para recolher este tipo de informações estão dependentes de outras fontes, nomeadamente de meios aéreos e navais. No entanto, estes meios podem não ser suficientes para garantir a monitorização constante da totalidade dos seus espaços de interesse e, por este motivo, muitos Estados pertencentes à União Europeia e/ou à NATO, incluindo Portugal, recorrem aos produtos e serviços disponibilizados pelo *European Union Satellite Centre* (SATCEN), pela EMSA ou pelo *NATO Intelligence Fusion Centre* (NIFC), para a produção de informações tanto de uso militar, como civil (Defesa Nacional, 2020).

2.2.4 Aviso antecipado de ameaças

A utilização conjunta de satélites espaciais e radares dedicados permite aos Estados e às suas Forças Armadas identificar explosões nucleares e detetar com antecedência (*Early Warning*) todas as fases de um ataque com mísseis balísticos, desde o seu lançamento até à sua reentrada na atmosfera, possibilitando a disseminação da informação entre países aliados (*Shared Early Warning*) e a defesa contra este tipo de eventos (NATO, 2016). Estas ocorrências são detetadas pelos sensores que equipam este tipo de satélites, através da radiação infravermelha proveniente das emissões intensas de calor provocadas pelas explosões (Joint Force Development, 2018). A eficácia destes sistemas foi comprovada na Guerra do Golfo, durante a operação *Desert Storm*, onde os sistemas norte-americanos de aviso antecipado contra mísseis, compostos por satélites espaciais, foram amplamente utilizados, por parte da coligação, para detetar mísseis balísticos *Scud* iraquianos, que tinham como alvos territórios localizados em Israel e na Arábia Saudita (Costa, 2013).

2.2.5 Monitorização ambiental

Através do Espaço, é possível obter informações e realizar previsões meteorológicas e oceanográficas (METOC) que possam contribuir para o planeamento e para a execução de operações militares em ambiente marítimo, terrestre ou aéreo, bem como para a seleção do armamento a empregar, já que o sistema de guiamento de muitos mísseis poderá ser influenciado pela humidade existente no local (Costa, 2013). Para além de ser possível manter a vigilância ambiental em qualquer lugar à superfície da Terra, mesmo nos locais mais inóspitos e de difícil acesso, a utilização de satélites também permite a monitorização do ambiente espacial (*Space Environmental Monitoring*) (Joint Force Development, 2018). A informação recolhida relativa ao *Space Weather* permite o estudo e a compreensão dos processos físicos do Sol e o efeito que estes provocam na Terra, nas missões e nos sistemas espaciais (*Ibidem*). A deteção de eventos como explosões e ventos solares é fundamental, pois permite mitigar os efeitos negativos que estas possam provocar no normal funcionamento dos satélites, que, por norma, resultam na impossibilidade de realizarem comunicações ou de transmitir e receber sinais GPS, por exemplo (*Ibidem*).

2.3 Tecnologia espacial para ações de vigilância e monitorização marítima

O Espaço tem um enorme potencial e oferece um grande contributo para o aumento do CSM, quando, a partir dele, são empenhados satélites dedicados à recolha de informações variadas (Shabbir, Sarosh, & Nayyer, 2019). Ao serem orientados para espaços marítimos, os satélites podem ser utilizados para captar assinaturas eletromagnéticas provenientes de radares e sensores de navios, ou para recolher imagens sobre uma área específica, por meio de sensores ativos ou passivos de DR (*Ibidem*), contribuindo, assim, para a vigilância e monitorização dos espaços marítimos (Soldi, et al., 2021).

São já várias as agências e os Estados que exploram as potencialidades que as tecnologias espaciais de DR têm para oferecer, fornecendo aos utilizadores finais dados úteis e atualizados, muitas vezes sem qualquer tipo de custo, como acontece com os dados

provenientes dos satélites do programa *Copernicus* (ver Apêndice D). As principais aplicações marítimas destes dados são a deteção, o seguimento e a classificação de navios, a monitorização do tráfego marítimo, a deteção de atividades ilegais e a gestão e preservação dos ecossistemas marinhos (Lele, 2015). A necessidade de analisar grandes quantidades de dados provenientes de sensores espaciais, aliada ao desenvolvimento de técnicas de *machine learning* e de inteligência artificial, permitiu o desenvolvimento de algoritmos capazes de auxiliar as Forças Armadas e as autoridades policiais e governamentais a vigiar e monitorizar os espaços marítimos de interesse nacional (Soldi, et al., 2021). Esses algoritmos podem ajudar no processamento da elevada quantidade de dados que são transmitidos diariamente, facilitando a sua compreensão e ajudando os utilizadores finais a detetar anomalias e ameaças, tais como derrames de hidrocarbonetos; supostos comportamentos que possam ser associados a atos de pirataria, tráfico de droga e de armas; e imigração ilegal, permitindo uma atuação atempada, de modo a minimizar este tipo de infrações (*Ibidem*).

É neste contexto que as tecnologias espaciais ocupam um papel fundamental nas ações de vigilância e monitorização marítima, pois permitem um controlo constante, por parte dos Estados, sobre este domínio. Entre os vários sensores existentes, passíveis de serem instalados a bordo de satélites espaciais, destacam-se o *satellite-automatic identification system* (SAT-AIS), o reflectómetro de sinais GNSS (GNSS-R, *Global Navigation Satellite System-Reflectometry*), o MWR (*Microwave Radiometer*) e os sensores SAR, multiespectrais e hiperespectrais (Soldi, et al., 2021). A utilização destes sistemas possibilita a aquisição de um panorama de superfície completo e bastante detalhado das zonas marítimas de maior interesse estratégico, não sendo necessário o empenhamento de meios aéreos ou navais para locais remotos, com o propósito de adquirirem informações que possam servir de apoio à tomada de decisão (Sandhoo, 2021).

2.3.1 SAT-AIS

Em 2002, a Organização Marítima Internacional (IMO) alterou a convenção SOLAS (*Safety of Life at Sea*), passando a estar definido que todos os navios com 300 toneladas, ou mais, de arqueação bruta empregues em viagens internacionais; navios de carga com arqueação bruta igual ou superior a 500 toneladas; todos os navios de passageiros, independentemente das suas características; e navios de pesca com um comprimento superior a 15 metros seriam obrigados a instalar a bordo um sistema AIS (*Automatic Identification System*) (IMO, 1974). Concebido inicialmente para servir como um sistema de anticollisão para grandes navios, o AIS recebe e transmite automaticamente, por meio de *transponders*, a identificação (MMSI⁶), a posição, o rumo, a velocidade e outros dados importantes do próprio navio, incluindo as características da viagem que realiza, como, por exemplo, o tipo de carga que transporta (caso seja considerada perigosa), o seu destino, data e hora previstas de chegada (Wahl, Høye, Lyngbi, & Narheim, 2005). Estas informações são recebidas e enviadas entre navios e são também partilhadas com estações de controlo de tráfego marítimo, localizadas em terra (Eriksen, Høye, Narheim, & Meland, 2006). A sua importância deve-se ao facto de ser um sistema utilizado para aumentar e melhorar a segurança marítima e da navegação, permitindo a identificação inequívoca de todas as embarcações, auxiliando também a salvaguarda da vida humana no mar e garantindo a proteção do meio marinho (IALA, 2002).

As ondas rádio de muito alta frequência (VHF – *Very High Frequency*), emitidas pela antena do AIS, têm um alcance que pode chegar às 40 milhas náuticas (Eriksen, Høye, Narheim, & Meland, 2006). Por se tratarem de ondas VHF, o seu alcance depende diretamente da potência e da altura da antena que as transmite, o que significa que os dados transmitidos via AIS só estão disponíveis em zonas costeiras, ou numa determinada área onde existam navios suficientemente próximos uns dos outros, de modo a que

⁶ *Maritime Mobile Service Identity*

curvatura da Terra não impossibilite a transferência de informação (Wolsing, Roepert, Bauer, & Wehrle, 2022). Posto isto, o sistema AIS apresenta uma limitação crucial para as entidades responsáveis pela vigilância e monitorização marítima, ao não permitir a receção de sinais provenientes de navios a navegar em espaços marítimos afastados de terra. Este defeito é colmatado pela utilização de *transponders* instalados a bordo de satélites espaciais, que permitem a receção e a transmissão de sinais AIS por navios que se encontrem dentro do campo de visão (FOV – *Field of View*) da antena montada no satélite (Soldi, et al., 2021). Este sistema, conhecido por SAT-AIS, permite monitorizar navios em qualquer lugar do oceano, desde que estes sejam portadores de um *transponder* AIS, tornando possível a obtenção da posição, entre outras informações, de navios que se encontrem mais afastados de costa, como se pode verificar na Figura 5. Desta forma, é possível aumentar o raio de alcance e o nível de CSM das entidades com responsabilidades de vigilância e monitorização (Wahl, Høye, Lyngbi, & Narheim, 2005).

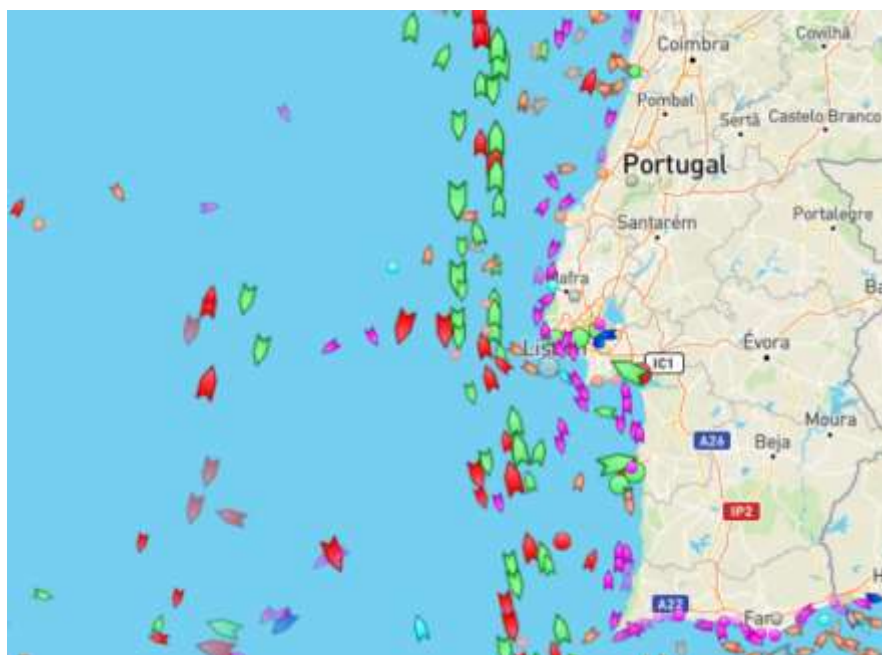


Figura 5 - Posição dos navios ao largo da costa continental portuguesa, recebida via AIS e SAT-AIS

Fonte: <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:-9.6/centery:38.7/zoom:7>

Quando o sistema AIS foi desenvolvido, não se previa que os sinais pudessem ser recebidos e transmitidos a partir do espaço, algo que apenas aconteceu em 2008. A utilização desta tecnologia para a vigilância e monitorização marítima surgiu com o desenvolvimento do microssatélite norueguês AISSat-1, o primeiro da constelação AISSat (Soldi, et al., 2021). A grande maioria dos sistemas SAT-AIS são concebidos como cargas secundárias de satélites dedicados à observação da Terra, tipicamente colocados numa órbita heliossíncrona (*Ibidem*). No entanto, os satélites com este tipo de órbita, quando isolados, não garantem uma cobertura contínua sobre uma determinada área e, como tal, podem existir falhas na transmissão de sinais diretamente para o satélite a partir do *transponder* a bordo do navio (Metcalf, et al., 2018). Estas falhas podem ser colmatadas com a instalação de *transponders* SAT-AIS em diversos satélites, que, em conjunto, formam uma constelação, reduzindo assim o período de tempo durante o qual uma certa área marítima ficaria sem cobertura AIS, tanto para receber informação, como para transmitir. Atualmente, são várias os satélites e as constelações de satélites capazes de receber e transmitir dados AIS, sendo exemplo disso os satélites AISSat-2 (o segundo da constelação AISSat), NorAIS-2, e as constelações *exactView*, *Iridium NEXT*, *VesselSat*, *AprizeSat* e *Lemur* (Soldi, et al., 2021).

Apesar do sistema SAT-AIS apresentar uma clara vantagem sobre o sistema AIS costeiro no que toca à cobertura, a utilização quer de um sistema, quer de outro para a realização de ações de vigilância e monitorização marítima está ainda limitada ao facto de estes poderem ser desligados pelos proprietários da embarcação na qual se encontram, de modo a encobrirem a sua posição aquando da realização de atividades ilegais (Mazzarella, et al., 2017), o que leva à necessidade da existência de outras fontes de informação, nomeadamente outros sensores de DR. Para além destas duas limitações, ambos os sistemas são também um alvo bastante fácil para ataques informáticos, que podem levar à falsificação das informações que transmitem, dada a ausência de encriptação dos seus sinais (Soldi, et al., 2021).

2.3.2 Synthetic Aperture Radar (SAR)

O SAR é um sensor ativo de DR, normalmente instalado a bordo de satélites ou aeronaves, que capta informação radiométrica de alta resolução, por meio da transmissão e recepção de REM (banda das microondas) para a superfície da Terra, a partir de uma antena que ilumina um determinado alvo (Stickings, 2020). Por ser um sensor ativo, a sua capacidade de detecção e de monitorização não é afetada pelas condições de iluminação nem pelas condições meteorológicas e/ou atmosféricas, dado que o comprimento de onda da radiação das microondas permite que esta consiga atravessar as nuvens sem ser absorvida (Sutcliffe, Catalão, & C. Brito, 2016). Este tipo de sensores utiliza a trajetória da plataforma para simular uma antena de maiores dimensões, ou seja, uma antena sintética. O seu modo de funcionamento tem como base o efeito de Doppler⁷, uma vez que a radiação refletida pelo alvo é recebida pelo sensor à medida que este se vai deslocando (Rodrigues, 2017). Este processo (ver Figura 6) é repetido várias vezes e a informação é sobreposta, simulando uma antena de maiores dimensões (CCRS, 2012).

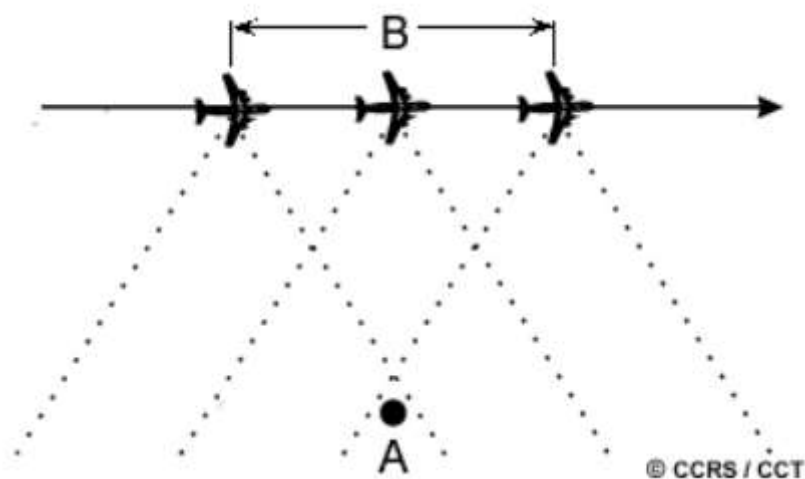


Figura 6 - Processo de obtenção de uma imagem RADAR, captada por um sensor SAR (A – Alvo, B – Comprimento da antena sintética)
Fonte: (CCRS, 2012)

⁷ O efeito de Doppler é a alteração aparente da frequência de uma onda quando o objeto que a produz se desloca em relação ao recetor.

A deteção de navios é umas das várias aplicações que se pode dar aos sensores SAR, dada a quantidade significativa de radiação que é refletida pelas suas estruturas, devido aos seus diversos ângulos, os quais refletem mais do que uma superfície lisa, ou sem arestas (Sutcliffe, Catalão, & C. Brito, 2016). A presença de navios é notada pela existência de pontos brancos nas imagens captadas pelos sensores, como é possível observar na Figura 7, sendo também possível identificar, sob certas condições, as suas esteiras (Figura 8) (*Ibidem*). A sua deteção permite localizar navios que naveguem com o AIS desligado, complementando, assim, uma das limitações inerentes à utilização deste tipo de dados para a monitorização de espaços marítimos. Os navios que não apresentam o AIS estabelecido não transmitem a sua localização nem as suas informações e, como tal, poderão estar a realizar algum tipo de atividade ilegal, como tráfico de estupefacientes, armas, seres humanos ou mesmo pesca ilegal. Saber a localização destes navios é deveras importante, pois permite minimizar a ocorrência de tais atividades em zonas sob soberania e/ou jurisdição de um determinado Estado. Das várias missões SAR existentes, e que têm contribuído para a monitorização dos espaços marítimos dos estados europeus, destacam-se os satélites RADARSAT-2, TerraSAR-X e as constelações COSMO-SkyMed e *Sentinel-1* do programa *Copernicus* (Soldi, et al., 2021).

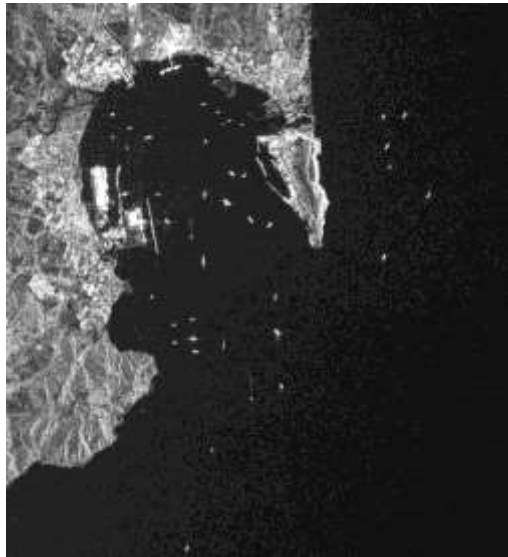


Figura 7 - Navios (pontos brancos) detetados em Gibraltar por meio de um sensor SAR
Fonte: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/applications/maritime->

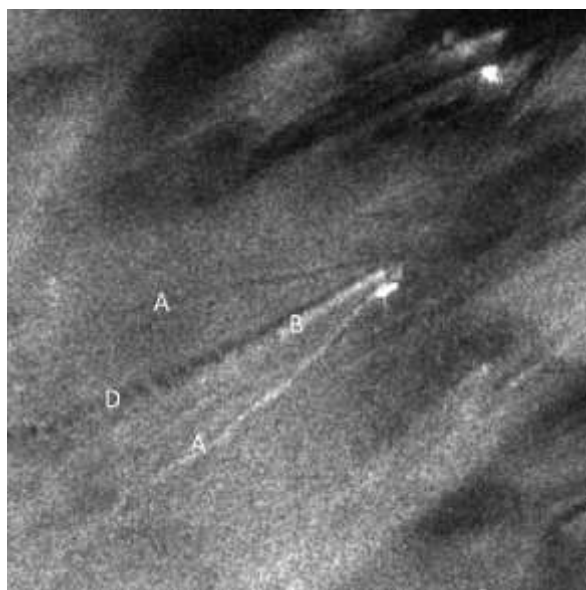


Figura 8 - Padrão de uma esteira provocada pelo deslocamento de um navio

Fonte: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/applications/maritime-monitoring>

As imagens e os dados captados por este tipo de sensores são também especialmente relevantes para a detecção de possíveis derrames de hidrocarbonetos, provocados por descargas ilegais ou acidentais de navios (Sutcliffe, Catalão, & C. Brito, 2016). As manchas formadas pelos derrames têm um eco de resposta característico e são facilmente identificáveis nas imagens captadas pelos sensores SAR. As imagens recolhidas podem ser relacionadas com informação AIS vinda do local para fins de identificação dos possíveis infratores, caso este sistema não tenha sido desligado. A informação é enviada via satélite para estações terrestres que tratam os dados e os distribuem para as entidades e serviços responsáveis pela vigilância e contenção deste tipo de incidentes. A Figura 9 foi retirada de um *CleanSeaNet Alert Report*, fornecido pela EMSA ao COMAR, onde se consegue identificar um possível derrame de hidrocarbonetos (manchas negras).

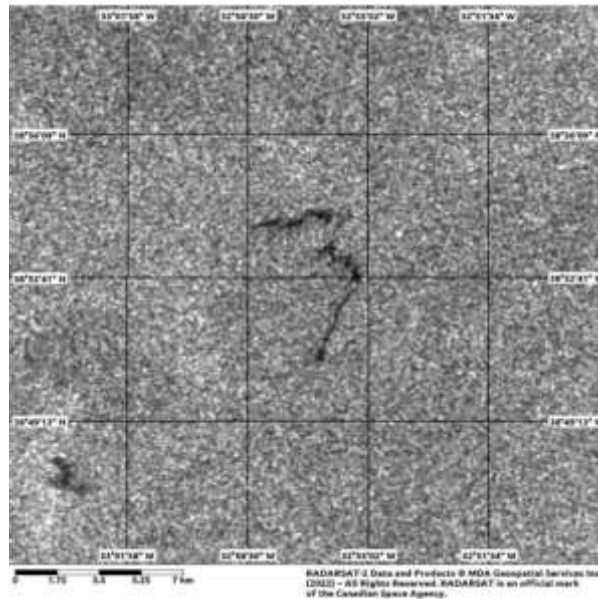


Figura 9 - Imagem de um possível derrame de hidrocarbonetos, obtidas a partir do satélite RADARSAT-2

Fonte: EMSA – CleanSeaNet Alert Report

2.3.3 Sensores óticos/multiespectrais

Os sensores SAR apresentam uma resolução espacial normalmente inferior, quando comparada com outros tipos de sensores, e são maioritariamente utilizados para recolha de informação que não carece de tanto detalhe. Por outro lado, os sensores óticos são utilizados para obter informação mais precisa, com maior detalhe e com elevada resolução espacial e espectral, desde a banda visível até à banda do infravermelho térmico, numa zona onde os comprimentos de onda da radiação variam entre os 0,3 μm e os 15 μm (Landgrebe, 2005). Atualmente, já existem sensores que conseguem captar imagens óticas de alta resolução que podem chegar às poucas dezenas de centímetros, como os satélites WorldView-4, Pléiades (1A e 1B) e GEOSAT 2 (inferior a 40 cm).

Os sensores óticos ou multispectrais recolhem informação proveniente de, no máximo, 10 bandas espectrais distintas, entre elas as bandas do vermelho, verde e azul, que, quando combinadas, formam imagens a cores, tal como as imagens que o ser humano

consegue normalmente visualizar a olho nu (Yokoya, Grohnfeldt, & Chanussot, 2017). Este tipo de sensores consegue também captar outro tipo de bandas, nomeadamente:

- Banda Pancromática – Combina numa única banda toda a região visível do EEM. Apresenta imagens a preto e branco, com níveis de resolução espacial normalmente mais elevados, quando comparados com as outras bandas (Earth Observing System, 2021);
- Banda NIR (*Near Infrared*) – Banda próxima ao vermelho da zona visível. Os sensores capazes de captar esta banda permitem o estudo de áreas cobertas de vegetação, uma vez que este tipo de radiação é refletido com maior intensidade do que a radiação visível, por superfícies/objetos onde a concentração de clorofila é elevada (vegetação saudável e algas). Esta banda permite também monitorizar os níveis de clorofila presentes na água, bem como diferenciar lagos ou rios dos elementos circundantes (Earth Observing System, 2021);
- Banda SWIR (*Short Wave Infrared*) – Os sensores capazes de captar esta banda são particularmente úteis para estudos de geologia, pois permitem diferenciar diferentes tipos de rochas através do contraste existente nas imagens captadas. Estes sensores potenciam também algumas atividades ligadas à agricultura, pois possibilitam a avaliação da humidade presente na superfície terrestre (GIS Resourcers, 2015).
- Banda LWIR (*Long Wave Infrared*) – Permite a medição do calor emitido pela superfície terrestre, como é o caso das bandas 10 e 11 (TIR – *Thermal Infrared*), detetadas pelos sensores do satélite *Landsat-8* (Earth Observing System, 2021).

Apesar da existência de diversas bandas passíveis de serem detetadas por sensores multiespectrais, apenas as bandas pancromáticas e as que se encontram dentro da região do visível apresentam alguma utilidade para garantir a constante vigilância e monitorização dos espaços marítimos, pois são as únicas bandas que permitem facilmente o reconhecimento de alvos e a identificação positiva de derrames de hidrocarbonetos (Soldi, et al., 2021). Graças à sua maior resolução espacial, as imagens pancromáticas

captadas permitem a deteção de alvos mais pequenos, quando comparadas com as imagens captadas dentro do espectro do visível, que são mais adequadas para a identificação e classificação dos alvos, devido à elevada resolução espectral que as imagens apresentam (*Ibidem*). No entanto, dada a necessidade de detetar pequenas embarcações, ou de identificar com maior detalhe as características de um determinado navio, como o seu armamento, a sua carga, ou mesmo o seu número de amura, foi desenvolvida uma técnica que permite combinar imagens pancromáticas, de alta resolução, com imagens do espectro do visível, de menor resolução, de modo a criar uma única imagem a cores de alta resolução. Esta técnica é conhecida como *pansharpening* (Alprone, Baronti, Garzelli, & Nencini, 2004).

Os sensores óticos que captam radiação emitida dentro do espectro do infravermelho térmico têm a grande vantagem de não dependerem de uma fonte de iluminação externa, pois captam apenas as emissões térmicas libertadas pelos objetos. Devido a esta característica, estes sensores são mais adequados para a monitorização e vigilância durante os períodos noturnos, no entanto, a resolução espacial das imagens captadas é consideravelmente inferior às imagens captadas dentro da banda do visível, para além de que a radiação infravermelha é atenuada pela humidade existente na atmosfera (Soldi, et al., 2021).

Concluindo, os sensores óticos, ou multiespectrais, conseguem captar informação com um maior nível de resolução espacial, possibilitando uma melhor compreensão do panorama marítimo através da fácil identificação dos alvos, como demonstra a Figura 10, muito graças ao detalhe que cada imagem apresenta, tornando este tipo de sensores mais eficazes para a realização de ações de vigilância e monitorização marítima. No entanto, em comparação com a informação captada por sensores SAR, os sensores multiespectrais têm a desvantagem de serem afetados pelas condições meteorológicas, como, por exemplo, a presença de nuvens ou a ausência de iluminação (noite), que apenas possibilita a captação de energia térmica emitida pelo alvo por sensores de infravermelhos.



Figura 10 - Identificação da classe de 4 navios militares chineses, com recurso a uma imagem de satélite captada por um sensor ótico
 Fonte: <https://www.csis.org/analysis/chinas-new-amphibious-assault-ship-sails-south-china-sea>

2.3.4 Sensores óticos hiperespectrais

Ao contrário dos sensores multiespectrais, os sensores óticos hiperespectrais são uma tecnologia capaz de detetar e medir a radiância de um determinado alvo através da captura de centenas de bandas espectrais estreitas e contínuas, dentro do espectro do visível e do infravermelho (Soldi, et al., 2021). Esta capacidade permite a recolha e a análise de informação bastante precisa sobre a composição de um determinado alvo, através da comparação da sua assinatura espectral com outras presentes em bases de dados que contêm a informação espectral de diversos materiais (*Ibidem*). Os dados provenientes de sensores hiperespectrais são normalmente utilizados para análises atmosféricas, agricultura de precisão, aquacultura, controlo de qualidade da água, cartografia e monitorização de zonas geladas (Bioucas-Dias, et al., 2013).

Os sensores hiperespectrais aumentam a capacidade de vigilância e monitorização marítima em virtude da sua alta resolução espectral, que lhes permite detetar alvos difíceis de serem observados, ou porque são demasiado pequenos, ou porque se encontram numa

área com diversos elementos distintos ao seu redor, que dificultam a sua deteção por parte de outros sistemas de DR (Stein, Schoonmaker, & Coolbaugh, 2001). Num contexto militar, em ambiente marítimo, onde a capacidade de DR abaixo da linha de água é muito limitada, os sensores hiperspectrais possibilitam não só a deteção de minas e submarinos em zonas costeiras, de baixa profundidade, como permitem também estudar a batimetria e os fundos marinhos de zonas marítimas costeiras (ver Figura 11) (*Ibidem*). Estes dados podem também servir como recurso para detetar camuflagens e veículos militares e para caracterizar o terreno e a vegetação no local onde se prevê a realização de uma operação militar (Ardouin, Lévesque, & Rea, 2007).



Figura 11 - Imagem de uma zona marítima costeira, captada pelo sensor hiperspectral do satélite Proba-1, operado pela ESA

Fonte:

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Proba-1/Going_hyperspectral

Os sensores hiperspectrais e multiespectrais complementam-se, no sentido em que os sensores multiespectrais captam dados de muito alta resolução espacial, mas com bandas espectrais mais largas, em comparação com os sistemas hiperspectrais, que, pelo contrário, conseguem captar um maior número de bandas espectrais distintas, porém, as imagens fornecidas apresentam uma resolução espacial inferior (Soldi, et al., 2021).

2.3.5 *Global Navigation Satellite System-Reflectometry (GNSS-R)*

A utilização de radares passivos bistáticos, nos setores da ciência e da defesa, é algo relativamente novo, apesar de terem sido desenvolvidos nos anos 50, antes mesmo dos radares monostáticos (Henle, 1986). Estes últimos são compostos por um transmissor e um recetor acoplados na mesma antena, capazes de transmitir e receber um sinal pulsado. Por outro lado, nos radares passivos bistáticos não existe um transmissor dedicado, sendo, por isso, necessária a presença de um transmissor alheio para que o recetor do radar passivo consiga medir a diferença de tempo entre a transmissão do sinal e a sua reflexão no alvo (Griffiths, 2014). A ausência de um transmissor nos radares passivos bistáticos reduz significativamente as dimensões do sensor e torna-o mais económico, no que toca ao consumo de energia eléctrica, sendo, por isso, facilmente acoplado em microssatélites, devido às suas baixas dimensões e consumos de energia (Soldi, et al., 2021).

Como não existe transmissão de radiação durante o seu funcionamento, os radares passivos bistáticos utilizam iluminadores de oportunidade e comparam o seu sinal direto com alterações que ocorrem no campo eletromagnético de alvos em movimento, de forma a detetá-los e localizá-los (Hugh & J. Baker, 2017). Existem vários iluminadores de oportunidade, terrestres ou espaciais, capazes de serem utilizados por estes sistemas de radar (Sénica, 2020). Os iluminadores terrestres, como sistemas de comunicações móveis ou sistemas de *Broadcast*, não são explorados para aplicações de vigilância e monitorização no mar, dada a falta de cobertura existente destes sinais nos espaços marítimos mais distantes de costa. Assim, é necessário recorrer a iluminadores de oportunidade espaciais, que possam garantir uma ampla cobertura sem falhas nos espaços marítimos de interesse (Soldi, et al., 2021).

Foi neste âmbito que surgiu, nos anos 90, o GNSS-R, dedicado à exploração de sinais GNSS refletidos (Darrozes, Roussel, & Zribi, 2017). Para além da disponibilidade oferecida por mais de 100 fontes de sinais procedentes de satélites como o GPS, GLONASS, Galileo e Compass, o GNSS-R tem ainda a vantagem de conseguir captar estes sinais em qualquer parte do mundo, dada a cobertura global oferecida por todos

estes sistemas de GNSS (Sandhoo, 2021). O princípio de funcionamento do GNSS-R baseia-se na receção de sinais emitidos a partir de satélites GNSS, que são refletidos e dispersos na superfície da Terra e recolhidos posteriormente pelo recetor do sistema GNSS-R, como é ilustrado na Figura 12.



Figura 12 - Princípio básico de funcionamento de um sistema GNSS-R
Fonte: <https://phys.org/news/2016-02-sea-space-gps.html>

Os sinais provenientes da antena transmissora, recebidos diretamente pelo recetor do sistema GNSS-R, são igualmente captados e medidos. A análise de ambos os sinais permite o estudo de propriedades geofísicas à superfície terrestre, como a espessura do gelo e a humidade presente no solo e ainda permite o estudo sobre o estado do mar, através da medição de parâmetros como a velocidade do vento, a ondulação e o nível médio das águas do mar (Darrozes, Roussel, & Zribi, 2017). A sua utilização também apresenta algumas vantagens para a monitorização marítima, uma vez que pode ser utilizada para detetar alvos e manchas de poluição à superfície. No entanto, a sua aplicabilidade é prejudicada pelas baixas resoluções espaciais dos seus dados e pelo baixo nível de sinal refletido pelos navios, apesar de ser possível detetar estruturas maiores, como plataformas petrolíferas (Soldi, et al., 2021). Comparativamente com outros sensores de DR dedicados à observação da Terra, os sensores GNSS-R estão ainda muito aquém daquilo que é

pretendido para monitorizar e recolher informações que permitam aumentar o CSM sobre uma determinada zona, sendo principalmente vantajosa a utilização dos seus dados para a recolha de informações METOC (*Ibidem*).

Capítulo 3. The Atlantic Constellation

No âmbito da estratégia “Portugal Espaço 2030”, Portugal pretende alargar as suas competências no setor espacial, de modo a tornar-se uma referência, a nível mundial, no estudo das interações Espaço-Clima-Oceano, com especial incidência no Atlântico (PT Space, 2021). Para tal, a *PT Space* tem contribuído ativamente para articular empresas e centros nacionais e internacionais, com vista ao desenvolvimento de uma constelação de microssatélites com capacidades de observação da Terra e de telecomunicações. Atualmente, está previsto o desenvolvimento de uma constelação composta por 16 satélites de pequenas dimensões, a *Atlantic Constellation*. Esta constelação será capaz de fornecer dados de alta resolução e com uma frequência bastante elevada, os quais irão permitir o estudo e a monitorização do oceano Atlântico por parte de toda a comunidade civil ou militar interessada (*Ibidem*).

3.1 Os satélites

Com o avanço da tecnologia, equipamentos eletrónicos como computadores, televisões e telemóveis têm evoluído no sentido de um melhor desempenho e redução das suas dimensões, bem como dos custos de produção associados (Monteiro, 2019). A tecnologia espacial não é exceção e, ao longo do século XXI, o desenvolvimento de pequenos satélites, conhecidos por *SmallSats*, tem tido um crescimento silencioso, porém essencial, nas mais variadas missões espaciais realizadas nos últimos anos (PT Space, 2020).

Ao longo das últimas 4 décadas que antecederam o início do século XXI, o setor espacial era explorado apenas por Estados e por empresas com grandes recursos financeiros e tecnológicos, que desenvolviam e colocavam em órbita grandes satélites, na sua maioria de cariz militar, com fins muito específicos, como navegação, comunicações e observação da Terra (Kim, 2019). Porém, há pouco mais de vinte anos, o avanço da micro e nanotecnologia permitiu o desenvolvimento de sistemas espaciais de baixo custo, compactos e de pequenas dimensões, capazes de serem produzidos em grandes quantidades (Sandau, Brieß, & D'Errico, 2010). Devido ao seu tamanho reduzido, o seu

custo de lançamento para o espaço é também bastante inferior, uma vez que estes satélites podem ser instalados nos espaços livres de veículos espaciais, dedicados ao lançamento de cargas maiores, permitindo também o lançamento de vários *SmallSats* em simultâneo (Wekerle, Filho, Costa, & Trabasso, 2017).

Este tipo de satélites permitiu que países com recursos financeiros mais limitados pudessem realizar as suas próprias missões espaciais, através do desenvolvimento de constelações constituídas por estes pequenos satélites. O facto de terem custos de desenvolvimento, produção e lançamento bastante acessíveis contribui para uma maior democratização do Espaço, permitindo que países financeiramente mais limitados consigam aceder e explorar este novo domínio, conhecido como *New Space* (Monteiro, 2019). Esta nova categoria de satélites pode ser dividida em subcategorias, as quais se distinguem entre si pela sua massa. Os *SmallSats* (ver exemplo na Figura 13) podem então classificar-se como microssatélites (10-100kg), nanosatélites (1-10kg) e picosatélites (0.1-1kg) (NASA, 2017). Dado o formato cúbico que muitos destes satélites apresentam, podem também ser referidos como *CubeSats* e combinados entre si (ver figura 20, no Apêndice C).

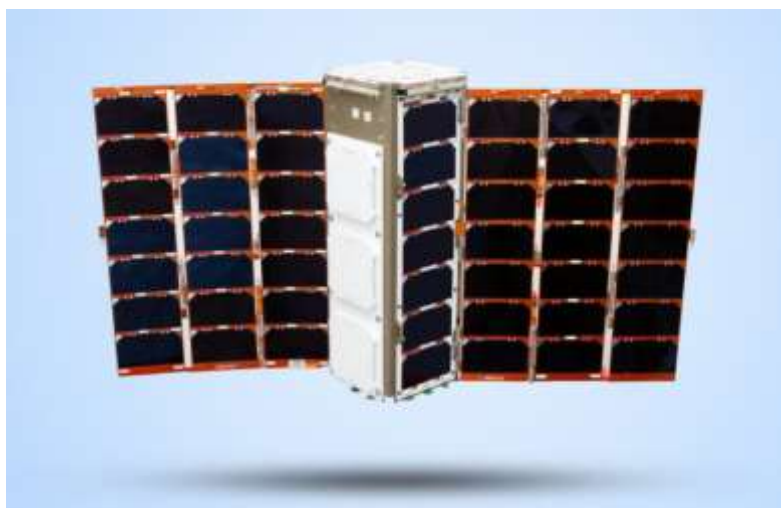


Figura 13 - Nanosatélite LEMUR, desenvolvido pela empresa Spire Global e utilizado para monitorização marítima, aérea e recolha de informação meteorológica

Fonte: <https://spire.com/spirepedia/low-earth-multi-use-receiver/>

Concluindo, os *SmallSats* são pequenas plataformas que têm atraído cada vez mais o interesse não só de grandes agências espaciais como também de universidades e centros de investigação. Com custos de desenvolvimento muito inferiores, quando comparados com satélites de tamanho médio, como os satélites das missões *Sentinel* do programa *Copernicus*, os *CubeSats* podem ser construídos em pouco tempo, tornando assim possível a renovação de constelações e o aumento da competitividade com outros satélites tradicionais nos mais diversos setores, diversificando, desta forma, a oferta atualmente disponível no mercado e permitindo ainda que países como Portugal se tornem “nações espaciais” (Monteiro, 2019).

3.2 Centro Internacional de Investigação do Atlântico – AIR Centre

O AIR Centre é uma agência de investigação internacional sem fins lucrativos, com sede nos Açores (Angra do Heroísmo, Ilha Terceira) e que direciona os seus estudos para o Atlântico, no âmbito do espaço, oceano, clima, atmosfera, energia e ciência de dados (Governo da República Portuguesa, 2017).

Anunciado em 2017, o Centro foi constituído apenas em abril de 2018, com o apoio de diversos governos de países que estão diretamente ligados ao Atlântico, incluindo Portugal (Tavares, 2017). A sua criação teve como principais objetivos promover a criação de emprego altamente qualificado, estudar as interações existentes entre o Oceano e o Espaço e contribuir de forma ativa para um futuro sustentável através da monitorização das alterações climáticas e dos seus efeitos nas regiões em torno do Oceano Atlântico (Mora, 2021).

O AIR Centre tem evoluído bastante e é hoje uma rede internacional de colaboração científica que, em conjunto com várias instituições, universidades e centros de investigação de diversos países associados, trabalha em diversos projetos, como, por

exemplo, o desenvolvimento da “MAGAL Constellation⁸”, que envolvem um investimento global de 35 milhões de euros (Lusa, 2021). É também responsável pela criação de várias infraestruturas, como o Laboratório de Observação da Terra (*EO Lab*), localizado na Ilha Terceira, que integra a rede de laboratórios da ESA e onde são desenvolvidas tecnologias de exploração do fundo do mar, bem como estudos no âmbito da erosão costeira e proteção da biodiversidade (Caçador, 2019). Todas estas atividades têm gerado um impacto científico, económico e social bastante significativo, não só no arquipélago dos Açores, como também nos vários países e regiões banhadas pelo Atlântico (Mora, 2021).

Entre os projetos integrados e apoiados por parte do AIR Centre, está a construção, manutenção e operação da *Atlantic Constellation*, a qual será desenvolvida em cooperação internacional e coordenada pelo AIR Centre (Noceda, 2021). De entre os vários consórcios de empresas interessados em desenvolver a constelação, salientam-se a GEOSAT e a LusoSpace. A GEOSAT foi criada em fevereiro de 2021 pelo consórcio nacional constituído pela Omnidea (55%), a CEiiA (35%) e pelo AIR Centre (10%) (Ferreira, 2021), tendo permitido que Portugal fosse hoje, juntamente com França, um dos poucos países da Europa a ter acesso a dados de resolução submétrica, depois de ter adquirido dois⁹ satélites, um de média e outro de alta resolução espacial. Esta aquisição poderá servir como projeto-piloto para o desenvolvimento de uma nova geração de satélites de alta resolução espacial e temporal, que poderão ser empregues na Constelação do Atlântico (PT Space, 2021). Por outro lado, a LusoSpace é uma empresa de engenharia aeroespacial fundada em 2002, em Lisboa, que oferece soluções de engenharia através do uso de alta tecnologia, com particular incidência na indústria espacial, concebendo e desenvolvendo protótipos, integrando sistemas bastante inovadores e componentes tecnológicos de última geração (Vieira, 2012). De entre os vários projetos desenvolvidos,

⁸ Este projeto tem como objetivo estudar a forma como os climas regionais e locais espalhados pelo globo são afetados pela variação da temperatura e da massa do oceano.

⁹ GEOSAT-1 e GEOSAT-2, respetivamente.

destaca-se o magnetómetro (bússola espacial) MAG28, que permite orientar e monitorizar a posição de satélites em tempo real, através do uso de tecnologia que nunca tinha sido aplicada no Espaço e que já foi utilizada em 3 missões distintas da ESA (PT Space, 2022). A empresa foi criada numa época em que desenvolver *hardware* com aplicações espaciais em Portugal era impensável, no entanto, tem-se vindo a destacar no mercado internacional e hoje encontra-se a preparar, entre outros projetos, o desenvolvimento da futura *Atlantic Constellation* (PT Space, 2022).

Para além de colocar Portugal no grupo restrito de países que já têm missões espaciais, o projeto de desenvolvimento da *Atlantic Constellation* irá fazer parte de um sistema integrado para a observação do Atlântico, denominado “*Atlantic Pole to Pole Observation System of Systems*” (APPOSS), que também se encontra em desenvolvimento por parte do AIR Centre (AIR Centre, 2020). Toda esta estrutura irá incluir e reunir dados não só de alguns dos satélites de observação da Terra operados pela ESA, NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), como também dos microssatélites da *Atlantic Constellation*, UAVs, redes de boias oceanográficas e outros equipamentos e sensores. Estes dados permitirão ao *AIR Centre* estudar o oceano de uma forma mais abrangente e holística, através da informação recolhida e tratada no *EO Lab*, respondendo, desta forma, às necessidades de todos aqueles que direta ou indiretamente dependem do Atlântico (AIR Centre, 2020). É um projeto inovador para Portugal, uma vez que irá ter capacidade de recolher e transmitir dados aos seus utilizadores com uma resolução temporal bastante elevada, inédita para dados provenientes de plataformas semelhantes, garantindo, assim, curtos períodos de revisita e de latência (AIR Centre, 2020).

3.3 Possíveis aplicações

A intensa procura que se vê, nos dias de hoje, por aplicações espaciais para observação da Terra, telecomunicações, ciência, meio ambiente, segurança e defesa poderá ser atendida por meio dos microssatélites que irão integrar a *Atlantic Constellation*. *SmallSats* como aqueles que serão desenvolvidos para a constelação têm

vindo a ser utilizados para diferentes aplicações espaciais, que vão desde o desenvolvimento de competências em estudantes e profissionais do setor espacial, até a missões de carácter humanitário e militar, onde existe o perigo da perda de vidas humanas. Consoante a carga útil de cada microssatélite, a constelação poderá ter as seguintes aplicabilidades:

- **Observação da Terra e estudo do clima** – A observação da Terra por meio de sensores óticos, capazes de operar com diferentes bandas espectrais, pode ser crucial para o desenvolvimento dos setores da energia, da agricultura, das minas ou da indústria petrolífera (PT Space, 2020). Os dados obtidos por meio de sensores de DR podem também ser utilizados para monitorizar zonas afetadas por desastres naturais, que provocam alterações geológicas inesperadas, como tsunamis, inundações, incêndios ou erupções vulcânicas (IDN, 2021). Prever e minimizar os efeitos destas mesmas catástrofes naturais e contribuir para o estudo das alterações climáticas são também duas das capacidades que os microssatélites dedicados a observações meteorológicas poderão fornecer, contribuindo, assim, para o desenvolvimento das indústrias que são diretamente afetadas pelo clima (PT Space, 2020).
- **Telecomunicações** - O espaço tem-se revelado como um meio ideal para melhorar a eficiência das comunicações terrestres, as quais apresentam limitações de cobertura em algumas regiões do mundo. *Smallsats* com equipamentos dedicados a este tipo de serviços seriam, então, capazes de realizar o *downlink* de dados para estações em Terra de forma bastante rápida e para zonas remotas ou de difícil acesso, onde a cobertura é limitada (CGEE, 2017). A presença de um *transponder* poderá também permitir a realização de comunicações 5G para aplicações IoT (*Internet of Things*) e M2M (*Machine to Machine*) (AIR Centre, 2020).
- **Seguimento de navios, aeronaves e mercadorias** – Com recurso a um decodificador SAT-AIS instalado a bordo de um microssatélite, será possível rastrear em tempo quase real a posição exata de um navio e recolher outras

informações, como o seu porto de destino ou o conteúdo da sua carga (PT Space, 2020). Esta informação pode ser combinada com imagens óticas multiespectrais ou com imagens captadas por sensores SAR para fins de vigilância e monitorização marítima, facilitando a visualização de manchas de poluição e a identificação de padrões de navegação associados a atos de pirataria, tráfico de estupefacientes ou pesca ilegal. Quando combinados, os dados permitem identificar os possíveis infratores, quer por meio da informação AIS transmitida pelo navio, quer através de imagens de alta resolução captadas sobre o local. Também poderá ser possível localizar aeronaves sem a necessidade de recorrer a radares em terra, com recurso a um sistema ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance-Broadcast*), que permite a localização exata de aeronaves, mesmo quando estas se encontram a sobrevoar o oceano em locais onde não é possível efetuar comunicações (PT Space, 2020).

- **Segurança, defesa e controlo de fronteiras** – A capacidade de monitorizar a superfície terrestre e marítima a partir do espaço é uma mais-valia para dar resposta a atividades de carácter militar, ligadas à defesa e à soberania nacional, bem como para atividades humanitárias, de apoio a populações afetadas por desastres naturais, por parte de equipas de socorro e resgate (CGEE, 2017). Imagens de alta resolução, fornecidas com elevada periodicidade, possibilitam também a monitorização de regiões fronteiriças de difícil acesso, quer seja em terra, quer no mar, impedindo ações de violação das mesmas e contribuindo para o aumento do CSM em espaços marítimos de maiores dimensões, como é o caso da ZEE nacional (Alén Space, 2019).

3.4 Características

Toda a constelação foi arquitetada pelo AIR Centre, que, juntamente com a GEOSAT e a LusoSpace, irá coordenar o seu desenvolvimento, em cooperação internacional (PT Space, 2021). Os requisitos identificados para a sua construção serão apresentados ao longo deste subcapítulo, com base na apresentação “*Atlantic*

Constellation Preliminary Definition”, elaborada e apresentada pelo AIR Centre em maio de 2020.

De modo a responder aos requisitos propostos inicialmente, a constelação terá as seguintes características:

1. Irá apresentar uma órbita quase-polar, com uma inclinação em torno dos 98° , e síncrona com o sol, ou seja, heliossíncrona, a qual permite que todos os satélites do mesmo plano orbital passem numa certa posição geográfica, sempre à mesma hora solar, garantindo que as observações serão sempre realizadas nas mesmas condições de iluminação. Desta forma, é possível fazer uma melhor comparação entre imagens registadas durante períodos prolongados (ESA, 2010);
2. Os satélites terão também uma órbita “congelada”, amplamente utilizada em satélites de observação da Terra. Este tipo de órbita mantém ou tenta manter o perigeu e a excentricidade constantes, proporcionando aos satélites sempre a mesma altitude a uma determinada latitude geográfica (Hoogland, 2015);
3. A constelação irá orbitar a uma altitude compreendida entre os 650 km e os 700 km, dependendo da sua posição geográfica. Neste intervalo de altitudes, cada satélite irá realizar uma órbita ao redor da Terra a cada 98 minutos, resultando em aproximadamente 14,67 órbitas a cada 24 horas;
4. Relativamente ao número de planos orbitais, quanto maior for o seu número, maior será a resolução temporal de toda a constelação, porém, o seu custo de desenvolvimento aumenta significativamente. Posto isto, o AIR Centre edificou a constelação de modo que esta apresente 4 planos orbitais desfasados 45° entre si, de modo a garantir períodos de revisita de 3 horas (ver Figura 14);

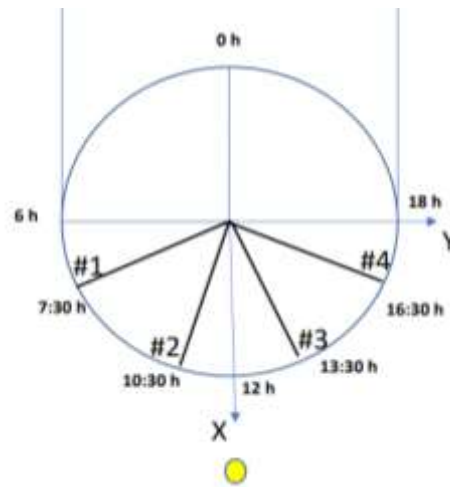


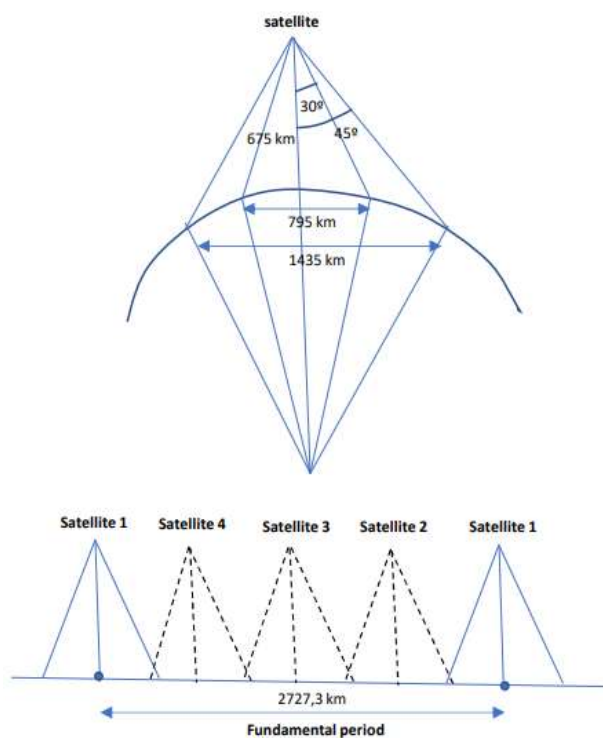
Figura 14 - Seleção ótima da distribuição dos 4 planos orbitais
Fonte: (AIR Centre, 2020)

5. Os satélites terão órbitas ascendentes, ou seja, de sul para norte, que, consoante o seu plano orbital, irão cruzar a linha do Equador às 07:30h, 10:30h, 13:30h ou 16:30h (horário solar aparente). Planos orbitais que cruzam o Equador ao meio-dia solar foram excluídos, dado que a forte iluminação provocada pelo reflexo do Sol na superfície poderá causar problemas técnicos em possíveis sensores óticos que poderão ser acoplados. Planos orbitais que cruzam o equador às 06:00h ou às 18:00h também foram postos de parte, devido à falta de iluminação e à quantidade de sombras que poderão estar presentes nas imagens que serão posteriormente captadas pelos sensores;
6. Quanto ao número de satélites por plano, é necessário garantir um número mínimo que permita que cada ponto na superfície da Terra seja observado diariamente pelos 4 planos orbitais da constelação. Para tal, o AIR Centre teve em conta dois parâmetros: a largura da área de cobertura de um satélite (795km^{10}), a uma altitude padrão de 675 km sobre o equador, e a distância compreendida entre duas passagens consecutivas de um dado satélite num dado plano orbital, à medida que

¹⁰ Valor assumido pelo AIR Centre.

a Terra realiza o seu movimento de rotação (2727.3km). Com base nestes parâmetros, o AIR Centre definiu que cada um dos 4 planos orbitais terá em órbita simultaneamente 4 microssatélites, ou seja, a constelação será composta na sua totalidade por 16 destes microssatélites;

- Os satélites terão a capacidade de direcionar os seus sensores para +/- 30° fora da posição nadiral, sendo que, em emergências, estes poderão ser direcionados para +/- 45° (ver Figura 15), dando, assim, a possibilidade aos sensores de alargar a sua área de cobertura a cada passagem. Esta capacidade é bastante útil, uma vez que permite observar detalhes que uma cobertura efetuada exatamente acima do ponto nadir não permite, como, por exemplo, observar a zona lateral de edifícios ou de navios. Um angulo mais amplo, fora da posição nadiral, permite também menores períodos de revisita sobre um determinado alvo, no entanto, a resolução espacial do sensor é reduzida significativamente (MAXAR, 2020);



*Figura 15 - Largura da área de cobertura de um satélite da constelação e a distância compreendida entre duas passagens consecutivas do mesmo satélite no Equador
Fonte: (AIR Centre, 2020)*

8. Os sensores óticos terão um sistema de varrimento ao longo da trajetória, conhecido por *pushbroom*, que regista imagens de forma instantânea, ao longo de uma linha perpendicular à direção de voo do satélite;
9. A constelação será apoiada por 3 segmentos terrestres, um na ilha de Santa Maria e dois localizados junto ao Polo Norte, que terão a capacidade de receber (*downlink*) 500 Mbps de informação proveniente de cada satélite. As estações localizadas junto ao Polo Norte serão uma mais-valia, pelo facto de os satélites apresentarem órbitas ascendentes e quase polares. Por outro lado, a estação localizada em Santa Maria irá garantir uma forma de controlo local sobre a constelação em caso de emergência. O contacto com os satélites irá realizar-se por telemetria¹¹, de forma a que seja possível monitorizar e controlar toda a constelação, evitar colisões com detritos espaciais, fazer calibrações nos sensores, efetuar o *download* dos dados adquiridos, dirigir e processar esses mesmos dados e encaminhá-los até ao utilizador final, tentando garantir períodos de latência inferiores a 1 hora.

3.5 Sensores

Por se tratar de uma constelação constituída por *SmallSats*, cada um com aproximadamente 15 quilogramas de massa e com capacidade para armazenar 256 GB de dados, a carga útil que cada satélite poderá suportar será bastante reduzida, dadas as limitações que este tipo de plataforma tem, nomeadamente em volume, massa e potência.

Tendo por base todas as aplicabilidades que a informação proveniente desta constelação poderá trazer, e partindo do princípio que dotar os diferentes satélites com sensores distintos será uma mais-valia para a constelação, possibilitando a incorporação de mais tipos diferentes de sensores, face às limitações de peso e espaço, seria útil considerar alguns dos seguintes equipamentos (AIR Centre, 2020):

¹¹ Tecnologia que permite a transmissão de dados e informações à distância.

- Decodificador SAT-AIS para a identificação e monitorização de navios e embarcações;
- Sensor ADS-B para a monitorização do tráfego aéreo;
- *Transponder IoT (Internet of Things)* capaz de fornecer comunicações 5G para vários tipos de utilizadores e serviços, como centros de busca e salvamento e sistemas M2M (*Machine to Machine*), permitindo que diversos tipos de equipamentos comuniquem entre si, enviando dados e informação sobre as suas atividades remotamente, sem necessidade de intervenção humana;
- Sensor ótico multiespectral de alta resolução, preferencialmente inferior a 5m, com uma largura de varredura (*swath*) de 20 quilómetros, capaz de operar nas bandas do visível, NIR e TIR. Este sensor poderá ser utilizado para a aquisição de imagens oceânicas e terrestres, medições da temperatura do mar à superfície, monitorização da concentração de clorofila, visualização da cor da matéria orgânica dissolvida da água e monitorização da cobertura do gelo;
- Sensor ótico hiperespectral de média resolução, inferior a 50 metros, com uma largura de varredura de 100km, capaz de operar em várias bandas para, entre outras funções, monitorizar a proliferação de algas marinhas;
- Recetor GNSS-R capaz de captar sinais dos vários sistemas de navegação por satélite, de modo a calcular a velocidade do vento sobre a superfície, a humidade do solo, as características do gelo, a altura significativa das ondas e a sua direção dominante;
- *Microwave Atmospheric Sounder* para medições da temperatura e pressão atmosférica sobre a superfície do oceano;
- Espectrómetro IR (*infrared*) para medições da temperatura da superfície do mar e localização de coberturas de gelo na superfície do oceano;
- MWR capaz de operar nas bandas X, K, Ka, W ou L, para medições de espessura das áreas geladas e humidade do solo.

Apesar de estes sensores serem considerados ideais para a constelação, atendendo ao racional apresentado anteriormente, não será fisicamente possível integrar todos eles numa só plataforma (satélite). Como tal, deverão ser definidos somente aqueles que cumprem com os pré-requisitos mínimos da constelação e que sejam capazes de satisfazer o maior número possível de potenciais clientes, incluindo a comunidade científica e militar. Poderá ainda colocar-se a opção dos diferentes sensores incorporarem só alguns dos satélites, conjugando os diferentes planos orbitais e os diferentes satélites num mesmo plano orbital, isto é, diferentes sensores em satélites, mas conjugados de forma a possibilitar uma maior e distinta capacidade de observação ou recolha de dados. No entanto, e atendendo às suas dimensões, pesos e mais-valias que trarão para a constelação, quer os decodificadores SAT-AIS, quer os recetores GNSS-R poderão integrar os *payloads* de todos os microssatélites da constelação.

Capítulo 4. Análise e discussão

Pretende-se que a Constelação do Atlântico seja projetada de modo a fornecer dados com períodos de latência inferiores a 1 hora e com resolução temporal bastante elevada, inferior a 4 horas. Este facto é bastante relevante, pois, atualmente, são muito poucas as constelações que fornecem dados de observação da Terra com períodos de revisita tão curtos, sendo que aquelas que o fazem são exclusivas de governos internacionais (NASA–EUA) e, como tal, os seus dados são de difícil acesso e têm custos de aquisição extremamente elevados. Estas características possibilitarão a deteção e a monitorização de eventos de pequena escala, quase em tempo real, que, por norma, não são detetados com a atual periodicidade dos satélites das missões *Sentinel*, no caso do continente Europeu. Os dados provenientes destas missões são, muitas vezes, fornecidos à Marinha Portuguesa através do COMAR/MRCC e do CADOP, que os recebem já devidamente processados pela EMSA (Dias G. , 2022). Os dados são utilizados por estes centros para detetar manchas de poluição, padrões de navegação suspeitos e navios com os sistemas AIS e/ou MONICAP (Monitorização Contínua das Atividades de Pesca) desligados (Nunes M. , 2022). No entanto, pelo que se pode perceber pelas entrevistas realizadas, seria de todo o interesse fornecer dados com uma melhor resolução espacial e temporal, de modo a integrá-los nos sistemas e *softwares* já em uso por estas entidades, dotando-as de maiores capacidades de vigilância e monitorização marítima e, conseqüentemente, possibilitando respostas mais rápidas perante situações diversas (emergências, busca e salvamento marítimo e catástrofes naturais).

O COMAR/MRCC tem à sua disposição a ferramenta IMDatE, desenvolvida e fornecida pela EMSA, a qual incorpora, entre outros serviços, o *CleanSeaNet* (Dias G. , 2022). Neste serviço, são utilizadas imagens fornecidas pelos sensores C-SAR, a bordo dos satélites *Sentinel-1*, os quais permitem identificar e monitorizar possíveis manchas de poluição, provocadas por derrames ilegais ou acidentais de hidrocarbonetos na superfície do oceano (Copernicus, 2017). Porém, a baixa resolução espacial (5m) e temporal (3 a 5 dias) deste sensor não permite identificar da melhor forma a fonte emissora do derrame, caso este se encontre localizado numa zona de elevado tráfego marítimo, como acontece

nas águas junto à costa continental portuguesa (Dias G. , 2022). A utilização de imagens óticas de alta resolução, provenientes da Constelação do Atlântico, seria uma mais-valia para a Marinha Portuguesa quando se pretendesse controlar a posição do navio infrator, uma vez que a elevada resolução temporal oferecida pela constelação iria diminuir a probabilidade de perda da posição do navio alvo, mesmo que este desligue o seu sistema AIS. Imagens óticas também poderão ser utilizadas pelo COMAR/MRCC no planeamento de operações e na localização de pontos de *rendez-vous* no mar, relacionados com a pesca ilegal ou com o tráfico de pessoas, drogas ou armas, podendo ainda ser utilizadas como elemento de prova na identificação dos respetivos navios (Dias G. , 2022).

O CADOP também recorre a fontes de DR para monitorizar navios, identificar padrões de navegação e detetar¹² navios com sistemas de transmissão de posição (AIS, MONICAP, outros) ausentes ou desligados (Nunes M. , 2022). Contudo, devido ao elevado custo das imagens captadas por sensores óticos de alta resolução, as imagens utilizadas para monitorização são do tipo SAR¹³, sendo que são efetuados pedidos pontuais de imagens óticas consoante as necessidades operacionais (*Ibidem*). Apesar de as imagens SAR terem uma série de vantagens, como já foi referido anteriormente, estes sensores não oferecem resoluções espaciais e temporais que permitam satisfazer as necessidades permanentes do CADOP, no que diz respeito à identificação de navios (*Ibidem*). A utilização de uma constelação nacional daria o acesso a um repositório de dados/imagens que permitiriam ao CADOP aumentar o seu nível de conhecimento situacional marítimo, tornando-se mais independente de outras entidades externas, quando fosse necessário recorrer a imagens óticas de alta resolução. Este repositório tornaria o processo de atualização da informação e do panorama marítimo muito mais

¹² O CADOP utiliza o algoritmo da EMSA *Vessel Detection Service*, que permite detetar navios nas imagens satélite e obter a identificação dos mesmos.

¹³ Provenientes dos sensores SAR equipados nos satélites *Sentinel-1*, *TerraSAR-X* e *RADARSAT-2*.

rápido e eficaz, dada a elevada resolução temporal que os sensores abordo dos satélites da Constelação do Atlântico terão.

Concluindo, através de duas visitas/entrevistas realizadas ao COMAR e ao CADOP (ver síntese no Apêndice E), foi possível perceber que são várias as utilidades que os dados provenientes da Constelação do Atlântico poderão trazer, nomeadamente, permitir à Marinha Portuguesa o aumento da eficiência nas suas ações de vigilância e monitorização dos espaços marítimos, em zonas de difícil acesso ou em locais onde os meios navais não se encontram empenhados. A constelação irá, assim, aumentar o nível de conhecimento situacional sobre o panorama marítimo e permitir ainda o acesso fácil a dados atualizados com maior frequência e melhor resolução espacial do que aqueles que se encontram atualmente em uso.

Tendo como referência todas as oportunidades identificadas anteriormente, as mais-valias que facilmente resultarão da implementação da Constelação do Atlântico, bem como os pontos menos fortes no que diz respeito à componente espacial, será elaborada uma análise SWOT (*strenghts, weaknesses, opportunities and threats*), tendo como base o exposto ao longo dos capítulos anteriores. Desta forma, serão sistematizados todos os eventuais benefícios que a utilização de dados provenientes de uma futura constelação de satélites, como a *Atlantic Constellation*, poderá trazer aos organismos da Marinha Portuguesa, nomeadamente aos que detêm responsabilidades na área da vigilância e monitorização dos espaços marítimos nacionais.

4.1 Pontos fortes (*strenghts*)

Com o lançamento de uma constelação de microssatélites dedicados à observação da Terra, Portugal, através de todas as entidades nacionais com responsabilidades de vigilância e monitorização marítima, terá à sua disposição a possibilidade de aceder a uma vasta quantidade de dados. Estes dados serão disponibilizados aos seus utilizadores com uma resolução temporal bastante elevada, em virtude do número considerável de satélites que irão integrar a constelação e que permitirão períodos de revisita inferiores a 4 horas. Apesar de já existirem satélites bastante sofisticados, como aqueles que integram

o segmento espacial do programa *Copernicus*, a frequência com que estes transmitem os seus dados é muito inferior e pode facilmente ultrapassar as 72 horas, o que impede o acompanhamento em quase tempo real de qualquer evento ou fenómeno que se desenrole em alto mar, ou mesmo em zonas costeiras.

Os 16 satélites que irão integrar a constelação terão, consoante a sua disponibilidade, 3 estações em terra, que serão parte integrante do segmento terrestre da constelação. Como consequência do elevado número de satélites, estas estações terrestres serão capazes de receber, processar e transmitir para as estações de controlo e para os terminais dos utilizadores uma vasta quantidade de dados, garantindo períodos de latência inferiores a uma hora e perfazendo um total de 42495 GB de informação transmitida a cada 3 dias (AIR Centre, 2020). No entanto, a disponibilidade destas estações para efetuar o *download* dos dados estará sempre dependente do número de satélites que irão passar pela zona de cobertura das estações num determinado momento.

A aposta em satélites mais pequenos, capazes de fornecer dados com elevada frequência e equipados com sensores óticos de muito alta resolução, SAT-AIS e sistemas como o GNSS-R, com capacidade de recolha de dados METOC, poderá dar à Marinha Portuguesa, mais especificamente ao CADOP e ao COMAR/MRCC, a capacidade de detetar embarcações mais pequenas de madeira ou fibra, monitorizar e detetar navios infratores que naveguem com o AIS desligado, detetar e rastrear objetos à deriva no mar, monitorizar áreas marinhas protegidas, acompanhar incidentes marítimos (ver Figura 16) e auxiliar no planeamento de missões e exercícios militares.



Figura 16 - Imagem de satélite que mostra a existência de um incêndio a bordo de um navio

Fonte: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/148423/satellite-observes-ship-fire-off-sri-lanka>

Os dados transmitidos e posteriormente processados poderão ser recebidos pela Marinha Portuguesa e inseridos como camadas de informação nos sistemas de vigilância marítima em uso pelo COMAR/MRCC, como o *Oversee*. Este sistema foi desenvolvido para prestar apoio às operações marítimas, nomeadamente em ações de fiscalização e de busca e salvamento marítimo, pelo que seria muito útil se lhe fosse adicionada uma camada extra de informação, de modo a receber imagens e dados captados pelos sensores dos satélites da *Atlantic Constellation*. Isto faria com que as ações de busca e salvamento marítimo fossem realizadas com acesso a mais e melhores informações e que fosse possível monitorizar e controlar da melhor forma qualquer tipo de incidente, bem como identificar possíveis infratores. Por outro lado, o CADOP poderia recolher, analisar e disseminar dados e ainda elaborar os produtos necessários para a preparação de um determinado teatro de operações, em termos de informações sobre infraestruturas, ambiente, cartografia e geografia. Não se pretende que a informação recebida venha a substituir o emprego de navios ou aeronaves, mas sim complementar a informação disponível no momento, por forma a que se consiga obter um panorama de superfície bem

esclarecido que possa contribuir para o aumento do CSM e para o apoio à tomada de decisão, em todos os espaços marítimos sob jurisdição e/ou responsabilidade nacional. Esta futura capacidade espacial nacional tornará estas entidades mais independentes no que toca à aquisição de imagens óticas de alta resolução, as quais, anteriormente, eram pontualmente pedidas a fornecedores nacionais e internacionais e poderiam ter um custo relativamente elevado.

4.2 Pontos fracos (*weaknesses*)

Quando se pretende utilizar satélites para monitorizar uma determinada zona marítima, há que ter em conta uma série de fatores. De facto, os microssatélites que irão integrar a *Atlantic Constellation* irão trazer grandes benefícios, no entanto, apesar do seu processo de desenvolvimento ser muito mais barato do que a construção e colocação em órbita de satélites convencionais (que facilmente chega às centenas de milhões de euros), o custo de desenvolvimento desta constelação, apesar de muito inferior, é ainda significativo e, como tal, seria vantajoso desenvolvê-la em cooperação internacional, por forma a aliviar os custos de produção e de lançamento dos satélites. Outra limitação inerente à utilização de microssatélites é a sua fraca capacidade de carga, sendo que o número de sensores que conseguem transportar dentro de si é condicionado pelo seu tamanho e peso.

O sensor ótico que irá equipar a constelação é também um fator limitativo quando se pretender recolher informações sobre um determinado alvo e as condições meteorológicas não forem as ideais, uma vez que a simples presença de nuvens impede que a radiação refletida pelos objetos seja captada pelo sensor ótico (ver Figura 17). Torna-se também muito difícil identificar qualquer alvo durante os arcos noturnos, dado que, durante este período, os sensores óticos apenas registam a energia emitida de forma natural pelo alvo, ou seja, a radiação infravermelha térmica.



Figura 17 - Imagem multiespectral que mostra a impossibilidade de visualizar certas áreas devido à presença de nuvens

Fonte: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?zoom=10&lat=41.9&lng=12.5&themeId=DEFAULT-THEME&toTime=2022-06-19T15%3A12%3A57.619Z>

Para contrariar esta situação, seria necessário equipar os microssatélites com um sensor ativo, do tipo SAR, capaz de recolher dados de dia ou de noite, independentemente das condições meteorológicas. Esta tecnologia é bastante complexa e pode custar vários milhões de euros, no entanto, empresas como a finlandesa ICEYE já se encontram a desenvolver satélites de pequenas dimensões, cada um dos quais com um sistema SAR miniaturizado acoplado, muito mais pequeno e barato do que os sistemas SAR convencionais (ICEYE, 2022). A combinação entre imagens SAR e imagens óticas iria certamente enriquecer o conteúdo informativo dos produtos provenientes da *Atlantic Constellation* e, como tal, seria de aproveitar o desenvolvimento de um sistema SAR por parte da empresa portuguesa *Tekever*, que tem trabalhado no sentido de equipar *drones* e microssatélites com esta tecnologia (Lusa, 2022).

Por último, poderão existir constrangimentos orçamentais na hora de adquirir os produtos provenientes dos sensores dos microssatélites, já que a constelação será desenvolvida numa cooperação entre empresas privadas nacionais e internacionais e,

como tal, os seus produtos terão de ser pagos, caso a Marinha os solicite. Este aspeto coloca-os em relativa desvantagem perante outros satélites que disponibilizam gratuitamente os seus dados e, como tal, estes deverão ter uma relação custo/qualidade bastante superior, para que valha a pena adquiri-los. Pode ser ainda equacionada a compra dos dados por parte das Forças Armadas, como um todo, diminuindo, assim, o seu custo de aquisição, tendo em conta que o valor da compra e a disponibilização desses mesmos dados seriam repartidos pelos diversos ramos.

4.3 Oportunidades (*opportunities*)

Portugal tem uma das maiores ZEE do mundo, que necessita de ser vigiada e monitorizada, mesmo com os poucos meios que tem à sua disposição. Perante a proposta de extensão da plataforma continental, torna-se evidente que os meios navais que atualmente estão ao dispor da Marinha Portuguesa não são suficientes para garantir a vigilância e monitorização sobre todo o vasto espaço marítimo sobre o qual Portugal tem jurisdição e responsabilidades. Como tal, recorrer a dados e produtos provenientes de sensores de DR poderá ser uma boa opção para gerir da melhor maneira possível os espaços marítimos sob soberania e/ou jurisdição nacional, espaços estes que poderão vir a ter a sua área aumentada quase para o dobro, sendo assim uma excelente oportunidade para a Marinha de garantir a sua vigilância e monitorização, mesmo com os poucos meios que atualmente dispõe. A utilização de satélites com capacidade de DR é uma mais-valia para a edificação de CSM, dada a capacidade que os seus sensores têm de captar vários tipos de imagens ou de receber informações a partir de sistemas AIS a bordo de navios, complementando, assim, o panorama já existente, mas incompleto, construído por sensores em terra.

Durante largos anos, o desenvolvimento de satélites estava apenas destinado a grandes agências de países com recursos financeiros mais volumosos, mas, devido aos avanços da microtecnologia, atualmente é possível desenvolver satélites muito mais pequenos, compactos e com custos de produção associados bastante reduzidos, quando comparados com os satélites convencionais. O desenvolvimento de microssatélites

permite que empresas privadas e Estados financeiramente mais limitados possam ter acesso ao Espaço e, assim, serão capazes de retirar todos os benefícios que dele advêm. Uma das grandes vantagens destes *SmallSats* é o seu potencial para criar uma ampla rede de satélites capaz de garantir uma cobertura total da superfície terrestre e ainda curtos períodos de revisita sobre um determinado local. Atualmente, são várias as empresas que estão a investir neste tipo de plataformas, não só pelo seu baixo custo de produção, como também pela sua versatilidade, dado que podem ser empregues em vários espectros de missões, consoante o seu *payload*, e ainda pela intensa procura que existe, na atualidade,

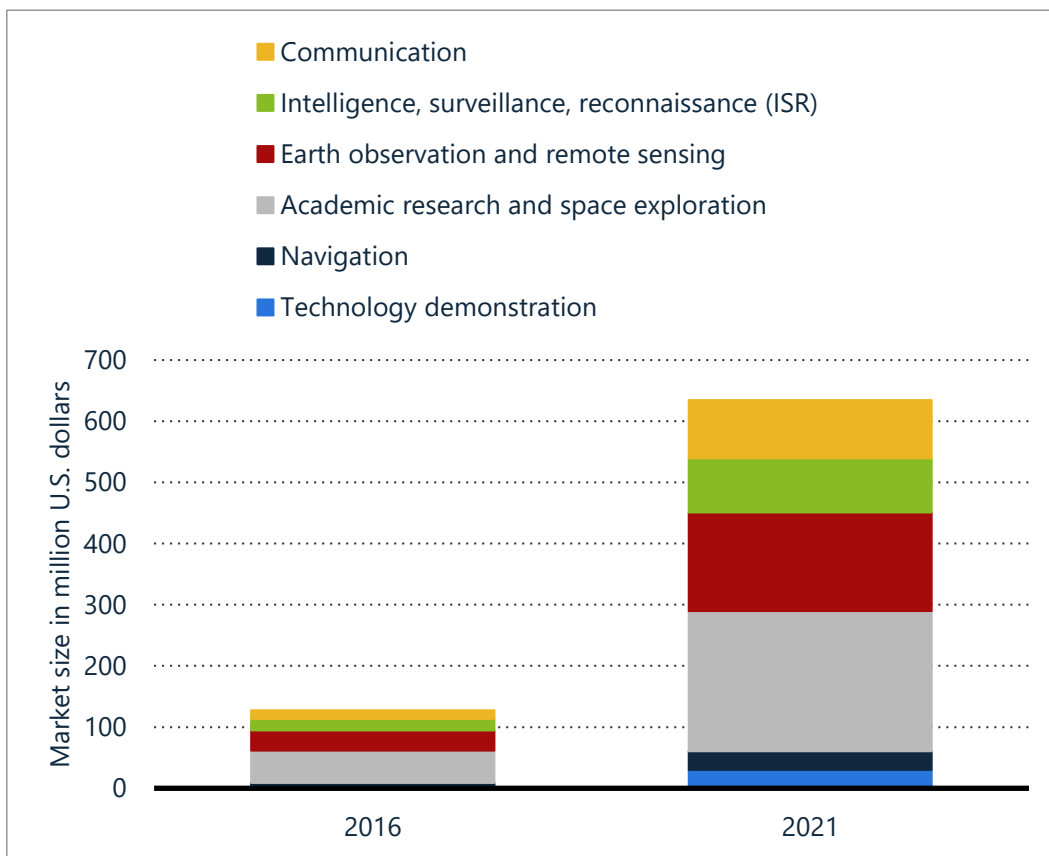


Gráfico 1 - Valor de mercado da indústria de *SmallSats* entre 2016 e 2021

Fonte: <https://www.statista.com/statistics/792990/estimated-global-nano-satellite-market-by-application/>

no mercado internacional, pelos seus produtos, que podem ser muito úteis a setores como a defesa, a energia ou a agricultura. É uma indústria em expansão e, como demonstra o Gráfico 1, tem movimentado milhões de dólares nos últimos anos.

O projeto para a construção dos 16 microssatélites que irão formar a *Atlantic Constellation* irá permitir que Portugal volte a colocar em órbita satélites espaciais e que possa tirar partido de todas as vantagens inerentes à exploração de dados de DR, nomeadamente a edificação de CSM necessário para garantir a segurança dos espaços marítimos nacionais. Além do mais, a sua conceção poderá servir de incentivo ao desenvolvimento de outros projetos que se encontram em fase de concurso, como é o caso do projeto para construção, operação e exploração de um porto espacial na ilha de Santa Maria. Este porto terá como propósito potenciar o lançamento de pequenos satélites por meio de uma nova geração de microlançadores espaciais de baixo custo e impacto ambiental, por forma a complementar as instalações para sistemas de lançamento de médio e grande porte existentes na Guiana Francesa. Quando concluídas, estas instalações irão permitir criar um ecossistema espacial na ilha de Santa Maria e possibilitarão o lançamento dos satélites da *Atlantic Constellation* e outros em solo nacional.

Um projeto desta dimensão irá criar as condições ideais para atrair novos investimentos e para promover a transferência de tecnologia e ideias inovadoras entre empresas, centros de investigação e universidades nacionais e internacionais. Possibilitará também a evolução e a criação de novos projetos, muito graças às lições aprendidas, à troca de informação e experiência e à criação de novas parcerias. No ponto de vista internacional, este projeto será uma fonte de prestígio nacional e servirá para promover a imagem de Portugal como parceiro confiável, de modo a que possa no futuro participar ativamente em projetos internacionais ao abrigo da EU e da NATO.

4.4 Ameaças (*threats*)

Em 1957, alguns meses depois de o satélite soviético Sputnik se ter tornado no primeiro objeto lançado para o espaço, os EUA lançaram o Explorer 1, dando assim início a uma corrida espacial disputada entre a União Soviética e os EUA que resultou, desde então, no envio de centenas de satélites para o Espaço todos os anos (NASA, 2017).

Foram várias as missões que inicialmente tiveram sucesso e que levaram a que o Espaço ficasse a pouco e pouco congestionado por vários satélites, no entanto, ocorreram

também bastantes fracassos, como explosões e colisões, que provocaram a libertação de milhares de resíduos espaciais de diversos tamanhos, que ainda hoje se encontram em órbita (Space Debris Office, 2022). Atualmente, segundo a ESA, existe mais de 1 milhão de objetos com mais de 1 centímetro a orbitar em redor da Terra, desde satélites inativos, restos de estágios de foguetões e até ferramentas perdidas, como parafusos e câmaras (ver Gráfico 2), no entanto, apenas cerca de 30.000 são detetados e acompanhados por sistemas de *Space Surveillance and Tracking*¹⁴ (SST) (ESA, 2022). Por mais pequenos que sejam os fragmentos, estes podem colocar em perigo as diversas missões espaciais existentes, dada a velocidade a que se deslocam no espaço, podendo esta chegar facilmente aos 40.000 km/h (Sylvestre & Parama, 2017). A estas velocidades, qualquer

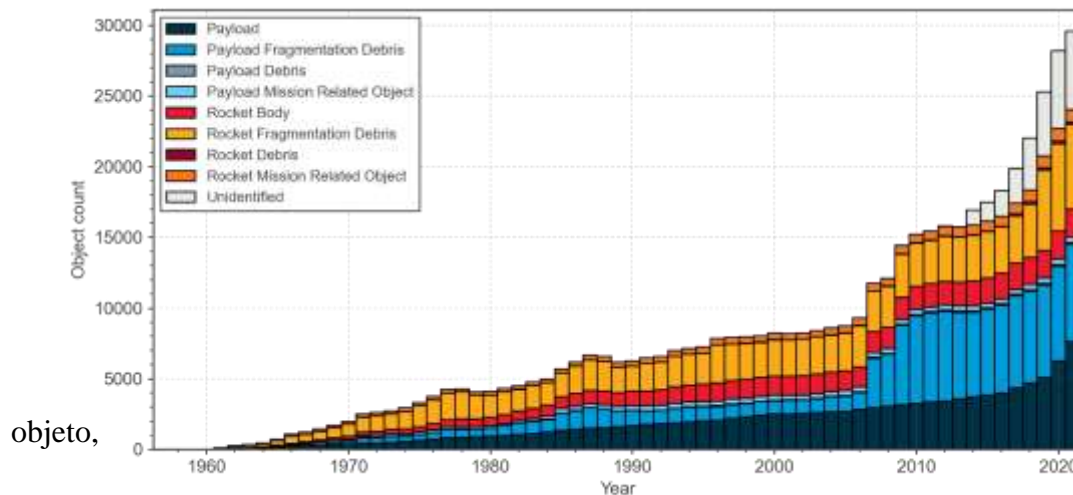


Gráfico 2 - Evolução do número de resíduos espaciais detetados desde 1960
Fonte: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/11/Evolution_of_space_debris

independentemente do seu tamanho, pode provocar grandes estragos em satélites operacionais, colocando em causa o funcionamento de diversos sistemas indispensáveis para a segurança e o bem-estar da sociedade, ou até pondo em risco a vida de astronautas.

¹⁴ Sistema europeu dedicado à deteção, monitorização e cálculo das órbitas de detritos espaciais, de modo a alertar operadores de satélites de possíveis colisões (Neves, 2021).

Todos os dias ocorrem diversas colisões entre fragmentos ou entre fragmentos e objetos pertencentes a missões espaciais em curso, mas foi em 2009 que ocorreu aquele que é considerado o evento em que foi libertado o maior número de detritos espaciais: a colisão entre um satélite militar russo e um satélite comercial da empresa americana *Iridium* (Murtaza, Pirzada, Xu, & Jianwei, 2020). O último incidente grave deste tipo deu-se em novembro de 2021, quando a Rússia decidiu testar um míssil antissatélite (ASAT – *anti-satellite weapon*) contra um dos seus próprios satélites que se encontrava inativo, gerando milhares de fragmentos que colocam constantemente em causa a integridade física de todas as missões espaciais que se encontram ativas (Chelsea, 2021). Estes detritos, ao colidirem com outros, originam ainda mais detritos, resultando numa reação em cadeia conhecida como síndrome de Kessler (Virgili & Krag, 2015).

É evidente o constante aumento do número de satélites no espaço, como demonstram os Gráfico 3 e 4, sendo que, atualmente, são as empresas privadas aquelas que mais se destacam em número de lançamentos de novos satélites para fins comerciais (Petroni & Santini, 2012). No Gráfico 3, é facilmente identificável o crescimento exponencial que o lançamento de satélites para o Espaço tem tido, principalmente nos últimos 3 anos.

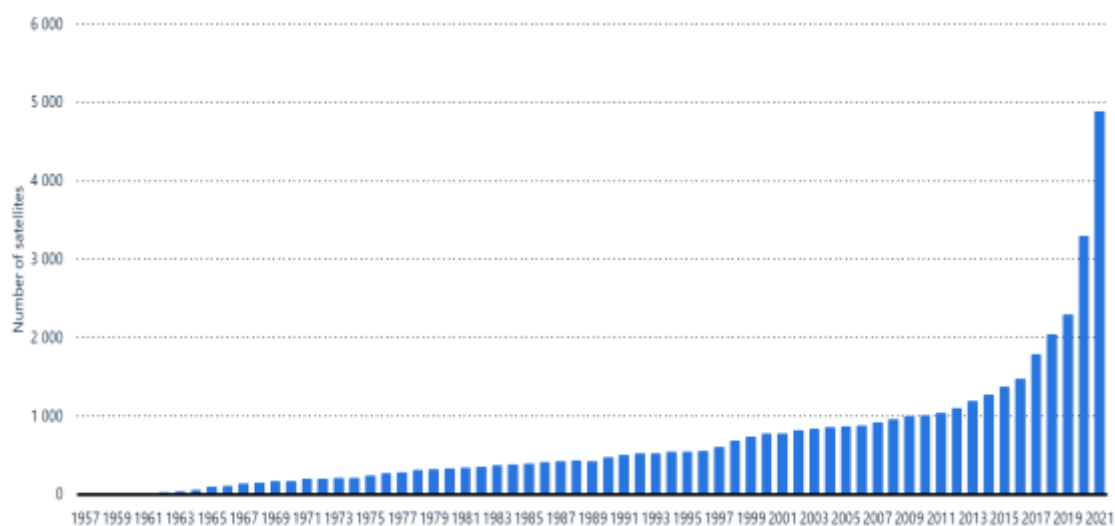


Gráfico 3 - Número de satélites ativos por ano desde 1957 até 2021

Fonte: <https://www.statista.com/statistics/897719/number-of-active-satellites-by-year/>

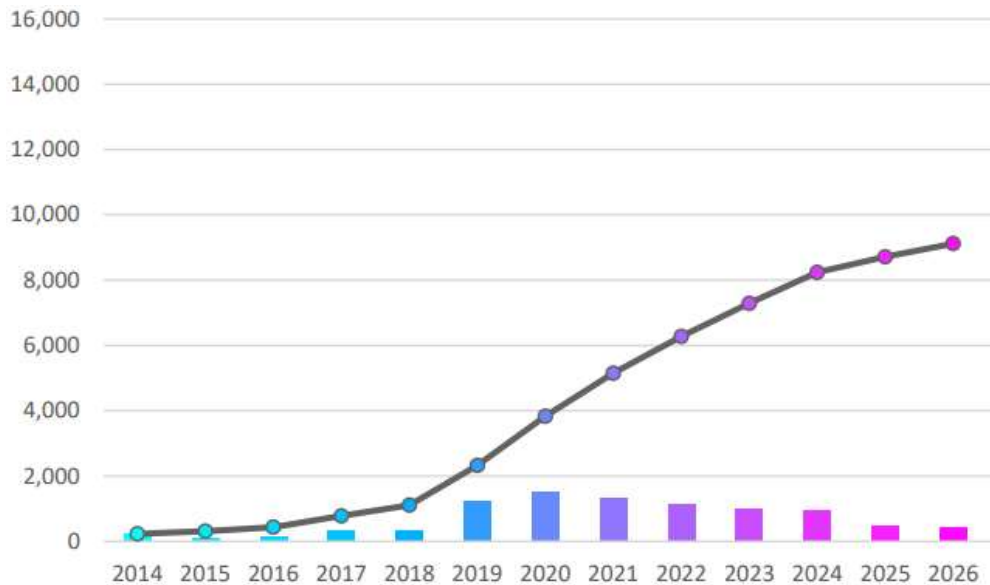


Gráfico 4 - Evolução esperada do número de satélites em órbita e previsão do número de satélites lançados por ano até 2026 (histograma)
Adaptado de: (Curzi, Modenini, & Tortora, 2020)

Grandes constelações de satélites, como a *Starlink*, da empresa *SpaceX*, têm recebido várias críticas por parte da comunidade científica, independentemente da qualidade dos seus projetos, por constituírem uma potencial fonte de poluição espacial (Murtaza, Pirzada, Xu, & Jianwei, 2020). Apesar de muitas empresas garantirem que retiram os seus satélites de órbita no final da sua vida útil, de acordo com os regulamentos internacionais, há muitos aspetos que não estão sob controlo de ninguém, tais como a colisão com outros satélites ou com detritos espaciais impossíveis de serem detetados (*Ibidem*). Estes e outros fatores associados, como um possível erro de precisão num sistema de rastreio de detritos maiores, como o SST, aliados ao grande número de satélites que estão continuamente a ser colocados no Espaço, podem provocar uma reação em cadeia catastrófica e descontrolada que pode colocar em risco vários satélites imprescindíveis para garantir o bem-estar e a segurança da população (Neves, 2021).

O local onde existe maior presença de lixo espacial é a camada orbital mais próxima da superfície da Terra, compreendida entre os 200 km e os 2.000 km de altitude e conhecida por *Low Earth Orbit* (LEO) (Murtaza, Pirzada, Xu, & Jianwei, 2020). Esta região é particularmente favorável ao emprego de satélites dedicados à observação da Terra, por permitir a captação de imagens com elevada resolução espacial e devido aos baixos níveis de energia necessários para colocar os satélites em órbita. Porém, apesar de o FOV dos sensores ser mais reduzido, esta zona é bastante apelativa para a operação de grandes constelações que garantem uma cobertura global da Terra. Devido à demanda exaustiva pela camada LEO, esta tem vindo a ficar cada vez mais congestionada e o número de resíduos espaciais tem vindo a aumentar cada vez mais. Como tal, o envio de 16 microssatélites para a camada LEO da Terra, bastante requisitada e já muito congestionada, poderá colocar em risco os próprios satélites da *Atlantic Constellation*, devido à alta densidade de detritos espaciais existentes nesta região; ao mesmo tempo, a própria constelação poderá ser uma fonte geradora de ainda mais detritos espaciais, pelos mais diversos motivos, contribuindo para aumentar ainda mais o nível de poluição espacial existente.

Por fim, outra ameaça identificada é a existência de diversas empresas privadas a nível internacional que operam constelações capazes de fornecer dados de muito alta resolução espacial e temporal, porém, a custos talvez mais reduzidos, como são o caso da *Airbus*, *Maxar*, *ImageSat International* e *PlanetLab*.

4.5 Resumo da análise SWOT

Para uma melhor perceção de toda a análise SWOT realizada ao longo deste capítulo relativamente aos benefícios e constrangimentos em torno do desenvolvimento e utilização dos dados provenientes da *Atlantic Constellation*, toda a informação será resumida e apresentada sob o formato de tabela.

Tabela 1 - Resumo da análise SWOT realizada

	Fatores Positivos	Fatores Negativos
Fatores Internos	<p>Pontos fortes (<i>strengths</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidade de dados; - Cobertura global; - Elevada resolução temporal dos dados; - Períodos de revisita inferiores a 4 horas; - Sensores dedicados (ex.: SAT-AIS e GNSS-R); - Possibilidade de integração dos dados em sistemas/softwarewares já em uso na Marinha Portuguesa (ex.: <i>Oversee</i>). 	<p>Pontos fracos (<i>weaknesses</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Custos de desenvolvimento; - Utilização de lançadores de satélites não nacionais; - Integração de sensores limitada ao peso e tamanho reduzido dos satélites; - Capacidade de armazenamento de dados diminuta; - Sensores óticos limitados pelas condições METOC existentes e pela ausência de uma fonte de iluminação (Sol); - Custos para os “clientes” (<i>no free data</i>).
Fatores Externos	<p>Oportunidades (<i>opportunities</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> - ZEE Portuguesa extensa; - Proposta para a extensão da plataforma continental portuguesa; - Redução da disponibilidade de navios (dispositivo naval) e aumento da área marítima a patrulhar; - Complementação de informação proveniente de fontes externas (ex.: AIS e MONICAP); - Desenvolvimento da indústria nacional; - Integração da Academia nacional em projetos inovadores; - Construção de um ecossistema espacial nos Açores, que permitirá o seu desenvolvimento socioeconómico; - Reconhecimento internacional. 	<p>Ameaças (<i>threats</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lixo espacial; - Elevado congestionamento da região LEO; - Existência de outras constelações já em funcionamento e operadas por empresas privadas, que fornecem os mesmos serviços e a custos mais baixos.

4.6 Linhas de ação a propor – Análise SWOT

Tendo como base a análise SWOT realizada anteriormente, o desenvolvimento deste projeto traria, efetivamente, alguns benefícios para as empresas nacionais, já que lhes permitiria adquirir a experiência e o “*know-how*” necessários para começarem a desenvolver as suas próprias missões espaciais, podendo este ser o passo necessário para conseguirem competir com outras empresas de maiores dimensões e que se encontram neste setor há vários anos. Sendo, atualmente, grande a concorrência neste setor e existindo já diversas constelações que oferecem os mesmos produtos e serviços a preços muito mais acessíveis, a competição por ferramentas e *outputs* distintos e direcionados às reais necessidades dos clientes é enorme. Para além disso, como foi referido anteriormente, temos vindo a assistir, nos últimos anos, a um aumento exponencial do número de lançamentos de satélites e de constelações para o Espaço, principalmente para a órbita mais baixa em torno do nosso planeta, aumentando cada vez mais o seu congestionamento e potenciando o crescimento do número de resíduos espaciais existentes. Como consequência deste aumento de satélites em órbita, o volume de dados transmitidos e disponíveis também tem sido cada vez maior, não existindo atualmente capacidade para efetuar o seu processamento em tempo útil.

O desenvolvimento da *Atlantic Constellation* será algo que irá aumentar a edificação de uma componente espacial em Portugal, com recurso exclusivo a financiamento e mão de obra nacionais, para além de todas as vantagens e mais-valias anteriormente apresentadas, principalmente o tempo de revisita projetado para a constelação e quantidade de dados disponibilizados diariamente, algo nunca antes visto até à data. No entanto, os pontos menos fortes não poderão ser descurados, o que nos poderá direcionar para a exploração de novas opções, de implementação mais rápida, menos dispendiosa e com resultados a muito curto prazo.

Desta forma, propõe-se criar, dentro da Marinha, a capacidade de processamento e armazenamento de dados, com a possibilidade de estes poderem ser inseridos nos sistemas e *softwares* já em uso pelo COMAR/MRCC e pelo CADOP. Para conseguir dotar a Marinha com estas capacidades, seria necessário investir numa infraestrutura de

dados, em métodos de processamento e na formação de uma equipa de técnicos e analistas capazes de operar os sistemas, de processar os dados e de criar os algoritmos necessários para os diferentes *outputs* requeridos. Seria também necessário que a equipa estivesse constantemente atenta ao mercado, de modo a verificar quais os dados com maior interesse. Ao contrário daquilo que muitas vezes acontece, os dados já processados por outras entidades não são direcionados para as reais necessidades e especificidades de algumas das missões da Marinha, algo que deixaria de acontecer com o desenvolvimento desta capacidade. Os dados seriam, assim, processados previamente a nível interno, dependendo do objetivo da sua análise, com vista a gerar conhecimento específico para um determinado fim. Seria uma mais-valia se o sistema desenvolvido fosse de arquitetura aberta, de modo a possibilitar a integração de dados que se encontram disponíveis de forma gratuita no mercado e de dados adquiridos de sensores específicos, de muito alta resolução e consequentemente, com custos de aquisição elevados. De igual forma, também seria possível a partilha de dados com o menor tempo de latência possível, direcionando melhor a informação e mantendo-a constantemente atualizada. Era importante também considerar a edificação de um sistema mais leve, semelhante ao *Oversee*, que fosse possível de ser integrado a bordo das unidades navais, Forças destacadas (mergulhadores ou fuzileiros) ou nas capitánias. Este sistema teria capacidade de receber os dados processados e, através da disponibilização de informação, poderia apoiar a tomada de decisão dos comandos durante a execução de uma missão (Rodrigues, 2017).

Concluindo, propõe-se, então, dotar a Marinha com capacidades de processamento e armazenamento, baseada numa arquitetura de camadas de serviços aberta. Este sistema seria desenvolvido para receber dados gratuitos ou contratualizados e adquiridos sobre áreas específicas, de modo a prestar apoio a qualquer tipo de missões e a aumentar os níveis de vigilância e monitorização, garantindo a segurança dos espaços marítimos nacionais. Poder-se-ia ir ainda mais longe e criar esta capacidade ao nível das Forças Armadas, desenvolvendo um sistema conjunto, onde os *inputs* seriam todos os dados e imagens em bruto e, posteriormente, cada ramo processá-los-ia de acordo com as

suas necessidades, resultando em *outputs* direcionados. Desta forma, os custos de aquisição poderiam ser repartidos, o que seria benéfico para todos os ramos.

Conclusões

Ao longo da elaboração desta dissertação de mestrado, foram abordados vários temas e conceitos relacionados com o Espaço, de modo a identificar de que forma é que os satélites, em particular aqueles que irão integrar a *Atlantic Constellation*, poderão auxiliar a Marinha Portuguesa no cumprimento de uma das suas missões mais importantes, a vigilância e monitorização dos espaços marítimos nacionais.

O tema desta dissertação surgiu numa altura em que a *PT Space* começou a dar os seus primeiros passos como entidade responsável por promover a participação das empresas portuguesas ligadas ao setor espacial nos programas da ESA. Reconhecendo a importância que o Espaço e as tecnologias que lhe estão associadas têm hoje em dia no bem-estar e na segurança das populações, foi aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros nº30/2018 a “Estratégia Portugal Espaço 2030”, que procura mobilizar os diversos setores nacionais para o Espaço, aumentar o desenvolvimento tecnológico, criar emprego qualificado e potenciar o crescimento económico do país. A escolha da entidade responsável pela execução desta estratégia foi precisamente a *PT Space*, que decidiu aproveitar o crescimento do setor das novas indústrias ligadas ao Espaço (*New Space*), onde o financiamento privado é cada vez maior, para proporcionar a Portugal o acesso a dados provenientes de sensores instalados a bordo de microsatélites. Com base neste estudo, foi possível perceber que são vários os mercados que tiram partido desde tipo de dados, os quais estão ligados principalmente às áreas da observação da Terra, estudo do clima, telecomunicações, monitorização de navios, aeronaves e mercadorias, segurança, defesa e controlo de fronteiras.

As Forças Armadas e o Ministério da Defesa Nacional também já reconheceram as potencialidades que os satélites têm a oferecer para o setor da Defesa, principalmente na monitorização dos espaços marítimo, aéreo e terrestre e no apoio às forças nacionais destacadas, através do fornecimento de dados de PNT, comunicações, ISR, aviso antecipado e dados METOC. Como tal, foi também elaborada uma estratégia de modo a responder às necessidades das Forças Armadas e a contribuir para os interesses da Defesa

Nacional, intitulada “Estratégia da Defesa para o Espaço”, que visa, entre outras coisas, o desenvolvimento e a utilização de satélites nacionais com vista a potenciar a autonomia e a liberdade de ação das Forças Armadas no que toca às ações de vigilância e monitorização dos espaços sob responsabilidade/jurisdição nacional.

A monitorização dos espaços marítimos nacionais é fundamental, dada a extensa área marítima sobre a qual Portugal tem responsabilidades. Os espaços marítimos sob soberania e/ou jurisdição nacional são repletas de recursos naturais, onde diariamente são realizadas centenas de atividades e travessias. Apesar de existirem várias entidades que operam sistemas e possuem meios que lhes permitem gerar algum CSM essencial para conseguirem localizar todas as ameaças e riscos que ocorrem no domínio marítimo português, estes não são suficientes para cobrir esta extensa área e evitar efeitos indesejados que coloquem em risco a segurança marítima nas vertentes do *safety* e *security*. Dada a dimensão dos espaços marítimos nacionais, são necessários meios com elevada autonomia, capazes de observar a grande altitude extensas áreas e de fornecer dados com elevada resolução espacial e temporal. Isto só é possível com recurso a uma constelação de satélites, equipados com sensores de observação da Terra, a orbitar o mais próximo possível do nosso planeta, na camada LEO, e de forma síncrona com Sol.

De modo a fazer cumprir a “Estratégia Portugal Espaço 2030” e a contribuir para as necessidades das Forças Armadas Portuguesas, nomeadamente na vigilância e monitorização dos espaços marítimos nacionais, a *PT Space* propôs à indústria nacional ligada ao setor espacial o desenvolvimento da *Atlantic Constellation*, em estreita colaboração com o AIR Centre. Esta será uma constelação de microssatélites de fácil desenvolvimento e colocação em órbita, orientada para o estudo e observação do oceano Atlântico. Será também capaz de fornecer às Forças Armadas, nomeadamente à Marinha Portuguesa, um panorama de superfície muito completo, abrangente e prolongado no tempo, o qual irá contribuir para o aumento do Conhecimento Situacional Marítimo, algo que os navios, aeronaves, radares e sistemas terrestres de AIS atualmente em uso não são capazes de oferecer. A constelação será composta por 16 microssatélites que irão permitir períodos de revisita inferiores a 4 horas e resoluções espaciais bastante elevadas.

Relativamente à definição dos sensores que irão equipar os satélites, a qual ainda não está completamente fechada, é necessário atender às limitações de carga que cada satélite terá, devido ao seu tamanho reduzido. No entanto, seria de considerar equipar cada um com pelo menos um decodificador SAT-AIS e um recetor GNSS-R, os quais irão permitir o estudo e a monitorização do oceano Atlântico por toda a comunidade interessada, incluindo a Marinha Portuguesa. De referir que os sensores SAR seriam um dos mais benéficos, no entanto, não será uma opção exequível, mas os sensores multiespectrais também trarão muitos benefícios, principalmente se forem de alta resolução.

Infelizmente, a camada mais baixa da órbita terrestre (LEO) já se encontra extremamente congestionada e a presença de lixo espacial é cada vez mais elevada, chegando mesmo a colocar em causa o funcionamento de outros satélites. Existem também outras constelações em órbita, operadas por empresas internacionais, que são capazes de fornecer os mesmos serviços e a custos mais baixos, o que poderá inviabilizar a utilidade desta constelação, por falta de clientes dispostos a pagar pelos serviços disponibilizados. Na visão do autor, o seu desenvolvimento iria servir apenas como forma de as empresas nacionais adquirirem a experiência, que ainda não têm na totalidade, no desenvolvimento de uma missão espacial inteiramente nacional, permitindo-lhes ganhar conhecimentos necessários para conseguirem competir com os serviços oferecidos internacionalmente, num futuro próximo.

A investigação realizada, a qual é sumariada através da análise SWOT apresentada pelo autor, resultou em propostas de possíveis linhas de ação a implementar num futuro muito próximo, nomeadamente o desenvolvimento de capacidades de armazenamento e processamento de dados geoespaciais dentro da Marinha, ou mesmo dentro das Forças Armadas, criando um sistema possível de ser inserido nos *softwares* utilizados atualmente pelos organismos com responsabilidades de vigilância e monitorização dentro dos três ramos. Estes dados seriam provenientes de satélites já em órbita e adquiridos livremente ou por meio de contratos com as empresas que os operam. Depois de adquiridos, seriam processados por equipas qualificadas e fornecer-se-iam *outputs* direcionados diretamente para as unidades militares, auxiliando no cumprimento

da sua missão e aumentando também o apoio informacional aos seus comandos, o qual iria contribuir para a tomada de decisão.

Bibliografia

- Abelho, S. (2015). *O Espaço como elemento fundamental para a segurança e defesa em Portugal (Trabalho de Investigação Individual do Curso de Estado-Maior Conjunto)*. Pedrouços: Instituto de Estudos Superiores Militares.
- Abelho, S. (Maio de 2016). O Espaço no setor da Defesa em Portugal. *Revista de Ciências Militares, Vol. IV, N^o1*, pp. 223-249.
- AIR Centre. (2020). *Atlantic Constellation Preliminary Definition*. Ilha Terceira.
- Alén Space. (4 de Julho de 2019). *Small Satellite Applications: 26 Businesses in Space to Start Now*. Obtido de Alén Space - Nanosatellites: <https://info.alen.space/small-satellite-applications-businesses-in-space-to-start-now>, consultado em fevereiro de 2022
- Alprone, L., Baronti, S., Garzelli, A., & Nencini, F. (Outubro de 2004). A global quality measurement of pan-sharpened multispectral imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters Vol.1 No. 4*, pp. 313-317.
- Amorim, A. (2015). *Deteção remota e geoprocessamento automático no estudo da evolução de margens estuarinas (Estuário do Tejo) (Dissertação de Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território)*. Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- ANI. (8 de Março de 2019). *ANI contribui para a criação de Agência Espacial Portuguesa*. Obtido de ANI: PT: <https://www.ani.pt/noticias/not%C3%ADcias-ani/ani-contribui-para-cria%C3%A7%C3%A3o-de-ag%C3%Aancia-espacial-portuguesa/>, consultado em novembro de 2021
- Ardouin, J.-P., Lévesque, J., & Rea, T. (Agosto de 2007). A Demonstration of Hyperspectral Image Exploitation for Military Applications. *10th International Conference on Information Fusion*, pp. 1-8.
- Azevedo, V. (9 de Abril de 2021). *Projetos do Centro Internacional de Investigação do Atlântico envolvem investimento de €35 milhões até 2024*. Obtido de Expresso: <https://expresso.pt/sociedade/2021-04-09-Projetos-do-Centro-Internacional-de-Investigacao-do-Atlantico-envolvem-investimento-de-35-milhoes-ate-2024-9c26c978>, consultado em dezembro de 2021
- Bioucas-Dias, J., Plaza, A., Camps-Valls, G., Scheunders, P., Nasrabadi, N., & Chanussot, J. (Junho de 2013). Hyperspectral Remote Sensing Data Analysis and Future Challenges. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine Vol. 1, No. 2*, pp. 6-36.
- Brunner, K.-H. (Julho de 2021). *Space and Security - NATO's role*. Alemanha : Science and Technology Committee.

- Bué, I. M. (2017). *Definição dos níveis de serviços para sistemas operacionais de comunicações, navegação e vigilância (Trabalho de Investigação Individual do Curso de Promoção a Oficial Superior)*. Pedrouços: Instituto Universitário Militar.
- Caçador, F. (7 de Junho de 2019). *ESA_Lab@Azores é a nova plataforma colaborativa na área do espaço*. Obtido de SAPOTEK: https://tek.sapo.pt/noticias/ciencia/artigos/esa_labazores-e-a-nova-plataforma-colaborativa-na-area-do-espaco, consultado em março de 2022
- Carinhas, G. (2008). *O impacto para Portugal da extensão da plataforma continental (Trabalho de Investigação Individual do Curso de Promoção a Oficial Superior)*. Lisboa: Instituto de Estudos Superiores Militares.
- Carolas, P. (2016). *Vigilância e monitorização dos espaços marítimos sob soberania ou jurisdição portuguesa (Dissertação de Mestrado em Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha)*. Alfeite: Escola Naval.
- CCRS. (2012). *Fundamentals of Remote Sensing*. Canada: Natural Resources Canada.
- CGEE. (Dezembro de 2017). *Cubesats*. Brasília: Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação.
- Chelsea, G. (17 de Novembro de 2021). *Russian anti-satellite missile test was the first of its kind*. Obtido de Space.com: <https://www.space.com/russia-anti-satellite-missile-test-first-of-its-kind>, consultado em junho de 2022
- Conselho de Ministros. (12 de Março de 2018). *Estratégia Portugal Espaço 2030. Diário da República 1ª Série, N° 50*, pp. 7-21.
- Copernicus. (2016). *Infraestrutura*. Obtido de Copernicus: <https://www.copernicus.eu/pt-pt/acerca-do-copernicus/infraestrutura>, consultado em fevereiro 2022
- Copernicus. (2016). *O Copernicus em resumo*. Obtido de Copernicus: <https://www.copernicus.eu/pt-pt/acerca-do-copernicus/o-copernicus-em-resumo>, consultado em fevereiro de 2022
- Copernicus. (Setembro de 2016). *Security Service*. Obtido de Copernicus: <https://www.copernicus.eu/en/copernicus-services/security>, consultado em fevereiro de 2022
- Copernicus. (24 de Novembro de 2017). *CleanSeaNet: Ten years protecting our seas*. Obtido de Copernicus: <https://www.copernicus.eu/en/cleanseanet-ten-years-protecting-our-seas>, consultado em fevereiro de 2022
- Costa, P. (2013). *A dependência na tecnologia espacial em operações militares (Trabalho de Investigação Individual do Curso de Estado-Maior Conjunto)*. Pedrouços: Instituto de Estudos Superiores Militares.

- Cruz, C. (2012). *O Sistema Integrado de Vigilância, Comando e Controlo e a vigilância de zona costeira (Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada)*. Lisboa: Academia Militar.
- Curzi, G., Modenini, D., & Tortora, P. (7 de Setembro de 2020). Large Constellations of Small Satellites: A Survey of Near Future Challenges and Missions. *Aerospace*, pp. 1-18.
- Darroz, J., Roussel, N., & Zribi, M. (2017). The Reflected Global Navigation Satellite System (GNSS-R): From Theory to Practice. Em N. Baghdadi, & M. Zribi, *Microwave Remote Sensing of Land Surfaces* (pp. 303-354). London: Elsevier.
- Defesa Nacional. (2020). *Estratégia da Defesa Nacional para o Espaço*. Lisboa: Ministério da Defesa Nacional.
- Dias, F., Neves, J., & Conceição, V. (2021). *Maritime Situational Awareness - the Portuguese Navy dual-use approach*. Lisboa: Ministério da Defesa Nacional.
- Dias, G. (15 de Fevereiro de 2022). Utilização de dados provenientes de satélites por parte do MRCC/COMAR. (J. Batista, Entrevistador)
- Dias, L. (2014). ISR e conhecimento da Força Aérea na Zona Económica Exclusiva. *Revista Científica Academia da Força Aérea*, 38-46.
- Earth Observing System. (12 de Novembro de 2021). *Spectral bands in remote sensing*. Obtido de Earth Observing System: <https://eos.com/make-an-analysis/>, consultado em abril de 2022
- EMA. (2012). *IOA-114 "Conceito de Conhecimento Situacional Marítimo"*. Lisboa: Marinha Portuguesa.
- EMSA. (2018). *Copernicus Maritime Surveillance - Service Overview*. Lisboa.
- Eriksen, T., Høye, G., Narheim, B., & Meland, B. (31 de Março de 2006). Maritime traffic monitoring using a space-based AIS receiver. *Acta Astronautica Vol.58*, pp. 537-549.
- ESA. (11 de Fevereiro de 2010). *Princípios de Detecção Remota - Órbitas dos satélites*. Obtido de ESA Eduspace: https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_PT/SEMSX965P1G_0.html, consultado em outubro de 2021
- ESA. (Março de 11 de 2011). *The Sentinel missions*. Obtido de European Space Agency: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/The_Sentinel_missions, consultado em fevereiro de 2022
- ESA. (2016). *Europe's Copernicus programme*. Obtido de European Space Agency: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Europe_s_Copernicus_programme, consultado em fevereiro de 2022
- ESA. (2022). *Sentinel-1B in-flight anomaly report*. França.

- ESA. (10 de Maio de 2022). *Space debris by the numbers*. Obtido de ESA: https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers, consultado em junho de 2022
- FCT. (21 de Maio de 2019). *Portugal e o Espaço*. Obtido de FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia: <https://www.fct.pt/apoios/cooptrans/espaco/>, consultado em novembro de 2021
- Fernandes, P. (2014). *Módulo de alertas com base em dados AIS para apoio à vigilância marítima (Dissertação de Mestrado em Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha)*. Alfeite: Escola Naval.
- Ferreira, C. (20 de Abril de 2021). *Portugal quer brilhar na indústria espacial e as perspetivas são animadoras*. Obtido de SAPOTEK: <https://tek.sapo.pt/noticias/ciencia/artigos/portugal-quer-brilhar-na-industria-espacial-e-as-perspetivas-sao-animadoras>, consultado em novembro de 2021
- Ferreira, C. (23 de Abril de 2021). *Portuguesa GEOSAT passa a ser um dos maiores operadores europeus de satélites de observação da Terra*. Obtido de SAPOTEK: <https://tek.sapo.pt/noticias/ciencia/artigos/portuguesa-geosat-passa-a-ser-um-dos-maiores-operadores-europeus-de-satelites-de-observacao-da-terra>, consultado em dezembro de 2021
- Figueiredo, A. (2019). *A Estratégia Nacional para o Espaço e as Forças Armadas Portuguesas (Trabalho de Investigação Individual do Curso de Promoção a Oficial Superior)*. Pedrouços: Instituto Universitário Militar.
- Fonseca, A., & Fernandes, J. (2004). *Deteção Remota*. Lisboa: Lidel.
- GIS Resourcers. (28 de Junho de 2015). *Why SWIR Band in Remote Sensing?* Obtido de GIS Resourcers: <https://gisresources.com/why-swir-band-in-remote-sensing/>, consultado em abril de 2022
- GNR. (27 de Janeiro de 2021). *Missões FRONTEX 2020 - Balanço*. Obtido de GNR: https://www.gnr.pt/MVC_GNR/Recortes/Details/16024, consultado em novembro de 2021
- Governo da República Portuguesa. (21 de Abril de 2017). *República Portuguesa: XXII Governo*. Obtido de Notícias: Centro Internacional de Investigação para o Atlântico constituído nos Açores até final de 2018: <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc21/comunicacao/noticia?i=20170421-mctes-air-aco>, consultado em dezembro de 2021
- Griffiths, H. (2014). Chapter 16 - Passive Bistatic Radar. Em N. Sidiropoulos, F. Gini, R. Chellappa, & S. Theodoridis, *Academic Press Library in Signal Processing: Volume 2 - Communications and Radar Signal Processing* (pp. 813-855). London: Elsevier.
- Heitor, M. (2018). Notas Introdutórias. Em FCT, *Estratégia Portugal Espaço 2030 - Uma estratégia de investigação, inovação e crescimento para Portugal* (pp. 7-9).

- Henle, E. (Dezembro de 1986). Survey of bistatic and multistatic radar. *IEE Proceedings F (Communications, Radar and Signal Processing)*, Vol. 133, N^o 7, pp. 587-595.
- Hoogland, J. (Março-Abril de 2015). *Earth Frozen Orbits: Design, Injection and Stability (Dissertação de Mestrado em Engenharia Aeroespacial)*. Países Baixos: Delft University of Technology, Faculty of Aerospace Engineering.
- Hugh, G., & J. Baker, C. (2017). *An Introduction to Passive Radar*. Artech.
- IALA. (2002). *IALA Technical Clarifications on Recommendation ITU-R M.1371-1*. France.
- ICEYE. (2022). *A revolution in synthetic aperture radar (SAR) data earth observation*. Finlândia.
- IDN. (2021). *IDN Cadernos N^o40 - Atlantic Centre*. Lisboa: Ministério da Defesa Nacional.
- IMO. (1974). *SOLAS - Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar*.
- Joint Force Development. (2018). *JP 3.14 Space Operations*. EUA: Joint Chiefs of Staff.
- Kim, D. (2019). The "Democratization of Space" and the Increasing Effects of Commercial Satellite Imagery on Foreign Policy. *CSIS - New Perspectives in Foreign Policy*, 35-37.
- Koehler, S., & Langer, M. (2018). New Space: Impacts of Innovative Concepts in Satellite Development on the Space Industry. *69th International Astronautical Congress (IAC)*, (pp. 1-7). Bremen, Alemanha.
- Landgrebe, D. (2005). *Signal theory methods in multispectral remote sensing*. John Wiley & Sons.
- Lele, A. (2015). Maritime Aspects of Space Technology. *Maritime Affairs*, 1-10.
- Lira, C., Amorim, A., Silva, A., & Taborda, R. (2016). *Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite*. Lisboa: DGRM.
- Lourenço, N. (2018). *Análise e Estudo do impacto do Sistema Costa Segura Conhecimento Situacional Marítimo (Dissertação de Mestrado em Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha)*. Alfeite: Escola Naval.
- Lusa. (9 de Abril de 2021). *Air Centre nos Açores captou mais de 35 milhões de euros em projectos*. Obtido de Público: <https://www.publico.pt/2021/04/09/ciencia/noticia/air-centre-aco-res-captou-35-milhoes-euros-projectos-1957965>, consultado em janeiro de 2022
- Lusa. (3 de Junho de 2022). *Empresa aeroespacial Tekever produz primeiro radar de abertura sintética em Portugal*. Obtido de Dinheiro Vivo: <https://www.dinheirovivo.pt/empresas/empresa-aeroespacial-tekever-produz-primeiro-radar-de-abertura-sintetica-em-portugal-14913187.html>, consultado em junho de 2022

- Marado, B. (2013). *O contributo do poder espacial na estratégia das pequenas potências (Trabalho de Investigação Individual do Curso de Estado Maior Conjunto)*. Pedrouços: Instituto de Estudos Superiores Militares.
- Marques, A. (2013). Cibersegurança e conhecimento situacional marítimo. *Revista da Armada*, 13.
- Marreiros, J. (2018). *Vigilância acústica dos espaços marítimos sob soberania ou jurisdição nacional (Trabalho de Investigação Individual do Curso de Promoção a Oficial General)*. Pedrouços: Instituto Universitário Militar .
- Martin, S. (2014). *An Introduction to Ocean Remote Sensing*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Maurício, A. (2015). *Global Navigation Satellite System: Passado, presente e futuro (Dissertação de Mestrado em Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha)*. Alfeite: Escola Naval.
- MAXAR. (24 de Dezembro de 2020). *How off-nadir imagery provides information and insight*. Obtido de Maxar Technologies: <https://explore.maxar.com/Imagery-Leadership-off-nadir>, consultado em janeiro de 2022
- Mazzarella, F., Vespe, M., Alessandrini, A., Tarchi, D., Aulicino, G., & Vollero, A. (4 de Fevereiro de 2017). A novel anomaly detection approach to identify intentional AIS on-of switching. *Expert Systems with Applications*, Vol. 78, pp. 110-123.
- Mendes, V. (2013). *Sistema de Posicionamento Global*. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Meneses, P. R., de Almeida, T., Rosa, A. N., Sano, E. E., de Souza, E. B., Baptista, G. M., & Brites, R. S. (2012). *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: CNPq.
- Metcalf, K., Bréheret, N., Chauvet, E., Collins, T., Curran, B., Parnell, R., . . . Godley, B. (2018). Using satellite AIS to improve our understanding of shipping and fill gaps in ocean observation data to support marine spatial planning. *Journal of Applied Ecology*.
- Monteiro, J. B. (21 de Maio de 2019). *CubeSat, o pequeno satélite que está a revolucionar o setor espacial*. Obtido de SAPO: <https://24.sapo.pt/tecnologia/artigos/cubesat-o-pequeno-satelite-que-esta-a-revolucionar-o-setor-espacial>, consultado em janeiro de 2022
- Mora, M. B. (29 de Outubro de 2021). *Meet our Partners: AIR Centre*. Obtido de UT Austin Portugal: <https://utaustinportugal.org/meet-our-partners-air-centre/>, consultado em dezembro de 2021
- Murtaza, A., Pirzada, S., Xu, T., & Jianwei, L. (10 de Abril de 2020). Orbital Debris Threat for Space Sustainability and Way Forward (Review Article). *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 61000-61019.

- NASA. (4 de Agosto de 2017). *Explorer 1 Overview*. Obtido de NASA: https://www.nasa.gov/mission_pages/explorer/explorer-overview.html, consultado em junho de 2022
- NASA. (7 de Agosto de 2017). *Sputnik 1*. Obtido de NASA: https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_924.html, consultado em maio de 2022
- NASA. (7 de Agosto de 2017). *What are SmallSats and CubeSats?* Obtido de NASA: <https://www.nasa.gov/content/what-are-smallsats-and-cubesats>, consultado em janeiro de 2022
- NATO. (2016). *AJP 3.3 Allied Joint Doctrine for Air and Space Operations*. Bélgica: NATO Standardization Office (NSO).
- NATO. (2 de Dezembro de 2021). *NATO's approach to space*. Obtido de NATO: https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_175419.htm, consultado em março de 2022
- Neves, J. (2021). *Contributo do Espaço para um conhecimento situacional integrado. O papel do Space Surveillance and Tracking (SST)*. Lisboa: Ministério da Defesa Nacional.
- Noceda, M. (10 de Novembro de 2021). *El País*. Obtido de España y Portugal lanzarán una constelación de 16 satélites para controlar las costas y los bosques: <https://elpais.com/economia/2021-11-10/espana-y-portugal-lanzaran-una-constelacion-de-16-satelites-para-controlar-las-costas-y-los-bosques.html>, consultado em dezembro de 2021
- Nogueira, J. (Novembro de 2014). A importância estratégica do Espaço para a segurança e defesa: A NATO e a União Europeia. *Revista de Ciências Militares, Vol. II, N° 2*, pp. 267-291.
- Nogueira, J. (2021). *Estratégia da Defesa para o Espaço (Trabalho de Investigação Individual do Curso de Promoção a Oficial General)*. Pedrouços: Instituto Universitário Militar.
- Nunes, M. (Março de 2010). *A Exploração Espacial no Âmbito da Segurança e da Defesa. O Caso da China (Dissertação de Mestrado em Ciência Política e Relações Internacionais, Área de Especialização: Relações Internacionais)*. Lisboa: Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa.
- Nunes, M. (1 de Fevereiro de 2022). Utilização de dados provenientes de satélite por parte do CADOP. (J. Batista, Entrevistador)
- Paiva, D. (2021). *Espaço: Desafios para a Força Aérea (Trabalho de Investigação Individual do Curso de Promoção a Oficial Superior)*. Pedrouços: Instituto Universitário Militar.
- Petroni, G., & Santini, S. (12 de Janeiro de 2012). Innovation and change? The evolution of Europe's small satellite manufacturers. *Space Policy* 28, pp. 25-32.

- Presidência do Conselho de Ministros. (28 de Setembro de 2009). Decreto-Lei n.º 263/2009 Sistema Nacional de Controlo de Tráfego Marítimo. *Diário da República*, 1ª Série - N.º188, pp. 6967-6072.
- Presidência do Conselho de Ministros. (12 de Março de 2018). Resolução do Conselho de Ministros n.º 30/2018. *Diário da República*, 1.ª série — N.º 50, pp. 1255-1261.
- Presidência do Conselho de Ministros. (4 de Junho de 2021). Estratégia Nacional para o Mar 2021-2030. *Diário da República*, 1ª Série - N.º108, pp. 23-62.
- PT Space. (12 de Outubro de 2020). *Defesa planetária vale a empresas portuguesas 2,9 milhões de euros*. Obtido de Portugal Space: <https://ptspace.pt/pt/defesa-planetaria-vale-a-empresas-portuguesas-29-milhoes-de-euros/>, consultado em novembro de 2021
- PT Space. (4 de Setembro de 2020). *Espaço 2030*. Obtido de Portugal Space: <https://ptspace.pt/pt/espaco-2030/>, consultado em agosto de 2022
- PT Space. (2020). *Estratégia Portugal Espaço 2020-2030: Balanço de Execução e Guia para o Futuro*. Lisboa: Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior .
- PT Space. (4 de Setembro de 2020). *Novos mercados para nano e microsatélites*. Obtido de Portugal Space: <https://ptspace.pt/pt/novos-mercados-para-nano-microsatellites/>, consultado em janeiro de 2021
- PT Space. (18 de Novembro de 2021). *Catálogo Espacial Português já está disponível*. Obtido de Portugal Space: <https://ptspace.pt/pt/catalogo-espacial-portugues-ja-esta-disponivel/>, consultado em novembro de 2021
- PT Space. (2021). *Estratégia Portugal Espaço 2020-2030: "Portugal in Europe Research and Innovation Network": estado de implementação*. Lisboa: Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior.
- PT Space. (2021). *Portuguese Space Catalogue 2021-2022*. Porto.
- PT Space. (30 de Março de 2022). *Há 20 anos, a Lusospace fez o impossível - Agora, é um caso de sucesso*. Obtido de Portugal Space: <https://ptspace.pt/pt/ha-20-anos-a-lusospace-fez-o-impossivel-agora-e-um-caso-de-sucesso/>, consultado em agosto de 2022
- PT Space. (31 de Março de 2022). *O Espaço, a nova epopeia portuguesa que se escreve com todos*. Obtido de Agência Espacial Portuguesa - Portugal Space: <https://ptspace.pt/pt/o-espaco-a-nova-epopeia-portuguesa-que-se-escreve-com-todos/>, consultado em abril de 2022
- Rodrigues, R. (2017). *Gestão de espaços marítimos através de informação de Detecção Remota (Dissertação de Mestrado em Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha)*. Alfeite: Escola Naval.

- Sandau, R., Brieß, K., & D'Errico, M. (2010). Small Satellites for Global Coverage: Potential and Limits. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 65, 492-504.
- Sandhoo, G. (Março de 2021). Space Based Technologies and Capabilities of Relevance to Relevance to Future of Maritime Operations. *IDN Cadernos - Atlantic Centre*, pp. 85-88.
- Schowengerdt, R. (2007). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing (3.ªed.)*. USA: Elsevier.
- Sénica, A. (2020). *Deteção de Alvos em Sistemas de Radares Passivos (Dissertação de Mestrado em Ciências Militares Navais, na especialidade de Engenharia Naval Ramo de Armas e Eletrónica)*. Alfeite: Escola Naval.
- SGMAI. (4 de Fevereiro de 2021). *FRONTEX: Início do Ano Operacional*. Obtido de Portal do SGMAI: <https://www.sg.mai.gov.pt/Noticias/Paginas/FRONTEX--in%C3%ADcio-do-ano-operacional-.aspx>, consultado em novembro de 2021
- Shabbir, Z., Sarosh, A., & Nayyer, M. (2019). Space Technology Applications for Maritime Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance. *Astropolitics*, 104-126.
- Silva, J. (Outubro-Dezembro de 2012). A Plataforma Continental Portuguesa - Análise do Processo de Transformação do Potencial Estratégico em Poder Nacional. *Cadernos Navais N°43*, pp. 1-157.
- Soldi, G., Gaglione, D., Forti, N., Simone, A., Daffinà, C., Bottini, G., . . . Farina, A. (1 de Setembro de 2021). Space-based Global Maritime Surveillance. Part I: Satellite Technologies. *IEEE Aerospace and Electronics Systems Magazine*, vol. 36, no. 9, pp. 8-28.
- Soldi, G., Gaglione, D., Forti, N., Simone, A., Daffinà, C., Bottini, G., . . . Farina, A. (1 de Setembro de 2021). Space-based Global Maritime Surveillance. Part II: Artificial Intelligence and Data Fusion Techniques. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 36, no. 9, pp. 30-42.
- Sousa, A., & Silva, J. (2011). *Fundamentos Teóricos de Deteção Remota*. Universidade de Évora, Évora, Portugal: Departamento de Engenharia Rural.
- Space Debris Office. (2022). *ESA's Annual Space Environment Report*. Alemanha: ESA.
- Stein, D., Schoonmaker, J., & Coolbaugh. (1 de Agosto de 2001). Hyperspectral Imaging for Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance. *SSC San Diego*, pp. 108-116.
- Stickings, A. (Outubro de 2020). Space as an Operational Domain: What Next for NATO. *RUSI Newsbrief Vol. 40, N° 9*, pp. 1-3.
- Sutcliffe, A., Brito, A., Sá, C., Sousa, F., Boutov, D., & Brotas, V. (2016). *Observação da Terra: uso de imagens de temperatura da superfície do mar e cor do oceano para a monitorização de águas costeiras e oceânicas*. Lisboa: DGRM.

- Sutcliffe, A., Catalão, J., & C. Brito, A. (2016). *Observação da Terra: Uso de imagens SAR para a monitorização de águas costeiras e oceânicas*. Lisboa, Portugal: DGRM .
- Sylvestre, H., & Parama, V. (2017). Space debris: Reasons, types, impacts and management. *Indian Journal of Radio & Space Physics, Vol. 46*, 20-26.
- Tavares, P. (20 de Novembro de 2017). *Açores no centro da segurança e investigação no Atlântico*. Obtido de Diário de Notícias: <https://www.dn.pt/portugal/acoes-no-centro-da-seguranca-e-investigacao-no-atlantico-8929092.html>, consultado em março de 2022
- Vieira, I. (23 de Outubro de 2012). *Get to know us in 4 minutes*. Obtido de LusoSpace: <https://www.lusospace.com/#/about>, consultado em julho de 2022
- Virgili, B., & Krag, H. (2015). *Small Satellites and the Future Space Debris Environment*. Alemanha.
- Wahl, T., Høye, G., Lyngbi, A., & Narheim, B. (2005). New possible roles of small satellites in maritime surveillance. *Acta Astronautica, Vol. 56*, pp. 273-277.
- Wekerle, T., Filho, J., Costa, L., & Trabasso, L. (2017). Status and Trends of Smallsats and Their Launch Vehicles - An Up-to-date Review. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 269-286.
- Wolsing, K., Roepert, L., Bauer, J., & Wehrle, K. (2022). Anomaly Detection in Maritime AIS Tracks: A Review of Recent Approaches. *Journal of Marine Science and Engineering*, 1-19.
- Yokoya, N., Grohnfeldt, C., & Chanussot, J. (Junho 2017). Hyperspectral and Multispectral Data Fusion. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 29-56.

Apêndice A – Processo de deteção remota (DR)

A informação é obtida através do registo da energia refletida ou emitida sob a forma de radiação eletromagnética pelo alvo. Os dados brutos obtidos desta forma são assim processados e analisados de modo a extrair informação relevante sobre o alvo em questão. São sete os elementos que descrevem o processo de DR (CCRS, 2012):

1. Fonte de energia ou iluminação – É necessário a existência de uma fonte de energia ou de iluminação que forneça energia eletromagnética ao alvo ou ao fenómeno em estudo, sendo que uma das principais fontes de energia é o Sol.
2. Radiação e a atmosfera – No seu percurso desde a fonte até ao alvo, a energia interage com a atmosfera. Esta interação pode ter lugar uma segunda vez quando a energia é refletida novamente e regressa ao sensor.
3. Interação com o alvo – Uma vez atingido o alvo, a energia emitida pela fonte interage com ele de um modo que depende das propriedades de ambos, ou seja, do alvo e da própria energia.
4. Registo da energia pelo sensor – Depois de a energia ter sido emitida ou refletida pelo alvo, é necessário um sensor remoto, isto é, que não se encontre em contacto direto com o alvo, de modo a recolher e gravar a radiação eletromagnética.
5. Transmissão, receção e processamento – A informação recolhida é gravada pelo sensor e transmitida de forma eletrónica para uma estação terrestre, responsável pelo tratamento, análise e processamento da informação recebida.
6. Interpretação e análise – A imagem processada é interpretada, visualmente ou de forma digital, de modo que se extraia a informação do alvo que foi iluminado.
7. Aplicabilidade – A conclusão deste processo acontece quando a informação que recolhemos das imagens obtidas de um dado alvo é aplicada de forma a entendê-lo melhor, revelar algo de novo ou ajudar na solução de algum problema.

Apêndice B – Espectro eletromagnético (EEM)

No processo de deteção remota, a energia utilizada para iluminar o alvo assume a forma de radiação eletromagnética, composta por dois campos diferenciados que se comportam como ondas e se deslocam à velocidade da luz no vácuo (c): o campo elétrico, cuja magnitude varia numa direção perpendicular à de propagação da radiação; e o campo magnético, orientado perpendicularmente em relação ao campo elétrico, como é possível ver na Figura 18 (CCRS, 2012).

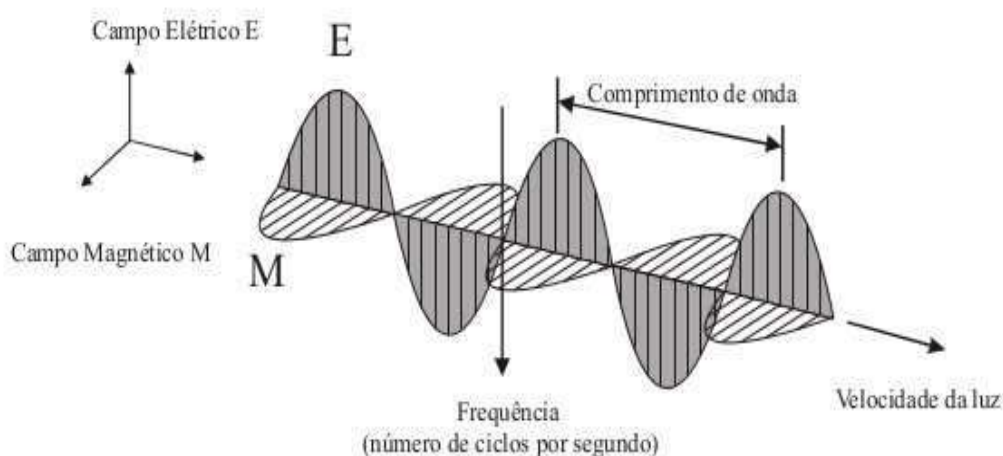


Figura 18 - Radiação eletromagnética.
Fonte: (Meneses, et al., 2012)

A radiação eletromagnética tem associada duas características particularmente importantes, a frequência e o comprimento de onda. O comprimento de onda é medido em metros e corresponde à distância entre duas cristas sucessivas de uma onda eletromagnética, sendo normalmente representado pela letra grega lambda (λ). A frequência é medida em hertz (Hz) e corresponde ao número de oscilações de uma determinada onda por unidade de tempo, sendo que a unidade definida internacionalmente é o segundo (s). Estas duas características estão diretamente relacionadas através da equação: $c = \lambda \nu$. Como a velocidade da luz é constante, o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência, assim, para maiores comprimentos de onda, a frequência é menor, e vice-versa (CCRS, 2012).

A distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda, ou frequência é chamado espectro eletromagnético (ver Figura 19) (Sousa & Silva, 2011). Nele são representados diversos tipos de radiação eletromagnética, desde as ondas de maior comprimento de onda, as ondas rádio, até às de menor

comprimento de onda e conseqüentemente, maior frequência, os raios gama. Estão ainda incluídas neste intervalo as micro-ondas, a radiação infravermelha, a luz visível, a radiação ultravioleta e os raios X, do maior para o menor comprimento de onda, respectivamente (Bué, 2017).

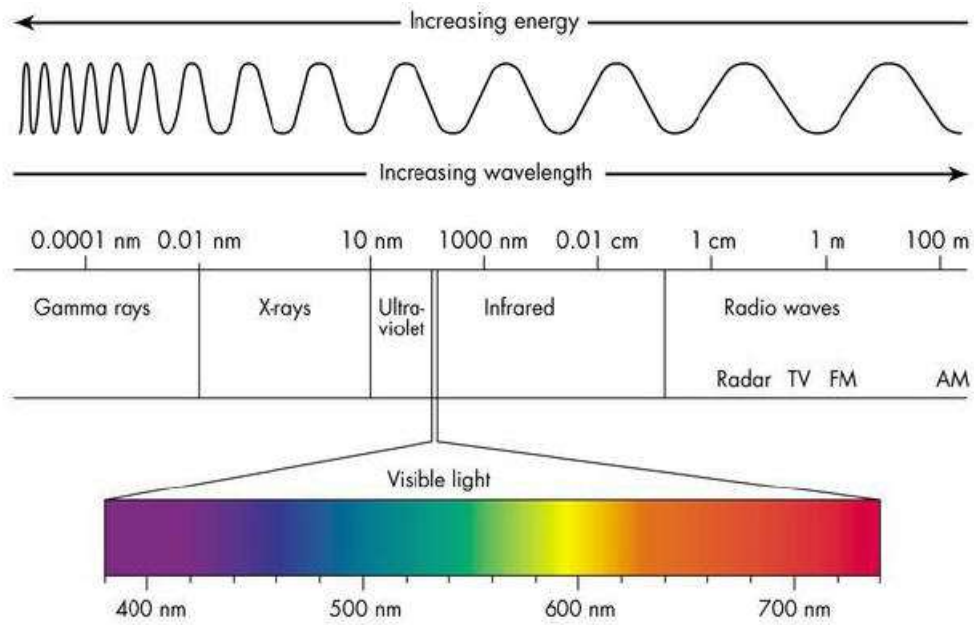


Figura 19 - Espectro eletromagnético
Fonte: <https://blog.olhares.com/comportamento-da-luz/>

Apêndice C – *CubeSat*

A unidade padrão de um *CubeSat* é definida como 1U ou “uma unidade”, o que equivale a um cubo com sensivelmente 10 cm de lado e com cerca de 1.3kg. Estas unidades podem posteriormente ser combinadas e estendidas de maneira a formar sistemas de maiores dimensões, como microssatélites de 12U, em forma de paralelepípedo como demonstrado na Figura 20, capazes de acomodar dentro de si uma maior quantidade de carga útil. Concebidos inicialmente como plataformas para fins educativos em várias universidades, atualmente os *CubeSats* podem ser empregues num leque extremamente vasto de missões, desde testar novas tecnologias em órbita até monitorização e estudo dos oceanos (PT Space, 2020).

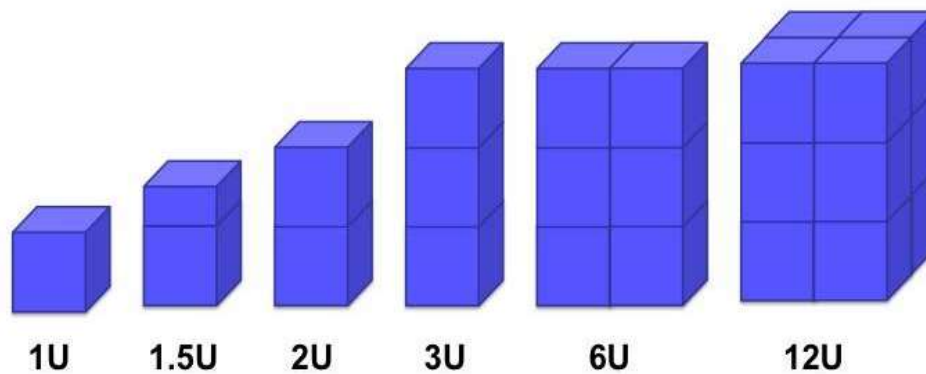


Figura 20 - Possíveis configurações para SmallSats
Fonte: <https://www.nasa.gov/content/what-are-smallsats-and-cubesats>

Apêndice D – Programa *Copernicus*

Copernicus é o nome dado ao programa europeu de Observação da Terra, desenvolvido através de uma parceria estabelecida entre a Comissão Europeia e a ESA, que pretende dar continuidade ao programa de Monitorização Global do Meio Ambiente e de Segurança (ESA, 2016).

O programa tem como objetivo disponibilizar serviços a toda a comunidade, possibilitando o acesso fácil e atempado a informações confiáveis, atualizadas e gratuitas (Rodrigues, 2017). A prestação dos serviços tem como base o tratamento e a disponibilização de dados com recurso a uma componente espacial, gerida pela ESA, e também por dados não espaciais recolhidos por sistemas *in situ* (Copernicus, 2016). Os serviços disponibilizados permitem o estudo sobre questões ambientais, de segurança e de proteção civil, e abrangem 6 temáticas diferentes, divididas pelas seguintes categorias: *Atmosphere Monitoring*, *Marine Environment Monitoring*, *Land Monitoring*, *Climate Changes*, *Emergency Management* e *Security* (Ibidem).

O serviço de *Security* disponibilizado pelo programa *Copernicus* é responsável pelo desenvolvimento de aplicações que garantam o apoio às políticas da União Europeia, permitindo responder da melhor forma possível aos desafios de segurança que a Europa atravessa atualmente. Este serviço é dividido em três áreas de atuação diferentes como se pode verificar na Figura 21: vigilância de fronteiras, apoio às ações externas e vigilância marítima (Copernicus, 2016).

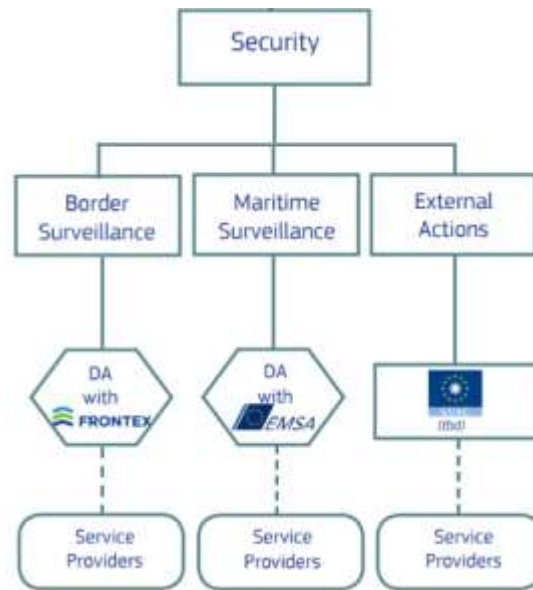


Figura 21 - Serviço de Security do programa Copernicus
 Fonte: <https://www.copernicus.eu/en/copernicus-services/security>

A componente de vigilância de fronteiras foi confiada à agência FRONTEX, que ficou responsável por fazer face à criminalidade transfronteiriça, aumentar a segurança da União Europeia e reduzir ao máximo o número de mortes provocadas pelo fluxo de imigrantes ilegais que pretendem chegar à Europa (Copernicus, 2016). O apoio às ações externas está a cargo do Centro de Satélites da União Europeia (SatCen EU), responsável por prestar apoio ao processo de tomada de decisões da EU, no que diz respeito à política externa e a questões de segurança, com base em produtos e serviços resultantes da exploração de meios espaciais (*Ibidem*). Por fim, a operação da componente de vigilância marítima foi entregue à EMSA, que tem por missão garantir a segurança da navegação, a aplicação da lei no mar e o apoio ao controlo das pescas e ao combate à poluição (EMSA, 2018). Para cumprir eficazmente com as suas missões, a EMSA recorre a dados obtidos por meio de diversas missões espaciais, complementados por outros sistemas, como a missão *Sentinel-1*, *Sentinel-2* e o sistema EUROSUR, respetivamente (Copernicus, 2016).

O segmento espacial do programa *Copernicus* é composto por um conjunto de satélites especificamente desenvolvidos para responder às necessidades operacionais do programa, e ainda por mais de 30 missões de contribuição, geridas por diversas organizações e estados europeus e não europeus (Copernicus, 2016). As necessidades específicas da componente espacial do *Copernicus* são respondidas através da informação recolhida por meio dos satélites que compõe a “família” *Sentinel*. Esta família é

constituída por 6 conjuntos de satélites especializados, equipados com diferentes tipos de sensores, capazes de fornecer produtos distintos (ESA, 2011):

- A missão *Sentinel-1* (*Sentinel-1A*, lançado em abril de 2014 e *Sentinel-1B*, lançado em abril de 2016) é dedicada à monitorização da superfície terrestre e do oceano com recurso a dois satélites, ambos equipados com um sensor SAR. Infelizmente o satélite *Sentinel-1B* está, desde dezembro de 2021, com um problema elétrico na unidade de alimentação da antena do seu sensor (C-SAR), o que tem inviabilizado a captação e transmissão de dados desde então, continuando apenas o satélite *Sentinel-1A* a fornecer imagens de radar. Para fazer face à retirada do satélite *Sentinel-1B* de órbita, a ESA pretende acelerar o desenvolvimento e lançamento do seu sucessor, o *Sentinel-1C*, estando o seu lançamento projetado para os últimos meses de 2023. Até lá, o programa *Copernicus* irá colmatar a ausência deste satélite com a aquisição de dados provenientes de satélites de outras agências espaciais. Importa realçar que a sua ausência aumenta o período de revisita da missão de 7 para 14 dias, prejudicando algumas das suas diversas aplicações (ESA, 2022);
- O par de satélites *Sentinel-2* (*Sentinel-2A*, lançado em junho de 2015 e *Sentinel-2B*, lançado em março de 2017) é orientado para a recolha de imagens da superfície terrestre, de modo a estudar a sua variabilidade. Cada satélite é equipado com sensores óticos multiespectrais de alta resolução e um sensor na banda NIR;
- A missão *Sentinel-3* (*Sentinel-3A*, lançado em fevereiro de 2016 e *Sentinel-3B*, lançado em abril de 2018) tem como principal objetivo obter dados relativos à altimetria dos oceanos, medição da temperatura do mar, cor dos oceanos, entre outras informações orientadas para o estudo do mar e dos oceanos;
- As missões *Sentinel-4* e *Sentinel-5*, ainda em desenvolvimento, são instrumentos capazes de monitorizar constantemente a composição da atmosfera e a qualidade do ar por meio de uma sonda UVN (*Ultraviolet, Visible and Near-Infrared*). Ambos os sensores serão instalados a bordo de dois satélites distintos, pertencentes à EUMETSAT (*European Organisation for Exploitation of Meteorological Satellites*);

- A missão *Sentinel-5 Precursor* (satélite lançado em outubro de 2017), conhecida também por *Sentinel-5P*, é, como o próprio nome indica, a missão precursora da missão *Sentinel-5* para o estudo e monitorização da atmosfera, visando preencher as lacunas de dados deixadas pelo satélite Envisat (lançado em 2002), que deixou de se encontrar operacional em 2012;
- A missão Sentinel-6, composta atualmente pelo satélite Sentinel-6 Michael Freilich (lançado em novembro de 2020), não é uma missão exclusivamente europeia, tendo contado também com a participação das agências norte-americanas NASA e NOAA. O satélite é equipado com um radar altímetro orientado para mapear, quase na sua globalidade, a superfície do oceano e para monitorizar a subida do nível médio do mar, para fins de estudos oceanográficos e climáticos.

Apêndice E – Resumo das entrevistas e visitas efetuadas

Neste apêndice, encontram-se resumidas as visitas e entrevistas realizadas às unidades militares e entidades civis, no seguimento da pesquisa desenvolvida para a elaboração desta dissertação de mestrado. São também enunciados os locais onde ocorreram as visitas, as datas e os intervenientes.

- **Visita realizada ao CADOP**

Data: 01FEV2022

Interveniente: 1TEN Ana Martinho Nunes (Chefe do Serviço de GEOINT)

Síntese conclusiva:

De modo a assegurar aos comandos das forças e unidades em operações o apoio necessário à gestão da informação e do conhecimento, no âmbito da superioridade de informação e decisão, o CADOP recorre a diversas fontes classificadas, providenciadas pela NATO, pela União Europeia e por outros serviços congêneres, mas também recorre a um vasto conjunto de fontes abertas e informação geoespacial, que complementam as atividades de pesquisa e análise diárias realizadas.

O CADOP recebe dados geoespaciais provenientes de satélites para fins de monitorização de navios, deteção de padrões de navegação e deteção e identificação de navios com o seu sistema de transmissão de posição ausente ou desligado (AIS, MONICAP, etc.). Estes dados são fornecidos ao CADOP pela EMSA, que processa a informação recebida de sensores óticos e SAR de várias missões espaciais diferentes, uma vez que o CADOP tem muito limitada a sua capacidade pessoal, material e temporal para os conseguir processar. Como tal, o centro apenas analisa os dados e utiliza algoritmos, também fornecidos pela EMSA, que permitem a deteção de navios nas imagens e a identificação dos mesmos. Contudo, as imagens óticas de alta resolução têm custos de aquisição bastante elevados e como tal, a grande maioria das imagens utilizadas para a monitorização marítima são do tipo SAR, o que nem sempre permite satisfazer as necessidades permanentes do CADOP. Não obstante, importa

frisar que se houver necessidade de aceder a imagens óticas numa determinada área, o CADOP pode solicitá-las pontualmente à EMSA.

Para satisfazer as suas necessidades operacionais, os dados geoespaciais recebidos pelo CADOP deveriam ter as seguintes características: imagens óticas de muito alta resolução espacial, inferior a 1 metro, com elevada resolução temporal, 2 ou 3 vezes por dia; e imagens SAR para os períodos noturnos ou com elevada nebulosidade, com a melhor resolução possível. Para o CADOP, a utilização de dados provenientes de uma constelação nacional traria alguns benefícios para a componente operacional da Marinha, visto que, desta forma teria acesso a um repositório de imagens adquiridas por uma constelação nacional, diminuindo assim a sua dependência de entidades externas e reduzindo o número de pedidos efetuados à EMSA por imagens óticas. Só através de uma constelação de satélites se consegue ter acesso ao panorama marítimo completo, seja através de satélites de comunicações, que permitem ter acesso aos dados AIS e MONICAP, por exemplo; ou de satélites de observação da Terra, que permitem adquirir CSM através de imagens de satélite, tanto SAR como óticas.

- **Visita realizada à PT Space**

Data: 14FEV2022

Intervenientes: Engenheiro Ricardo Conde (Presidente da Agência Espacial Portuguesa) e CTEN Viera Pereira (*Defense Liaison Officer*)

Síntese conclusiva:

Existe, em Portugal, um ecossistema espacial composto por várias empresas e centros de investigação que participam ativamente no setor espacial, no entanto, estas empresas estão orientadas para o desenvolvimento de pequenos componentes e subsistemas tecnológicos que são integrados em projetos e missões de maior envergadura, não existindo ainda, a nível nacional, nenhum projeto de grandes dimensões. Para responder a esta lacuna, a *PT Space* lançou alguns desafios programáticos destinados a desenvolver a indústria do setor espacial em

Portugal, sendo um desses desafios, o desenvolvimento e lançamento de uma constelação de pequenos satélites orientados para a observação do oceano Atlântico, a *Atlantic Constellation*.

O aparecimento de novas tecnologias, consideravelmente mais baratas, deram origem ao chamado *New Space* e acabaram por tornar o Espaço acessível a todos, mudando assim o paradigma de que só as agências de países com grandes recursos financeiros poderiam aceder ao Espaço. De modo a aproveitar esta nova mudança de mentalidade e por forma a posicionar Portugal como um grande operador de pequenos satélites de observação da Terra, a *PT Space* desafiou a indústria e a academia nacional a estudar e a desenvolver uma constelação de satélites que procure responder às necessidades do país, nomeadamente na gestão do território, na realização de comunicações e na monitorização do vasto espaço marítimo nacional. Pretende-se também criar uma plataforma de *downstream*, chamada *Digital Planet*, capaz de integrar múltiplas fontes de dados (incluindo os da própria constelação) capaz de responder às necessidades das várias entidades públicas e privadas espalhadas por todo o território nacional. Também têm vindo a ser identificados mercados verticais para os produtos provenientes desta constelação, sendo a Marinha Portuguesa uma das diversas entidades com interesse neste tipo de dados.

Dadas as responsabilidades que a Marinha tem na vigilância e monitorização do vasto espaço marítimo sob soberania e jurisdição nacional, uma forma de aumentar a sua eficiência seria através da utilização de um meio posicionado a grande altitude, com capacidade de recolha de informações sobre grandes áreas oceânicas, de forma prolongada, fazendo uso de sensores de alta resolução, capazes de cobrir áreas de interesse diversas vezes por dia. Este meio seria usado para complementar as ações de vigilância e monitorização realizadas pelos navios da Marinha e pelas aeronaves da Força Aérea. Tal só é possível com recurso a uma constelação de satélites, sendo por isso de todo o interesse das Forças Armadas adquirir os dados provenientes dos seus sensores.

Uma constelação de satélites desenvolvidos por empresas nacionais, a orbitar a baixa altitude, na camada LEO da terra, capazes de oferecer baixos períodos e revisita e munidos de sensores com elevada resolução espacial, preferencialmente submétrica, existindo ainda a possibilidade de haver satélites equipados com sensores de menor resolução, mas com uma largura de varredura muito maior (*wide swath*), todos eles dedicados, entre outras coisas, à monitorização dos espaços marítimos nacionais.

- **Visita realizada ao COMAR/MRCC**

Data: 15FEV2022

Interveniente: 2TEN Gonçalves Dias (Oficial de Quarto COMAR/MRCC)

Síntese conclusiva:

O COMAR/MRCC recebe informação de várias fontes e tem ao seu dispor diversos serviços e sistemas que possibilitam a recolha e gestão de informação, não só de carácter militar, mas também civil, no âmbito da segurança marítima e ambiental. Das várias fontes de informação existentes usadas para executar ações de vigilância e de busca e salvamento marítimo, destacam-se:

- O VTS Costeiro, disponibilizado pela DGRM, que fornece dados AIS e um panorama radar das áreas marítimas sob responsabilidade nacional;
- O sistema Costa Segura, que compila informação proveniente de diversas fontes, como por exemplo sensores eletro-óticos e *transponders* AIS;
- O sistema classificado MCCIS (*Maritime Command and Control Information System*), desenvolvido para os países membros da NATO, que permite compilar toda a informação relativa a contactos existentes no panorama marítimo, tanto aéreo, como de superfície ou de subsuperfície;
- O sistema *Oversee*, que recebe e compila dados AIS e SAT-AIS, informações METOC, informação vinda do sistema MONICAP e ainda cálculos de deriva elaborados pelo Instituto Hidrográfico;

- A interface gráfica SEG (*SafeSeaNet Ecosystem Graphical User Interface*) que facilita o acesso a diversas aplicações, serviços e bases de dados providenciadas pela EMSA, nomeadamente *SafeSeaNet*¹⁵, *Long Range Identification Tracking*¹⁶ (LRIT), *CleanSeaNet*¹⁷, *Integrated Maritime Data Environment*¹⁸ (IMDatE) e ainda o acesso à plataforma EODC (*Earth Observation Data Centre*) que disponibiliza dados provenientes dos satélites *Sentinel-1,2 e 3*.

Através do serviço *CleanSeaNet* integrado no SEG, foi possível verificar que o COMAR/MRCC tem acesso a imagens SAR provenientes não só do satélite *Sentinel-1*, mas também dos satélites RADARSAT-2 e TerraSAR-X. Estas imagens são anexadas em relatórios, denominados *CleanSeaNet Reports*, e enviadas para as autoridades competentes de cada país, com o objetivo de informar se existe, ou não, manchas de poluição nos espaços marítimos sob a sua jurisdição e/ou responsabilidade e se foi detetado o possível navio infrator. Apesar de existir também a possibilidade de aceder a um repositório de dados de observação da terra a partir do SEG, os oficiais de quarto ao COMAR/MRCC não têm esse hábito. Contudo reconhecem que a utilização de uma constelação de satélites equipados com sensores óticos multiespectrais ou sensores SAR, com resoluções espaciais e temporais melhores do que aquelas atualmente oferecidas pelos satélites do programa *Copernicus*, possibilitariam a identificação e o conhecimento da posição de qualquer navio, sem precisar que este tenha o seu AIS estabelecido. Estes dados poderiam ser recebidos,

¹⁵ Sistema de informação e de monitorização de tráfego marítimo, que possibilita a troca de dados entre as autoridades de Estados pertencentes à União Europeia.

¹⁶ Sistema semelhante ao AIS dedicado à identificação e rastreio de longo alcance de navios de passageiros, embarcações de alta velocidade, navios de carga com mais de 300 toneladas e plataformas petrolíferas.

¹⁷ Serviço especializado em deteção e monitorização de manchas de poluição marítima com recurso a imagens provenientes de satélites equipados com sensores SAR.

¹⁸ Interface que reúne dados vindos dos vários serviços da EMSA e ainda de outras fontes externas, permitindo o controlo do tráfego de navios e o controlo da poluição marítima. Os seus utilizadores beneficiam assim de uma visão integradas das atividades marítimas que ocorrem nas suas áreas de interesse.

tratados e posteriormente inseridos num dos sistemas em uso pelos centros, aumentando assim as suas capacidades de vigilância e monitorização marítima.