



ESCOLA NAVAL



ta *san* t^{de} *bi* f^{aire}

Duarte Miguel Nunes Correia


***Deteção de comportamentos anómalos em
espaços marítimos de interesse nacional***

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



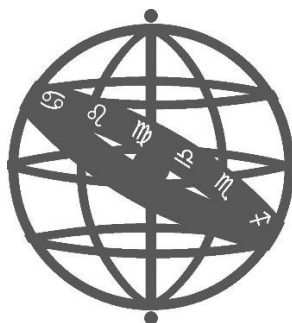
Alfeite
2024



ESCOLA  NAVAL



talant de bi-faire



Duarte Miguel Nunes Correia

***Deteção de comportamentos anómalos em
espaços marítimos de interesse nacional***

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

Orientação de CTEN TSN-EIO Rui Pedro Gonçalves Deus

Coorientação de STEN TN (EIO) Inês Mendes Coelho

O Aluno Mestrando

O Orientador

23419 ASPOF M Nunes Correia

CTEN TSN-EIO Goncalves Deus

ΕΠÍΓΡΑΦΕ

*“Victorious warriors win first and then go to war, while defeated warriors
go to war first and then seek to win.”*

Sun Tzu

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, ao meu irmão e à minha avó. Obrigado pela ajuda e apoio que me deram na minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a toda a gente que contribui, ao longo destes cinco anos, para a minha formação profissional e pessoal.

Ao meu orientador CTEN TSN-EIO Goncalves de Deus, à minha co-orientadora STEN TN (EIO) Mendes Coelho e à ASPOF TN (MAT) Joana Ogura pelo apoio e incentivo que me deram no desenvolvimento deste trabalho. A sua ajuda relevou-se essencial para levar o projeto a bom porto.

Ao curso Fernão de Magalhães, pelos momentos que vivemos durante estes cinco anos.

À minha família pelo apoio e compreensão que me deram durante todo o meu percurso.

RESUMO

A indústria de transporte marítimo desempenha um papel crucial no comércio global, atuando como o principal meio de transporte de mercadorias internacionalmente.

A vigilância e monitorização dos espaços marítimos, por parte das entidades com competências nestas áreas pertencentes a Estados costeiros, constitui uma atividade essencial a fim de garantir a segurança das atividades económicas e evitar a ocorrência de atividades ilícitas. O controlo do tráfego marítimo assenta no uso de sistemas de informação sofisticados e no desenvolvimento e exploração de novas tecnologias e de sistemas de vigilância. Estes recursos garantem que as autoridades competentes tenham conhecimento em tempo real sobre as atividades que ocorrem e que ocorreram nos espaços marítimos sob sua jurisdição. No entanto, as fragilidades que estes sistemas apresentam permitem a alguns navios contornar a vigilância constante. Este fenómeno possibilita que atividades ilícitas sejam efetuadas, podendo não serem detetadas pelas autoridades.

Através de algoritmos e procedimentos heurísticos, os dados a serem tratados tem como fonte o sistema *Automatic Identification System (AIS)*.

Esta dissertação tem por objetivo desenvolver ferramentas que permitem ao analista detetar situações de ausência de relato de dados AIS e, analisar se os eventos se encontram associados à falta de informação do sistema ou a atividades de natureza ilegal, como *Dark Activity*.

Palavras-chave: Vigilância, Procedimento Heurístico, AIS, *Dark Activity*.

ABSTRACT

The maritime transport industry plays a crucial role in global trade, serving as the primary means of transporting goods internationally.

The surveillance and monitoring of maritime spaces, by coastal States entities with competencies in these areas, is an essential activity to ensure the security of economic activities and prevent illicit activities. Maritime traffic control relies on the use of sophisticated information systems and the development and deployment of new technologies and surveillance systems. These resources ensure that the relevant authorities have real-time and historical knowledge of activities occurring within their maritime jurisdictions. However, the vulnerabilities in these systems allow some vessels to evade constant surveillance. This phenomenon enables illicit activities to be carried out, potentially going undetected by the authorities.

Through algorithms and heuristic procedures, the data to be processed is sourced from the Automatic Identification System (AIS).

The objective of this dissertation is to develop tools that allow analysts to detect instances of AIS data reporting gaps and to analyze whether these events are due to system information deficiencies or are related to illegal activities, such as Dark Activity.

Key-words: Surveillance, Heuristic Procedures, AIS, Dark Activity.

Índice

EPÍGRAFE.....	iii
DEDICATÓRIA	v
AGRADECIMENTOS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT.....	xi
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	xv
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE TABELAS	xix
LISTA DE EQUAÇÕES	xxi
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Âmbito	2
1.4. Estrutura do Documento.....	3
2. Revisão de Literatura	5
2.1. Descrição e Legislação do sistema AIS.....	5
2.2. <i>Maritime Anomaly Detection</i>	10
2.3. <i>Dark Activity</i>	11
2.3.1 <i>Dark Activity</i> em operações de transferência <i>ship-to-ship</i>	13
2.4. Métodos de Análise e Inferência Estatística	13
3. Identificação e caracterização de ausência de relato AIS.....	15
3.1. Procedimento de deteção de ausência de relato AIS.....	17
3.1.1 Representação geográfica das ausências de relato AIS.....	17
3.1.2 Deteção de navios em período <i>Dark</i>	22
3.1.3 Representação geográfica da trajetória do navio.....	24
3.2. Procedimento heurístico de cálculo de área visitada durante período de ausência de relato AIS.....	26
3.2.1 Representação geográfica da área navegável durante ausência de relato ..	28
3.2.2 Cálculo cartesiano da área navegável durante ausência de relato.....	30
3.2.3 Caracterização da ausência de relato	33
3.3 Procedimento heurístico de deteção de interseção de áreas navegáveis entre dois navios durante ausência de relato AIS	37
4. Análise de resultados	45
4.1. Análise de resultados por Zonas.....	51

4.2. Análise de resultados por Tipologia de Navios	52
4.3. Mapa de Densidade	54
5. Conclusão e Trabalho Futuro	57
5.1. Conclusão.....	57
5.2. Trabalho Futuro.....	59
Bibliografia	61
Apêndices.....	65

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

AIS	Automatic Identification System
AOM	Área de Operações Marítimas
COG	Course Over Ground
CZMC	Comando de Zona Marítima do Centro
CZMN	Comando de Zona Marítima do Norte
CZMS	Comando de Zona Marítima do Sul
GPS	Global Positioning System
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
IEC	Electrotechnical Commission
IMO	International Maritime Organization
ITU	International Telecommunication Union
MAD	Maritime Anomaly Detection
MHz	Mega-Hertz
MID	Maritime Identification Digits
MMSI	Maritime Mobile Service Identity
MSB	Mean Square Between
MSI	Mobile Station Identifier
MSSIS	Maritime Safety and Security Information System
MSW	Mean Square Within
RADAR	Radio detection and Ranging
RSSI	Received Signal Strength Indicator
S-AIS	Satellite Automatic Identification System
SAR	Search and Rescue
SOG	Speed Over Ground
SOLAS	Safety of Life at Sea
SSB	Between groups Sum of Squares
SST	Total Sum of Squares
SSW	Within groups Sum of Squares
STS	Space-Time Prism
STS	Ship-to-Ship
UE	União Europeia
VHF	Very High Frequency
VTS	Vessel Traffic Service
ZEEA	Zona Económica e Exclusiva dos Açores
ZEEC	Zona Económica e Exclusiva Continental
ZEEM	Zona Económica e Exclusiva da Madeira

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Exemplo de AIS GAP (Kontopoulos et al. 2020).....	8
Figura 2- Space-Time Prism (Miller, 2017).....	9
Figura 3- Anomalias identificadas por AIS (Wolsing et al. 2022).....	11
Figura 4- Distinção entre Lost AIS Signal e Dark Activity (Windward, 2019).....	11
Figura 5- Cobertura AIS.....	12
Figura 6- Dados AIS.....	16
Figura 7- Ausências de Relatos AIS.....	18
Figura 8- Representação geográfica de ausências de relato AIS.....	20
Figura 9- Mapa de Densidade.....	22
Figura 10- Navios em período Dark.....	23
Figura 11- Dados de um navio de interesse.....	25
Figura 12- Representação geográfica da trajetória do navio.....	26
Figura 13- Elipse.....	27
Figura 14- Representação geográfica da área navegável durante ausência de relato.....	30
Figura 15- Eixo Maior e Eixo Menor da Elipse.....	31
Figura 16- Dados filtrados em relação à elipse.....	34
Figura 17- Representação geográfica dos dados de outros navios dentro da elipse.....	35
Figura 18- Possível caso de Dark Activity.....	35
Figura 19- Caso de AIS GAP.....	36
Figura 20- Matriz de Interseção de Elipses.....	39
Figura 21- Interseção de Elipses.....	41
Figura 22- Informação de Interseção de Elipses.....	42
Figura 23- Interseção de Elipses selecionada.....	43
Figura 24- H_0 e H_1	47
Figura 25- Tabela ANOVA.....	47
Figura 26- Resultados do teste de Kruskal-Wallis com indicador Duração por Zona.....	52
Figura 27- Resultados do teste de Kruskal-Wallis com indicador Duração por tipo de navio.....	53
Figura 28- Mapa de densidade do indicador de número de ausências.....	54
Figura 29- Mapa de densidade do indicador de duração média.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Navigation Status	7
Tabela 2- Informação disponibiliza por mensagens AIS (Wolsing et al. 2022).....	7
Tabela 3- Indicadores utilizados na Análise de Resultados	46
Tabela 4- P-value.....	49
Tabela 5- P-values do teste de Dunn com indicador Duração por Zona	51
Tabela 6- P-values do teste de Dunn com indicador Duração por Tipo de navio	53

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1- Distância da Trajetória	27
Equação 2- Condição da Distância	28
Equação 3- Distância de cada Trajetória.....	28
Equação 4- Eixo Maior	31
Equação 5- Eixo Maior	31
Equação 6- Fórmula Haversine	32
Equação 7- Orientação angular da Elipse (Lei & Wong, 1999)	32
Equação 8- Latitude da Elipse	32
Equação 9- Longitude da Elipse	32
Equação 10- SST	47
Equação 11- Decomposição de SST	48
Equação 12- Soma de quadrados	48
Equação 13- MSB	48
Equação 14- MSW	48
Equação 15- Valor H.....	50

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O espaço marítimo é essencial para a economia mundial e o meio mais eficaz no transporte de bens materiais. Com o aumento da globalização no último século, observou-se um crescimento no movimento marítimo e na quantidade de navios que navegam no alto mar e em todas as águas que com ele tenham comunicação (Across Logistics, 2022), justificando a elevada percentagem de cerca de 90% das trocas comerciais serem feitas através do mar (Wan *et al.* 2016).

Devido à importância que o mar representa para a nossa sociedade, uma das grandes preocupações e desafio é garantir a segurança e o controlo do espaço marítimo. Isto torna-se possível se houver um entendimento positivo dos dados, eventos e atividades associadas com o âmbito marítimo (Wolsing *et al.* 2022).

Com o desenvolvimento das novas tecnologias e, mais especificamente, com a ajuda de sistemas de vigilância e monitorização, encontra-se disponível uma quantidade de dados sem precedentes. Nisto surge o *Automatic Identification System* (AIS), sistema baseado na transmissão de mensagens que constam, para além de outras informações, na identificação, posição, velocidade e rumo do navio (Lane *et al.* 2010).

Devido à natureza do sistema, o AIS tornou-se uma ferramenta indispensável para o Conhecimento Situacional Marítimo. No entanto, o AIS é suscetível a situações de manipulação de dados, podendo ser desativado com o objetivo de encobrir atividades ilícitas. Isto provoca ausência de relato AIS e, por isso, a posição e a motivação do navio tornam-se desconhecidas (Mazzarella *et al.* 2016).

1.2. Objetivos

A presente Dissertação de Mestrado tem como objeto de estudo os comportamentos anómalos relacionados com a ausência de transmissão de sinal AIS por parte de um navio e pretende atingir os seguintes objetivos:

1. Desenvolver um procedimento heurístico capaz de identificar períodos de ausência de relato AIS por parte de um navio.

2. Desenvolver procedimentos heurísticos¹ para:
 - Construir a área de navegação (designada por “elipse”) que um navio suspeito pode ter alcançado durante o período em que não foram transmitidas mensagens AIS;
 - Identificar os navios que podem ter estado no interior da área de navegação referida durante o período de ausência de sinal AIS.
3. Com base nos procedimentos propostos, identificar interseções entre áreas de navegação de dois navios durante os respetivos períodos da não transmissão de mensagens AIS a fim de aferir a possibilidade de interação entre dois.

Estes objetivos estão materializados numa aplicação, desenvolvida em MATLAB, a fim de analisar situações anómalas de ausência de relato AIS.

1.3. Âmbito

A Zona Económica Exclusiva de Portugal é a vigésima maior do mundo com uma área de 1,7 milhões quilómetros quadrados (Economia Azul, 2021). Devido à sua dimensão e à sua localização geográfica, a monitorização e vigilância do espaço marítimo português é indispensável e constitui um grande desafio para Portugal, enquanto Estado costeiro.

Como consequência das sanções à Federação Russa, resultantes do atual conflito armado com a Ucrânia, tem-se observado um aumento sem precedentes de comportamentos decetivos e ilícitos por parte de navios de bandeira russa (Windward, 2024).

Tendo em consideração a missão da Marinha Portuguesa “Promover e proteger os interesses de Portugal no e através do mar” e o escalar da instabilidade internacional, surge ainda mais a necessidade de direcionar os recursos materiais e pessoais para o Conhecimento Situacional Marítimo das águas territoriais.

Neste contexto, esta Dissertação de Mestrado pretende, com o desenvolvimento de procedimentos heurísticos capazes de identificar e caracterizar períodos de ausência de

¹ Perante um problema para o qual se conhece as características de uma possível solução, um procedimento heurístico consiste num conjunto de instruções, normalmente executadas sequencialmente de tipo “top down” e que a partir de um conjunto de parâmetros de entrada, produz uma solução para o problema em causa. Neste tipo de problema não se considera nenhuma função de mérito relativamente à solução produzida pelo procedimento. O termo “algoritmo” é utilizado quando, perante o mesmo problema, considera-se uma função de mérito (normalmente designada por função objetivo), e sob determinadas condições garante-se a obtenção da solução com o melhor valor da função de mérito. A distinção entre “procedimento heurístico” e “algoritmo”, está no facto de o primeiro ser usado apenas para obter uma solução sem haver preocupação com a qualidade ou mérito da mesma.

relato de mensagens AIS, contribuir para o crescente esclarecimento do panorama marítimo atual e testar funcionalidades de análise de dados georreferenciados a fim de serem incluídos ou desenvolvidos nas atuais ferramentas de Conhecimento Situacional Marítimo exploradas pela Marinha Portuguesa. Os problemas de identificação e caracterização de ausência de relato de mensagens AIS não são tratados nesta dissertação como problemas de otimização, mas sim como problemas em que se pretende obter informação útil a partir de dados ou fatos ocorridos. Por conseguinte, serão desenvolvidos procedimentos heurísticos e não algoritmos de otimização.

1.4. Estrutura do Documento

A presente Dissertação de Mestrado é constituída por cinco capítulos com a seguinte estrutura:

1. Introdução;
2. Revisão de Literatura;
3. Identificação e caracterização de ausência de relato AIS;
4. Análise de Resultados;
5. Conclusão e Trabalho Futuro.

2. Revisão de Literatura

2.1. Descrição e Legislação do sistema AIS

O *Automatic Identification System* é um sistema de comunicações de identificação e localização no espaço marítimo que oferece um aumento na segurança na navegação e um melhor esclarecimento do panorama de superfície, sendo um suplemento à observação visual e aos sistemas RADAR². Utiliza 2 bandas VHF³, $f_1 = 161.975$ MHz e $f_2 = 162.025$ MHz, de maneira a trocar informação e dados relacionados com a navegação (Wolsing *et al.* 2022).

O sistema encontra-se operacional em zonas próximas a estações costeiras e considera-se que tem um alcance médio de cerca de 40 milhas náuticas, ou áreas com navios próximos. O AIS alimenta-se dos dados do GPS⁴ ou outro sensor interno do navio, de modo a ter um controlo positivo do mesmo (NATO, 2021).

De maneira a colmatar as limitações de alcance do AIS, foi desenvolvido o *Satellite AIS* (S-AIS). Este desenvolvimento tornou possível a recolha de dados para além do alcance máximo do VHF e permite uma monitorização quase global dos navios (European Space Agency, 2024).

O AIS foi criado com três objetivos principais especificados pela *International Maritime Organization* (IMO)⁵. O primeiro objetivo foca-se na troca constante de informação AIS e esclarecimento do panorama por parte de todos os navios, de modo a aumentar a segurança da navegação e evitar colisões e abalroamentos no mar. O segundo propósito tem como fim a identificação, por parte dos estados litorais, das embarcações e do tipo de carga que navegam nas suas águas territoriais. Por último, o AIS serve como ferramenta para *Vessel Traffic Services* (VTS)⁶, facilitando o esclarecimento do panorama. Isto permite, por sua vez, uma resposta mais rápida dos serviços a situações de áreas de tráfego elevado ou de emergência, tais como operações de *Search and Rescue* (SAR)⁷ ou de poluição (Wolsing *et al.* 2022).

² RADAR: *Radio Detection And Ranging*, sistema que tem como objetivo detetar e localizar objetos por emissão de ondas eletromagnéticas na frequência das ondas rádio.

³ VHF: *Very High Frequency* define o intervalo entre 30 e 300 MHz.

⁴ GPS: *Global Positioning System* é sistema de navegação por satélite.

⁵ IMO: Organização responsável pela segurança e regulamentação do transporte marítimo.

⁶ VTS: Centro de coordenação e controlo de tráfego marítimo e segurança.

⁷ SAR: Busca e Salvamento, atividade de localizar e resgatar náufragos e desaparecidos.

O sistema foi desenvolvido durante a década de 90, fruto da cooperação de diferentes organizações internacionais, tais como a IMO, *International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities* (IALA), *International Telecommunication Union* (ITU) e *Electrotechnical Commission* (IEC) (IALA, 2016).

O AIS disponibiliza diferentes tipos de informação, que podem ser divididos em 4 grupos, informação estática, informação dinâmica, informação sobre a viagem do navio e informação sobre segurança (Wolsing *et al.* 2022).

A informação estática consiste nos elementos que fornecem uma caracterização geral da embarcação e, mais importante, o número *Maritime Mobile System Identity* (MMSI) que é diferente para cada navio e serve de método de identificação primário do AIS. O MMSI é um número constituído por 9 dígitos e encontra-se dividido em duas partes. A primeira parte designa-se por *Maritime Identification Digits* (MID), conjunto dos três primeiros dígitos do MMSI que definem a nacionalidade do país. O primeiro dígito do MID dos navios varia entre o intervalo de dois a sete. Os restantes seis números formam *Mobile Station Identifier* (MSI) e é único para cada navio (Windward, 2024).

A informação dinâmica permite obter um panorama real dos movimentos e intenções da embarcação, tal como o *Navigation status*. O *Navigation status* é a informação que indica o estado da navegação da embarcação através de um código numérico de acordo com a Tabela 1 (Datalastic, 2022).

Numeração	Significado
0	<i>Under way using engine</i>
1	<i>At anchor</i>
2	<i>Not under command</i>
3	<i>Restricted maneuverability</i>
4	<i>Constrained by her draught</i>
5	<i>Moored</i>
6	<i>Aground</i>
7	<i>Engaged in fishing</i>
8	<i>Under way sailing</i>
9	<i>Reserved for future amendment of navigational status for ships carrying DG, HS, or MP, or IMO hazard or pollutant category C, high-speed craft (HSC)</i>

10	<i>Reserved for future amendment of navigational status for ships carrying dangerous goods (DG), harmful substances (HS) or marine pollutants (MP), or IMO hazard or pollutant category A, wing in ground (WIG)</i>
11	<i>Power-driven vessel towing astern (regional use)</i>
12	<i>Power-driven vessel pushing ahead or towing alongside (regional use)</i>
13	<i>Reserved for future use</i>
14	<i>AIS-SART (active), MOB-AIS, EPIRB-AIS</i>
15	<i>Undefined = default (also used by AIS-SART, MOB-AIS and EPIRB-AIS under test)</i>

Tabela 1- Navigation Status

Para além disto, o sistema partilha, igualmente, informação relacionada com o trânsito, viagem e segurança do navio.

Type	Data
Static	<ul style="list-style-type: none"> • MMSI number • Call sign & call name • Length & beam • Ship type • Antenna location (aft/bow; port/starboard)
Dynamic	<ul style="list-style-type: none"> • Ship position (PO), accuracy, and integrity • Time in UTC • Course over ground (COG) • Speed over ground (SOG) • Heading (HE) • Rate of turn (ROT) • Navigational status, e.g., at anchor (STA)
Voyage related	<ul style="list-style-type: none"> • Draught • Hazardous cargo (type) • Destination (DST), and estimated time of arrival
Safety related	<ul style="list-style-type: none"> • Text messages

Tabela 2- Informação disponibiliza por mensagens AIS (Wolsing *et al.* 2022)

A frequência com que o AIS transmite mensagens com a informação depende tanto da velocidade do navio e estado de navegação, como da qualidade de cobertura do sinal. Verifica-se que a informação estática e de trânsito são transmitidas aproximadamente a cada seis minutos e a informação dinâmica entre intervalos de dois segundos a três minutos (Kontopoulos *et al.* 2020).

A partir de 31 de dezembro de 2004, e segundo a convenção SOLAS (*Safety Of Life At Sea*) Chapter V, Regulation 19.2 --Carriage requirements for shipborne navigational systems

and equipment, todos os navios acima de 300 toneladas a efetuar viagens internacionais, navios de carga acima de 500 toneladas não estando em viagens internacionais e todo o tipo de navios de passageiros independentemente do seu tamanho, são obrigados a estar equipados com o AIS.

Adicionalmente, e referente aos estados-membros da União Europeia e à sua área de jurisdição, foi criada *COMMISSION DIRECTIVE 2011/15/EU of 23 February 2011, amending Directive 2002/59/EC of the European Parliament and of the Council establishing a Community vessel traffic monitoring and information system* que impõe às embarcações de pesca, com um comprimento igual ou superior de 15 metros, que sejam equipadas com o AIS.

O AIS é uma ferramenta fundamental para o Conhecimento Situacional Marítimo e, por isso, ao analisar os dados fornecidos, permite uma melhor deteção de anomalias marítimas. A base de dados AIS possibilita o estudo e o controlo de atividades ilegais (Mazzarella *et al.*, 2016).

No entanto, os dados AIS podem ser suscetíveis a *spoofing*⁸ ou à deterioração da qualidade de transmissão por fatores externos como cobertura fraca do sinal, aéreas com elevado densidade de tráfego, condições meteorológicas e GPS *jamming*⁹ (Mazzarella *et al.*, 2016). Para além disto, o sistema pode ser desativado internamente pela guarnição do navio. Estes fatores provocam modificações na transmissão de mensagens e *AIS Gaps*, períodos em que os sinais AIS não são recebidos e, por isso, o movimento e a posição do navio são desconhecidos (Windward, 2019).

Na figura 1 pode-se observar um exemplo meramente ilustrativo de um *AIS GAP*.



Figura 1- Exemplo de *AIS GAP* (Kontopoulos *et al.* 2020)

⁸ Spoofing: Prática de manipular e falsificar o sinal GPS, de modo a induzir em erro o utilizador em relação á sua posição real.

⁹ GPS *jamming*: Ato de interferir com as transmissões GPS.

De maneira a descortinar as posições do navio durante o *AIS GAP*, é necessário considerar todas as trajetórias possíveis durante o período de ausência.

O *Space-Time Prism* (STP) é um conceito que considera todas as trajetórias possíveis, dentro de um determinado espaço e tempo, entre locais e períodos conhecidos (Miller, 2017).

Os parâmetros de cálculo de STP são a posição inicial (partida) e posição final (chegada), associados respectivamente com os períodos temporais de cada acontecimento, a velocidade considerada e o tempo de atividade estacionária. Num determinado espaço de tempo, STP é definido pelo conjunto de três polígonos. O primeiro polígono é definido por um círculo centrado na posição inicial que contém todas as posições alcançáveis, considerando a duração entre eventos e velocidade disponível. O segundo polígono é definido por um círculo centrado na posição final que contém todas as posições alcançáveis, considerando a duração entre eventos e velocidade disponível. O terceiro polígono é definido por uma elipse definida pelas posições que tem em conta tempo de atividade estacionária. A interseção destes polígonos encontra-se representada na figura 2, com a legenda *Potencial Path area* (Miller, 2017).

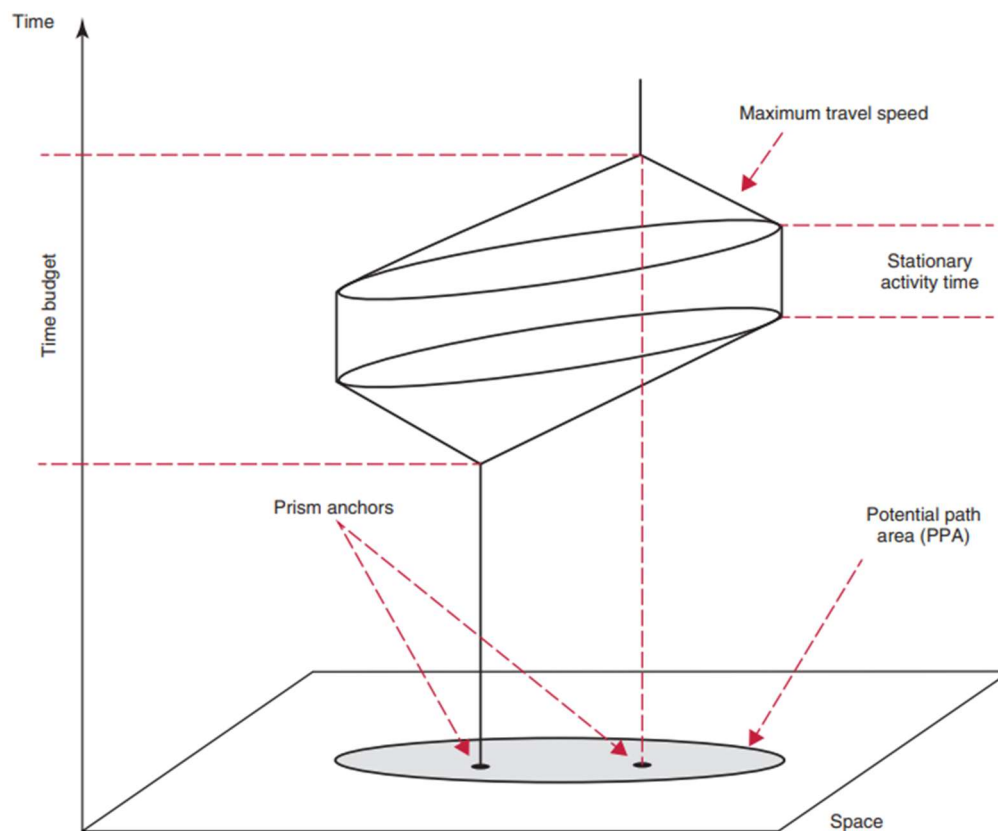


Figura 2- *Space-Time Prism* (Miller, 2017)

2.2. *Maritime Anomaly Detection*

O termo anomalia define algo que se desvia do expectável, do comportamento conhecido ou do que é considerado “normal”. *Maritime anomaly detection* (MAD) é um conceito que procura estudar, detetar e identificar anomalias no espaço marítimo, ou seja, comportamentos de navios que se desviam do padrão (Pallotta *et al.* 2013).

As anomalias podem ser classificadas e divididas em vários grupos. Em primeiro lugar, as anomalias ao nível da posição, ou seja, navios a navegar fora de rotas marítimas ou em aéreas atípicas. Em segundo lugar, as anomalias cinemáticas onde navios apresentam comportamentos fora do padrão, tanto ao nível do rumo (navegar fora da rota estabelecida ou guinadas repentinas) como da velocidade tomada (velocidades altas e baixas ou mesmo paragens instantâneas). De seguida, consideram-se as anomalias relacionadas com a ausência ou a inconsistência de dados da trajetória e da posição do navio. É importante referir igualmente as anomalias contextuais que consideram as características e tipo de navio ou conceitos temporais, como, por exemplo, a altura do ano. Por último, existem as anomalias complexas que têm em vista situações que requerem um estudo e acompanhamento do navio mais específicos e detalhados, tais como tráfico de pessoas ou drogas, terrorismo ou *spoofing* (Martineau *et al.* 2011).

Focando agora e tendo em conta as capacidades do AIS, existem anomalias que podem ser identificadas apenas com a análise de dados provenientes deste sistema. Partindo do princípio de que o navio pratica a rota mais económica e curta, qualquer desvio do trajeto padrão injustificável representa uma anomalia (Figura 3 (a)). Por um lado, em alto mar, espera-se que os navios naveguem seguindo uma rota direita. Por outro lado, em aéreas perto da costa ou em zonas com canais estreitos de navegação, é expectável navegarem sobre rotas padronizada e diretas. Devido à possibilidade de o navio desligar intencionalmente o AIS, o período durante o qual a embarcação não transmitiu mensagens e houve ausência de relato representa uma irregularidade e possível caso de *Dark Activity* (Figura 3 (b)). Seguindo um certo padrão e ordem de visita de portos por parte de um navio ou a informação disponibilizada nas mensagens AIS a respeito do trânsito e viagem, qualquer tipo de realidade discrepante com este tipo de dados revela um provável caso de anomalia (Figura 3 (c)). Aproximações durante períodos extensos entre dois navios é um acontecimento atípico, sendo que este tipo de comportamento costuma indicar atividade ilegal, como contrabando

ou transferência de substâncias ilícitas (Figura 3 (d)). Por fim, a entrada por parte do navio numa zona de interesse na qual o mesmo não tem autorização para navegar, podendo ser áreas protegidas, militares ou governamentais, é indicativa duma irregularidade (Figura 3 (e)) (Lane *et al.* 2016).

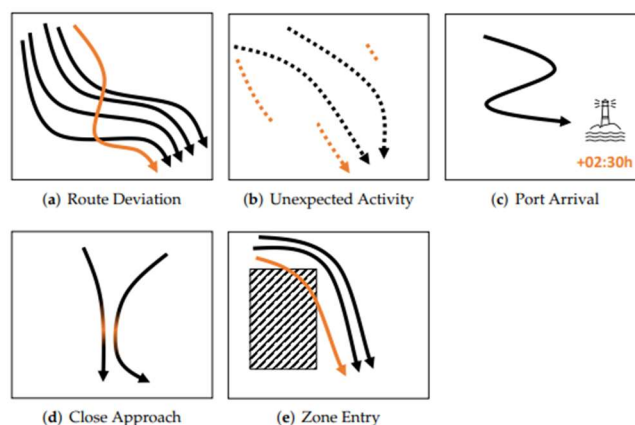


Figura 3- Anomalias identificadas por AIS (Wolsing *et al.* 2022)

2.3. Dark Activity

A *Dark Activity* define-se pela desativação intencional do AIS por parte da guarnição do navio, com o objetivo de encobrir as suas ações e intenções. Este comportamento costuma ser um bom indicador de atividades ilícitas. No entanto, distinguir entre *Dark Activity* e a perda do sinal AIS, seja por falta de boa cobertura do sinal ou por outras razões, torna-se um desafio (Görkem *et al.* 2023).

Lost AIS Signal	Dark Activity
Poor Coverage	Trading in Sanctioned Goods
Overcrowded Area	Drug Smuggling
Weather	Human and Arms Trafficking
GPS Jamming	Illegal Fishing

Figura 4- Distinção entre *Lost AIS Signal* e *Dark Activity* (Windward, 2019)

De maneira a resolver esta problemática, Kontopoulos *et al.* (2020) propôs um sistema capaz de definir zonas com boa ou reduzida cobertura de sinal AIS. Com acesso a uma área definida de vigilância e dividida em células com tamanhos iguais, é possível classificar quais as células que têm boa cobertura e quais não têm.

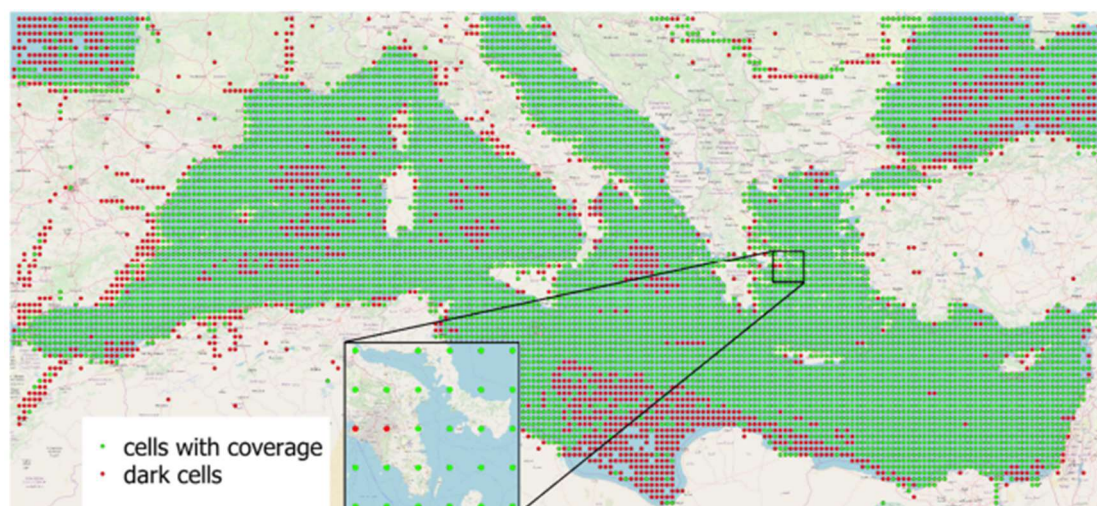


Figura 5- Cobertura AIS

A falta de sinal AIS é justificável por diversos motivos. Em primeiro lugar, pela distância e escassez de estações costeiras, situação que se encontra definida *a priori*. Em segundo, noutras situações como condições meteorológicas adversas ou por *GPS jamming*, sendo possível identificar a fraca cobertura do sinal pela quantidade de mensagens AIS por célula. Verificando uma quantidade baixa ou nula de mensagens AIS, considera-se a zona de cobertura reduzida. No entanto, se o sistema identificar a ausência de relato AIS fora das células de cobertura reduzida, é provável estar perante a desativação intencional do mesmo e, portanto, o navio em questão torna-se num contacto de interesse (Kontopoulos *et al.* 2020).

Mazzarella *et al.* (2016) sugere outra metodologia que reconhece automaticamente a diferença entre desativação intencional do sistema e perda de sinal AIS. O modelo tem em conta a cobertura de sinal por parte das estações AIS, a posição do navio e o RSSI¹⁰. Isto permite calcular a distância do navio à estação e o limite até o qual a receção de mensagens AIS é esperada e, conseqüentemente, se a ausência de relato é potencial *Dark Activity* ou não.

¹⁰ RSSI: Received Signal Strength Information disponibiliza a capacidade de receção do sinal, medida na antena do recetor em questão.

Para além de se considerar a qualidade do sinal AIS na zona onde se verificou o AIS GAP, é importante avaliar a duração da ausência de relato em relação à distância percorrida durante o evento. Dado um valor médio de velocidade, se houver discrepância entre o período e a distância percorrida, a probabilidade de ser um caso de *Dark Activity* aumenta. Tendo em conta esta variável e a qualidade do sinal AIS, é possível determinar a natureza de cada caso como sendo presumível *Dark Activity* ou não (Windard, 2020).

2.3.1 *Dark Activity* em operações de transferência *ship-to-ship*

Nos últimos anos tem se verificado um aumento de *Dark Activity* em operações de transferências *ship-to-ship* (STS). As operações de transferências STS são transferências de material entre dois navios a navegar ou a pairar (Rjumina, 2024). Estas operações não ocorrem nos portos, mas em alto mar onde a profundidade é suficiente e onde a corrente e ventos não têm impacto (Androjna *et al.* 2023).

Estas atividades são feitas regularmente de maneira a transferir grandes quantidades de combustível ou outros tipos de carga. Devido a natureza de alto risco, que pode pôr em causa a segurança marítima e o ambiente, estas operações têm rígidas regulações e procedimentos (IMO, 2023).

Dark ship-to-ship transfers ocorrem quando um ou mais navios envolvidos na operação desliga ou manipula a informação referente ao AIS (Ballinger, 2024).

Devido à agressão militar russa contra a Ucrânia, a União Europeia (UE) impôs inúmeras sanções contra a Rússia. Estas sanções têm em vista, para além de outros, o setor do transporte que inclui (Conselho Europeu, 2024):

- O encerramento de portos da UE a navios russos;
- A proibição de acesso aos portos e eclusas na UE para os navios que efetuam transbordos de navio a navio (suspeitos de violarem as sanções);

De modo a encobrir a origem dos navios que efetuam transbordos a navios russos, os navios desligam o AIS, resultando em operações de transferências *ship-to-ship* ilícitas.

2.4. Métodos de Análise e Inferência Estatística

A fim de testar as funcionalidades de análise de situações de ausência de sinal AIS, pretende-se averiguar a ocorrência destas situações num conjunto de áreas geográficas. Uma das hipóteses que se pretende testar é se as situações de ausência de relato ocorrem com o

mesmo perfil nas diferentes áreas. Por “perfil”, entende-se, por exemplo, a frequência média diária, embora possam ser utilizadas outras variáveis, como a duração média da ausência de relato ou a distância entre as posições onde ocorreu essa ausência. Por conseguinte, no capítulo 4 serão efetuados testes de hipótese com recurso à Técnica de Análise de Variância. Esta técnica permite comparar uma variável entre diferentes grupos. Neste caso particular da ausência de relato, os grupos são definidos pelas áreas e pelo tipo de navio. Por exemplo, pode ser interessante averiguar se a duração média de ausência de relato na área A para navios de tipo “carga” é diferente da duração média de ausência de relato na área B para navios de tipo “tanker”.

A ANOVA (*Analysis of Variance*) consiste numa técnica estatística que tem como objetivo comparar a média de grupos, de modo a entender, se existe diferença estatística entre eles (Skidmore *et al.* 2012).

A ANOVA consiste num teste paramétrico, ou seja, deve cumprir com pressupostos predefinidos para que os seus resultados sejam válidos. Estes pressupostos definem que as observações dos grupos devem ser independentes entre si, os resíduos (diferença entre os valores observados e as médias do grupo) devem seguir uma distribuição normal e as variâncias entre os diferentes grupos devem ser aproximadamente iguais (Skidmore *et al.* 2012).

O teste de Kruskal-Wallis é uma técnica estatística usada para comparar a mediana de grupos, apresentando uma alternativa ao teste de ANOVA. Ao contrário da ANOVA, a técnica Kruskal-Wallis corresponde a um teste não paramétrico e, por isso, não segue pressupostos e admite dados com uma distribuição dita não normal (Dinno *et al.* 2015).

O mapa de densidades ilustra a distribuição dos objetos de estudo no espaço mapeado. Dependendo da definição das quadrículas que divide o mapa, é possível determinar se houve ocorrência de eventos na zona em questão e qual a densidade desses eventos em relação ao resto da região (Li *et al.* 2020).

3. Identificação e caracterização de ausência de relato AIS

No presente capítulo são apresentados procedimentos heurísticos que tem como grande objetivo disponibilizar funcionalidades de análise que possam ser integradas numa aplicação informática, desenvolvida através da ferramenta *MATLAB*, a fim de detetar a interseção no tempo e no espaço de áreas de possível navegação entre dois contactos durante a ausência de relato AIS.

O capítulo encontra-se estruturado em três subcapítulos. Cada um destes subcapítulos explica em detalhe o desenvolvimento do raciocínio e código que levou à construção da aplicação.

O subcapítulo 3.1 apresenta um procedimento heurístico de deteção de ausência de relato AIS, considerando a definição do valor temporal padrão entre transmissões de mensagens. Para além disto, o procedimento, de acordo com os dados AIS disponíveis, executa a construção da trajetória de navios de interesses.

De seguida, o subcapítulo 3.2 descreve o procedimento que calcula a possível área navegável das embarcações durante a ausência relato, tendo em conta as variáveis de tempo, velocidade, posição de perda do sinal AIS e posição de retoma do sinal em questão. Após isto, o modelo identifica a existência ou ausência de dados AIS de outros navios dentro das áreas anteriormente calculadas, indicado um possível caso de *Dark Activity*.

Finalmente, o subcapítulo 3.3 consta num modelo que gera um alerta no caso de haver interseção no tempo e no espaço entre áreas calculadas de dois contactos no subcapítulo anterior.

A aplicação desenvolvida permite ao utilizador explorar estas funcionalidades e obter informações relevantes sobre o Conhecimento Situacional Marítimo. A análise dos dados, fornecidos de maneira ilustrativa e representados no plano geográfico, possibilita a identificação de padrões que fogem do expectável.

Devido às suas características, a aplicação tem como objetivo ser uma ferramenta que contribui para *Maritime Anomaly Detection*, identificação de possíveis casos de *Dark Activity* e de atividades ilícitas.

Os dados AIS que serão tratados e analisados tem como origem três fontes, *Maritime Safety and Security Information System*¹¹ (MSSIS), VHF e S-AIS.

¹¹ MSSIS: Sistema de recolha de dados AIS e rede de distribuição. Países Membros partilham dados AIS entre si.

Como se pode observar na figura 6, os dados AIS a serem tratados encontram-se divididos por dia e organizados numa tabela com 8 colunas com a seguinte distribuição:

1. MMSI;
2. Valor temporal de quando ocorreu o relato;
3. Latitude;
4. Longitude,
5. *Navigation Status*;
6. *Speed Over Ground (SOG)*¹²;
7. *Course Over Ground (COG)*¹³;
8. Proa.

	1							
1	244710903	7.3878e+05	51.3401	4.3034	2	0	90	398.9000
2	224166440	7.3878e+05	36.3419	-4.9218	7	2.9000	205.5000	398.9000
	224122340	7.3878e+05	43.9639	-5.3643	0	6.2000	350.8000	38.9000
4	563042300	7.3878e+05	36.9271	-9.3464	0	11.1000	100.2000	415.4000
5	232009900	7.3878e+05	37.0754	-8.1243	0	0	250.3000	38.9000
6	636020884	7.3878e+05	37.4989	-9.4940	0	11.2000	102.8000	415.8000
7	211591230	7.3878e+05	37.0007	-7.8388	0	0	117.6000	38.9000
8	209324000	7.3878e+05	43.9737	-7.6156	0	13	177	422.7000
9	503065660	7.3878e+05	28.6784	-17.7677	0	0	258.9000	38.9000
10	230158450	7.3878e+05	42.3296	-8.7835	0	0.1000	90	38.9000
11	224784000	7.3878e+05	36.1326	-5.4311	2	0	13	449.7000
12	244057051	7.3878e+05	42.6046	-8.9342	0	0.2000	21.1000	38.9000
13	224050140	7.3878e+05	43.3609	-8.4023	7	0.9000	253.1000	429.9000
14	224328880	7.3878e+05	36.5318	-4.4493	3	2	35.4000	398.9000
15	257972900	7.3878e+05	69.7352	30.0983	0	13.5000	282.9000	38.9000
16	266465000	7.3878e+05	70.4066	18.5877	0	9	33.8000	443.8000
17	368221230	7.3878e+05	47.2535	-122.4341	0	0	90	38.9000
18	538003275	7.3878e+05	51.9906	3.8173	0	8.6000	352.4000	440.9000
19	205553690	7.3878e+05	51.2914	4.3073	2	0	90	398.9000
20	257223700	7.3878e+05	70.4477	23.7872	0	0.3000	280	434.8000
21	257733900	7.3878e+05	68.8011	16.5456	0	0.1000	344.5000	445.4000
22	257057980	7.3878e+05	63.4518	10.2018	0	0	213.5000	428.7000
23	257450500	7.3878e+05	63.0536	7.7082	3	0	30.8000	398.9000
24	276162000	7.3878e+05	58.5750	23.5100	2	0	243.3000	429.1000
25	440107360	7.3878e+05	35.0834	128.9993	0	0.1000	233.2000	424

Figura 6- Dados AIS

¹² SOG: velocidade do navio em relação à superfície da terra.

¹³ COG: rumo do navio

3.1. Procedimento de deteção de ausência de relato AIS

O presente subcapítulo encontra-se dividido em três secções. A primeira secção 3.1.1 tem como objetivo descrever o procedimento para detetar ausências de relatos AIS e representá-las graficamente. A secção 3.1.2. identifica casos de navios que se encontram em período *Dark*. A terceira secção 3.1.3 trata de caracterizar e reproduzir as trajetórias dos navios de interesse.

O grande interesse deste subcapítulo passa pela identificação de comportamentos anómalos a nível da interrupção de transmissão de mensagens AIS. Posto isto, de maneira a perceber se houve de facto algum tipo de anomalia, é necessário efetuar um tratamento de dados e analisar o tempo entre relatos AIS consecutivos.

A deteção de ausências de relatos resume-se por calcular a diferença temporal entre relatos consecutivos do mesmo navio, com objetivo de perceber se houve um período significativo e alarmante sem haver transmissão de mensagens AIS.

A diferença temporal entre relatos consecutivos do mesmo navio será calculada através de uma função com três parâmetros, os dados AIS, o MMSI do navio de interesse e o intervalo de tempo entre relatos consecutivos:

- Dados AIS: conjunto de dados AIS, dentro da Área de Operações Marítima (AOM), dos navios divididos por um valor temporal de 24 horas.
- MMSI: MMSI único de um navio selecionado.
- Intervalo de Tempo: intervalo de tempo selecionado entre dois relatos consecutivos.

3.1.1 Representação geográfica das ausências de relato AIS

O primeiro objetivo da aplicação consiste na representação geográfica das ausências de relato no espaço, de maneira a obter um panorama real e ilustrativo.

De modo a facilitar o processo e a torná-lo mais expedito, é indispensável tratar e filtrar os dados. Este processo divide-se em três etapas:

- Organizar os dados cronologicamente;
- Filtrar os dados de maneira que apenas se analise dados relativos a MMSI's de navios;

- Filtrar os dados de maneira que apenas se analise dados relativos a navios que não estão atracados ou encalhados.

Com os dados tratados, o próximo passo é organizá-los por MMSI com o objetivo de agrupar os dados por navio. Isto permite identificar na tabela relatos consecutivos do mesmo navio.

Com os dados organizados por navio e cronologicamente, torna-se possível encontrar a diferença temporal entre relatos seguidos. Este valor é descoberto através do cálculo da diferença entre valores consecutivos da segunda coluna da tabela dos dados AIS.

Identificada a diferença temporal de todos os relatos de todos os navios, a aplicação oferece a possibilidade que o usuário selecione a duração entre relatos que define ausência de relato de interesse. A razão por detrás deve-se à natureza arbitrária deste valor e que dados se pretende analisar.

Com isto, filtra-se os dados, descartando todos os conjuntos de relatos consecutivos com duração temporal entre si menor àquela selecionada pelo utilizador. Os restantes casos são considerados acontecimentos de interesse.

Nisto surge a Tabela da Figura 7, na qual o programa agrupou todos os pares de relatos em que foi verificada uma diferença temporal superior à estipulada.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	203674400	7.3878e+05	27.7472	-15.6209	7.3878e+05	27.7472	-15.6211	122.8167	27.7472	-15.6210	53.9244
2	204209000	7.3878e+05	41.6472	-9.3741	7.3878e+05	41.6606	-9.3767	84.6333	41.6539	-9.3754	22.9928
3	204209000	7.3878e+05	41.6983	-9.4109	7.3878e+05	41.7101	-9.4242	105.0000	41.7042	-9.4176	24.2798
4	204209000	7.3878e+05	41.7147	-9.4295	7.3878e+05	41.7179	-9.4258	83.5167	41.7163	-9.4277	24.6536
5	204229000	7.3878e+05	40.1236	-8.9227	7.3878e+05	40.1708	-8.9134	405.0333	40.1472	-8.9181	1.8423
6	204263000	7.3878e+05	36.6572	-8.4955	7.3878e+05	36.7137	-8.4850	68.3333	36.6854	-8.4903	24.1628
7	204263000	7.3878e+05	36.6577	-8.4929	7.3878e+05	36.7145	-8.4833	70.3500	36.6861	-8.4881	24.1116
8	204268000	7.3878e+05	42.2348	-8.7403	7.3878e+05	42.2330	-8.7361	93.6333	42.2339	-8.7382	0.1823
9	204285000	7.3878e+05	38.5355	-9.5090	7.3878e+05	38.6181	-9.6815	68.8333	38.5768	-9.5952	9.3380
10	204600003	7.3878e+05	38.7118	-27.0560	7.3878e+05	38.7118	-27.0560	255.8667	38.7118	-27.0560	0.0563
11	204600003	7.3878e+05	38.7118	-27.0560	7.3878e+05	38.7119	-27.0560	104.3167	38.7118	-27.0560	0.0573
12	204813480	7.3878e+05	36.9388	-25.1520	7.3878e+05	37.0526	-25.1889	220.0000	36.9957	-25.1704	0.2154
13	205370730	7.3878e+05	36.6164	-6.3527	7.3878e+05	36.6164	-6.3527	68.4167	36.6164	-6.3527	33.8285
14	205498830	7.3878e+05	28.7396	-13.8643	7.3878e+05	28.7397	-13.8643	87.8333	28.7396	-13.8643	0.1836
15	205652930	7.3878e+05	28.8574	-13.8163	7.3878e+05	28.8575	-13.8163	113.8500	28.8574	-13.8163	0.0293
16	205652930	7.3878e+05	28.8575	-13.8163	7.3878e+05	28.8574	-13.8164	108.1333	28.8574	-13.8163	0.0290
17	205652930	7.3878e+05	28.8574	-13.8163	7.3878e+05	28.8574	-13.8163	110.7667	28.8574	-13.8163	0.0285
18	205795000	7.3878e+05	44.5351	-8.8026	7.3878e+05	45.1345	-8.3754	169.2833	44.8348	-8.5890	70.3552
19	205832230	7.3878e+05	28.9168	-13.7014	7.3878e+05	28.9169	-13.7014	90.6667	28.9169	-13.7014	0.2040
20	205832230	7.3878e+05	28.9169	-13.7014	7.3878e+05	28.9169	-13.7013	93.5167	28.9169	-13.7014	0.2053
21	205834010	7.3878e+05	36.7480	-4.0668	7.3878e+05	36.7480	-4.0668	65.9333	36.7480	-4.0668	129.6315
22	205834010	7.3878e+05	36.7480	-4.0668	7.3878e+05	36.7480	-4.0668	62.8000	36.7480	-4.0668	129.6314
23	205834010	7.3878e+05	36.7480	-4.0668	7.3878e+05	36.7480	-4.0669	197.7000	36.7480	-4.0668	129.6311
24	205871910	7.3878e+05	36.5423	-4.6162	7.3878e+05	36.5423	-4.6162	65.8667	36.5423	-4.6162	106.9481

Figura 7- Ausências de Relatos AIS

A tabela é composta por 11 colunas com o seguinte significado:

1. MMSI;
2. Valor temporal do início da ausência de relato;
3. Latitude da posição do início da ausência de relato;
4. Longitude da posição do início da ausência de relato;
5. Valor temporal do final da ausência de relato;
6. Latitude da posição do final da ausência de relato;
7. Longitude da posição do final da ausência de relato;
8. Duração da ausência de relato em minutos;
9. Latitude do ponto central entre as duas posições referidas;
10. Longitude do ponto central entre as duas posições referidas;
11. Distância à costa do ponto central em milhas náuticas.

A Tabela da Figura 7 apresenta novos dados que possibilitam, por sua vez, a melhor análise e representação do panorama.

A representação das ausências de relatos é feita a partir da latitude e longitude dos pontos centrais. Estes foram calculadas através dos valores das posições do início e do final da ausência de relato. Obtendo a diferença das latitudes e longitudes de ambas as posições, o ponto central é calculado, somando essa diferença às coordenadas com os menores valores das posições referidas. Ou seja, por exemplo, se a latitude do ponto 1 for menor que a ponto 2, o ponto central é a soma da diferença das duas latitudes com a latitude do ponto 1.

Outro dado relevante que foi calculado é a distância à costa do ponto central. Uma parte significativa dos dados AIS provém de navios que se encontram atracados que não desligaram o AIS e não atualizaram o estado de navegação. De modo a mitigar esta problemática, a aplicação permite ao utilizador inserir a distância à costa que a partir da qual se deseja visualizar dados.

Para além disto, a aplicação possibilita ao utilizador escolher a fonte de dados AIS desejada, com a opção de opção de selecionar uma, duas ou as três fontes simultaneamente. No caso da análise de duas ou mais fontes, o programa filtra os dados de maneira que não haja informação repetida entre fontes diferentes.

Tendo acesso à fonte de dados desejada, procedesse à seleção da janela de tempo e o espaço que se pretende observar. A aplicação admite ao utilizador especificar tanto o

conjunto de dias quanto o período horário a ser observado, como a zona da AOM a ser tratada.

Dito isto, se a janela de tempo selecionada for igual a um dia ou menor, as ausências de relato analisadas serão apenas aquelas que começaram e terminaram nesse dia. Ou seja, ausências de relato que começaram no dia anterior e ausências de relato que terminaram no dia seguinte não serão quantificadas. De modo a evitar ignorar estas situações, e após a seleção de uma janela de tempo superior a um dia, a aplicação reúne os dados do conjunto de dias numa matriz apenas. Isto permite a deteção de todas as ausências de relatos. Devido ao tratamento de dados de um período alargado, é necessário considerar navios que navegaram entre os limites da AOM. Esta condição resulta na deteção de ausências de relatos fora da AOM de navios que estiveram dentro da área durante o período analisado.

Posto isto, o *geoplot*¹⁴ das ausências de relato é executado num mapa mundo que indica a latitude, longitude e MMSI referentes a cada caso de interesse, permitindo a exploração dos resultados adquiridos.

Na Figura 8 verifica-se um exemplo de representação geográfica de casos de ausência de relato. Este caso exemplo utiliza as fontes AIS MSSIS e é referente ao período entre 4 e 5 de janeiro de 2023. O utilizador definiu 180 minutos como duração entre relatos consecutivos e três milhas náuticas como a distância à costa. Cada ponto vermelho, posicionado no ponto central entre relatos, indica um caso de *AIS GAP*, onde não houve qualquer tipo de transmissão de mensagens durante pelo menos 180 minutos.

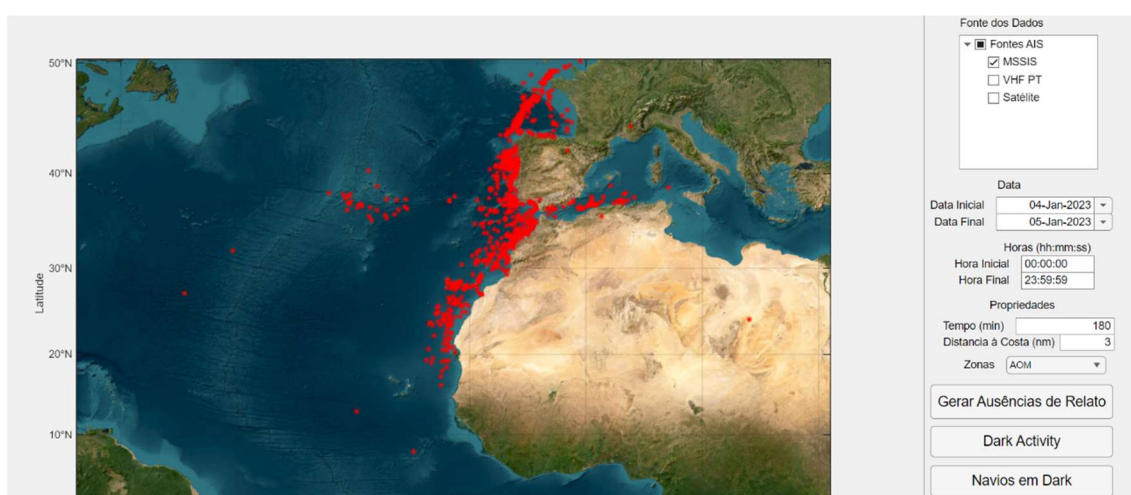


Figura 8-Representação geográfica de ausências de relato AIS

¹⁴ *Geoplot*: representação gráfica em coordenadas geográficas.

Após o *geoplot* das ausências de relato, a aplicação fornece uma contabilização analítica dos dados de acordo com os resultados observados:

- Número de Eventos: contabilização das ausências de relatos verificadas na janela de tempo inserida e consoante as fontes de dados AIS selecionadas;
- Duração média das ausências: média da duração dos intervalos de interesse entre relatos em minutos;
- Número de Navios Russos: contabilização dos navios da Federação Russa, ou seja, os dados referentes aos navios com MID de 273 onde foram verificados casos de ausência relatos;
- Número de Navios Chineses: contabilização dos navios da República da China, ou seja, dados referentes aos navios com MID de 412 e 413 onde foram verificados casos de ausência relatos;

Para além disto, a aplicação disponibiliza a informação referente a cada um dos eventos, apresentando o MMSI dos navios, as características temporais e espaciais das posições de ausência e retoma de relato, a distância entre pontos e a duração dos eventos. Evidencia também os MMSI dos navios russos e chineses.

Estas funções permitem ao utilizador analisar os resultados e disponibilizam informação de interesse para o Conhecimento Situacional Marítimo.

Considerando as funcionalidades descritas neste subcapítulo, procedeu-se à construção de um mapa de densidade. Esta funcionalidade permite a compreensão de possíveis padrões e tendências em relação aos eventos de ausência de relato.

De modo a comparar os vários resultados, oferece-se a possibilidade de selecionar os dados que se pretende analisar. Em primeiro lugar, existe a opção de escolher que dados se pretende visualizar, sendo estes em relação à posição inicial, média ou final da ausência de relato. Em segundo lugar, a decisão requer sobre a eleição do indicador que se pretende observar, o número de ausências ou a duração média dos eventos. Em último lugar, o utilizador pode selecionar a largura das quadrículas que vão decompor o mapa de densidade, de acordo com a área a ser visualizada. Esta última funcionalidade vai determinar a precisão do mapa de densidade.

No âmbito de facilitar à análise de resultados, foi inserido os limites da AOM e das Zonas Exclusivas Económicas do Continente (ZEEC), da Madeira (ZEEM) e dos Açores (ZEEC).

Na Figura 9, é apresentado um exemplo de um mapa de densidade de casos de ausência de relato. Este caso exemplo utiliza a fonte AIS MSSIS e é referente ao mês de janeiro de 2023. O utilizador definiu 180 minutos como a duração entre relatos consecutivos e três milhas náuticas como a distância à costa. A zona a ser analisada é a Área de Operações Marítimas. Os dados visualizados são alusivos às posições médias das ausências de relatos e ao número de eventos por quadrícula, sendo a largura de 0.1 milhas náuticas.

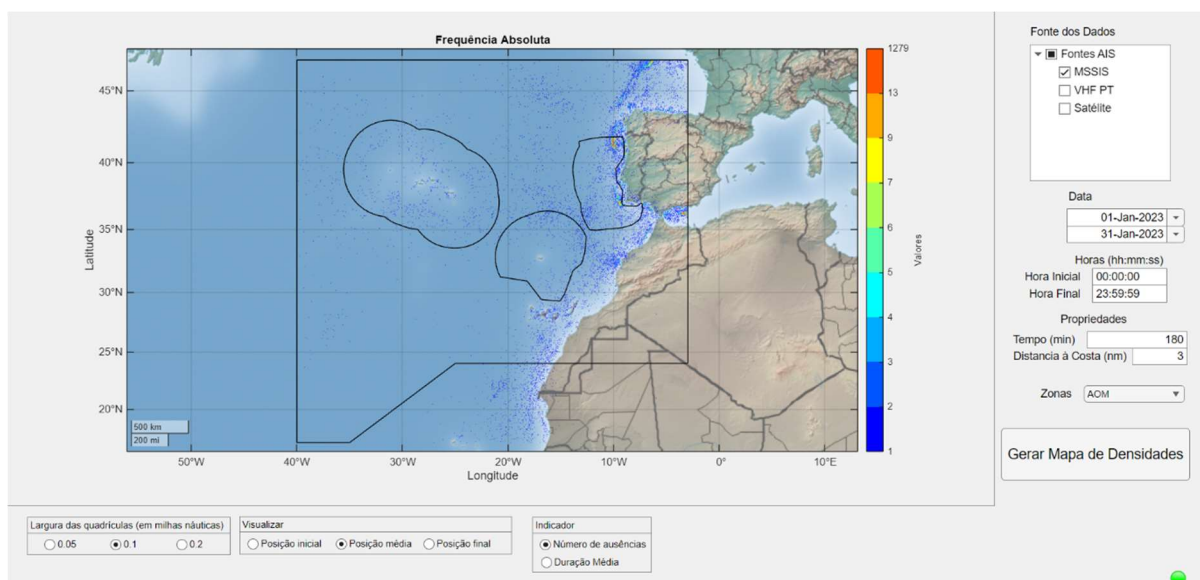


Figura 9- Mapa de Densidade

3.1.2 Detecção de navios em período *Dark*

No subcapítulo anterior identificam-se eventos onde houve interrupção e retoma na transmissão AIS. No entanto, navios que ainda estão no seu período *Dark* não são detetados. O presente subcapítulo tem como objetivo a deteção destes casos. O desenvolvimento dessa funcionalidade torna-se essencial, permitindo captar navios em *Dark Activity* em tempo quase real.

Após reunir os dados da janela de tempo e da área a serem analisadas, a informação é organizada cronologicamente. Como o objetivo é detetar navios em *Dark*, a única informação de interesse disponível é o último relato de cada embarcação. Tendo isto em vista, agrega-se todos os últimos relatos de cada navio. Destes últimos relatos de cada navio, nem todos são de interesse. Todos os relatos próximos ao final da janela de tempo selecionada representam apenas o último relato verificado dentro do período e, provavelmente, continuaram a transmitir. Ou seja, representam os navios que não deixaram de transmitir. De maneira a

colmatar esta problemática, é determinada uma hora de referência, na qual todos os casos que aconteceram posteriormente, são ignorados.

O próximo passo é filtrar os casos de interesse de acordo a sua condição de navegação. A fim de excluir todos os navios atracados ou perto de costa, a aplicação permite ao utilizador seleccionar a distância a qual se pretende analisar os dados. Com este último passo, obtém-se os últimos relatos de navios a navegar ou em alto mar.

O *geoplot* das posições dos últimos relatos de interesse é efetuado.

Na Figura 10, é apresentado um exemplo de representação geográfica de casos de navios em período *Dark*. Este caso exemplo utiliza a fontes AIS MSSIS e analisa o período entre 1 e 5 de janeiro de 2023. O utilizador definiu a hora de referência como 18:00:00 do dia 5 de janeiro de 2023 e três milhas náuticas como a distância à costa. Cada ponto vermelho, indica a última posição transmitida dos navios antes da hora de referência.

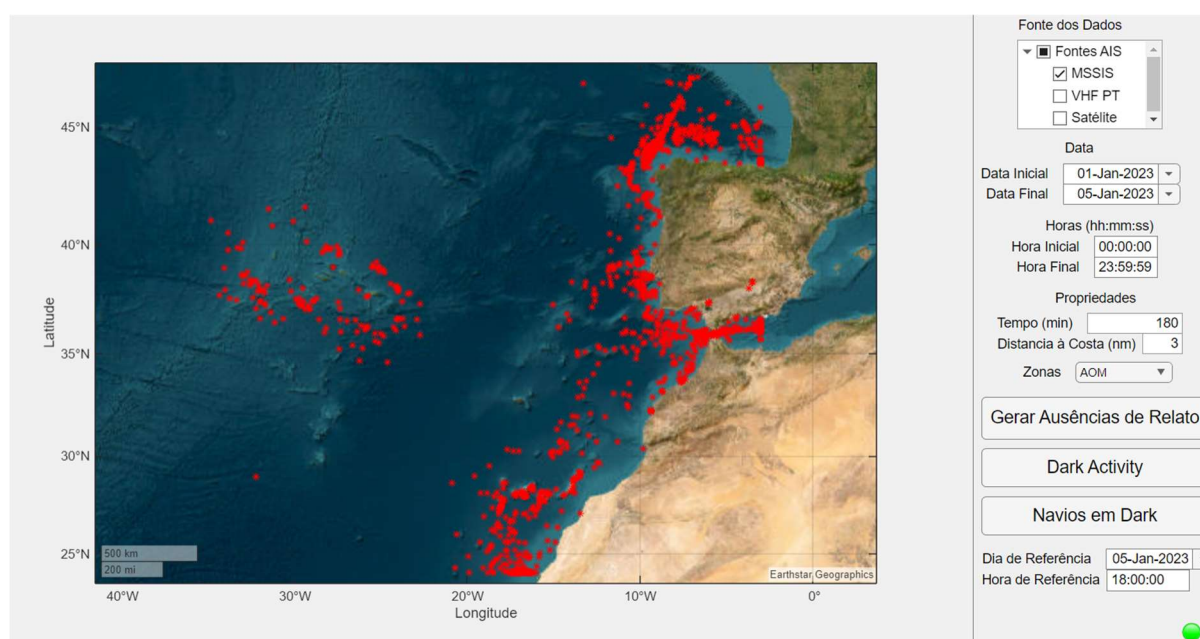


Figura 10- Navios em período *Dark*

A análise dos resultados de cada relato é apresentado numa tabela organizada cronologicamente com 5 colunas:

- MMSI do navio;
- Período do relato;
- Latitude do relato;
- Longitude do relato;
- Distância à costa do relato.

3.1.3 Representação geográfica da trajetória do navio

O objetivo deste capítulo resume-se à representação geográfica individual da trajetória do navio efetuada num espaço temporal definido. Isto permite ao utilizador visualizar as posições navegadas pelo navio em questão e verificar se houve intervalos de transmissão de mensagens AIS de interesse. O objeto de estudo deste subcapítulo é a trajetória do navio e tem como finalidade analisar as suas intenções.

De modo que isto seja possível, a aplicação permite ao utilizador escolher o navio de interesse inserindo o MMSI referente. O programa identifica todos os relatos do navio de interesse e cria uma tabela com os dados organizados cronologicamente, de acordo com a janela temporal e a fonte selecionada dos dados AIS. Após isto, como se verifica no subcapítulo 3.1.1, é possível calcular a diferença temporal entre relatos consecutivos.

Mais uma vez, a aplicação possibilita ao usuário selecionar a duração entre relatos a partir da qual é considerada ausência de relato de interesse. Com isto, é atribuído valores de “0” e “1” a cada um dos relatos. No procedimento, o valor “0” representa intervalos de tempo menores que a duração determinada. O valor “1” representa intervalos de tempo maiores que a duração determinada. Os relatos com valor de “1” indicam que houve uma ausência de relato de interesse entre o relato em questão e o seguinte.

Estes dados estão representados na Tabela da Figura 11 composta por 10 colunas com a seguinte estrutura:

1. MMSI;
2. Valor temporal do início da ausência de relato;
3. Latitude;
4. Longitude,
5. *Navigation Status*;
6. SOG;
7. COG;
8. Proa;
9. Duração de intervalo em minutos entre o relato atual e próximo;
10. Indicação lógica se o intervalo entre o relato atual e próximo é menor ou maior que o intervalo escolhido pelo utilizador

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	352001704	7.3878e+05	47.2424	174.6286	0	16.9000	4.3000	441.1000	10.8167	0
2	352001704	7.3878e+05	47.2445	174.7025	0	16.8000	2.5000	441	20.9167	0
3	352001704	7.3878e+05	47.2486	174.8457	0	16.7000	2.3000	441	5.1167	0
4	352001704	7.3878e+05	47.2497	174.8804	0	16.6000	1.8000	441	5.0833	0
5	352001704	7.3878e+05	47.2506	174.9150	0	16.6000	2.6000	441	5.1167	0
6	352001704	7.3878e+05	47.2515	174.9493	0	16.4000	1.9000	441	5.0000	0
7	352001704	7.3878e+05	47.2525	174.9829	0	16.4000	2.5000	441	5.0167	0
8	352001704	7.3878e+05	47.2534	175.0166	0	16.5000	2.4000	441	5.0167	0
9	352001704	7.3878e+05	47.2543	175.0507	0	16.7000	1.9000	441	5.0500	0
10	352001704	7.3878e+05	47.2551	175.0855	0	16.8000	2.1000	441	5.1333	0
11	352001704	7.3878e+05	47.2559	175.1205	0	16.7000	1.7000	441	5.0833	0
12	352001704	7.3878e+05	47.2567	175.1553	0	16.6000	1.6000	441	5.1333	0
13	352001704	7.3878e+05	47.2574	175.1898	0	16.6000	2.1000	441	5.0333	0
14	352001704	7.3878e+05	47.2581	175.2246	0	16.7000	2.1000	441	5.5500	0
15	352001704	7.3878e+05	47.2589	175.2622	0	16.7000	2.4000	441	91.0500	1

Figura 11- Dados de um navio de interesse

Para que a aplicação represente a trajetória do navio de forma a permitir ao utilizador identificar as posições onde ocorreram ausências de relatos de interesse e intervalos posicionais sem informação posicional, é necessário ter em conta todos os casos possíveis de transmissão de mensagens AIS:

- a. 10000000000/110000000000: Início da trajetória com ausência de relato, não tendo verificado outro caso de ausência;
- b. 10000100000/11000110000: Início da trajetória com ausência de relato, tendo verificado outros casos de ausência;
- c. 00100000000/00110000000: Início da trajetória sem ausência de relato, tendo verificado um caso com ausência de relato.
- d. 00010000100/00011000110: Início da trajetória sem ausência de relato, tendo verificado outros casos com ausência de relato;
- e. 00000000001/00000000011: Final da trajetória com ausência de relato;
- f. 00000000000: Trajetória sem ausência de relato.

Dito isto, é realizado o *geoplot* da trajetória assinalando a diferença entre os “0”, que representam intervalos regulares, e os “1”, que representam intervalos onde se verificou ausência de relato de interesse. Este processo permite ao utilizador pesquisar os resultados adquiridos e, conseqüentemente, analisar a trajetória do navio.

Entre intervalos com ausência de relato de interesse, a aplicação representa a trajetória numa linha reta entre a posição inicial e a posição do final da ausência de relato. Este resultado é meramente ilustrativo por não haver dados da posição do navio durante o período descrito.

Mais uma vez, a aplicação admite ao utilizador escolher um conjunto de dias, e não apenas um. Esta opção torna-se útil, pois permite o estudo do trajeto completo do navio e o seu comportamento ao longo do percurso.

Na figura 12 verifica-se um exemplo de representação geográfica da trajetória de um navio. Este caso utiliza dados da fonte MSSIS e é referente ao período das 08:00:00 de dia 10 de setembro de 2022 até às 16:00:00 de dia 11 de setembro de 2022. O utilizador definiu 60 minutos como duração de interesse entre relatos consecutivos e o navio com o MMSI 305866000. A parte amarela da trajetória representa o período de transmissão e a parte vermelha da trajetória o período de ausência de relato. Neste exemplo, pode-se verificar dois períodos onde não houve transmissão AIS durante mais de 60 minutos.

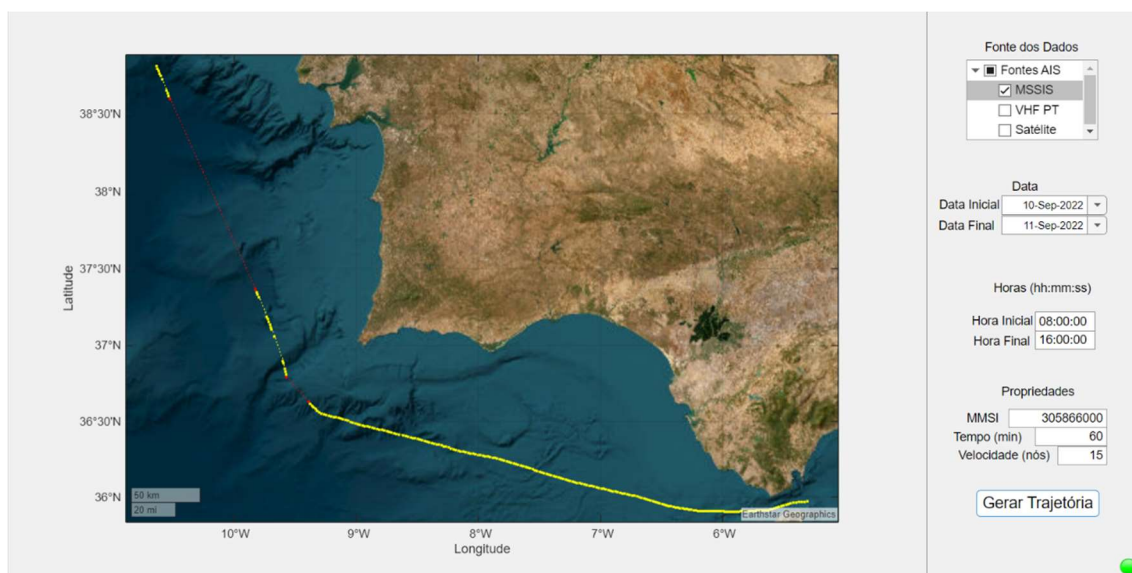


Figura 12-Representação geográfica da trajetória do navio

3.2. Procedimento heurístico de cálculo de área visitada durante período de ausência de relato AIS

O presente subcapítulo encontra-se dividido em três secções. A primeira secção 3.2.1 tem como objetivo calcular a área navegável durante o período de ausência de relato AIS e representá-la no plano de coordenadas geográficas. A segunda secção 3.2.2 apresenta outro tipo de resolução do cálculo da área navegável admissível no plano cartesiano. A terceira secção 3.2.3 explora a deteção de dados AIS de outros navios dentro da área calculada a fim de caracterizar a ausência de relato como presumível *Dark Activity* ou não.

A área representativa de todas as posições em que navio pode ter navegado durante o seu período de ausência de relato AIS será sempre definida por uma elipse. Este fenómeno é justificado pelas prioridades desta figura geométrica.

Na figura 13 encontra-se ilustrado um exemplo de caso de ausência de relato, onde as linhas verdes representam a trajetória real do navio e onde houve transmissão de mensagens AIS. O ponto 1 indica a posição inicial da ausência de relato e o ponto 2 a posição do final da ausência de relato. O conjunto de linhas vermelhas, amarelas e azuis simboliza três possíveis trajetórias que o navio pode ter optado durante o período em que houve falta de transmissão.

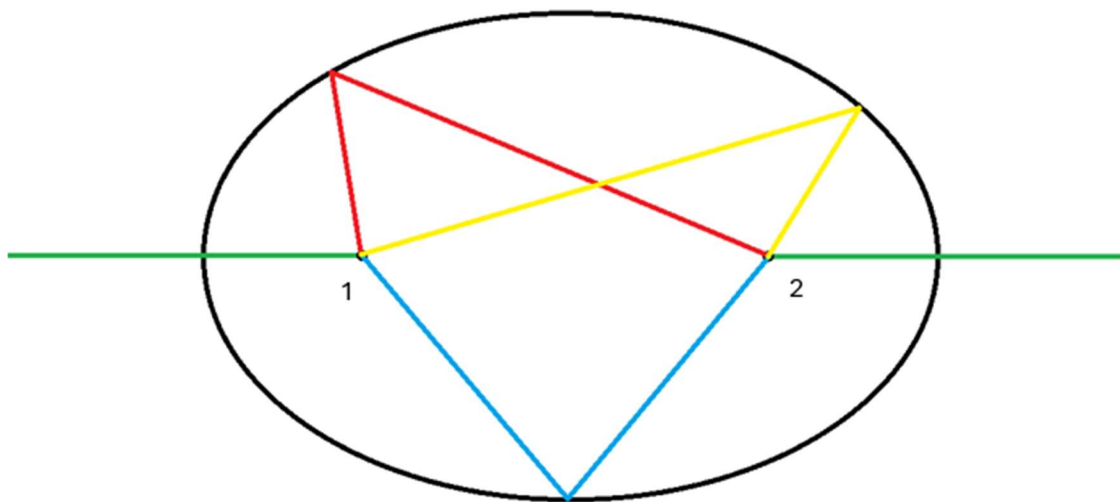


Figura 13- Elipse

Por definição, independentemente do rumo que o navio decida levar, todas as trajetórias começaram no ponto 1 (início da ausência de relato) e que terminaram no ponto 2 (fim da ausência de relato) são constituídas pela mesma distância:

$$Distância = Velocidade \times Tempo$$

Equação 1- Distância da Trajetória

Na equação 1, a velocidade representa a velocidade constante considerada tomada pelo navio e o tempo a duração da ausência de relato.

Com isto, todas as trajetórias com a mesma velocidade ou com velocidades inferiores, estão compreendidas na mesma elipse.

3.2.1 Representação geográfica da área navegável durante ausência de relato

Esta secção tem como objetivo o cálculo e a representação da área navegável durante o período de ausência de relato. Esta funcionalidade permite ao utilizador visualizar possíveis locais por onde o navio em estudo pode ter navegado durante o período onde não há dados sobre a sua posição.

Apos identificar as ausências de relato e a trajetória de cada caso estudo, o próximo passo é construir a elipse referente ao período de interesse. Como referido, todas as distâncias das possíveis trajetórias do navio durante o seu período de ausência de relato, devem ser iguais à multiplicação da velocidade do navio pelo tempo do período em questão. Todas as trajetórias com distâncias acima desse valor serão excluídas da elipse.

De modo calcular a elipse, a trajetória do navio é dividida em duas fases, definidas por duas distâncias:

- D1- Distância definida desde a posição inicial da ausência de relato até a um ponto da elipse;
- D2- Distância definida desde o final de D1 até a posição final da ausência de relato.

Para cada azimute e conhecendo a distância total da trajetória, será definida D1 de modo a estabelecer os limites da elipse onde se verifica a seguinte condição:

$$Distância \geq D1 + D2$$

Equação 2- Condição da Distância

Ou seja, todas as posições que atendem a esta condição, encontram-se dentro da elipse. Caso contrário, as restantes posições não fazem parte da área navegável durante o período de ausência do navio em estudo.

Logicamente, a latitude e longitude dos limites da elipse são as posições, que para cada azimute, verifica a seguinte condição:

$$Distância = D1 + D2$$

Equação 3- Distância de cada Trajetória

Assim sendo, a latitude e a longitude dos limites da elipse serão calculadas através duma função com 6 variáveis:

- Posição do início da ausência de relato;
- Posição do final da ausência de relato;

- Duração do período de ausência de relato;
- Velocidade do navio;
- Intervalo do espaçamento dos valores angulares;
- Intervalo do espaçamento dos valores ao nível de distância.

Em primeiro lugar, as posições do início e final da ausência relato são valores previamente calculados e servem para localizar espacialmente a elipse.

Em segundo lugar, a duração do período de ausência de relato e velocidade do navio são valores que definem o tamanho da área da elipse. À semelhança das posições da ausência de relato, a duração encontra-se definida. Por outro lado, a velocidade do navio é um parâmetro que a aplicação permite ao utilizador atribuir, possibilitando a visualização das diferentes elipses de acordo com o valor inserido.

Por último, o intervalo do espaçamento dos valores angular e o intervalo do espaçamento dos valores a nível de distância vão funcionar como critérios de construção e rigor da elipse. O intervalo do espaçamento dos valores angulares delinea a quantidade azimutes que o programa vai analisar, de maneira a definir D1 e D2 para cada rumo equivalente. Para cada rumo definido e a partir da posição do início da ausência de relato, o intervalo do espaçamento dos valores ao nível de distância define o intervalo posicional entre pontos que o programa analisa com o objetivo de definir D1. Ou seja, o valor definido do intervalo será usado como um incremento, onde a aplicação avalia cada um destes passos de modo a determinar se a posição está dentro da área da elipse ou não.

Após este processo, a função cria uma matriz com valores da latitude e longitude limites da elipse. O tamanho da matriz vai depender do valor atribuído ao intervalo do espaçamento dos valores angulares, onde quanto maior for o intervalo, menor será a matriz e, conseqüentemente, menor será o rigor das posições limites da elipse.

O *geoplot* dos valores da latitude e longitude da elipse é realizado, permitindo assim, em conjunto com a trajetória do navio, a visualização da possível área navegável durante o período de ausência.

Na Figura 14, é apresentado um exemplo de representação geográfica da trajetória de um navio. Este caso utiliza dados da fonte MSSIS e é referente ao período das 08:00:00 de dia 10 de setembro de 2022 até às 16:00:00 de dia 11 de setembro de 2022. O utilizador definiu 60 minutos como duração entre relatos consecutivos, velocidade de navio 15 nós e o navio

com o MMSI 305866000. A parte amarela da trajetória representa o período de transmissão e a parte vermelha da trajetória representa o período de ausência de relato. Neste exemplo, pode-se verificar dois períodos onde não houve transmissão AIS durante mais de 60 minutos. Respetivamente, encontra-se ilustrado as duas elipses que representam a área navegável durante os períodos mencionados.

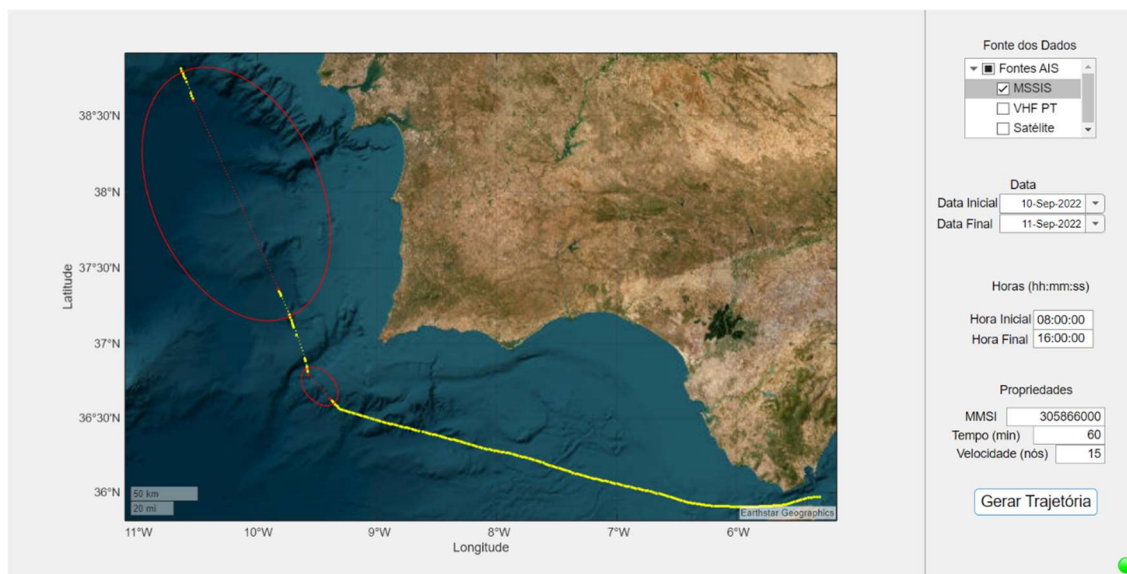


Figura 14- Representação geográfica da área navegável durante ausência de relato

3.2.2 Cálculo cartesiano da área navegável durante ausência de relato

Esta secção oferece outro tipo de resolução ao cálculo da área navegável durante ausência de relato. Ao contrário do raciocínio apresentado na secção 3.1.1, este procedimento não tem em conta a curvatura da Terra, tornando-se menos preciso. Por esta razão, o procedimento é apenas confiável no plano cartesiano e admissível no plano geográfico em situações onde a área navegável consiste numa elipse de pequenas dimensões.

A latitude e longitude dos limites da elipse serão calculadas usando uma função com os seguintes parâmetros:

- Posição do início da ausência de relato, “lat1” e “lon1”;
- Posição do final da ausência de relato, “lat2” e “lon2”;
- Duração do período de ausência de relato “T”;
- Velocidade do navio “V”;

Como exposto na secção 1.1.1, considerando as posições tanto do início como do fim da ausência de relato, é possível calcular em primeiro lugar a posição central da elipse, definida por “lat0” e “lon0”.

Como se pode observar na figura 15, a elipse é constituída pelo eixo maior e eixo menor, ilustrados respetivamente pela linha vermelha e azul.

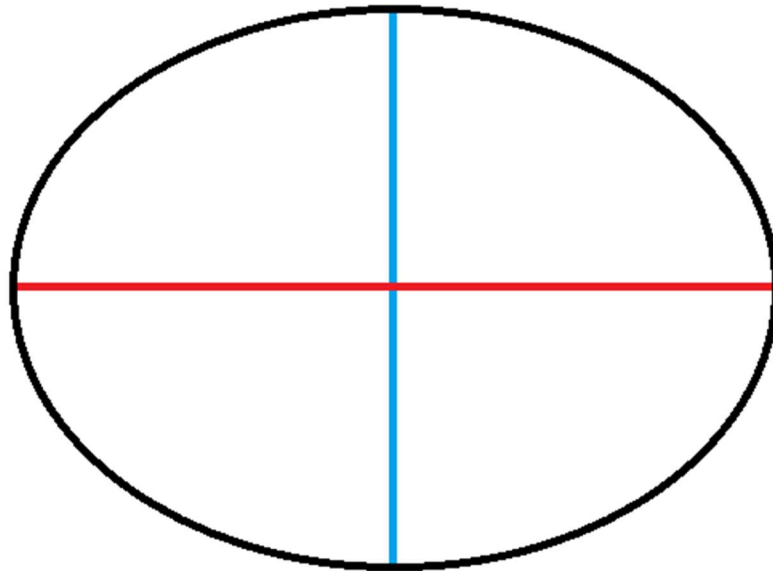


Figura 15- Eixo Maior e Eixo Menor da Elipse

De maneira a definir a dimensão da elipse, é necessário calcular os valores destes eixos.

O eixo maior é o segmento de reta que passa pelos dois focos, a posição inicial e a posição do final da ausência de relato. O eixo maior da elipse é calculado a partir da seguinte equação:

$$Eixo\ Maior = T \times V$$

Equação 4- Eixo Maior

Por sua vez, o eixo menor da elipse é perpendicular ao eixo maior e é calculado a partir da seguinte equação:

$$Eixo\ Menor = \sqrt{Eixo\ Maior^2 - D^2}$$

Equação 5- Eixo Maior

Na equação 5, “D” representa a distância entre os dois focos,

A distância entre os dois focos é calculada através da fórmula *Haversine* (Nitin *et al.* 2013), a equação que define a distância entre dois pontos numa esfera.

$$a = \sqrt{\sin^2\left(\frac{|lat2 - lat1|}{2}\right) + \cos(lat1) \times \cos(lat2) \times \sin^2\left(\frac{|lon2 - lon1|}{2}\right)}$$

$$D = 2 \times raio \times arcsin(a)$$

Equação 6- Fórmula Haversine

Na equação 6, “raio” simboliza o raio da Terra em milhas náuticas.

De maneira a orientar o eixo maior da elipse de acordo com a inclinação entre as duas posições, é preciso definir o ângulo “ α ”. O ângulo “ α ” é calculado da seguinte forma:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{lon2 - lon1}{lat2 - lat1}\right)$$

Equação 7- Orientação angular da Elipse (Lei & Wong, 1999)

Após obter o resultado numéricos dos problemas anteriores e converter o ângulo “ α ” em radianos, o próximo e último passo consiste no cálculo da latitudes e longitudes da elipse, de acordo com as seguintes fórmulas (Lei & Wong, 1999):

$$Latitude = \frac{Eixo\ Maior \times \cos(r)}{2} \times \cos(\alpha) - \frac{Eixo\ Menor \times \sin(r)}{2} \times \sin(\alpha) + lat0$$

Equação 8- Latitude da Elipse

$$Longitude = \frac{Eixo\ Maior \times \cos(r)}{2} \times \sin(\alpha) - \frac{Eixo\ Menor \times \sin(r)}{2} \times \cos(\alpha) + lon0$$

Equação 9- Longitude da Elipse

O valor “ r ” é o ângulo em radianos que o programa vai analisar para calcular o ponto que delinea a elipse na respetiva direção. Este valor vai de “ $-\pi$ ” a “ π ”. O intervalo do espaçamento dos valores angulares, conceito exposto na secção 3.2.1, determinará quantos e para que ângulos se define a latitude e longitude limites da elipse.

Como já foi referido anteriormente, e apesar deste método ser confiável no plano cartesiano e ser mais rápido a nível do processamento dos dados, é menos rigoroso no plano geográfico. Por esta razão, na aplicação será utilizado apenas o procedimento apresentado na secção 3.2.1.

3.2.3 Caracterização da ausência de relato

A presente secção explora a problemática de distinguir cada ausência de relato como presumível caso de *Dark Activity* ou não. A fim de caracterizar cada caso, é necessário identificar transmissões de mensagens AIS na área envolvente do navio estudado.

Como já foi analisado anteriormente, a ausência de relato AIS pode ocorrer de duas maneiras:

- A perda do sinal AIS por fatores externos ao navio, como cobertura fraca do sinal ou condições meteorológicas adversas;
- *Dark Activity*, em que a ausência de relato é provocada deliberadamente pelo próprio navio.

Se, durante o período de ausência de relato do navio em estudo, houver outros navios na mesma área a transmitir mensagens AIS, a perda do sinal por fatores externos ao navio torna-se menos provável. Portanto, neste caso, o grau de confiança que a ausência de relato se deve a *Dark Activity* é elevado.

Assim sendo, e após calcular a área navegável durante a ausência de relato do navio, o próximo passo será análise e o processamento de dados AIS dos restantes navios. Este processo é dividido em 2 etapas:

- Filtragem de dados em relação à posição, selecionando apenas dados referentes a posições dentro da área navegável durante a ausência de relato do navio em estudo;
- Filtragem de dados em relação ao tempo, selecionando apenas dados referentes a relatos que ocorrem durante o período de ausência de relato AIS do navio em estudo.

A aplicação destes filtros resulta nos dados AIS de navios que conferem as condições descritas, como se pode ver na Tabela da Figura 16.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	304342000	7.3878e+05	36.2423	-7.8050	0	13.9000	348	439.6000
2	636019882	7.3878e+05	36.0461	-7.4869	0	16	350.3000	440
3	271042759	7.3878e+05	36.1203	-7.8228	0	15.7000	174.3000	422.4000
4	538008334	7.3878e+05	36.1193	-7.9648	0	12.6000	347.6000	440
5	477244100	7.3878e+05	36.2007	-7.7138	0	12.4000	343.6000	439.2000
6	538004245	7.3878e+05	36.1026	-7.7399	0	11	170.9000	422.3000
7	304342000	7.3878e+05	36.2381	-7.7816	0	13.6000	346.6000	439.4000
8	271042759	7.3878e+05	36.1230	-7.8493	0	15.6000	173.9000	422.5000
9	538008334	7.3878e+05	36.1157	-7.9435	0	12.6000	347.5000	440
10	477244100	7.3878e+05	36.1961	-7.6923	0	12.5000	344.1000	439.3000
11	564849000	7.3878e+05	36.0101	-7.8696	0	10.5000	355.8000	440.3000
12	538004245	7.3878e+05	36.1052	-7.7584	0	10.7000	169.3000	422.3000
13	304342000	7.3878e+05	36.2337	-7.7583	0	13.8000	348.1000	439.5000
14	538008334	7.3878e+05	36.1121	-7.9213	0	12.8000	348.7000	440
15	477244100	7.3878e+05	36.1919	-7.6714	0	12.6000	342	438.9000

Figura 16- Dados filtrados em relação à elipse

De modo que a aplicação permita ao usuário visualizar os dados AIS dos outros navios, o *geoplot* das posições dos respetivos relatos é realizado. Dito isto, os pontos brancos indicam as posições dos dados AIS de outros navios que, durante a janela de tempo de ausência de relato do navio em estudo, transmitiram dentro da área da elipse definida.

Na Figura 17, verifica-se um exemplo de representação geográfica de uma trajetória de um navio. Este caso utiliza dados da fonte MSSIS e é referente ao período das 08:00:00 de dia 10 de setembro de 2022 às 16:00:00 de dia 11 de setembro de 2022. O utilizador definiu 60 minutos como duração entre relatos consecutivos, velocidade de navio 15 nós e o navio com o MMSI 305866000. A parte amarela da trajetória representa o período de transmissão e a parte vermelha da trajetória o período de ausência de relato. Neste exemplo, pode-se verificar dois períodos onde não houve transmissão AIS durante mais de 60 minutos. Respetivamente, encontra-se ilustrado as elipses que representam a área navegável durante os períodos mencionados. Dentro da elipse, é possível verificar pontos brancos que assinalam dados AIS de outros navios.

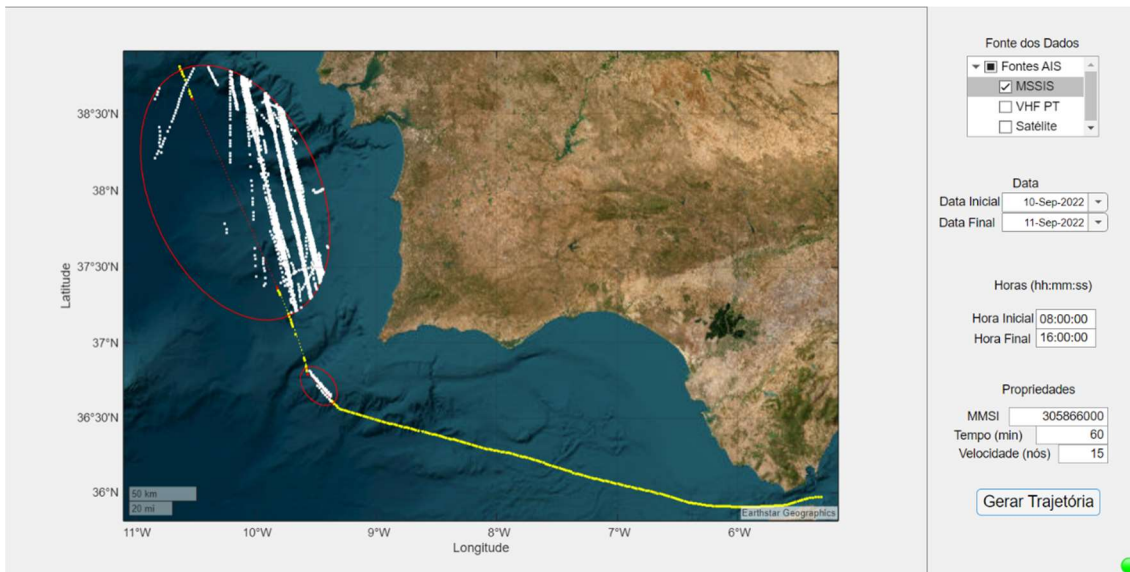


Figura 17- Representação geográfica dos dados de outros navios dentro da elipse

Visto que existem dados AIS na área da elipse e durante período de ausência de relato, é possível assumir que estamos perante um caso presumível de *Dark Activity*. Logo, a aplicação, de maneira a facilitar a visualização dos dados, atribui uma coloração vermelha à elipse em questão, como pode ser visto na Figura 18.

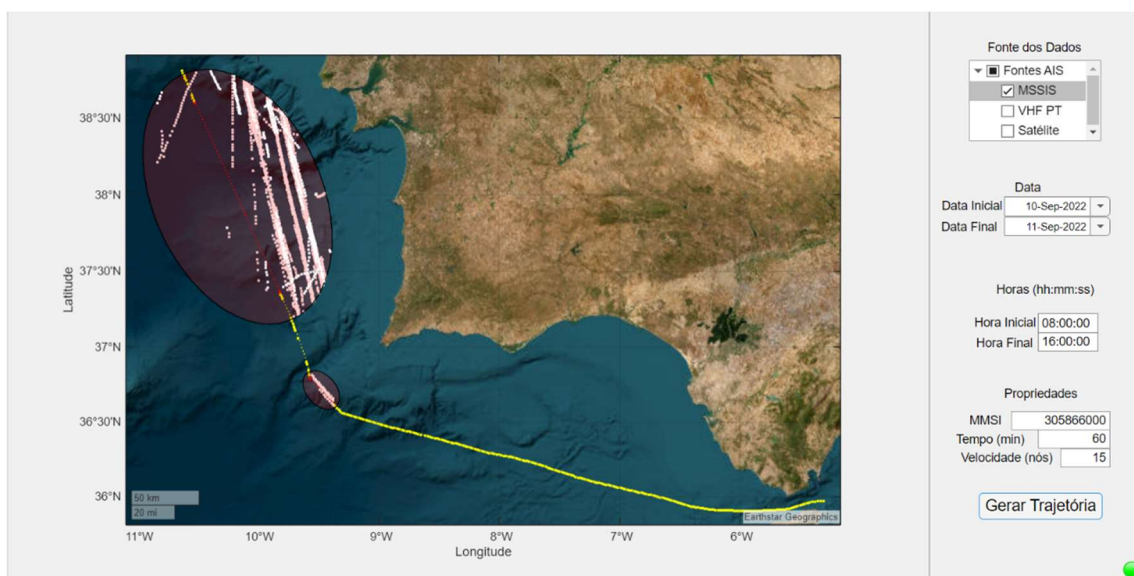


Figura 18- Possível caso de *Dark Activity*

Pelo contrário, não havendo quaisquer dados na área da elipse durante o período de ausência de relato, não se pode supor um caso de presumível *Dark Activity*. Isto se justifica pela possibilidade de ter havido falta de cobertura do sinal, não havendo dados na posição e janela de tempo em questão. No entanto, não se pode assumir que tenha sido um caso de

perda de sinal AIS causada por fatores externos ao navio. O navio pode ter desligado o sistema AIS sem ter outros navios nas proximidades.

Com estas duas hipóteses, a aplicação, de maneira a facilitar a visualização dos dados, atribui uma coloração verde à elipse em questão, como pode ser visto na Figura 18.



Figura 19- Caso de AIS GAP

Os dados do caso apresentado na Figura 19 tem como fonte MSSIS e é referente ao dia 14 de setembro de 2022. O utilizador definiu 60 minutos como duração entre relatos consecutivos, velocidade de navio 15 nós e o navio com o MMSI 311010300. A parte amarela da trajetória representa o período de transmissão e a parte vermelha da trajetória o período de ausência de relato. Neste exemplo, podem-se verificar dois períodos em que não houve transmissão AIS por mais de 60 minutos. Respetivamente, encontra-se ilustrado as elipses a verde que representam a área navegável durante os períodos mencionados.

Com o estudo da trajetória do navio concluído, a aplicação fornece uma contabilização analítica dos dados de acordo com os resultados observados:

- Número de Eventos: contabilização das ausências de relatos verificadas na janela de tempo inserida e consoante as fontes de dados AIS selecionadas;
- Duração média das ausências: média da duração dos intervalos de interesse entre relatos em minutos;
- Área média das Elipses: média da área das elipses calculadas em milhas náuticas quadradas;

Para além disto, a aplicação analisa detalhadamente os dados AIS de outros navios que, durante as janelas de tempo de ausência de relato do navio em estudo, transmitiram dentro da área das elipses definidas. O objetivo é identificar possíveis casos de operações de transferência *ship-to-ship* durante o período *Dark* do navio em estudo.

Posto isto, é criada uma tabela com duas colunas. A primeira coluna dispõe a informação dos MMSI's dos navios que, durante as janelas de tempo de ausência de relato do navio em estudo, transmitiram dentro da área das elipses definidas. A segunda coluna indica a velocidade média que cada um destes navios praticou durante os intervalos de ausência de relatos. Com os elementos da tabela definidos, ao analisá-la, o utilizador procura navios que praticaram velocidades suficientemente reduzidas que possibilitam praticar operações de interesse.

Por sua vez, cada elipse, correspondente a um período de ausência de relato, é estudada temporalmente e espacialmente. A aplicação apresenta a posição e hora em que ocorreram os pontos de ausência e retoma da ausência de relato, a duração do evento, a área da elipse e se existem dados AIS de outros navios.

3.3 Procedimento heurístico de deteção de interseção de áreas navegáveis entre dois navios durante ausência de relato AIS

O presente capítulo tem como objetivo identificar interseções de áreas navegáveis entre dois navios durante ausência de relato. Isto permite a deteção de casos em que os navios podem ter interagido entre si durante o período em que houve inibição de sinal AIS, caracterizando-os no tempo e no espaço. Este comportamento é um bom indicativo de atividade ilícita, em que ambos os navios desligaram o AIS intencionalmente de maneira a proceder à transferência de material durante este período.

De maneira a detetar todas as possíveis interseções das áreas navegáveis, é necessário a leitura e análise de todas as elipses correspondentes a todas as ausências de relato. Dito isto, procede-se à construção de todas as elipses utilizando a mesma função demonstrada no capítulo anterior.

De modo a explorar os resultados de interesse, o utilizador seleciona a fonte de dados, a janela de tempo e a zona a ser observada, a duração entre relatos a partir da qual é considerada ausência de relato de interesse e velocidade dos navios a ser considerada.

Mais uma vez, e para que haja uma filtragem antecipada dos dados, a aplicação admite ao utilizador inserir a distância à costa a partir da qual deseja visualizar dados. Esta funcionalidade, além de eliminar os casos dos navios que se encontram atracados que não desligaram o AIS e que não atualizaram o estado de navegação, oferece a possibilidade ao utilizador explorar apenas interseções que ocorreram em alto mar.

Devido ao facto de que a maior parte das operações de transferência *ship-to-ship* ocorrem em alto mar, situações em que a aproximação de dois navios e interseção de duas elipses durante períodos de ausência de relatos AIS existem são relevantes e representam um caso de interesse.

Com os dados filtrados, o próximo passo é calcular as interseções das elipses. Este processo está dividido em duas fases, sendo que cada uma delas considera uma grandeza:

- Tempo: identificar ausência de relatos que ocorreram na mesma janela de tempo;
- Espaço: identificar as ausências de relatos e as elipses respetivas que partilham posições comuns.

De modo a verificar a interseção das áreas, é essencial comparar cada elipse com todas as restantes.

A primeira fase passa pela deteção das elipses que ocorreram no mesmo intervalo de tempo, o período de interseção. Existem quatro casos possíveis em que existe período de interseção:

- Primeiro caso: O período de interseção começou no início da ausência de relato em estudo, tendo terminado depois do período em questão;
- Segundo caso: O período de interseção começou antes do início da ausência de relato em estudo, tendo terminado no fim do período em questão;
- Terceiro caso: O período de interseção começou no início da ausência de relato em estudo, tendo terminado no fim do período em questão;
- Quarto caso: O período de interseção começou antes do início da ausência de relato em estudo, tendo terminado depois do período em questão.

Com este processo, obtêm-se todas as elipses que ocorreram na mesma janela de tempo. Tendo em conta este processamento e análise de dados, a segunda fase refere-se à filtragem desta informação ao nível espacial. O objetivo é encontrar as elipses que ocorreram

na mesma janela de tempo com interseções espaciais. Com base nos dados previamente calculados das posições das elipses, procede-se as comparações destas posições para encontrar valores comuns.

Após isto, obtém-se os pares das elipses que indicam interseção espacial das áreas navegáveis por dois navios durante o período de interseção. Esta informação é mantida numa matriz de $N \times N$, onde N representa o número de elipses comparadas entre si, com valores de “0” e “1”. O valor “0” indica que não se verificou interseção entre elipses. Por sua vez, o valor “1” significa que existe a interseção entre as duas elipses. Havendo interseção, o valor de “1” será atribuído às duas células da matriz que representam a relação entre o par.

A Tabela da Figura 20 representa uma matriz em que se analisou interseção entre 200 elipses.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 20- Matriz de Interseção de Elipses

No entanto, esta análise considera apenas a interseção física e temporal das elipses, e não a velocidade e a posição presumível dos navios durante o período de interseção. Ou seja, mesmo que haja interseção espacial e temporal de elipses, não implica que tenha sido possível interação entre os dois navios.

Durante o período de ausência de relato, a única informação disponível é a hora e posição do ponto inicial e final de ausência de relato. Tendo estes fatores em conta e considerando uma velocidade média, é viável calcular as áreas possíveis em que cada um dos navios possa ter estado durante o período de interseção. Se estas áreas tiverem posições em comum, é possível que tenha ocorrido a interação entre os dois navios.

De modo a calcular a área de interesse, é importante ter em conta os quatro casos já referidos que verificam o período de interseção entre as elipses. Estes casos reúnem-se em dois pares de grupos:

- Grupo 1: O período de interseção começou no momento da interrupção da transmissão do navio 1, enquanto o navio 2 se encontrava no seu período *Dark*. O período de interseção acabou quando o navio 2 retomou a transmissão, enquanto o navio 1 continua no seu período *Dark*.
- Grupo 2: O período de interseção começou no momento da interrupção da transmissão do navio 1, enquanto o navio 2 se encontrava no seu período *Dark*. O período de interseção acabou quando o navio 1 retomou a transmissão, enquanto o navio 2 continua no seu período *Dark*.

No grupo 1, a área de interesse referente ao navio 1 é determinada pela interseção da elipse, referente ao evento de ausência do navio, com um círculo centrado na posição inicial e com raio igual à distância máxima percorrida, de acordo com a velocidade e o período de interseção. A área de interesse referente ao navio 2 é definida pela interseção da elipse, referente ao evento de ausência do navio, com um círculo centrado na posição final e com raio igual à distância máxima percorrida, de acordo com a velocidade e o período de interseção. A área de interseção representa o conjunto de posições em comum das duas áreas de interesse.

No grupo 2, a área de interesse referente ao navio 1 é representada pela elipse na sua totalidade, por se encontrar inteiramente dentro do período de interseção. A área de interesse referente ao navio 2 é calculada a partir da interseção de duas áreas. A primeira área de interesse do navio é determinada pela interseção da elipse, referente ao evento de ausência do navio, com um círculo centrado na posição inicial e com raio igual à distância máxima percorrida, de acordo com a velocidade e o período de interseção. A segunda é calculada pela interseção da mesma elipse, com um círculo centrado na posição final e com raio igual à distância máxima percorrida, de acordo com a velocidade e o período de interseção. A área de interseção representa o conjunto de posições em comum das três áreas de interesse.

O *geoplot* dos pares de elipses identificados na matriz é realizado.

Na Figura 21, pode-se observar os conjuntos de interseções de elipses que ocorrem no dia 4 de janeiro de 2023 e na área do Comando de Zona Marítima do Sul (CZMS), utilizando fonte AIS MSSIS. O utilizador definiu 60 minutos como duração entre relatos consecutivos, velocidade do navio de 20 nós, distancia à costa de 1 milha náutica.

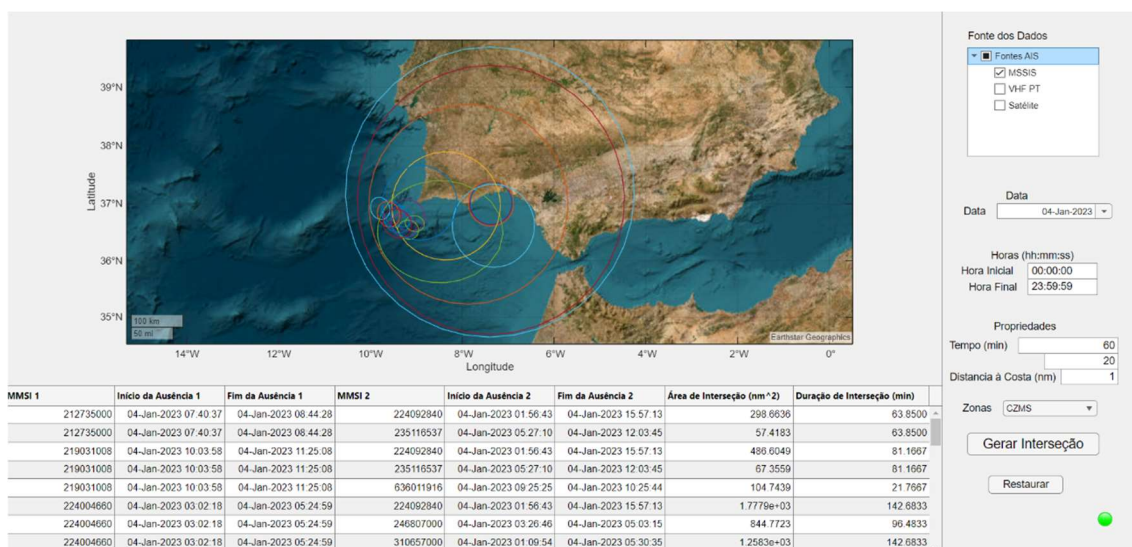


Figura 21- Interseção de Elipses

No entanto, esta funcionalidade não permite ao utilizador analisar cada um dos casos individualmente. A representação geográfica do aglomerado das interseções de elipses serve apenas para que haja uma visualização geral do panorama.

Como se pode observar na Figura 22, a fim de resolver a problemática exposta, foi criada uma tabela que possibilita ao utilizador explorar a seguinte informação sobre cada interseção:

- MMSI do navio 1;
- Início temporal da ausência de relato do navio 1;
- Fim temporal da ausência de relato do navio 1;
- MMSI do navio 2;
- Início temporal da ausência de relato do navio 2;
- Fim temporal da ausência de relato do navio 2;
- Área de Interseção em milhas náuticas quadradas;
- Duração de Interseção em minutos.

A área de interseção é calculada através da identificação das posições da área de interesse previamente delineada. Com as posições definidas, é possível calcular a área. A aplicação apresenta estes dados em milhas náuticas quadradas. Se a área tiver um valor nulo,

isso significa que existe interseção espacial entre as elipses, mas não é possível que os dois navios tenham interagido.

A duração de interseção é determinada a partir da verificação de quando a ausência de relato ocorreu em relação à outra. Tendo identificado o período de interseção, o programa calcula a janela de tempo em que ambos os navios não estiveram a transmitir sinal AIS.

MMSI 1	Início da Ausência 1	Fim da Ausência 1	MMSI 2	Início da Ausência 2	Fim da Ausência 2	Área de Interseção	Duração de Interseção (m)
215795000	14-Sep-2022 19:20:12	14-Sep-2022 20:20:30	224012690	14-Sep-2022 17:08:41	14-Sep-2022 19:43:57	5.1006e+14	23.7500
220624000	14-Sep-2022 10:38:27	14-Sep-2022 13:54:18	224079680	14-Sep-2022 11:16:01	14-Sep-2022 13:28:00	5.1006e+14	131.9833
224002430	14-Sep-2022 14:12:53	14-Sep-2022 17:07:10	224085650	14-Sep-2022 15:28:05	14-Sep-2022 16:40:06	5.1006e+14	72.0167
224002430	14-Sep-2022 14:12:53	14-Sep-2022 17:07:10	224085650	14-Sep-2022 16:40:06	14-Sep-2022 18:19:01	5.1006e+14	27.0667
224002430	14-Sep-2022 14:12:53	14-Sep-2022 17:07:10	224113130	14-Sep-2022 14:48:08	14-Sep-2022 15:49:14	5.1006e+14	61.1000
224002430	14-Sep-2022 14:12:53	14-Sep-2022 17:07:10	224114750	14-Sep-2022 12:26:52	14-Sep-2022 14:39:21	5.1007e+14	26.4667
224002430	14-Sep-2022 14:12:53	14-Sep-2022 17:07:10	224115990	14-Sep-2022 10:41:57	14-Sep-2022 15:02:21	5.1006e+14	49.4667

Figura 22- Informação de Interseção de Elipses

Com a informação disponível de cada uma das interseções, a aplicação permite ao utilizador visualizar cada um destes casos individualmente. Selecionado uma linha da Tabela da Figura 22, é realizado o *geoplot* das elipses correspondentese.

Os limites da elipse referente ao MMSI 1 têm uma coloração azul e os limites da elipse referente ao MMSI 2 têm uma coloração verde.

Para além disto, o programa verifica a existência de dados AIS dentro da área de interseção durante o período de interseção. Em caso positivo, a aplicação atribui uma coloração vermelha à área e representa os dados AIS a branco. Em caso negativo, é atribuído uma coloração verde à área de interseção entre elipses. Se não houver qualquer tipo de coloração na interseção de elipses, indica que só houve interseção espacial e temporal.

A Figura 23 ilustra a interseção de elipses entre o navio 219031008, representado pela elipse azul, e o navio 235116537, representado pela elipse verde, que ocorreu no dia 4 de janeiro de 2023 no CZMS. Esta interseção, colorida a vermelho devido à existência de dados AIS de outros navios, tem uma área de 67.36 milhas náuticas ao quadrado e uma duração de cerca de 81 minutos.

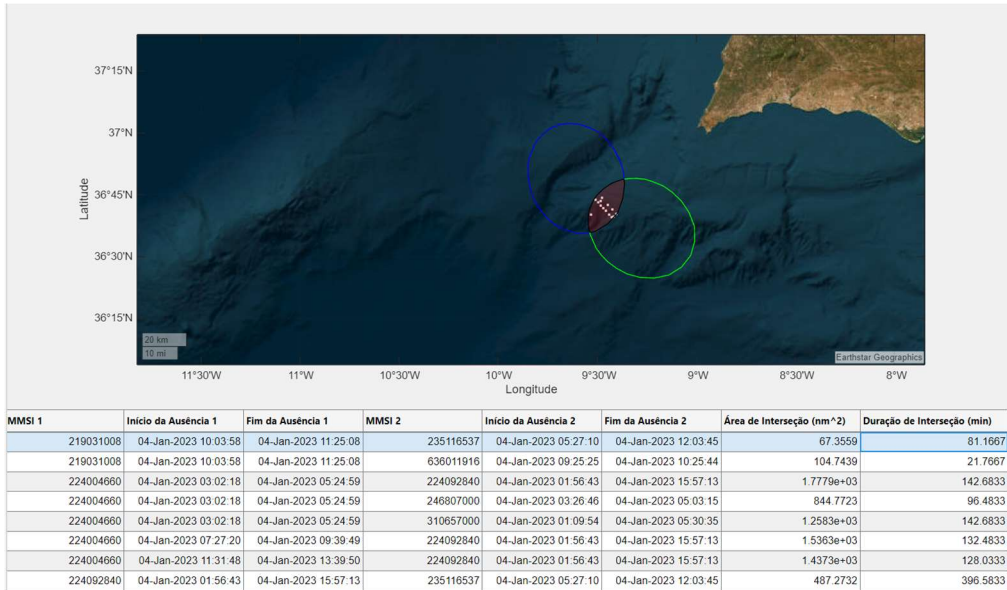


Figura 23- Interseção de Elipses selecionada

Com a identificação das possíveis interações entre as elipses calculadas, a aplicação fornece uma contabilização analítica dos dados de acordo com os resultados observados:

- Número de Eventos: contabilização das interseções de elipses verificadas na janela de tempo inserida e consoante as fontes de dados AIS selecionadas;
- Duração média das Interseções: média da duração das interseções de elipses em minutos;
- Área média das Interseções: média da área das interseções calculadas em milhas náuticas quadradas;
- Interseções entre dois navios russos: contabilização das interseções de elipses verificadas entre dois navios russos;
- Interseções com navios russos: contabilização das interseções de elipses verificadas com um navio russo;
- Interseções entre dois navios chineses: contabilização das interseções de elipses verificadas entre dois navios chineses;
- Interseções com navios chineses: contabilização das interseções de elipses verificadas com um navio chineses.

O estudo detalhado destes resultados permite a identificação de possíveis casos de operações de transferência *ship-to-ship* entre navios de interesse.

4. Análise de resultados

No âmbito deste capítulo, proceder-se-á à análise dos dados e dos resultados ao nível das ausências de relatos AIS quantificadas, por um determinado período. Nos subcapítulos 4.1. e 4.2., utilizando técnicas estatísticas, o objetivo é aferir se existe alguma diferença entre os grupos de indicadores definidos em relação às ausências de relatos AIS. No subcapítulo 4.3. o objeto de análise é o mapa de densidade.

O período aleatório escolhido será correspondente ao primeiro trimestre do ano de 2023 e a fonte dos dados AIS utilizada na análise será MSSIS. Este período foi escolhido por não haver dados AIS completos para o ano todo, e por corresponder ao trimestre com mais dados disponíveis.

Os indicadores utilizados na análise dos dois primeiros subcapítulos estão definidos na Tabela 3.

Nome da variável	Descrição da variável	Tipo	Categorias
AUSREP	Número de eventos de ausência de relato.	Numérica discreta	–
ACTDARK-1	Número de eventos com dados AIS dentro da área definida por uma extensão geográfica quadrada de 2 milhas náuticas de lado, centrado no ponto central da ausência.	Numérica discreta	–
ACTDARK-5	Número de eventos com dados AIS dentro da área definida por uma extensão geográfica quadrada de 10 milhas náuticas de lado, centrado no ponto central da ausência.	Numérica discreta	–

ACTDARK-10	Número de eventos com dados AIS dentro da área definida por uma extensão geográfica quadrada de 20 milhas náuticas de lado, centrado no ponto central da ausência.	Numérica discreta	–
DURAÇÃO (DUR)	Duração média, em minutos, das ausências de relato.	Numérica contínua	–
DISTÂNCIA	Distância média, em milhas náuticas, das ausências de relato.	Numérica contínua	–
ZONAS	Área geográfica de leitura de dados.	Catégorica nominal	1- CZMN ¹⁵ 2- CZMC ¹⁶ 3- CZMS 4- ZEEA 5- ZEEM
TIPONAV	Tipologia de navios.	Catégorica nominal	C- <i>Cargo</i> T- <i>Tanker</i> P- <i>Passengers</i> F- <i>Fishing</i>

Tabela 3- Indicadores utilizados na Análise de Resultados

O subcapítulo 4.1. apresenta a análise de resultados referentes ao primeiro grupo Zonas. O subcapítulo 4.2. trata da análise de resultados referentes ao segundo grupo Tipologias de Navio.

A primeira técnica estatística utilizada para ambos os casos foi a ANOVA. Este método consiste num teste paramétrico de comparação de médias entre os grupos com o objetivo de verificar se existe alguma diferença entre eles. Sendo um teste paramétrico, a sua validação

¹⁵ CZMN: Comando de Zona Marítima do Norte

¹⁶ CZMC: Comando de Zona Marítima do Centro

depende de certos pressupostos. Visto que apenas se analisara um indicador de cada vez, utiliza-se a ANOVA de 1 fator (Cornish, 2006).

O primeiro passo centra-se na definição da hipótese nula (H_0) e da hipótese alternativa (H_1), que se representam da seguinte forma:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n \text{ vs. } H_1: \text{Pelo menos um } \mu_i \text{ é diferente.}$$

Figura 24- H_0 e H_1

Sendo que, μ_i representa a média de cada grupo e $i = 1, \dots, n$ representa o número de grupos distintos.

De maneira a decidir se a hipótese nula é ou não rejeitada, é necessário comparar a variação entre as médias dos grupos com a variação dentro dos grupos. A comparação é feita de acordo com a tabela ANOVA apresentada na Figura 25.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F
Entre grupos	SSW	k-1	MSW	$F = \frac{MSB}{MSW}$
Dentro dos grupos	SSB	n-k	MSB	
Total	SST	N-1		

Figura 25- Tabela ANOVA

Na Tabela da Figura 25, n representa cada observação dos k grupos, sendo que o número total de observações é dado por $N = nk$. Na respetiva tabela é utilizada a seguinte notação:

- y_{ij} representa a observação no grupo i (por exemplo, y_{13} é a terceira observação do Grupo 1).
- \bar{y}_i representa a média do grupo i ,
- \bar{y} representa a média de todas as observações.

A variação total das observações em relação à média total é medida através da soma total dos quadrados (SST - *Total Sum of Squares*).

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y})^2$$

Equação 10- SST

Esta variação pode ser dividida em duas componentes:

- *SSB* (Between groups Sum of Squares), que representa a variação da média dos grupos em relação à média total,
- *SSW* (Within groups Sum of Squares), que representa a variação das observações individuais em relação à média de cada grupo a que pertencem.

Temos então que,

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y})^2 = n \sum_{i=1}^k (\bar{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$$

Equação 11- Decomposição de SST

ou seja,

$$SST = SSB + SSW$$

Equação 12- Soma de quadrados

Cada soma de quadrados tem um certo número de graus de liberdade:

- SST tem $N - 1$ graus de liberdade;
- SSB tem $k - 1$ graus de liberdade;
- SSW tem $N - k$ graus de liberdade.

A soma dos quadrados médios entre grupos (*MSB*) e dentro dos grupos (*MSW*), derivam das expressões obtidas acima, da seguinte forma:

$$MSB = \frac{SSB}{k - 1}$$

Equação 13- *MSB*

$$MSW = \frac{SSW}{N - k}$$

Equação 14- *MSW*

Por último, é utilizada a estatística F, resultante da divisão entre MSB e MSW.

Com o valor F calculado, é possível determinar o *p-value*. O *p-value* tem como intuito determinar se as diferenças entre as médias dos grupos são estatisticamente significativas. Se o *p-value* calculado for menor que um nível de significância (α), rejeita-se a hipótese nula. Este nível de significância é um valor pré-determinado e representa a margem de erro aceitável. Os valores habitualmente utilizados são $\alpha=0,01$, $\alpha=0,05$ e $\alpha=0,10$.

Após rejeitar, ou não, a hipótese nula e para aferir a validade do modelo, os pressupostos da ANOVA devem ser verificados. O primeiro pressuposto requer a independência das observações, ou seja, cada grupo de dados deve ser independente dos outros. O segundo pressuposto requer a normalidade da distribuição dos resíduos resultantes do modelo. Por último, o terceiro pressuposto exige a homogeneidade de variâncias, as variâncias dentro de cada grupo devem ser semelhantes iguais (Skidmore *et al.* 2012).

Visto que as zonas geográficas utilizadas para o estudo, bem como a tipologia de navios, constituem grupos independentes entre si, constata-se que o primeiro pressuposto é cumprido. Em relação ao segundo pressuposto, para verificar a normalidade de resíduos foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk (Hanusz *et al.* 2016). Uma vez que o *p-value* deste teste rejeitou a hipótese da normalidade para os dados não transformados, optou-se por aplicar a transformação logarítmica aos indicadores, uma técnica frequentemente usada em análise estatística para contornar a não-normalidade de resíduos. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

<i>P-value</i>	Dados não transformados	Transformação Logarítmica
Duração (Zona)	2.2e-16	4.9e-05
Duração (Tipo)	2.1e-23	2.4e-22

Tabela 4- *P-value*

Verificando os resultados da Tabela 4, constata-se que, quer para os dados não transformados como para os dados com a transformação logarítmica, não existe condições de validar o segundo pressuposto.

Devido ao facto que o segundo pressuposto não se verifica, torna-se inviável usar a ANOVA. Com isto, optou-se pela adoção do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis que, ao contrário da ANOVA, não pressupõe normalidade de resíduos.

No teste Kruskal-Wallis a formulação de hipóteses é igual ao da ANOVA. No entanto, a estatística de teste difere e a comparação entre grupos passa a ser entre medianas, o que torna a análise mais robusta em relação à distribuição dos dados. A hipótese nula é definida pela igualdade das medianas de todos os grupos, enquanto a hipótese alternativa se verifica quando pelo menos uma mediana de um grupo é diferente das restantes (Dinno, 2015).

Para determinar a estatística de teste, começa-se por ordenar as observações de cada grupo individualmente e de maneira crescente. De seguida, atribui-se uma classificação a cada um destes valores, de acordo com todas as observações de todos os grupos. O valor mais pequeno é classificado como 1 e o valor mais alto é igual a N, número total das observações de todos os grupos. Com esta ordenação, o teste estatístico obtém-se através da seguinte equação (Ostertagová *et al.* 2014):

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

Equação 15- Valor H

- N = número total de observações;
- k = número dos grupos,
- n_i = número de observações de um grupo;
- R_i = soma das classificações de um grupo;

A distribuição de H pode ser aproximada a uma distribuição Qui-Quadrado χ^2 com $g - 1$ graus de liberdade. O valor estatístico H é, portanto, obtido na tabela Qui-Quadrado que relaciona o número de grupos com o nível de significância. A hipótese nula rejeita-se se o *p-value* correspondente for superior aos níveis de significância definidos anteriormente (Mindrila).

Após o teste de Kruskal-Wallis, foi realizado o teste de Dunn. Este teste estatístico tem como objetivo realizar comparações entre os grupos para identificar quais destes são significativamente diferentes entre si (Dinno,2015).

Os resultados dos testes finais podem ser observados nos subcapítulos 4.1. e 4.2., em que são apresentados os *p-values* para o indicador Duração estratificado por zonas e tipos de navio.

O indicador Duração foi escolhido por ser uma variável importante na determinação da natureza dos eventos. Elevados períodos de ausência de relato é um bom indicativo de *Dark Activity*.

4.1. Análise de resultados por Zonas

No presente subcapítulo é apresentada a análise de resultados em relação ao indicador Duração por zona. Comparar-se-á a duração média, em minutos, das ausências de relato entre as zonas para identificar quais dos grupos são significativamente diferentes entre si.

Na Tabela 5 observa-se os resultados do teste Dunn e os *p-values* que compararam os grupos entre si. Quão menor for o valor do *p-value*, maior é a diferença estatística entre grupos.

P-VALUE	CZMN	CZMC	CZMS	ZEEA	ZEEM
CZMN	-				
CZMC	0.02	-			
CZMS	1.38e-05	0.11	-		
ZEEA	3.92e-06	0.10	0.84	-	
ZEEM	7.96e-13	1.41e-05	0.04	0.04	-

Tabela 5- *P-values* do teste de Dunn com indicador Duração por Zona

Considerando o nível de significância (α) de $\alpha=0,01$, o grupo CZMN não apresenta diferença estatística significativa com o grupo CZMC. Por sua vez, o grupo CZMC diferencia-se apenas do grupo ZEEM.

Ambos os grupos CZMS, ZEEA e ZEEM relacionam-se estatisticamente entre si. Definindo o nível de significância (α) de $\alpha=0,05$, apenas os grupos CZMC, CZMS e ZEEA não exibem diferença estatística entre si.

Analisando os dados com um nível de significância (α) de $\alpha=0,1$, o grupo CZMC não apresenta diferença estatística significativa com os grupos CZMS e ZEEA.

Na Figura 26, visualiza-se graficamente os resultados do teste Kruskal-Wallis com indicador Duração por zona.

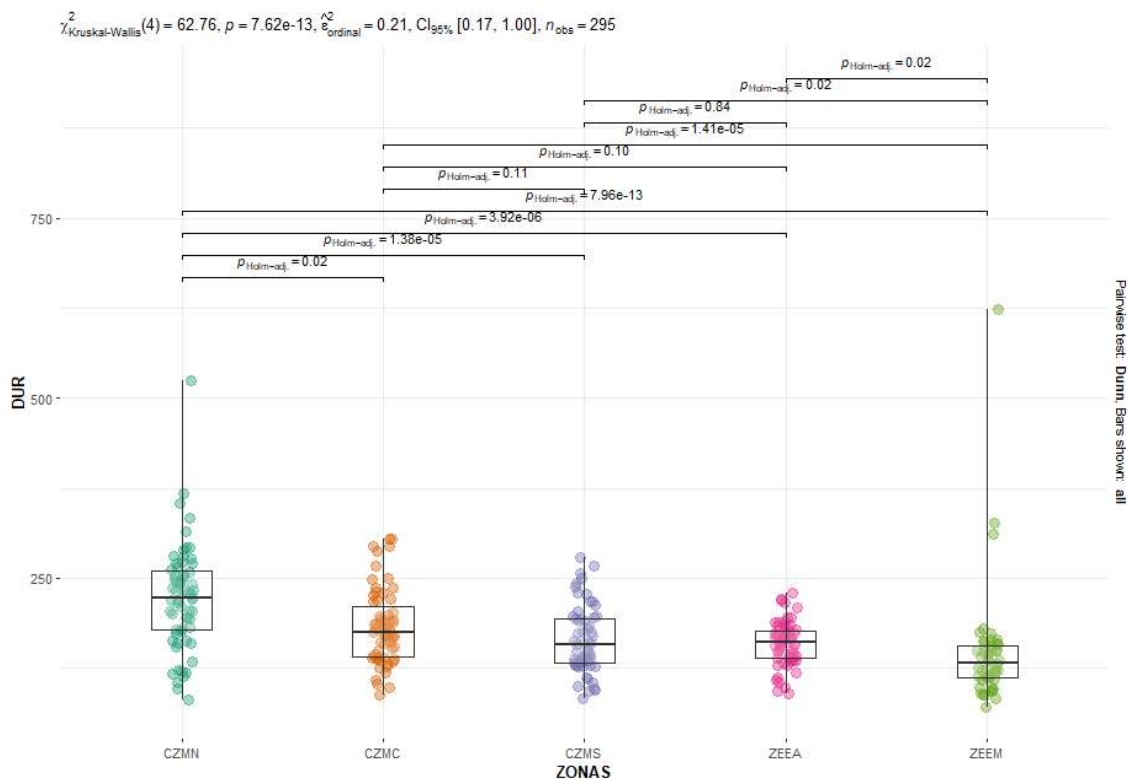


Figura 26- Resultados do teste de Kruskal-Wallis com indicador Duração por Zona

Através do gráfico da Figura 26, observa-se que os valores mais elevados para o indicador em questão se encontram no CZMN e na ZEEM, sendo que nas outras zonas, as observações se encontram mais concentradas em torno da mediana. Por inspeção visual e corroborando o que foi observado anteriormente na Tabela 5, podemos constatar que as três zonas centrais do gráfico (CZMC, CZMS, ZEEA) são as que apresentam menor diferença de medianas entre si.

4.2. Análise de resultados por Tipologia de Navios

No presente subcapítulo é exposta a análise de resultados em relação ao indicador Duração por tipo de navio. Comparar-se-á a duração média, em minutos, das ausências de relato entre tipologia de navios para identificar quais dos grupos são significativamente diferentes entre si.

Na Tabela 6 observa-se os resultados do teste Dunn e os *p-values* que compararam os grupos entre si.

P-VALUE	<i>Cargo</i>	<i>Tanker</i>	<i>Passengers</i>	<i>Fishing</i>
<i>Cargo</i>	-			
<i>Tanker</i>	4.34e-08	-		
<i>Passengers</i>	1.44e-16	4.67e-44	-	
<i>Fishing</i>	0.04	5.29e-14	6.64e-10	-

Tabela 6- *P-values* do teste de Dunn com indicador Duração por Tipo de navio

Através desta tabela, e ao contrário do registado na Tabela 5, verifica-se que quase todos os tipos de navio diferem entre si em relação ao indicador Duração. Os únicos grupos que não apresentam diferença estatística significativa entre si, e considerando apenas um nível de significância (α) de $\alpha=0,01$, são os navios *Cargo* e *Fishing*.

Na Figura 27, visualiza-se graficamente os resultados do teste Kruskal-Wallis com indicador Duração por tipo de navio.

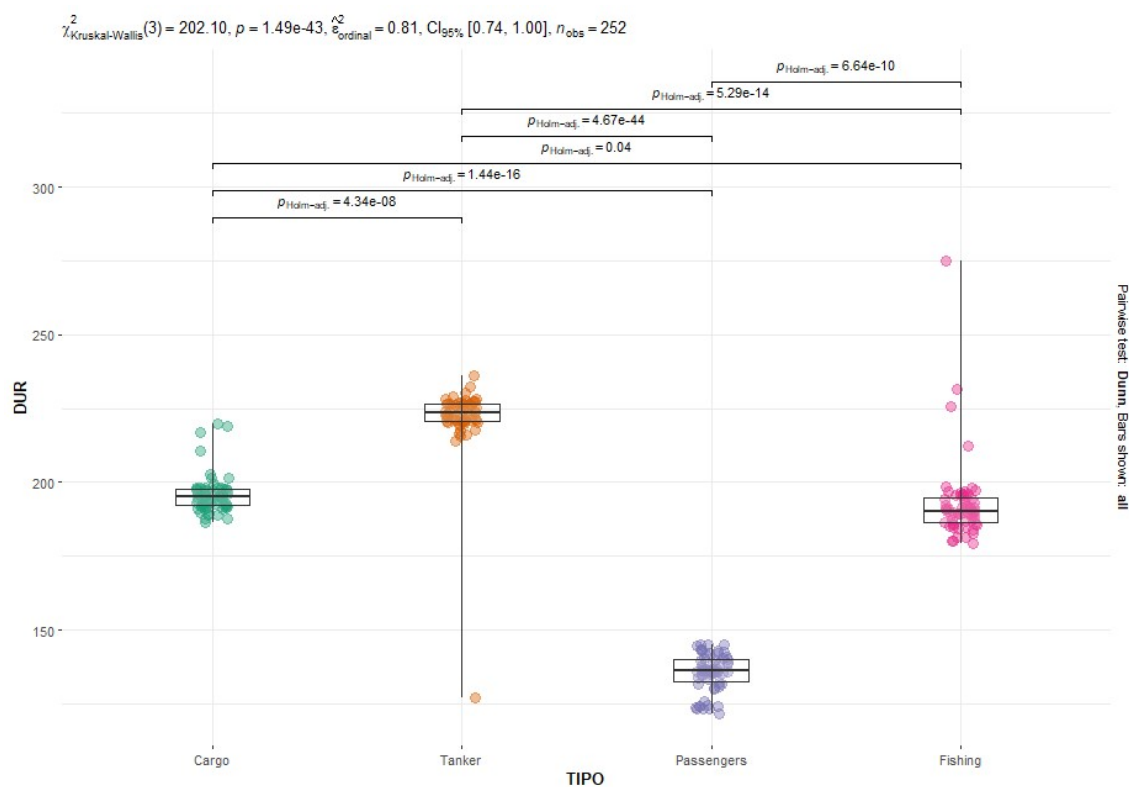


Figura 27- Resultados do teste de Kruskal-Wallis com indicador Duração por tipo de navio

Conclui-se que as medianas por tipo de navio apresentam diferenças significativas, ao contrário do que foi verificado na análise por zona. Os navios de passageiros apresentam os menores valores, rondando a mediana em torno dos 140 minutos, enquanto os tankers apresentam a mediana mais elevada, e, torno dos 225 minutos.

4.3. Mapa de Densidade

Como já foi referido, o objeto de análise no presente subcapítulo será o mapa de densidade. O objetivo dos mapas de densidade apresentados é compreender possíveis padrões e tendências em relação aos eventos de ausência de relato, tanto com o indicador de número de eventos e de duração média.

O primeiro mapa de densidade corresponde à posição média e indicador de número de ausências. Analisar-se-á a ausência de relato com 180 minutos ou mais entre relatos e a uma distância igual ou superior a 12 milhas náuticas. A quadrícula definida tem largura de 0.1 milhas náuticas.

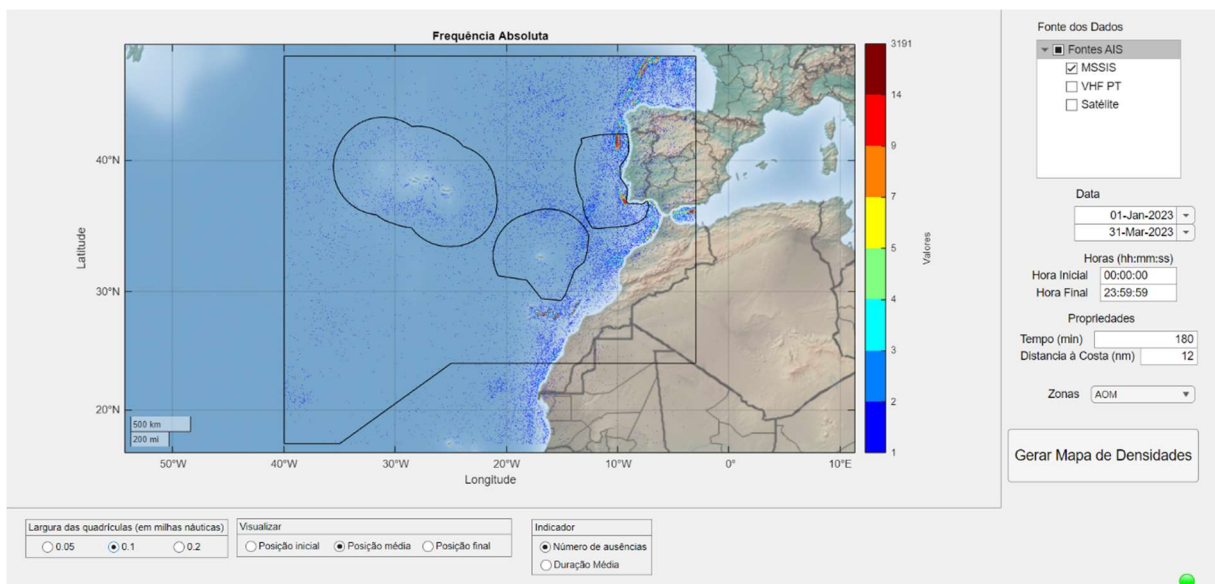


Figura 28- Mapa de densidade do indicador de número de ausências

Como se pode observar na Figura 28, verifica-se um elevado número de ausências no CMZN e na fronteira entre o CMZC e o CMZS. Na zona do CZMN em que se verifica alta concentração de número de eventos existe uma área com fraca cobertura AIS. Acrescentando o facto de ser uma área com elevado tráfego marítimo, é justificável que esta zona se destaque no mapa de densidade em relação às outras.

No entanto, afastado da costa apura-se menor concentração de número de eventos por quadrícula. Este fenómeno encontra-se relacionado com a menor densidade de tráfego em alto mar a comparar com zonas mais perto da costa.

Outra zona de relevo em relação ao número de ausências observada no mapa de densidade é as Ilhas Canárias. Isto ocorre pelo facto de haver muitos falsos positivos nesta

área, em que parte significativa das ausências pertencem a navios atracados. A base de dados das linhas costa não esta completa, por isso, a filtragem de dados revela-se incompleta.

O segundo mapa de densidade analisa a posição média dos eventos e o indicador de duração média. À semelhança do primeiro mapa de densidade, definiram-se como eventos de interesse aqueles com ausência de relato de 180 minutos ou mais e a uma distância igual ou superior a 12 milhas náuticas. A quadrícula definida tem largura de 0.1 milhas náuticas.

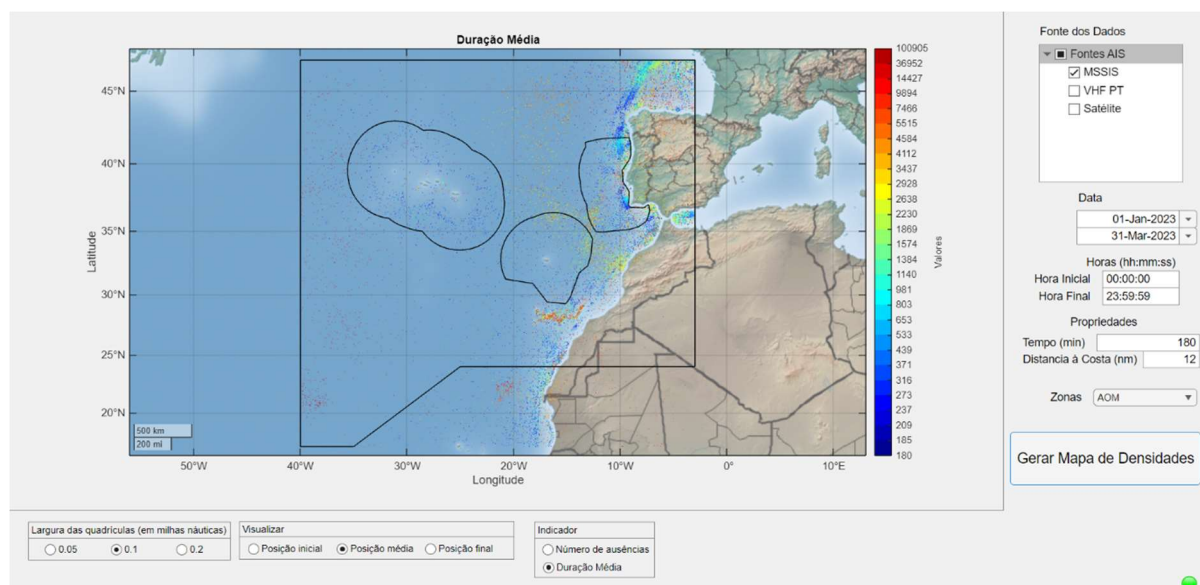


Figura 29- Mapa de densidade do indicador de duração média

Neste mapa de densidade, com indicador de duração média, apura-se o contrário que foi observado no mapa de densidade com indicador de número de ausências. Maior concentração do indicador afastado da costa e menor duração média de ausência de relatos perto de costa.

Visto que perto da costa existe melhor cobertura do sinal AIS, as ausências de relato que ocorrem são, portanto, eventos mais espontâneos. Para além disto, são zonas de maior tráfego, logo casos que fogem ao padrão a nível de duração média de ausências acabam por serem abafados.

Por outro lado, em alto mar a cobertura AIS não é tão forte e não existe tanto tráfego marítimo. Ou seja, verifica-se poucos casos de ausência de relato, mas com durações significativas.

Mais uma vez, e pela mesma razão referida anteriormente, regista-se alta densidade na zona das Ilhas Canárias.

5. Conclusão e Trabalho Futuro

Neste capítulo é apresentado um resumo do que foi desenvolvido ao longo da dissertação e as conclusões tiradas com este trabalho. Para além disto, serão discutidas algumas ideias para trabalho futuro, com objetivo de dar continuidade ao projeto.

5.1. Conclusão

A presente dissertação centra-se na disponibilização de funcionalidades de análise de dados AIS, através do desenvolvimento de procedimentos heurísticos para resolver três problemas: identificar ausências de relatos AIS, cálculo das áreas navegáveis durante a ausência de relatos e o cálculo de interseção das áreas navegáveis em que dois navios estiveram sem emitir sinal AIS. Por conseguinte, o trabalho principal realizado encontra-se dividido em três partes, sendo estas referentes aos procedimentos heurísticos desenvolvidos para cada um dos problemas. As funcionalidades de análise de dados foram implementadas com sucesso e testadas a fim de serem incorporadas em sistemas de análise de dados georreferenciados atualmente em exploração na Marinha, contribuindo para a capacidade de Conhecimento Situacional Marítimo. Um destes sistemas, consiste num protótipo de produção de *Intel* relativo ao panorama marítimo, atualmente em desenvolvimento e exploração na Marinha, cujo foco está na identificação de situações anómalas complexas em tempo quase-real. A aplicação desenvolvida nesta dissertação, que incorpora os procedimentos referidos, contribui para as funcionalidades de análise do protótipo de *Intel* referido.

Com a leitura dos dados AIS, a aplicação identifica os relatos consecutivos de todos os navios e calcula o tempo entre todos estes relatos correspondente ao mesmo navio. Isto permite a deteção e análise de casos em que o tempo entre relatos fogem ao padrão. Para além disto, é capaz de detetar em tempo quase real navios que estão em período *Dark*.

Após detetar os casos de interesse, a aplicação possibilita o estudo detalhado da trajetória do navio. A trajetória é contruída de maneira que permita visualizar os períodos onde não houve transmissão do sinal AIS. Com estes períodos evidenciados, é calculada a área que, durante o período de ausência de relato, o navio pode ter navegado. Dentro desta área, a aplicação avalia se houve dados AIS de outros navios na mesma janela de tempo. Se houver

dados de outros navios na mesma área e na mesma janela de tempo, presume-se que ocorreu um caso presumível de *Dark Activity*.

Com as áreas referentes aos períodos de ausência de relato AIS calculadas, é possível identificar casos em que houve interseções entre essas áreas. Ou seja, eventos em que dois navios não transmitiram sinal AIS na mesma janela de tempo e na mesma área. No entanto, isto não é suficiente para determinar interação entre navios, pois é necessário considerar a velocidade e a possível posição das embarcações durante o período de interseção. Após ter estas variáveis em conta, a aplicação determina a possível interação ou não. Estas ocorrências, nas certas condições, são bons indicativos de atividade ilícita.

A aplicação disponibiliza as funções acima e permite o estudo dos dados AIS de maneira eficiente e eficaz. Todas as funcionalidades apresentam uma análise detalhada dos dados detalhada com informações relevantes para o utilizador.

Numa primeira fase, a análise de resultados apresentada trata dos dados em relação ao indicador Duração, utilizando o método estatístico não paramétrico Kruskal-Wallis e o teste Dunn. Comparou-se os grupos de zonas e de tipologia de navios entre si. A variável Duração é importante, pois é um bom indicador na caracterização de casos de *Dark Activity*.

Numa segunda fase, utilizou-se o mapa de densidade com o intuito de analisar os dados em relação às ausências de relatos. Definindo os indicadores como número de eventos e duração média dos eventos, identificaram-se padrões e tendências dentro da AOM.

Com as funções e variáveis acima descritas, o projeto proposto foi finalizado. O desenvolvimento da dissertação possibilitou a criação de uma ferramenta útil para o aprimoramento do Conhecimento Situacional Marítimo e na deteção e caracterização de situações fora do padrão conhecido.

Um dos desafios na análise de comportamentos anómalos é classificar corretamente um determinado tipo de comportamento. No caso particular da atividade *Dark*, é importante determinar se está associada a uma atividade ilícita ou não. As funcionalidades de análise desenvolvidas permitem apenas identificar situações de ausência de sinal AIS, que poderão estar (ou não) associadas a atividades ilícitas. Mas não as classificam como tal (atividade ilícita ou não). Uma atividade ilícita pode estar associada a uma situação de ausência de relato ou não. Por conseguinte, o trabalho desenvolvido contribuiu para identificar situações de atividades ilícitas que estão associadas a ausências de relato. Contudo, não garante ao analista que se está perante uma atividade ilícita.

5.2. Trabalho Futuro

Como trabalho futuro, sugere-se o aprimoramento das funcionalidades da aplicação, com o objetivo de melhor caracterizar as situações de ausência de sinal AIS. Seria de interesse a caracterização expedita entre os casos de presumível *Dark Activity* e dos restantes eventos provocados possivelmente por falta de cobertura de sinal AIS. Com isto, haveria uma melhor filtragem de dados e uma maior eficiência por parte da aplicação, o que contribuiria para um melhor esclarecimento das situações a partir dos resultados obtidos. Este processo passa por empregar dados externos ao sistema AIS, como por exemplo, informação acerca do armador ou empresa que freta determinado navio, ou informação relativa a portos praticados que possam contribuir para perceber o risco de atividade ilícita.

De maneira a aumentar a celeridade do programa, considera-se tornar a função de construção das possíveis áreas navegáveis mais eficaz, recorrendo a processamento em paralelo. Devido ao rigor proposto, a execução da construção e comparação das elipses é um procedimento demorado.

Para além disto, seria proveitoso a procura ou a criação de uma melhor base dados das posições cartesianas das linhas de costa a nível global. Este passo aumentaria o detalhe e rigor da aplicação, sendo capaz de eliminar todos os casos de navios que continuam a transmitir mesmo atracados. Parte significativa das ausências de relatos e interseção de elipses são falsos positivos criados por navios atracados, o que provoca a recolha de dados e a análise de resultados menos ótima.

A classificação de *Dark Activity* pode ser realizada com recurso a métodos de inteligência artificial, em particular através de técnicas de classificação supervisionada, como é o caso do *Deep Learning*. Contudo, a utilização destas técnicas requer uma base de dados de elevada dimensão, na qual se conhece a variável *target* (se é *Dark Activity* ou não) para cada registo. Com as funcionalidades desenvolvidas nesta dissertação, a Marinha está em condições de construir este *data set*, através da análise minuciosa de cada situação de ausência de relato, através do cruzamento de diferentes fontes de informação (para além das fontes AIS) para obter a variável *target*. Este é um processo moroso que pode demorar meses ou anos, pois implica determinar com certeza se um determinado navio esteve envolvido em atividades ilícitas durante o período de ausência de sinal AIS. Isto pode implicar o cruzamento de informações com entidades externas à Marinha para obter esta informação. Assim, um

possível trabalho futuro consiste na construção desta base de dados, com o objetivo último de obter um classificador de *Dark Activity* utilizando técnicas de inteligência artificial. Este seria um objetivo a atingir a longo prazo. A curto prazo, seria interessante propor um indicador de risco para situações de *Dark Activity* com base nas funcionalidades desenvolvidas.

Bibliografia

- Abdi, H., & Williams, L. (2010). Encyclopedia of Research Design.
- Across Logistics. (2022, September 23). Maritime transportation. Advantages and disadvantages. Acrosslogistics.com. <https://acrosslogistics.com/blog/en/maritime-transportation-advantages-and-disadvantages>
- Androjna, A., Pavić, I., Gucma, L., Vidmar, P., & Perkovič, M. (2023). AIS Data Manipulation in the Illicit Global Oil Trade. *Journal of Marine Science and Engineering*.
- Ballinger, O. (2024). AUTOMATIC DETECTION OF DARK SHIP-TO-SHIP TRANSFERS USING DEEP LEARNING AND SATELLITE IMAGERY.
- Bunwaree, P. (2023). THE ILLEGALITY OF FISHING VESSELS 'GOING DARK' AND METHODS OF DETERRENCE.
- Conselho Europeu. (2024). Sanções da EU contra a Rússia. Consilium.europa.eu. <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/sanctions-against-russia/>
- COMMISSION DIRECTIVE 2011/15/EU of 23 February 2011, amending Directive 2002/59/EC of the European Parliament and of the Council establishing a Community vessel traffic monitoring and information system.
- Cornish, R. (2006). *Statistics: 1.5 Oneway Analysis of Variance*.
- Datalastic. (2022, April 12). AIS Navigational Status. Datalastic. <https://datalastic.com/blog/ais-navigational-status/>
- Dinno, A. (2015). Nonparametric Pairwise Multiple Comparisons in Independent Groups using Dunn's Test. *The Stata Journal: Promoting Communications on Statistics and Stata*, 15(1), 292–300.
- Economia Azul. (2021). ZEE ranking - Países com maiores Zonas Económicas Exclusivas (ZEE) | Economia Azul. Economia Azul: Economia Do Mar Sustentável. <https://www.economiaazul.pt/blogue/2021/1/13/zee-ranking-paises-com-maiores-zonas-economicas-exclusivas-zee>
- Görkem, B. N., Çağlayan, B., Karaca, E., Karabulut, C., & Korçak, M. (2023). Dark Activity Detection in AIS-Based Maritime Networks.
- Hanusz, Z., Tarasinska, J., & Zielinski, W. (2016). SHAPIRO-WILK TEST WITH KNOWN MEAN. *REVSTAT -Statistical Journal*, 14(1), 89–100.
- Hexeberg, S., Flaten, A. L., Eriksen, B. O. H., & Brekke, E. F. (2017). AIS-based vessel trajectory prediction.
- IALA Guideline G1082 An Overview of AIS. (2016). In IALA Guideline.

IMO. (2023). Legal Committee, 110th session, (LEG 110) 27-31 March 2023. Imo.org. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/Legal-Committee%2c-110th-session.aspx>

Kontopoulos, I., Chatzikokolakis, K., Zisis, D., Tserpes, K., & Spiliopoulos, G. (2020). Real-time maritime anomaly detection: detecting intentional AIS switch-off. *International Journal of Big Data Intelligence*, 7(2), 85.

Lane, R. O., Nevell, D. A., Hayward, S. D., & Beaney, T. W. (2010). Maritime anomaly detection and threat assessment.

Laxhammar, R., Falkman, G., & Sviestins, E. (2009). Anomaly detection in sea traffic - A comparison of the Gaussian Mixture Model and the Kernel Density Estimator.

Lei, Y., & Wong, K. C. (1999). Ellipse detection based on symmetry. *Pattern Recognition Letters*, 20(1), 41–47. [https://doi.org/10.1016/s0167-8655\(98\)00127-5](https://doi.org/10.1016/s0167-8655(98)00127-5)

Li, C., Yang, T., Zhu, S., Chen, C., & Guan, S. (2020). *Density Map Guided Object Detection in Aerial Images*.

Mazzarella, F., Vespe, M., Tarchi, D., Aulicino, G., & Vollero, A. (2016). AIS reception characterisation for AIS on/off anomaly detection. *International Conference on Information Fusion*, 1867–1873.

Martineau, E., & Roy, J. (2011). Maritime Anomaly Detection: Domain Introduction and Review of Selected Literature.

Miller, H. J. (2017). Time Geography and Space-Time Prism. *International Encyclopedia of Geography*, 1–19.

Mindrila, D., & Phoebe, M. (n.d.). *The Chi Square Test*.

MIS. (2022). The Use of AIS Data to Identify Dark Activity for Marine Auditing Purposes.

MSSIS. (2014). MSSIS: Home. Dot.gov. <https://mssis.volpe.dot.gov/Main/index.html>.

NATO SHIPPING CENTRE. (2021). AIS (Automatic Identification System) Overview. [Shipping.nato.int. https://shipping.nato.int/nsc/operations/news/2021/ais-automatic-identification-system-overview](https://shipping.nato.int/nsc/operations/news/2021/ais-automatic-identification-system-overview).

Nichat, M., Nitin, R., Chopde, M., Mangesh, M., & Nichat, K. (2013). Landmark based shortest path detection by using A* Algorithm and Haversine Formula.

Ostertagová, E., Ostertag, O., & Kováč, J. (2014). Methodology and Application of the Kruskal-Wallis Test. *Applied Mechanics and Materials*, 611, 115–120. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.611.115>

Pallotta, G., Vespe, M., & Bryan, K. (2013). Vessel Pattern Knowledge Discovery from AIS Data: A Framework for Anomaly Detection and Route Prediction.

Riveiro, M., Falkman, G., Ziemke, T., & Warston, H. (2009). VISAD: an interactive and visual analytical tool for the detection of behavioral anomalies in maritime traffic data.

Riveiro, M., Pallotta, G., & Vespe, M. (2018). Maritime anomaly detection: A review. In Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery.

Rjumina, K. (2024, May 15). Ship to ship (sts) transfer operations guidance | Britannia P&I. Britannia. <https://britanniapandi.com/2024/05/ship-to-ship-operations-guidance-prepare-to-abort/>.

SOLAS Chapter V. (2002). Regulation 19.2 --Carriage requirements for shipborne navigational systems and equipment.

Spire. (2024, June 27). Satellite AIS Tracking: Everything you need to know - Spire : Global Data and Analytics. Spire: Global Data and Analytics. <https://spire.com/wiki/satellite-ais-tracking-everything-you-need-to-know/>.

Stach, T., Kinkel, Y., Constapel, M., & Burmeister, H. C. (2023). Maritime Anomaly Detection for Vessel Traffic Services: A Survey.

Troncoso Skidmore, S., & Thompson, B. (2012). Bias and precision of some classical ANOVA effect sizes when assumptions are violated. *Behavior Research Methods*, 45(2), 536–546.

VT Explorer. (2024). AIS Navigation Status - AIS Data - VT Explorer. [Vtexplorer.com. https://api.vtexplorer.com/docs/ref-navstat.html](https://api.vtexplorer.com/docs/ref-navstat.html).

Wan, Z., Chen, J., Makhlof, A. E., Sperling, D., & Chen, Y. (2016). Four routes to better maritime governance. *Nature News*.

Windward. (2019, November 20). Mind the AIS gap. Windward. <https://windward.ai/blog/mind-the-ais-gap/>.

Windward. (2020, January 27). 3 tips for identifying dark activity. Windward. <https://windward.ai/blog/shining-a-light-on-ships-that-go-dark/>.

Windward. (2020, November 9). Revealing risk through insights into ship-to-ship cargo transfers. Windward. <https://windward.ai/blog/identifying-risk-through-ship-to-ship-cargo-insights/>.

Windward. (2024). Knowledge Base - Windward's Maritime AIM Insights & Resources. Windward. <https://windward.ai/knowledge-base/illuminating-russias-shadow-fleet/>.

Wolsing, K., Roepert, L., Bauer, J., & Wehrle, K. (2022). Anomaly Detection in Maritime AIS Tracks: A Review of Recent Approaches. In *Journal of Marine Science and Engineering* (Vol. 10, p. 112)

Apêndices

Imagem do protótipo desenvolvido para calcular situações anômalas relacionadas com *Dark Activity* – Tela de parametrização.

The image shows a MATLAB App window titled "MATLAB App" with a menu bar containing "Análise Operacional", "Fiscalização marítima", "Alertas", and "Parâmetros". Below the menu bar, there are tabs for "Panorama marítimo", "Análise de Trajetória", "Navios próximos", "Análise Portos", "Dark Activity", "Densidades", and "VOIs". The "Dark Activity" tab is currently selected.

The main interface is divided into two main sections: a map and a configuration panel. The map displays a satellite view of the Atlantic Ocean, with a red dashed polygon outlining a search area. The map axes are labeled "Latitude" (ranging from 20°N to 50°N) and "Longitude" (ranging from 60°W to 30°E). A scale bar in the bottom left of the map indicates 500 km and 500 mi. The map is credited to "Earthstar Geographics".

The configuration panel on the right side of the map is titled "Pesquisa", "Estatísticas", and "Parâmetros". It contains the following controls:

- Data:** A date selector set to "29-Aug-2024" and a "Janela de pesquisa (dias)" input set to "5".
- HH:MM:SS:** A time input set to "15:41:43".
- Polígono:** A dropdown menu set to "AOM4" with a checked checkbox.
- Visualizar por tipo de navio:** A checked checkbox.
- Visualizar casos de AR com navios em seu redor:** An unchecked checkbox.
- Visualizar casos de AR de elevado risco (Risco 3):** An unchecked checkbox.
- Ausência de reporte (minutos):** An input field set to "180".

At the bottom of the configuration panel, there are two buttons: "Dark activity simples" (yellow) and "Dark activity em janela" (cyan).

At the bottom of the MATLAB App window, there is a "Qualidade" section with a "Tab2" tab and a "Teste" button. To the right, an "Informação" section displays a log of system events:

```
29-Aug-2024 17:18:18: Ficheiro C:\dados\2024\8\F\F29Aug2024.mat lido com sucesso!  
29-Aug-2024 17:18:19: Ficheiro C:\dados\2024\8\F_PTIF_PT29Aug2024.mat lido com sucesso!  
29-Aug-2024 17:18:20: Ficheiro C:\dados\2024\8\F_SATIF_SAT29Aug2024.mat lido com sucesso!  
29-Aug-2024 17:18:22: Ficheiro C:\dados\2024\8\F\F29Aug2024.mat lido com sucesso!  
29-Aug-2024 17:18:22: Encontrados 3 navios distintos no interior da elipse!  
29-Aug-2024 17:18:22: Tempo de processamento AIS: 5.937s
```


Imagem do protótipo desenvolvido para calcular situações anômalas relacionadas com *Dark Activity* – elipse de áreas navegáveis.

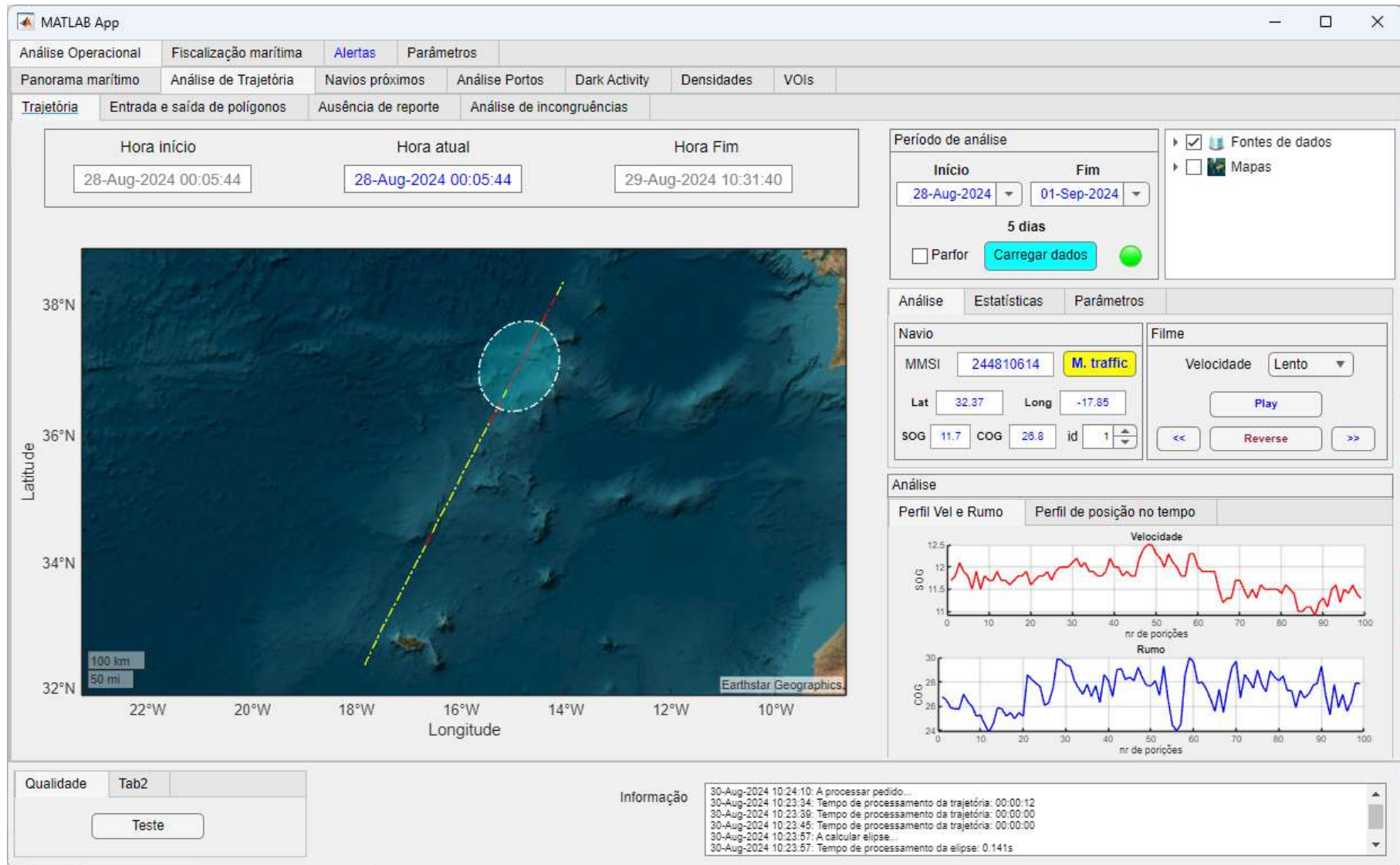


Imagem do protótipo desenvolvido para calcular situações anômalas relacionadas com *Dark Activity* – períodos de ausência de relato.

