



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE DETEÇÃO REMOTA NO ESTUDO DE  
PLUMAS COSTEIRAS  
O CASO DO ESTUÁRIO DO VOUGA

Rafael Teles da Fonseca Abrantes Rodrigues



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Rafael Teles da Fonseca Abrantes Rodrigues

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE DETEÇÃO REMOTA NO  
ESTUDO DE PLUMAS COSTEIRAS**  
O caso do Estuário do Vouga

Dissertação no âmbito do Mestrado em Geociências no ramo de Recursos  
Geológicos, orientada pelo Professor Doutor Vasco Manuel Jorge Soares Mantas  
apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra

outubro de 2020



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Rafael Teles da Fonseca Abrantes Rodrigues

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE DETEÇÃO REMOTA  
NO ESTUDO DE PLUMAS COSTEIRAS:  
O caso do Estuário do Vouga**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Geociências no ramo de  
especialização de Recursos Geológicos, orientada pelo Doutor Vasco Manuel  
Jorge Soares Mantas apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da  
Universidade de Coimbra**

Outubro de 2020



Universidade de Coimbra  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Departamento de Ciências da Terra

Rafael Teles da Fonseca Abrantes Rodrigues

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE DETEÇÃO REMOTA NO  
ESTUDO DE PLUMAS COSTEIRAS:  
O caso do Estuário do Vouga**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Geociências no ramo de especialização  
de Recursos Geológicos, orientada pelo Doutor Vasco Manuel Jorge Soares  
Mantas apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Universidade de  
Coimbra

Outubro de 2020



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
**COIMBRA**



## RESUMO

No contexto dinâmico associado às zonas costeiras, a influência das bacias hidrográficas através dos fluxos hidrológicos ricos em sedimentos e matéria orgânica condicionam a formação de estruturas costeiras. Nesta dissertação é apresentado um estudo sobre plumas costeiras, mais especificamente da pluma com origem na descarga associada ao estuário do rio Vouga, através de técnicas de deteção remota. Com este estudo pretendeu-se identificar e caracterizar a pluma costeira gerada pela descarga lagunar, durante o período entre 2017 e 2020. O desenvolvimento da deteção remota observado nas últimas décadas possibilita atualmente a utilização deste tipo de técnicas nas mais diversas aplicações. Neste caso em particular, na monitorização de fenómenos costeiros auxiliada pela capacidade destas técnicas de medição da temperatura superficial oceânica.

Desta forma, foi desenvolvida uma metodologia com recurso a dados óticos e térmicos infravermelhos adquiridos pelo Landsat 8, mas também dados SAR adquiridos pela plataforma Sentinel-1. A cartografia da pluma realizada a partir das imagens térmicas infravermelhas foi concretizada inicialmente de forma manual apoiada pela interpretação dos gradientes térmicos e auxiliada por uma composição RGB. Esses mesmos dados foram de seguida submetidos a uma cadeia de processamento baseada no algoritmo de identificação de limites automático *Canny Edge*. A identificação da pluma através das imagens SAR foi realizada pela interpretação de assinaturas texturais adquiridas pelas imagens na área de interesse. Consoante o tipo de dados, o procedimento metodológico foi adaptado de modo a facilitar a análise e discussão dos resultados.

Nos resultados obtidos neste estudo, independentemente do tipo de dados analisado, foi possível observar características associadas à presença da pluma costeira na região do estuário do Vouga. Deste modo foi evidenciada a viabilidade da metodologia desenvolvida quer no reconhecimento e cartografia da pluma costeira como na caracterização da mesma. A identificação deste tipo de estruturas através de imagens SAR exibiu resultados promissores apesar do teor experimental da análise proporcionando, em simultâneo com os resultados obtidos a partir das imagens Landsat, a possibilidade de caracterização de um fenómeno dominante associado à dinâmica dos ambientes de interface costeira.

**Palavras-chave:** deteção remota, Landsat, Sentinel-1, plumas costeiras, estuário do Vouga.



# ABSTRACT

In the dynamic context associated with coastal zones, the influence of river basins through hydrological flows rich in sediments and organic matter condition the formation of coastal structures. This dissertation presents a study on coastal plumes, more specifically the plume originating from the discharge associated with the Vouga River estuary, through remote sensing techniques. This study aimed to identify and characterise the coastal plume generated by the estuarine discharge, during the period between 2017 and 2020. The development of remote sensing observed in the last decades currently favours the use of this type of techniques in a wide range of applications. In this particular case, the monitoring of coastal phenomena facilitated by the ability of these techniques to measure the ocean surface temperature.

In this way, a methodology was developed using optical and thermal infrared data acquired by the Landsat 8, but also SAR data acquired by the Sentinel-1 platform. The plume cartography carried out from the thermal imaging was initially carried out manually supported by the interpretation of thermal gradients and aided by an RGB composition. These same data were then submitted to a processing chain based on the *Canny Edge* automatic boundary identification algorithm. The identification of the plume through the SAR imaging was performed by the interpretation of textual signatures acquired by the images in the area of interest. Depending on the type of data, the methodological procedure was adapted in order to facilitate the analysis and discussion of the results.

In the results obtained in this study, regardless of the type of data analysed, it was possible to observe characteristics associated with the presence of the coastal plume in the Vouga estuary region. In this way, the feasibility of the methodology developed was evidenced both in the recognition and cartography of the coastal plume but also in its characterisation. The identification of this type of structures through SAR images showed promising results despite the experimental nature of the analysis, providing, simultaneously with the results obtained from Landsat images, the possibility of characterising a dominant phenomenon associated with the dynamics of coastal interface environments.

**Keywords:** remote sensing, Landsat, Sentinel-1, coastal plumes, Vouga estuary.





# AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desta dissertação e o término de mais uma etapa académica teve o contributo de um conjunto de pessoas que sempre me apoiaram às quais dedico esta secção.

- Ao meu orientador científico, Doutor Vasco Mantas (Universidade de Coimbra) pela orientação e paciência desde o momento inicial.
- Ao Núcleo de Geociências da Associação Académica de Coimbra pelas amizades e crescimento proporcionado.
- Aos meus companheiros de sempre pela presença constante e animo transmitido.
- Aos meus pais e irmãos pelo apoio, amor e educação.

F-R-A



# ÍNDICE GERAL

RESUMO.....	v
ABSTRACT .....	vii
AGRADECIMENTOS.....	ix
ÍNDICE GERAL .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xv
LISTA DE ABREVIATURAS .....	xvii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objetivos .....	3
1.3 Estrutura da dissertação .....	4
1.4 Estado da arte.....	5
2. DETEÇÃO REMOTA.....	9
2.1 Definição .....	9
2.2 Fundamentos da detecção remota.....	10
2.2.1 Radiação eletromagnética.....	10
2.2.2 Interações da REM .....	12
2.2.3 Sensores ativos e passivos.....	13
2.3 Sistemas de Detecção Remota.....	14
2.3.1 Tipos de plataforma .....	14
2.3.2 Tipos de órbita .....	14
2.3.3 Tipos de resolução.....	15
2.4 Programas e missões espaciais.....	17
2.4.1 Programa Landsat.....	17
2.4.2 Missões Sentinel .....	18
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	19
3.1 Enquadramento geográfico e morfológico .....	19

3.2	Enquadramento geológico .....	21
3.3	Dinâmica da área de interesse .....	22
4.	METODOLOGIA .....	25
4.1	Batimetria e Dados Hidrográficos .....	27
4.2	Imagens de satélite .....	27
4.2.1	Escolha das imagens de satélite .....	28
4.3	Software utilizado .....	29
4.4	Pré-processamento de imagens .....	29
4.4.1	Imagens Landsat 8 .....	30
4.4.2	Imagens Sentinel-1 .....	31
4.5	Processamento de imagens .....	31
4.5.1	Imagens Landsat 8 .....	31
4.5.2	Imagens Sentinel-1 .....	32
4.6	Pós-processamento .....	32
4.6.1	Imagens Landsat 8 .....	32
4.6.2	Imagens Sentinel-1 .....	33
5.	RESULTADOS .....	35
5.1	Caracterização da pluma do estuário do Vouga .....	36
5.1.1	Método Canny Edge .....	39
5.1.2	Imagens SAR .....	41
6.	ANÁLISE E DISCUSSÃO .....	47
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
	ANEXOS .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Corte transversal de uma pluma costeira com origem fluvial (Fonte: Hetland & Hsu, 2013).....	5
<b>Figura 2.1.</b> Processo de Detecção Remota (adaptado de Canada Centre for Remote Sensing, 2019).....	9
<b>Figura 2.2.</b> Radiação eletromagnética (adaptado de Lillesand et al., 2015) .....	10
<b>Figura 2.3.</b> Espectro eletromagnético (adaptado de Lillesand et al., 2015) .....	11
<b>Figura 2.4.</b> Fenómenos de interação da radiação eletromagnética (Fonte: Lira et al., 2016) .....	13
<b>Figura 2.5.</b> Sensores passivos vs sensores ativos (adaptado NASA, 2020).....	14
<b>Figura 2.6.</b> Resolução espacial (Fonte: Lira et al., 2016) .....	15
<b>Figura 2.7.</b> Resolução espectral (Fonte: Lira et al., 2016).....	16
<b>Figura 3.1.</b> Localização geográfica da área de estudo .....	19
<b>Figura 3.2.</b> Esquema Tectono-estratigráfico de Portugal Continental (Fonte: LNEG, 2010) .....	22
<b>Figura 4.1.</b> Fluxograma da metodologia .....	26
<b>Figura 5.1.</b> Resultados Landsat 8 referentes ao dia 21 de março de 2018; <b>(a)</b> TIRS_banda10; <b>(b)</b> cartografia da pluma costeira; <b>(c)</b> composição RGB432. ....	37
<b>Figura 5.2.</b> Resultados Landsat 8 referentes ao dia 30 de dezembro de 2019; <b>(a)</b> TIRS_banda10; <b>(b)</b> cartografia da pluma costeira; <b>(c)</b> composição RGB432. ....	37
<b>Figura 5.3.</b> <b>(a)</b> Frequência relativa da pluma gerada pelo estuário do Vouga; <b>(b)</b> Batimetria COSMO associada à região de interesse. ....	38
<b>Figura 5.4.</b> Resultado do processamento da imagem do dia 21 de março de 2018 através do método Canny Edge <b>(a)</b> imagem original TIRS_banda10; <b>(b)</b> comparação da cartografia com os resultados obtidos <b>(c)</b> resultado Canny Edge.....	39
<b>Figura 5.5.</b> Resultado do processamento da imagem do dia 24 de outubro de 2018 através do método Canny Edge <b>(a)</b> imagem original TIRS_banda10; <b>(b)</b> comparação da cartografia com os resultados obtidos <b>(c)</b> resultado Canny Edge.....	40
<b>Figura 5.6.</b> Resultado do processamento da imagem do dia 30 de dezembro de 2019 através do método Canny Edge <b>(a)</b> imagem original TIRS_banda10; <b>(b)</b> comparação da cartografia com os resultados obtidos <b>(c)</b> resultado Canny Edge.....	41
<b>Figura 5.7.</b> Resultados do processamento da imagem SAR de 24 de outubro de 2018 <b>(a.7)</b> pico de intensidade máxima .....	42

<b>Figura 5.8.</b> Resultados do processamento da imagem SAR de 04 de maio de 2019 <b>(a.8)</b> pico de intensidade máxima; <b>(b.8)</b> pico de intensidade relevante .....	43
<b>Figura 5.9.</b> Resultados do processamento da imagem SAR de 30 de dezembro de 2019 .....	44
<b>Figura 5.10.</b> Resultados do processamento da imagem SAR de 22 de maio de 2020 <b>(a.10)</b> pico de intensidade máxima; <b>(b.10)</b> pico de intensidade relevante .....	45
<b>Figura 6.1.</b> Batimetria COSMO da região associada à pluma costeira .....	48
<b>Figura 6.2.</b> Frequência relativa da pluma na região de interesse no período 2017-2020 .....	49
<b>Figura 6.3.</b> Exemplo do resultado da aplicação do algoritmo Canny Edge <b>(a)</b> imagem original TIRS_banda10; <b>(b)</b> resultado Canny Edge.....	51
<b>Figura 6.4.</b> Exemplo de perfis realizados na análise de imagens SAR <b>(a)</b> 30 de dezembro de 2019; <b>(b)</b> 22 de maio de 2020. ....	52
<b>Figura 6.5.</b> Gráficos correspondentes aos perfis das imagens SAR nos dias 30 de dezembro de 2019 e 22 de maio de 2020 <b>(a)</b> pico de intensidade máxima; <b>(b)</b> pico de intensidade relevante.....	53
<b>Figura 6.6.</b> Comparação dos resultados SAR com a composição RGB432 para o dia 22 de maio de 2020 <b>(a)</b> imagem SAR; <b>(b)</b> RGB432. ....	54

## ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 2.1. Comprimentos de onda e resolução das bandas espectrais (Fonte: USGS)</i> .....	17
<i>Tabela 4.1. Cadeia de pós-processamento aplicada às imagens Landsat 8.....</i>	33
<i>Tabela 5.1. Imagens selecionadas .....</i>	35
<i>Tabela 5.2. Dados hidrográficos referentes às imagens selecionadas .....</i>	36
<i>Tabela 5.3. Análise estatística dos fatores controladores da pluma do Estuário do Vouga</i> .....	39





## LISTA DE ABREVIATURAS

**DR** – Detecção Remota

**EEM** – Espetro Eletromagnético

**ERS** – European Remote Sensing Satellite

**ERTS** – Earth Resources Technology Satellite

**ESA** – European Space Agency

**GMES** – Global Monitoring for Environment and Security

**IDE** – Integrated Development Environment

**IFOV** – Instantaneous Field of View

**IV** – InfraVermelho

**LNEG** – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

**NASA** – National Aeronautics and Space Administration

**NIR** – Near InfraRed

**NOAA** – National Oceanic and Atmospheric Administration

**OLI** – Operational Land Imager

**REM** – Radiação Eletromagnética

**RGB** – Red Green Blue

**S1TBX** – Sentinel-1 Toolbox

**SAR** – Synthetic-aperture Radar

**SIG** – Sistemas de Informação Geográfica

**SNAP** – Sentinel Application Platform

**SNIRH** – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

**SWIR** – Short Wavelength InfraRed

**TIRS** – Thermal InfraRed Sensor

**USGS** – United States Geological Survey

**VIS** – Visible Spectrum

**WIBP** – Western Iberia Buoyant Plume



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

As razões que motivaram a realização desta dissertação e o desenvolvimento específico do caso de estudo encontram-se relacionadas não só com a utilização de técnicas de detecção remota, mas também com a própria localização da região de interesse definida.

Atualmente, as vantagens associadas à utilização de técnicas de detecção remota e imagens digitais na caracterização e cartografia tanto de elementos naturais como de objetos físicos na superfície terrestre refletem não só os avanços tecnológicos das últimas décadas como também a possibilidade de inovação nas metodologias de investigação científica. A monitorização de terrenos morfologicamente complexos e inacessíveis, a variedade de dados multiespectrais e vasta cobertura temporal, a oportunidade de processamento automático e a possibilidade de obtenção de mapas tanto locais como globais das alterações ambientais em tempo real são alguns dos motivos que sustentam a escolha de técnicas de detecção remota nesta dissertação e a sua aplicação ao estudo de estruturas oceânicas.

A importância associada ao estudo de plumas costeiras encontra-se quer no desenvolvimento de técnicas de identificação cartográficas e caracterização dos possíveis fatores controladores como pelos fenómenos observados nestas regiões e nos limites destas estruturas. As frentes costeiras representam a interface entre a pluma e a massa de água oceânica evidenciando diferenças na salinidade, mas também turbidez e temperatura. Observada particularmente nestes limites, a influência antrópica, associada às correntes tipicamente convergentes, representa cada vez mais um fator preocupante maioritariamente devido à acumulação de detritos e elevadas concentrações de poluentes alóctones. Apesar de tudo, a importância e benefício destas regiões no estudo das dinâmicas costeiras quer físicas como biológicas decorre da sua capacidade de previsão de transporte de calor e nutrientes fluviais favorecendo a eutrofização da região. Estes fatores associados à descarga fluvial com influência nos padrões de circulação e processos biogeoquímicos favorecem a produção de alimentação primária da região mas também o desenvolvimento do potencial piscatório (Klemas, 2012).

A escolha da região do estuário do Vouga e da pluma associada à descarga lagunar foi baseada em duas principais razões. A primeira razão encontra-se relacionada com a dimensão da área de estudo e a sua influência à escala da região

costeira portuguesa. Apesar da dimensão da região lagunar da bacia hidrográfica do Vouga, a comunicação com o oceano é reduzida e realizada apenas pelo canal artificial que permite o acesso ao porto de Aveiro. Desta forma, a influência lagunar sobre a pluma e dinâmicas costeiras apresentam uma dimensão local facilitando o estudo destes fenómenos quando comparados a outros exemplos como o estuário do rio Douro a norte ou até do rio Mondego a sul. A preferência na escolha desta região foi ainda favorecida pelo fator inédito associado à realização de um estudo incidente na dinâmica costeira do estuário do Vouga e principalmente na estrutura identificada pela pluma costeira.

Pessoalmente, tendo habitado grande parte do meu tempo na cidade de Aveiro, o estudo da pluma costeira associada ao estuário do Vouga representou também uma curiosidade especial proporcionada pela minha formação académica para a compreensão de fenómenos naturais da região.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo global desta dissertação passa por analisar o potencial de técnicas de detecção remota na compreensão das dinâmicas de plumas costeiras. As características associadas não só ao tipo de dados adquiridos, como às vantagens das plataformas de detecção remota possibilitam a realização de um estudo baseado numa coleção sequencial de observações, viabilizando assim o desenvolvimento de correlações entre os diferentes elementos associados a plumas costeiras. De modo a facilitar esta avaliação foram traçados uma série de objetivos específicos capazes de evidenciar os dados e informação necessários para a caracterização da área de estudo e das técnicas utilizadas.

Recorrendo a uma série temporal de imagens de satélite, numa área definida pela região costeira pertencente ao estuário do Vouga, foi desenvolvido um esquema metodológico com o intuito de aplicar os conhecimentos adquiridos no mestrado em Geociências.

Neste contexto, os objetivos específicos deste estudo são os seguintes:

- ! Caracterizar a pluma costeira formada pelo estuário do Vouga e a dinâmica associada aos fatores controladores;
- ! Criação e apresentação de uma metodologia com recurso a técnicas de detecção remota capaz de identificar plumas costeiras com origem fluvial;
- ! Produzir mapas cartográficos com a posição da pluma durante a série temporal definida com recurso a imagens térmicas infravermelhas;
- ! Calcular a frequência relativa da pluma costeira;
- ! Realizar uma análise estatística de comparação entre a pluma e os fatores controladores durante o período estipulado;
- ! Comparação dos resultados obtidos pelo processamento automático *Canny Edge* com os dados observacionais;

É ainda objetivo desta dissertação, a exploração do potencial de dados SAR na identificação de plumas costeiras através da verificação da existência de assinaturas texturais registadas durante a mesma série temporal.

### 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Nesta secção é apresentada a estrutura desta dissertação e uma breve descrição sobre o conteúdo específico de cada capítulo.

No capítulo introdutório são apresentados os motivos que proporcionaram a escolha do tema bem como da área de interesse, os objetivos do estudo em causa e uma síntese do estado da arte.

O segundo capítulo consiste na definição e contextualização teórica dos princípios da Deteção Remota, a descrição dos sistemas de Deteção Remota e uma introdução aos programas espaciais que possibilitaram a aquisição de informação utilizada neste estudo.

O terceiro capítulo corresponde à caracterização da área de estudo descrevendo as características geográficas, morfológicas e geológicas do estuário do Aveiro. Neste capítulo são ainda referenciadas as interações laguna/oceano e os processos controladores da dinâmica da área de interesse.

No quarto capítulo referente à metodologia desenvolvida são identificadas as plataformas e programas utilizados para recolha e análise dos dados. Descreve-se também as operações de pré-processamento e processamento aplicadas nas imagens adquiridas para as datas selecionadas.

No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos através da concretização da metodologia proposta. Os resultados são expostos de forma a destacar a informação contida nas imagens e conseguida pelas diferentes cadeias de processamento realizadas.

O sexto e sétimo capítulos apresentam, respetivamente, a análise e discussão dos resultados e as considerações finais.

Os anexos apresentam a base de dados completa e tabela de marés referente às datas selecionadas, as características das estações hidrométricas consultadas e principalmente os resultados referentes às imagens Landsat 8 para todas as datas analisadas bem como o código-fonte utilizado.

## 1.4 ESTADO DA ARTE

Identificadas inicialmente por Cromwell & Reid Jr. (1956) e observadas a grande escala no Oceano Pacífico, as frentes oceânicas foram descritas como estruturas análogas a frentes atmosféricas no sentido em que correspondiam a um limite entre duas massas de diferente densidade. A uma escala local e associadas a levantamentos hidrográficos relacionados com o estudo das dinâmicas costeiras foram identificadas estruturas similares com gênese em fenómenos como o *upwelling* sazonal (Bang, 1973) e a descarga em ambientes estuarinos (Garvine, 1974; Largier, 1992; O'Donnell, 1993). Atualmente, a definição de frentes oceânicas descreve zonas de gradiente, ou seja, limites de massas de água em que existam mudanças nas diversas propriedades quantificáveis como salinidade, temperatura e densidade associadas a uma corrente superficial tipicamente convergente (Belkin & O'Reilly, 2009; Mantas et al., 2019).

Associado a esta convergência superficial provocada pelas diferenças físicas entre massas de água, as frentes oceânicas e plumas costeiras desenvolvem também uma expressão em profundidade relacionada com os limites de interface (Figura 1.1) (Garvine, 1974). Estes fenómenos de estratificação variam na sua extensão vertical entre alguns metros no caso de plumas costeiras até dimensões na escala dos quilómetros associado a frentes oceânicas. Nestas regiões limítrofes verifica-se ainda a contribuição das tais correntes convergentes quer na elevada produção primária proporcionando o desenvolvimento de regiões de elevada biodiversidade como a concentração de poluentes de origem antrópica ameaçando as espécies locais. No contexto sedimentar, o aumento da produtividade primária e no caso específico das plumas costeiras com origem fluvial, a carga sedimentar transportada pelos rios, propiciam a gênese de marcas geológicas nos registos sedimentares (Belkin et al., 2009).

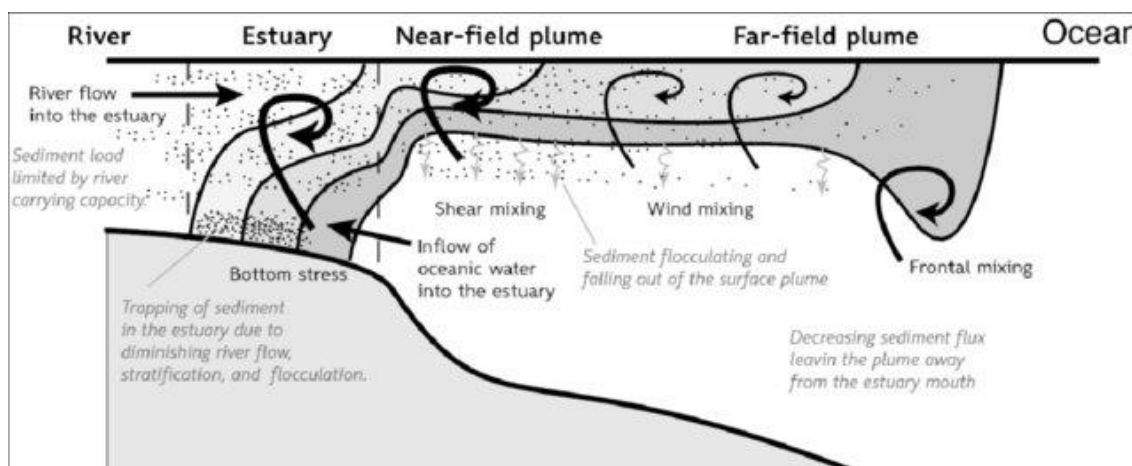


Figura 1.1. Corte transversal de uma pluma costeira com origem fluvial (Fonte: Hetland & Hsu, 2013)



As dinâmicas associada às plumas costeiras, especificamente com origem em ambientes estuarinos com barra<sup>1</sup> e nas quais está inserida a pluma originada pela descarga da laguna de Aveiro, foram revistas por Largier (1992) e posteriormente por O'Donnell (1993). A utilização de uma classificação dividida em três diferentes tipos de ocorrências de plumas costeiras associadas a ambientes estuarinos descreve fundamentalmente diferenças nos mecanismos físicos responsáveis pela formação e manutenção destas estruturas. A classificação em *tidal intrusion fr* } ç %o{+ ã ø ã } \* Á ~ ! [ } c • e %o• @^ æ! Á em função do mecanismo controlador do gradiente da densidade são, de acordo com o autor (O'Donnell, 1993), classificações generalizadas podendo as plumas costeiras apresentar no contexto real características comuns às diferentes classificações.

Em deteção remota, o estudo de plumas costeiras através de imagens de satélite utiliza diferenças na turbidez, cor, temperatura e salinidade das estruturas referidas que contrastam com o %oà æ& \ \* ambiente formado pelas águas de plataforma (Klemas, 2012). No caso de plumas costeiras, a identificação de estruturas através de técnicas de deteção remota resulta maioritariamente da identificação de diferenças de cor e turbidez (Klemas, 2012). Apesar destas diferenças observáveis através de sensores multiespetrais, a utilização de sensores térmicos infravermelhos possibilita também a utilização de gradientes térmicos quer no delineamento de limites das plumas costeiras como nas frentes oceânicas associadas a correntes marítimas com recurso à temperatura superficial do oceano (Castelao et al., 2006; Ullman & Cornillon, 1999).

A identificação de frentes e plumas oceânicas é um processo moroso e subjetivo quando realizado por operadores humanos. Atualmente, realiza-se de forma automatizada, utilizando algoritmos desenvolvidos especificamente para identificação do limite em imagens de satélite (Canny, 1986; J.-F. Cayula & Cornillon, 1995; J. F. Cayula & Cornillon, 1992). Ainda que a utilização destes algoritmos represente um processo estandardizado, obtendo resultados que permitem a comparação e uso científico, acarreta como qualquer método de análise vantagens e desvantagens. Quando comparado a uma análise subjetiva realizada por um operador humano é possível verificar que a consistência dos resultados obtidos indica que a automatização do processo representa uma solução para análise do crescente volume de dados. Associado ainda a este tipo de metodologia computacional, a utilização de plataformas cada vez mais populares de %o& | [ ~ á Á & [cçmp ò Google Earth Engine permitem o acesso a um amplo conjunto de dados, neste caso geoespaciais, através de uma rede

---

<sup>1</sup> Formação geológica de origem fluvial ou marinha típica de ambientes estuarinos

informática (Gorelick et al., 2017). O acesso a estas plataformas possibilita não só a utilização de técnicas de identificação de estruturas oceânicas referenciadas anteriormente como proporciona uma vantagem significativa na gestão da tecnologia de informação. A liberalização das bases de dados através da *World Ocean Atlas* / *World Ocean Atlas* ao utilizador a eliminação de barreiras existentes na aquisição de dados mas também a problemática da gestão de informação como o acesso a ferramentas específicas de processamento de dados (Dillon et al., 2010).

A utilização de imagens obtidas a partir de satélites equipados com tecnologia SAR<sup>2</sup> tem possibilitado o desenvolvimento de novas metodologias associadas ao estudo de estruturas oceânicas (Bentao et al., 2010; Kuang et al., 2012; Li et al., 2017). Segundo Bentao et al. (2010), a identificação de frentes oceânicas através de imagens SAR de alta resolução é possibilitada pela interpretação de informação presente nas imagens obtidas sobre a rugosidade oceânica superficial. Alterações provocadas pelas correntes convergentes tipicamente associadas a frentes, variações nos regimes de vento associados à mudança de temperatura superficial oceânica ou até a existência de detritos nos limites das estruturas são algumas das ocorrências referidas pelo autor (Bentao et al., 2010) relacionadas com as mudanças observáveis na rugosidade oceânica superficial que permitem a identificação destas estruturas através de imagens SAR. Associado a plumas costeiras, a aplicação de tecnologia SAR foi apresentada por Li et al. (2017) e os resultados comparados com observações “in situ”.

No contexto do ecossistema ocidental ibérico, a influência a mesoescala das descargas fluviais na dinâmica costeira foi revista por Relvas et al. (2007) identificando a *Western Iberia Buoyant Plume* (WIBP) com origem no desaguio dos rios entre Lisboa e o Cabo Finisterra. Mais recentemente foi desenvolvido um estudo por Mantas et al. (2019) com o intuito de delimitar regiões oceânicas e fronteiras naturais com origem em fenómenos físicos observáveis nessa mesma região. Desta forma, a WIBP foi descrita, através de dados de observação da Terra, como uma estrutura de extensão variável dependendo dos padrões de circulação e vento (Mantas et al., 2019). A importância associada ao estudo destes processos físicos e a sua influência na dinâmica costeira ocidental da Ibéria foi especialmente evidenciada nos meses de inverno em que existe sobreposição destes processos à influência exercida pela circulação climática.

---

<sup>2</sup> Synthetic Aperture Radar

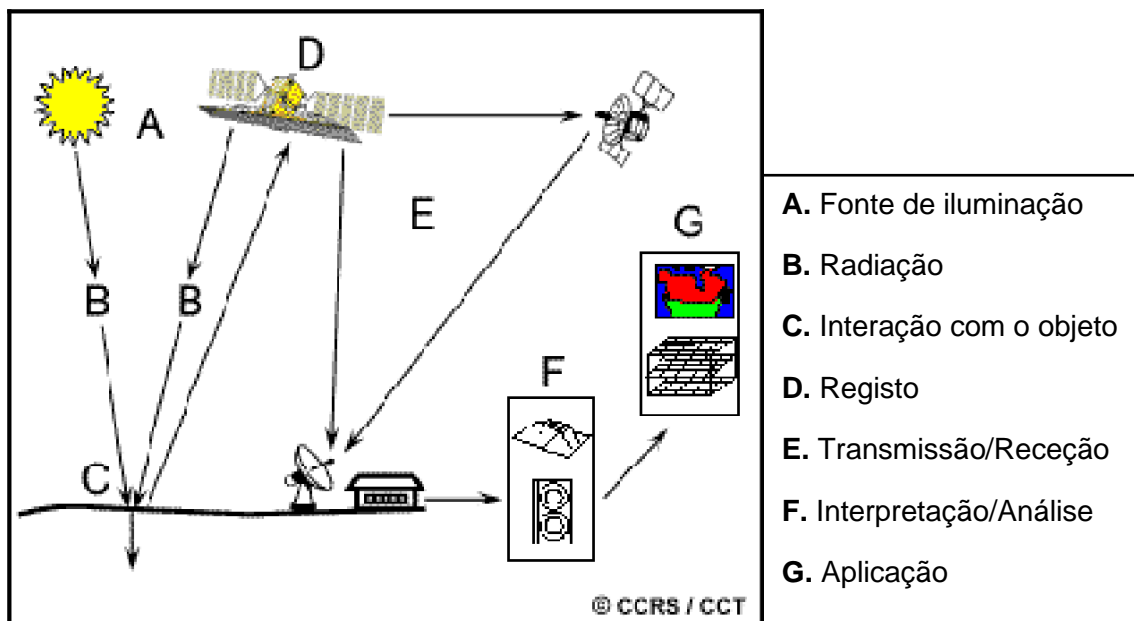


## 2. DETECÇÃO REMOTA

### 2.1 DEFINIÇÃO

As interações entre a radiação eletromagnética e a superfície da Terra, dependentes de fatores quer intrínsecos como extrínsecos aos objetos de estudo e em conjunto com as diferentes respostas associadas determinam as possibilidades da deteção remota.

A deteção remota é caracterizada por um conjunto de técnicas que permitem obter informação sobre um objeto ou fenómeno através da análise de dados recolhidos por um dispositivo que não está em contacto com o mesmo objeto ou fenómeno (Lillesand et al., 2015). O conjunto de técnicas de aquisição, processamento e análise utilizam sensores específicos para captar a interação entre a radiação eletromagnética emitida ou refletida e o objeto de estudo presente na superfície terrestre (**Figura 2.1**).

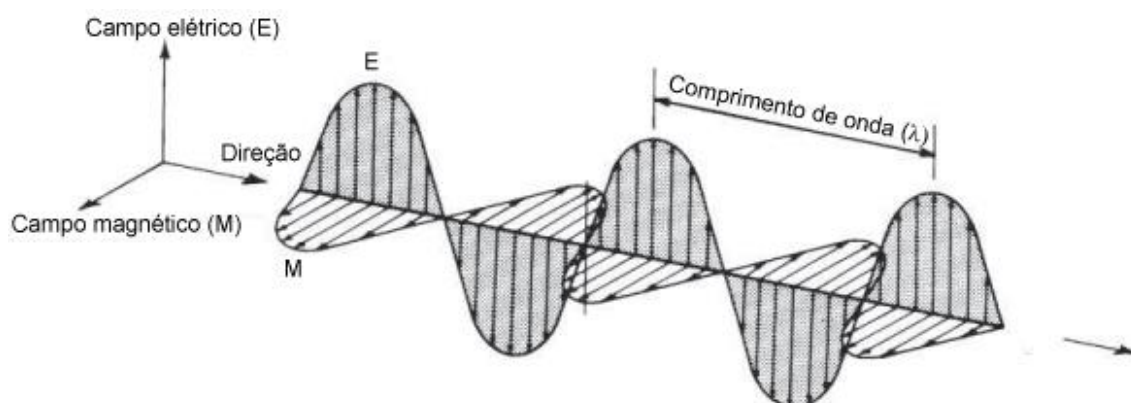


**Figura 2.1.** Processo de Deteção Remota (adaptado de Canada Centre for Remote Sensing, 2019)

## 2.2 FUNDAMENTOS DA DETEÇÃO REMOTA

### 2.2.1 Radiação eletromagnética

Atualmente, a radiação eletromagnética (REM) é definida por um conjunto de fótons que se deslocam à velocidade da luz num movimento ondulatório (Caetano, 2007). O conceito de radiação eletromagnética utiliza como fundamento a teoria corpuscular para a definição das unidades constituintes da radiação, os fótons e a teoria ondulatória para caracterizar fisicamente o movimento de uma onda eletromagnética. As ondas eletromagnéticas são compostas por um campo elétrico que varia em magnitude na direção perpendicular ao deslocamento da radiação, e um campo magnético perpendicular ao campo elétrico (*Figura 2.2*) (Oliveira de Sousa & Marques da Silva, 2011).



*Figura 2.2. Radiação eletromagnética (adaptado de Lillesand et al., 2015)*

A radiação eletromagnética apresenta não só algumas características fundamentais como um comportamento previsível de acordo com a teoria ondulatória descrevendo um movimento harmónico simples (Lillesand et al., 2015). Associado ao movimento da REM existem duas principais grandezas físicas relevantes para a compreensão e descrição da mesma em deteção remota, o comprimento de onda (distância entre dois picos sucessivos de uma onda) e a frequência (número de picos que passam num determinado ponto por unidade de tempo). Ao conjunto das ondas eletromagnéticas, ordenado de acordo com os diferentes comprimentos de onda, chamamos espectro eletromagnético (*Figura 2.3*) (Reddy, 2008).

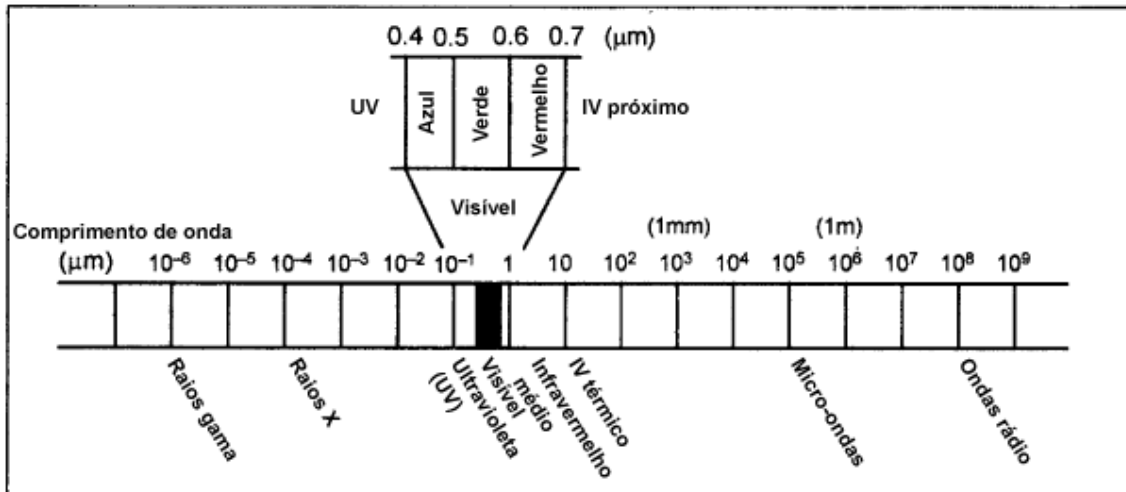


Figura 2.3. Espectro eletromagnético (adaptado de Lillesand et al., 2015)

Como referido anteriormente, dentro do espectro eletromagnético é possível categorizar diferentes regiões através do seu comprimento de onda correspondente. A classificação inclui regiões espectrais desde os raios gama, na ordem dos  $10^{-6}$  micrômetros ( $\mu\text{m}$ ), às ondas rádio, na ordem dos  $10^8$   $\mu\text{m}$ .

A região visível do espectro eletromagnético corresponde ao intervalo a que o olho humano exibe sensibilidade e representa apenas uma pequena região da radiação abrangida pelo espectro eletromagnético ( $0,4 \mu\text{m} - 0,7 \mu\text{m}$ ). Este intervalo representado pelo azul ( $0,4 \mu\text{m}$ ) num extremo e o vermelho ( $0,7 \mu\text{m}$ ) no extremo oposto representa oticamente a limitação física do olho humano como sensor.

Adjacente à região visível do espectro, a região dos infravermelhos (IV) possui um comprimento de onda que varia entre os  $0,7 \mu\text{m}$  e  $100 \mu\text{m}$ . Em deteção remota, a radiação IV é dividida em três diferentes intervalos, os IV próximo ( $0,7 \mu\text{m} - 1,3 \mu\text{m}$ ), o IV médio ( $1,3 \mu\text{m} - 3 \mu\text{m}$ ) e IV térmico ( $3 \mu\text{m} - 14 \mu\text{m}$ ).

Atualmente, as regiões da radiação eletromagnética com um comprimento de onda inferior à região do visível ( $0,4 \mu\text{m}$ ) não são utilizadas em técnicas de deteção remota devido a efeitos de dispersão e absorção atmosféricos.

### 2.2.2 Interações da REM

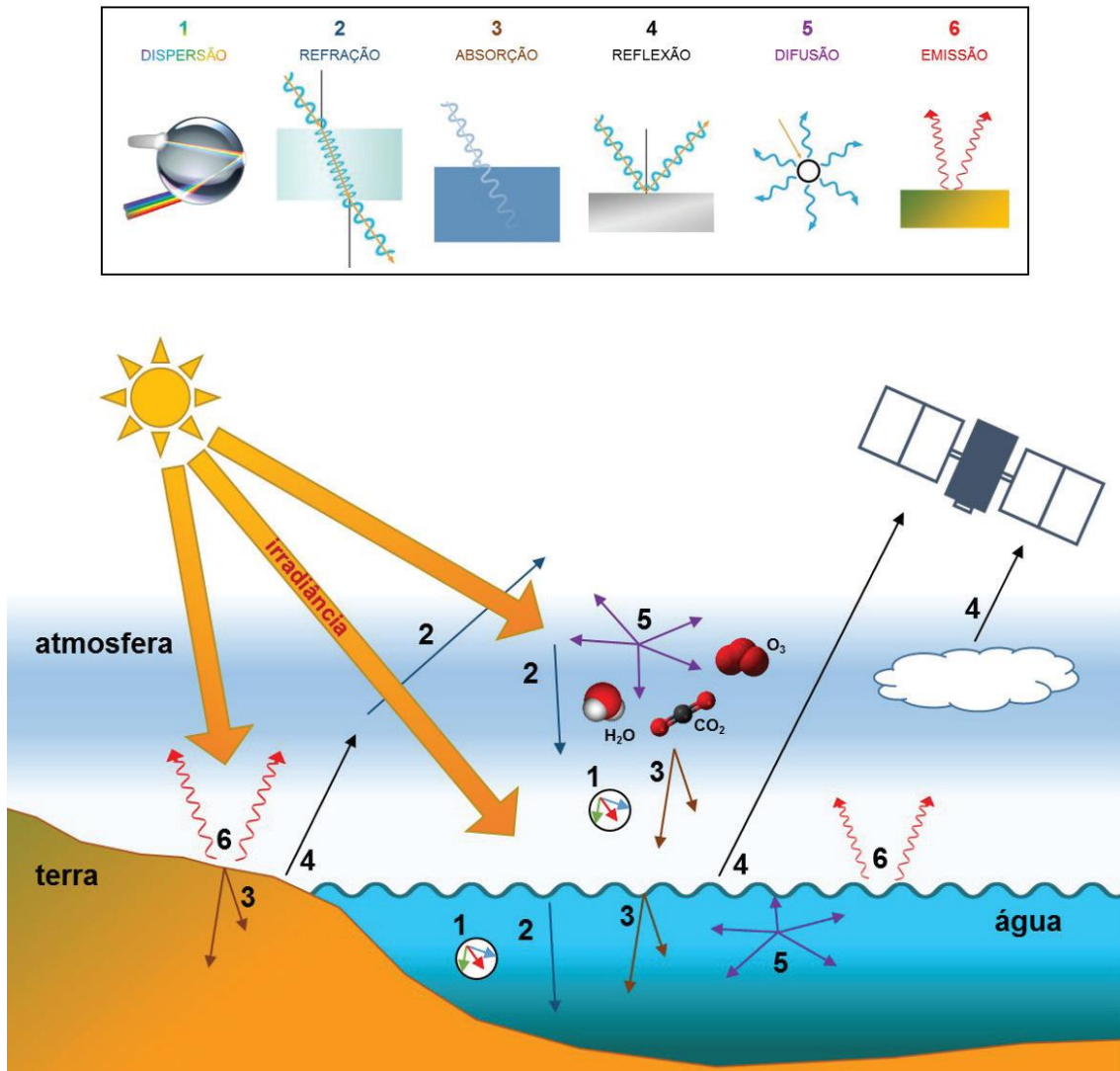
A informação contida na radiação eletromagnética e utilizada em detecção remota, independentemente da origem, é permanentemente alvo de algum tipo de interação (*Figura 2.4*). A interação de REM com a atmosfera terrestre é de extrema relevância em sistemas de detecção remota tendo em conta que de modo a alcançar a superfície da Terra, a REM necessita de atravessar inevitavelmente algum tipo de intervalo atmosférico.

Os efeitos da transmissão de radiação através da atmosfera podem variar de acordo com o comprimento de onda da energia e as condições atmosféricas provocando fenómenos como a absorção e dispersão. Estes mecanismos, causados pela interação da radiação com partículas e gases suspensos na atmosfera, alteram as características da radiação diminuindo o contraste das imagens (Caetano, 2007).

A absorção atmosférica consiste na absorção de energia por parte de moléculas presentes na atmosfera como o ozono, vapor de água e dióxido de carbono reduzindo a quantidade de radiação que chega à superfície (Lillesand et al., 2015).

O fenómeno de dispersão, contrariamente à absorção não envolve nenhum tipo de perda de energia e ocorre durante a interação de diferentes partículas em suspensão. Desta interação resulta um fenómeno de dispersão da radiação imprevisível pela atmosfera em função dos diferentes comprimentos de onda e o tamanho das partículas suspensas. Quando a ordem de grandeza associada ao diâmetro das partículas é maior comparativamente ao comprimento de onda, é possível ser observado o fenómeno de dispersão não seletiva afetando todas as zonas do espectro eletromagnético. A interação da radiação com partículas de tamanho igual (dispersão de Mie) ou inferior (dispersão de Rayleigh) ao comprimento de onda afetam apenas intervalos específicos do EEM. Este tipo de dispersão seletiva é responsável, por exemplo, pela cor do céu devido à interação da atmosfera com uma região do EEM de comprimento de onda curto (azul) (Lillesand et al., 2015).

Apesar da influência dos diferentes fenómenos de interação da REM com a atmosfera existem intervalos do espectro eletromagnético onde os efeitos dessa mesma interação são menores ou considerados transparentes. Utilizadas em detecção remota, as “janelas atmosféricas” correspondem aos intervalos de radiação visível e infravermelha termal. A definição destas regiões onde ocorre em maior percentagem a transmissão de radiação através da atmosfera possibilita a construção e otimização de plataformas com sensores especialmente projetados para a aquisição de imagens dentro destes mesmos comprimentos de onda (Reddy, 2008).

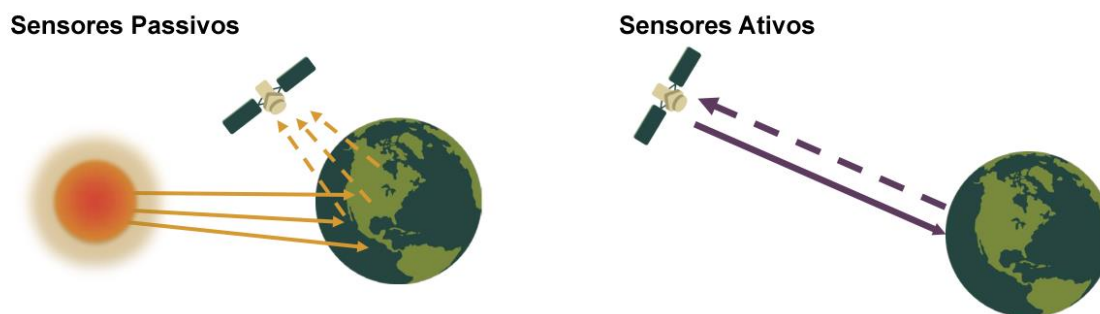


**Figura 2.4.** Fenómenos de interação da radiação eletromagnética (Fonte: Lira et al., 2016)

### 2.2.3 Sensores ativos e passivos

Todos os objetos com uma temperatura superior ao zero absoluto ou  $-273^{\circ}\text{C}$ , emitem radiação (Reddy, 2008). O sol, como principal fonte de energia natural em detecção remota tem a capacidade de emitir radiação em todos os comprimentos de onda (Caetano, 2007). Os diferentes sensores que captam a energia naturalmente disponível, ou seja, apenas a energia solar refletida ou a radiação térmica emitida pela superfície terrestre e a atmosfera envolvente são designados por sensores passivos (**Figura 2.5**). Contrariamente, sensores que dispõem da sua própria fonte de energia com a capacidade de obter informação em qualquer altura sem depender de radiação natural designam-se por sensores ativos (Rees, 2012).





*Figura 2.5. Sensores passivos vs sensores ativos (adaptado NASA, 2020)*

## 2.3 SISTEMAS DE DETEÇÃO REMOTA

### 2.3.1 Tipos de plataforma

Em sistemas de detecção remota as plataformas representam a base de suporte dos sensores utilizados no registo da energia. Os avanços tecnológicos em simultâneo com as necessidades humanas desencadeou o desenvolvimento de dois tipos de plataformas úteis em detecção remota: as plataformas terrestres e as plataformas aéreas. As plataformas terrestres, fixas ao solo, utilizam sensores relativamente mais próximos do objeto em estudo enquanto as plataformas aéreas utilizam sensores colocados em aviões ou satélites. A utilização de satélites como plataforma em sistemas de detecção remota e as diferentes órbitas associadas consoante as finalidades permitem uma monitorização e cobertura sucessiva da superfície terrestre (Oliveira de Sousa & Marques da Silva, 2011).

### 2.3.2 Tipos de órbita

A órbita de um satélite corresponde ao seu percurso descrito em torno da Terra podendo ser caracterizada principalmente, entre outros fatores, pela inclinação e rotação relativamente à Terra. Consoante as diferentes características associadas a cada órbita descrita pelos satélites, estas podem ser classificadas em geoestacionárias ou quase-polares.

Órbitas geoestacionárias são descritas geralmente em satélites meteorológicos devido ao seu período orbital correspondente ao período de rotação da Terra e inclinação de  $0^\circ$  com o plano do equador. Estas características permitem ao satélite a aquisição contínua de imagem em regiões específicas (Caetano, 2007).

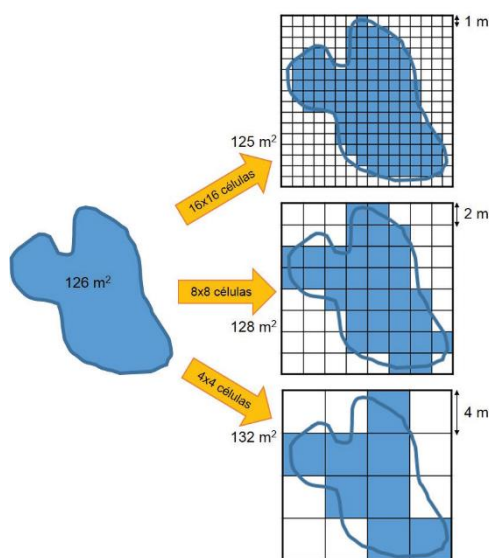
As órbitas quase-polares por sua vez já não apresentam uma órbita geossíncrona realizando mais do que uma volta por dia sendo utilizadas na sua maioria por plataformas com sensores para fins científicos. Este tipo de órbita permite a

aquisição de imagens com uma resolução superior devido não só às suas órbitas mais baixas como a sua sincronização com o sol – heliossíncrona – permitindo captar sempre as mesmas condições de iluminação a cada passagem (Caetano, 2007).

### 2.3.3 Tipos de resolução

A capacidade de aquisição e quantidade de informação contida numa imagem obtida por sensores de observação da Terra depende dos diferentes conceitos de resolução associados aos mesmos. A resolução de cada sensor surge influenciada por quatro dimensões: espacial, temporal, espectral e radiométrica.

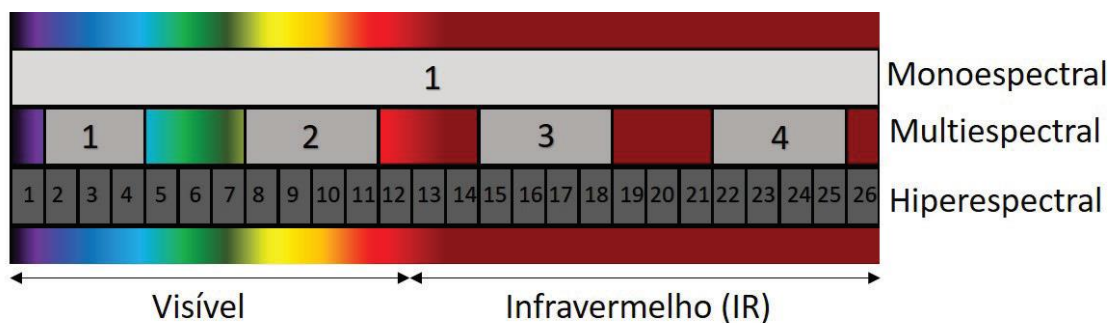
A resolução espacial conseguida por um sensor corresponde à dimensão da superfície da Terra representada por cada célula ou pixel da imagem (**Figura 2.6**). Esta característica, diretamente proporcional à distância entre o sensor e o objeto de estudo, é influenciada principalmente pelo campo instantâneo de visão ou IFOV (*Instantaneous Field of View*) permitindo assim definir o detalhe espacial de cada imagem (Lira et al., 2016).



**Figura 2.6.** Resolução espacial (Fonte: Lira et al., 2016)

A frequência de passagem de cada sensor ou o período de tempo entre a aquisição de duas imagens consecutivas define a resolução temporal de um sistema de detecção remota (Lira et al., 2016). A resolução temporal de cada sensor depende do tipo de plataforma utilizada podendo variar entre, por exemplo, 16 dias no caso do Landsat 8 ou 12 dias no caso do Sentinel-1.

A resolução espectral de um sistema de detecção remota pode ser compreendida como a capacidade de distinção entre um número de diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético (*Figura 2.7*). A utilização de um sensor não só com um maior número de bandas como de bandas com menor extensão espectral permite a aquisição de imagens com melhor resolução (Lira et al., 2016).



*Figura 2.7. Resolução espectral (Fonte: Lira et al., 2016)*

A capacidade de um sensor para discriminar pequenas variações na intensidade da radiação durante o processo de aquisição de imagens corresponde à resolução radiométrica. A resolução radiométrica é diretamente proporcional à capacidade de registo de pequenas diferenças na energia refletida ou emitida pelos objetos. Este tipo de resolução, expressa num formato de base binária (bit), regista os diferentes níveis de intensidade disponíveis entre a cor preto e branco utilizados para representar a informação adquirida pelo sensor (Lira et al., 2016).

## 2.4 PROGRAMAS E MISSÕES ESPACIAIS

### 2.4.1 Programa Landsat

O programa Landsat, gerido inicialmente pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e atualmente por uma parceria NASA/USGS (*United States Geological Survey*), foi concebido como o primeiro programa de observação e aquisição de imagens multiespectrais de recursos terrestres. Este programa teve início no ano de 1972 com o lançamento do satélite Landsat 1 (originalmente ERTS-1, *Earth Resources Technology Satellite*) e representa o projeto de observação terrestre de maior duração e registo temporal. A longa duração deste programa, possibilitada pelo contínuo progresso tecnológico e lançamento de novas gerações de satélites, viabilizou a monitorização e investigação a longo prazo através da elaboração de um extenso arquivo de dados (Roy et al., 2014).

A missão mais recente inserida no programa Landsat envolve o lançamento da plataforma Landsat 8 em fevereiro de 2013 equipado com um sensor OLI (*Operational Land Imager*) e um sensor TIRS (*Thermal InfraRed Sensor*) com capacidade para obter imagens em 11 bandas distintas (*Tabela 2.1*). Esta plataforma desloca-se numa órbita heliosíncrona, semelhante às gerações anteriores, com uma frequência de passagem de 16 dias. As imagens produzidas pelo sensor OLI apresentam uma resolução espacial de 30 m nas bandas VIS (*Visible Spectrum*), NIR (*Near InfraRed*) e SWIR (*Short Wavelength InfraRed*) e 15 m numa banda pancromática enquanto o sensor TIRS produz imagens térmicas com resolução de 100 m (Ihlen, 2019).

	<b>Bands</b>	<b>Wavelength (micrometers)</b>	<b>Resolution (meters)</b>
<b>Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)</b>  <b>Launched February 11, 2013</b>	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

**Tabela 2.1.** Comprimentos de onda e resolução das bandas espectrais (Fonte: USGS)

### **2.4.2 Missões Sentinel**

O conjunto de missões e plataformas Sentinel é uma iniciativa desenvolvida pela ESA (*European Space Agency*) inserida no programa Copernicus (anteriormente GMES, *Global Monitoring for Environment and Security*). O programa Copernicus tem como objetivo principal a criação de uma base de dados com capacidade para promover o desenvolvimento da gestão ambiental bem como o estudo dos efeitos das alterações climáticas. Promovendo estes objetivos, as missões Sentinel foram desenvolvidas maioritariamente para aplicações de monitorização dos Oceanos e da Terra assim como proporcionar a continuidade de informação, substituindo plataformas de missões anteriores como a ERS-1 (*European Remote Sensing Satellite*, 1991) (Torres et al., 2012).

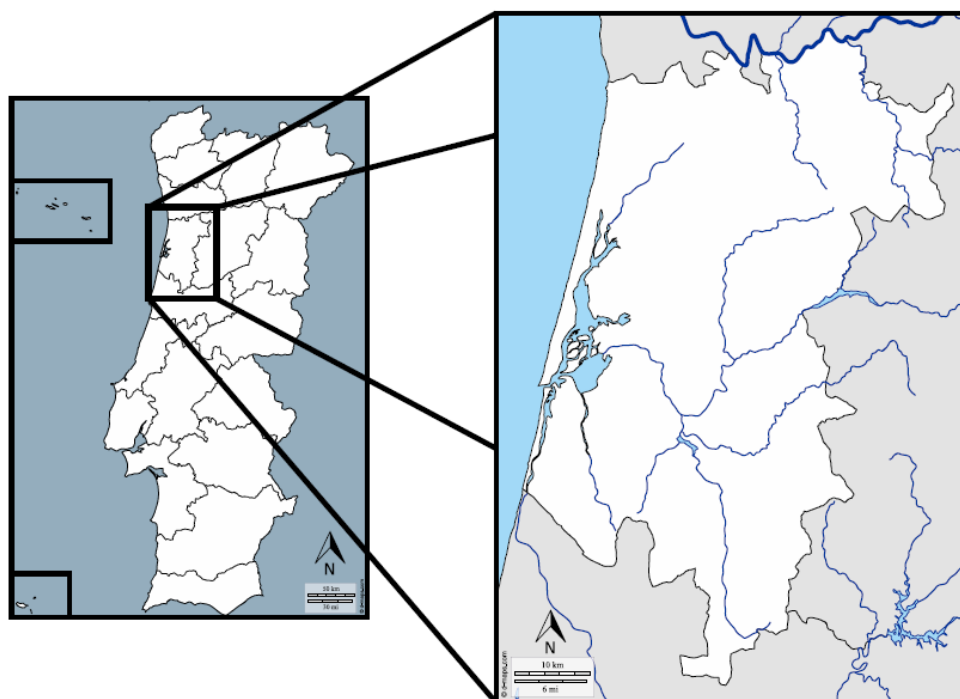
A missão Sentinel-1, referenciada nesta dissertação, é composta por um par de satélites (1A e 1B) que partilham o mesmo plano orbital com um período de revisitação de 12 dias. Estas plataformas foram lançadas em abril de 2014 (1A) e abril de 2016 (1B) e transportam a bordo sensores SAR que permitem a aquisição de imagens tanto noturnas como diurnas e independentes das condições atmosféricas com uma resolução espacial até 5 metros (Geudtner et al., 2014).

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E MORFOLÓGICO

Situada na costa Ocidental da Península Ibérica, a foz do rio Vouga é composta por um sistema lagunar caracterizado por um regime de maré oceânica semidiurna, apelidado correntemente de Ria de Aveiro. A área de estudo incide principalmente na pluma costeira associada à zona de desembocadura lagunar, atualmente caracterizada por um canal fixo através de dois molhes artificiais que permitem o acesso ao porto de Aveiro (*Figura 3.1*).

O sistema lagunar da Bacia Hidrográfica do Rio Vouga está localizado na região norte do Baixo Vouga e forma o maior sistema lagunar português com abertura permanente ao mar ocupando uma superfície total de aproximadamente 83 km<sup>2</sup> (Dias & Fernandes, 2006). Caracterizado morfologicamente por um relevo plano, o sistema lagunar do Baixo Vouga apresenta uma geometria irregular composta por estreitos canais alimentados a montante pela bacia de drenagem, com uma profundidade média de um metro. A jusante, a profundidade dos canais de navegação é mantida artificialmente entre os quatro e sete metros, possuindo uma zona mais profunda (aprox. 20 metros) correspondente à desembocadura lagunar que permite a entrada da maré oceânica (Ribeiro & Gamito, 2012).



*Figura 3.1. Localização geográfica da área de estudo*

A evolução da Ria de Aveiro, como é conhecida atualmente, encontra-se associada à formação de uma restinga arenosa na costa sul de Espinho durante o século X. O crescimento e desenvolvimento do cordão arenoso, auxiliado pela deriva litoral<sup>3</sup> da costa portuguesa, possibilitou a conexão do mesmo ao território continental durante o século XVIII na região de Mira. Desde então, o desenvolvimento de uma abertura artificial permitindo a comunicação da laguna ao mar e a construção de molhes portuários estabilizadores têm sido concebidos e adaptados (Martins, 2012).

Atualmente, a configuração da barra de Aveiro e a sua estabilização artificial através da construção e prolongamento de molhes constitui um fator contraproducente devido ao aumento de problemas relacionados com a erosão costeira (Rosa et al., 2011). A atuação dos molhes portuários como barreiras ao processo natural de deriva litoral resulta numa retenção sedimentar na região setentrional e num consequente défice sedimentar a sul agravando o recuo da linha de costa (Martins, 2012). Este processo obriga a construção de estruturas de engenharia costeira para defesa da linha de costa a sul da barra de Aveiro provocando alterações no comportamento morfodinâmico da faixa costeira.

No interior da laguna, a ocupação antrópica e o processo de assoreamento são também fatores responsáveis por modificações na morfologia natural. O controlo do assoreamento efetuado por diversas intervenções de dragagem permitem manter a operacionalidade do porto de Aveiro e simultaneamente aumentar a proteção da zona costeira através da deposição sedimentar no trecho costeiro sul (Rosa et al., 2011). Por outro lado e com fortes impactes ambientais, a ocupação antrópica da região lagunar quer através da urbanização e desenvolvimento industrial, da criação de áreas agrícolas como do estabelecimento do próprio porto de Aveiro no seu interior proporciona um aumento de contaminantes de origem antropogénica. A circulação restrita das zonas internas favorece a acumulação de poluentes afetando a qualidade da água bem como a contaminação dos sedimentos depositados e transportados (I. Martins et al., 2015).

---

<sup>3</sup> <https://www.aprh.pt/rgci/glossario/derivalitoral.html>

### 3.2 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

Do ponto de vista geológico, a área de estudo fica situada numa unidade morfo-estrutural apelidada Orla Mesocenozóica Ocidental. Relacionada com a fragmentação da Pangeia e a abertura do rifte associado ao oceano Atlântico, a Orla Mesocenozóica Ocidental retrata uma bacia sedimentar com origem numa fossa alongada de direção NNE-NNW, instalada durante o Mesozóico no limite ocidental do antigo Maciço Hespérico (Ribeiro & Gamito, 2012). A evolução geodinâmica desta bacia sedimentar e consequentemente da Ibéria apresenta duas fases distintas, uma fase inicial distensiva de intensa sedimentação durante o Mesozóico e uma segunda fase caracterizada por um regime de deformação compressivo resultante da convergência entre a placa Africana e a microplaca Ibérica que engloba o Terciário e Quaternário (Gomes, 2008).

Atualmente, a Orla Ocidental estende-se desde a região sul de Lisboa à região norte de Ovar e é delimitada a este pela faixa de cisalhamento Porto – Tomar (*Figura 3.2*). Esta unidade é caracterizada por formações geológicas tipicamente sedimentares com origem no Maciço Hespérico mas também numa área continental situada a oeste cujo arquipélago das Berlengas representa o testemunho emerso (Ribeiro & Gamito, 2012).

Contudo, a uma escala regional, a área de estudo referente à laguna de Aveiro está inserida numa unidade sedimentar designada por Bacia Sedimentar de Aveiro. Esta bacia, abrangida pela unidade anteriormente referida correspondente à Orla Mesocenozóica Ocidental, ocupa a zona litoral compreendida entre Mira e Ovar partilhando o limite estrutural da zona de cisalhamento Porto – Tomar (Benta, 2007). As características geológicas da Bacia Sedimentar de Aveiro, que segundo A. Almeida da Benta (2007) são influenciadas por um sistema Laguna-Ilha Barreira desde o Cretácico Superior, apresentam um registo sedimentar constituído essencialmente por argilas margosas, arenitos e calcários margosos referentes ao Cretácico e influenciados por episódios alternados de maior influência marinha ou continental (Benta, 2007). Por sua vez, a cobertura sedimentar moderna sobrejacente ao registo cretácico é composta por depósitos do Holocénico caracterizados sobretudo pelos depósitos aluvionares, areias de dunas eólicas e areias de praia (Ferreira, 1993).



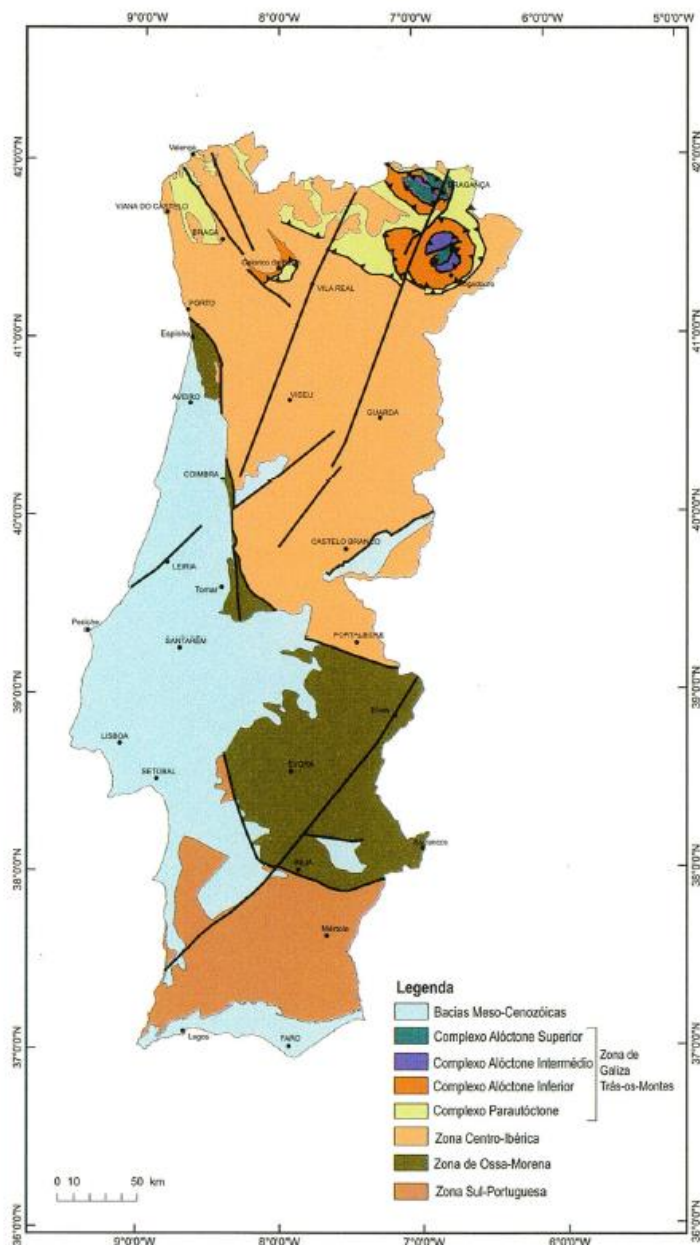


Figura 3.2. Esquema Tectono-estratigráfico de Portugal Continental (Fonte: LNEG, 2010)

### 3.3 DINÂMICA DA ÁREA DE INTERESSE

A uma escala regional, a influência da descarga fluvial nos oceanos é também observável de forma idêntica à contraparte local pela formação de plumas com efeitos nas correntes costeiras e de plataforma. No contexto ocidental da Península Ibérica, a descarga dos rios Tejo, Mondego, Douro, Minho e da Galiza são recorrentemente associados à formação da zona de transição entre águas costeiras e o oceano. Identificável durante o inverno pelas baixas temperaturas verificadas comparativamente às temperaturas das águas de plataforma,

a WIBP persiste durante os meses de verão e às condições de *upwelling* desempenhando um papel de grande importância na oceanografia costeira (Mantas et al., 2019; Relvas et al., 2007).

Neste trabalho, o comportamento da área de estudo encontra-se influenciado maioritariamente pela ação da dinâmica costeira local, mas também pela ação de uma dinâmica interior à laguna controlada por correntes de maré.

O contexto lagunar de transporte e sedimentação atual reage não só às condições hidrodinâmicas naturais da laguna como também a alterações antrópicas realizadas na extensão da bacia hidrográfica. A dinâmica fluvial da rede hidrográfica apresenta sobretudo um papel decisivo na formação e comportamento da área lagunar condicionada pelo regime hídrico. Situada a montante da laguna de Aveiro, a região predominantemente controlada pela dinâmica fluvial é particularmente dependente do escoamento médio<sup>4</sup> por sua vez proporcional à distribuição da precipitação (Martins, 2012).

A dinâmica costeira observada na região da desembocadura lagunar evidencia fatores como a agitação marítima, as correntes litorais e de deriva litoral mas principalmente as marés como agentes reguladores capazes de condicionar o comportamento da área de interesse (Martins, 2012; Silva et al., 2004). A agitação marítima, dependente das características dos fundos oceânicos bem como do vento, tem a sua ação limitada ao exterior da laguna. A direção preferencial de incidência do quadrante noroeste contribui para o processo de deriva litoral predominantemente de Norte para Sul afetando o transporte sedimentar e a evolução da barreira arenosa que separa a laguna do oceano Atlântico (Rosa et al., 2011). Por outro lado, as correntes litorais traduzem maioritariamente a influência dos regimes de vento predominantes e, no caso do litoral português, a influência do sistema geral de ventos do Anticiclone<sup>5</sup> dos Açores. A direção predominante e constante de ventos de norte (nortada) pode ser observada principalmente nos meses de verão sendo sobreposta periodicamente entre novembro e março por ventos com direção sul e sudoeste com correspondência ao período de maior precipitação relacionado com perturbações na frente polar<sup>6</sup>. Ainda na

---

<sup>4</sup> Quantidade de água que atravessa uma secção de um curso de água num dado intervalo de tempo, expresso em unidades de volume (dam<sup>3</sup>; m<sup>3</sup>).

<sup>5</sup> Regiões de alta pressão atmosférica em torno dos quais o vento sopra no sentido do movimento dos ponteiros do relógio no hemisfério norte.

<https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/otempo/previsao.numerica/index.html?page=ecmwf.anticiclone.xml>

<sup>6</sup> Zona de transição entre duas massas de ar de densidades diferentes. [https://www.ipma.pt/pt/educativa/faq/meteorologia/previsao/faqdetail.html?f=pt/educativa/faq/meteorologia/previsao/faq\\_0019.html](https://www.ipma.pt/pt/educativa/faq/meteorologia/previsao/faqdetail.html?f=pt/educativa/faq/meteorologia/previsao/faq_0019.html)

região litoral da laguna de Aveiro e principalmente durante os meses de verão é possível observar o afloramento de águas frias e profundas geralmente ricas em nutrientes constituindo o fenómeno de *upwelling* (Alvarez et al., 2013).

No interior da laguna, a circulação interna é dominada pela ação das marés capazes de controlar características como a salinidade e temperatura representando o agente de maior interferência na dinâmica costeira e interior da laguna de Aveiro (Lopes & Dias, 2007). Ao longo da costa portuguesa, as marés apresentam um carácter semidiurno com duas preias-mar<sup>7</sup> diárias que alteram a configuração e área da laguna de Aveiro (Vaz & Dias, 2008). A baixa batimetria verificada nos canais, o fluxo fluvial e ainda algumas variáveis meteorológicas como a temperatura do ar, radiação solar e até humidade são alguns dos fatores que em simultâneo com a maré permitem o controlo da temperatura e salinidade no interior da laguna de Aveiro (Vaz & Dias, 2008).

A influência das diferentes dinâmicas e características no contexto lagunar de circulação e transporte evidenciam alterações na área de interesse relacionadas entre si. A diminuição do caudal e do volume de água resultante na região lagunar afeta conseqüentemente o volume de água disponível para a circulação resultante do movimento de corrente vazante. Desta forma, também a corrente vazante está sujeita às condições de maré. Os valores da amplitude da maré verificados em cada ciclo definem a intensidade das correntes de marés e a capacidade de transporte e circulação associada. Assim e resultante do conjunto de interações, o comportamento da zona de estudo permanece de forma constante sobre a influência um complexo sistema hidrodinâmico.

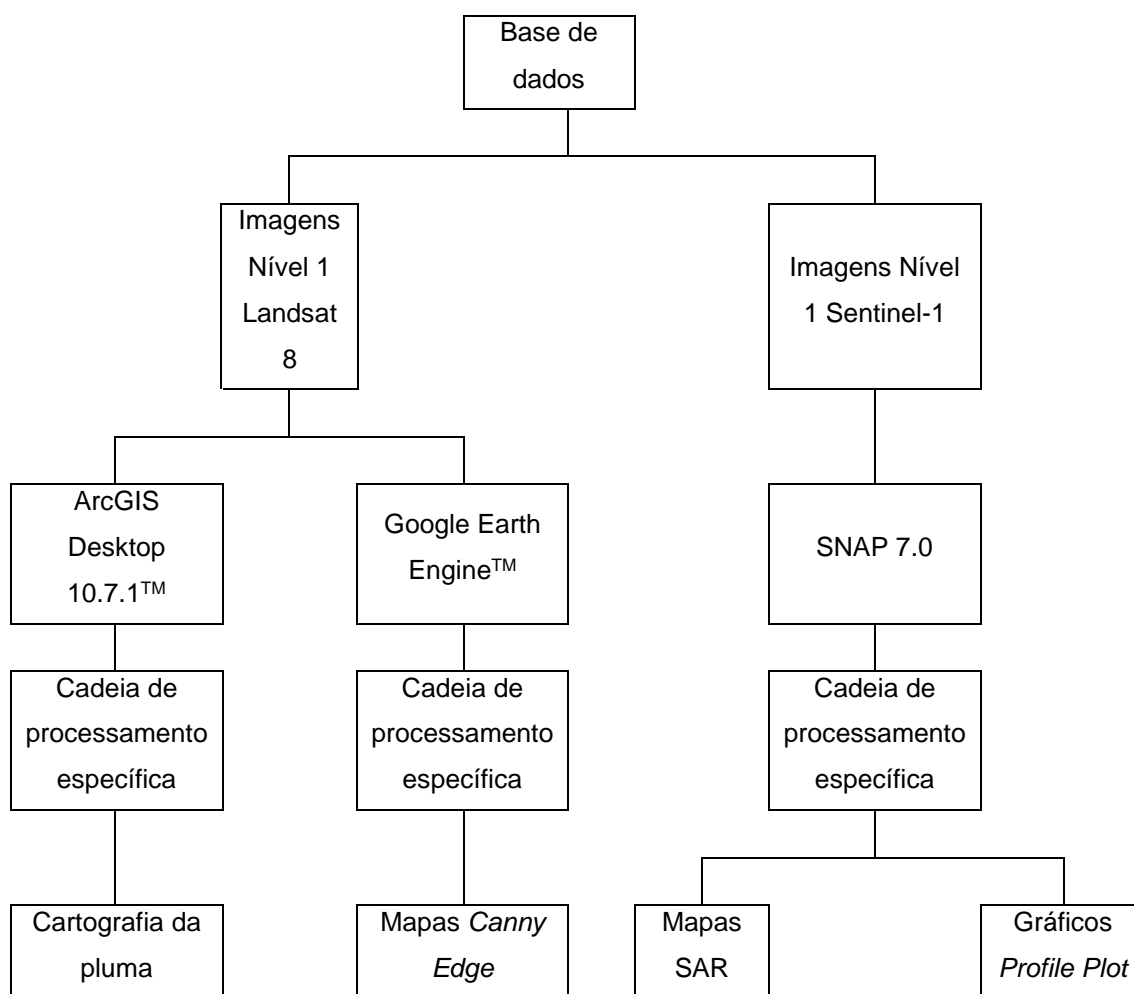
---

<sup>7</sup> Nível mais alto do ciclo de maré.

## 4. METODOLOGIA

De modo a concretizar os objetivos propostos nesta dissertação foram selecionados dados obtidos a partir da plataforma Landsat 8 e Sentinel-1 capazes de fundamentar uma componente prática apoiada em técnicas de detecção remota (DR) e sistemas de informação geográfica (SIG). A preferência associada a estas plataformas decorreu essencialmente pela capacidade de aquisição de dados óticos e térmicos infravermelhos por parte dos sensores OLI/TIRS a bordo da plataforma Landsat 8, evidenciando características como a turbidez e temperatura superficial utilizadas no estudo de plumas e frentes oceânicas. A escolha da plataforma Sentinel-1 resultou principalmente da complementaridade associada à informação textural adquirida pelo sensor SAR referente à área de interesse. Por conseguinte, o procedimento metodológico baseado na utilização de dados DR utiliza diferentes técnicas de processamento e análise de imagens consoante o tipo de dados, com o objetivo de realçar certas características. Importa salientar ainda que a organização gradual de uma estrutura metodológica digital capaz de facilitar a recolha de informação até ao tratamento dos dados, mediante a aplicação de operações de pré-processamento e processamento, permite reduzir o tempo e os recursos necessários na manipulação de grandes quantidades de dados.

A metodologia adotada nesta dissertação foi separada em duas componentes principais de processamento de imagens associado principalmente com a proveniência e tipo de dados adquiridos (*Figura 4.1*). O processamento dos dados obtidos e selecionados provenientes da plataforma Landsat 8 foi realizado recorrendo ao *software* ArcGIS Desktop 10.7.1™ e Google Earth Engine™ através de duas cadeias de operações distintas, ambas com o intuito de apoiar o desenvolvimento e realização de uma componente prática baseada na cartografia e determinação de zonas de gradiente da pluma bem como na análise da influência de alguns fatores hidrográficos e batimetria no comportamento da mesma.



**Figura 4.1.** Fluxograma da metodologia

Esta identificação baseada na análise dos dados térmicos de nível-1 adquiridos pela banda 10 pertencente ao sensor TIRS foi desenvolvida através do delineamento manual dos limites estruturais referentes aos gradientes térmicos na região do estuário do Vouga. Os resultados e a sua localização média foram depois comparados com os dados de batimetria bem como o correlacionamento entre a dimensão e a forma da pluma com o caudal e os dados de maré. Complementarmente, o processamento dessas mesmas imagens Landsat 8 foi ainda realizado através da plataforma Google Earth Engine™ baseada em *cloud computing*, com intuito de auxiliar na identificação de estruturas através da aplicação do método de Canny Edge (Canny, 1986) na área de interesse.

Os dados SAR de nível-1 adquiridos pelo Sentinel-1 foram processados através de uma plataforma *freeware*<sup>8</sup> disponibilizada pela ESA numa tentativa de realce e

<sup>8</sup> Software gratuito.

extração de características observáveis possivelmente atribuídas à presença da pluma formada pelo estuário do Vouga. A interpretação destas características apoiada numa metodologia definida e complementada pelos dados óticos obtidos pelo Landsat 8 representa uma tentativa de identificação de plumas costeiras e frentes térmicas através da utilização de dados SAR.

#### **4.1 BATIMETRIA E DADOS HIDROGRÁFICOS**

Como referido, nesta dissertação e de modo a complementar o estudo e caracterização de plumas costeiras foram utilizados dados batimétricos e hidrográficos referentes à área de interesse. O Levantamento Topo-Hidrográfico disponibilizado gratuitamente através do Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental – COSMO e desenvolvido pela Agência Portuguesa do Ambiente I.P. resulta da conjugação entre o levantamento topográfico da praia emersa e o levantamento batimétrico efetuado com recurso a uma sonda multifeixe com resolução inferior a 1 cm. A aquisição dos dados batimétricos, realizada a junho de 2019, tem como objetivo determinar a evolução e balanço sedimentar em regiões críticas adjacentes a estuários de barras de maré fixa ou natural.

Por sua vez, os dados de maré foram adquiridos gratuitamente através da plataforma *online* do Instituto Hidrográfico da Marinha Portuguesa para o período definido enquanto que os dados de monitorização hidrográfica da bacia do Vouga foram obtidos, de forma similar, através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). O SNIRH é composto por uma rede de monitorização de estações automáticas e convencionais capazes de armazenar e divulgar dados hidrometeorológicos, mas também de qualidade da água. Englobadas na bacia do Vouga foram selecionadas as estações automáticas de Ponte Águeda (10G/02H) e Ponte Vale Maior (09G/01H) equipadas com um sensor de nível fornecendo informação sobre o caudal médio diário e o escoamento mensal dos rios Águeda e Caima, respetivamente (**Anexo V**).

#### **4.2 IMAGENS DE SATÉLITE**

As imagens de satélite utilizadas na componente dedicada ao processamento dos dados Landsat 8 podem ser obtidas a partir do *website EarthExplorer* disponibilizadas gratuitamente pela USGS. Este arquivo representa, como referido, a maior coleção de imagens de observação da Terra sendo possível descarregar dados

da totalidade de bandas disponibilizadas pelos sensores do Landsat 8 organizadas por trajetória e fila de acordo com o Sistema de Referência Global (WRS-2). Os dados usados na componente metodológica com a finalidade de aplicação do algoritmo *Canny Edge* utilizam imagens da plataforma Landsat 8 disponibilizadas de forma *online* por um arquivo em formato *cloud* pertencente à plataforma utilizada no processamento.

De forma similar, as imagens obtidas pela plataforma Sentinel-1 encontram-se disponíveis para descarga *online* no arquivo *Copernicus Open Access Hub* disponibilizado pela ESA. Neste arquivo encontram-se disponíveis, de forma gratuita e completa, dados de todas as missões Sentinel.

### 4.2.1 Escolha das imagens de satélite

Na realização de estudos com recurso a séries temporais e em regiões de transição afetadas pelas variações de maré, a escolha de imagens representa um fator fundamental na possibilidade de comparação entre dados. Para além disso, as condições atmosféricas na forma da nebulosidade influenciam a escolha dos dados e datas utilizadas, particularmente em plataformas como o Landsat 8. Nesta dissertação, o procedimento metodológico foi aplicado a uma série temporal definida no intervalo entre 2017 e 2020 (primeiro semestre) (**Anexo I & Anexo II**).

No caso dos dados de nível 1 adquiridos pelo Landsat 8 foram escolhidas as passagens (*path*) 204 e 205 da fila (*row*) 32 incluindo ambas a totalidade da região costeira do estuário do Vouga. No processo de seleção foi aplicado na pesquisa o critério adicional *Scene Cloud Cover* disponível no *website EarthExplorer* durante a seleção das imagens. Através da utilização deste critério foi possível selecionar as imagens com uma percentagem inferior a 20% de nebulosidade na área de interesse. Relacionado ainda com os dados Landsat 8 foi selecionada a banda 10 com uma resolução espacial de 100 metros para obtenção de dados térmicos infravermelhos apoiados pela combinação de três bandas que representam a região do vermelho (banda 4), verde (banda 3) e azul (banda 2) do espectro visível com uma resolução de 30 metros. A seleção de datas direcionadas às imagens Landsat 8 e Sentinel-1 foi realizada através da comparação e identificação de datas comuns à passagem na área de interesse entre ambas as plataformas.

Na escolha dos produtos SAR foram selecionadas imagens adquiridas através do método GRD (*Ground Range Detected*) de Nível-1 no modo IW (*Interferometric Wide Swath Mode*). Os produtos GRD consistem em dados focados e projetados através do modelo elipsoide terrestre sendo que a utilização do modo IW permite a obtenção de

imagens em três subfaixas com 250km e resolução de 5 m por 20 m. Estas características permitem ainda a utilização do modo de dupla polarização (VV/VH) satisfazendo a maioria das necessidades dos utilizadores pela resolução e informação contidas nos produtos disponibilizados.

### 4.3 SOFTWARE UTILIZADO

Na realização desta dissertação foram utilizados os seguintes softwares:

- i. ArcGIS Desktop 10.7.1<sup>®</sup> com licença Advanced;
- ii. Google Earth Engine<sup>™</sup>
- iii. SNAP 7.0;

O *software* ArcGIS Desktop 10.7.1<sup>™</sup> permitiu o processamento dos dados SIG através da análise, edição, visualização e gestão de bases de dados geográficas quer de forma manual como pela disponibilização de ferramentas de processamento automático.

O Google Earth Engine<sup>™</sup> consiste numa plataforma *online* e gratuita de processamento geoespacial baseada em arquivos públicos *cloud*. A possibilidade de utilizar um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) como o *Code Editor* permitiu o desenvolvimento completo de um procedimento metodológico *online* com a capacidade de descarregamento gratuito dos resultados. De referir ainda que através desta plataforma é possível analisar não só ambientes costeiros, mas também avaliar a cobertura florestal, alterações do uso do solo e até a integridade de campos agrícolas.

O SNAP 7.0 é um *software open source* desenvolvido para a ESA pela *SkyWatch<sup>™</sup>* em parceria com outras empresas privadas equipado com uma coleção de ferramentas processadoras de dados Sentinel. Neste estudo foi utilizado a S1TBX (*Sentinel-1 Toolbox*) capaz realizar tarefas de calibração, correção e conversão de dados obtidos pelo sensor SAR equipado na plataforma Sentinel-1.

### 4.4 PRÉ-PROCESSAMENTO DE IMAGENS

A utilização de tarefas de pré-processamento em imagens de DR é atualmente realizada na sua maioria pelo produtor dos dados antes de serem disponibilizadas. Em todo o caso, estas tarefas consistem numa cadeia de operações sequenciais com o objetivo de eliminar possíveis distorções adquiridas durante a aquisição dos dados pelos respetivos sensores abordo das diferentes plataformas espaciais. Esta fase de processamento é concretizada através da realização de correções geométricas,



radiométricas e atmosféricas em alterações das posições absolutas e relativas dos pixéis ou dos seus valores de intensidade.

#### 4.4.1 Imagens Landsat 8

Nas imagens obtidas a partir da plataforma Landsat 8 foram realizadas uma série de correções atmosféricas e radiométricas com intuito de obter a temperatura de brilho ausente de calibrações atmosféricas, facilitando a identificação das zonas de gradiente através do realce das temperaturas entre massas de água. A operação inicial consistiu na conversão dos dados selecionados para radiância no topo da atmosfera através da utilização de coeficientes radiométricos fornecidas nos metadados do arquivo MTL e a aplicados pela ferramenta *Raster Calculator* através da expressão:

$$L = Q_{cal} + \quad (4.1)$$

onde:

$L$  = radiância espectral, no topo da atmosfera (watts / m<sup>2</sup> \* srad \* μm)

= fator de escala multiplicativo específico obtido nos metadados (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, em que x é o número da banda)

$Q_{cal}$  = fator de escala aditivo específico obtido nos metadados (RADIANCE\_ADD\_BAND\_x, em que x é o número da banda)

= produto padrão calibrado e quantificado em valores de pixel (DN).

Da mesma forma, a conversão de radiância no topo de atmosfera para temperatura de brilho foi possibilitada pela disponibilização das constantes térmicas no ficheiro de metadados através da seguinte expressão:

$$T = \frac{2}{\ln\left(\frac{L}{Q_{cal}} + 1\right)} \quad (4.2)$$

onde:

= Temperatura de brilho no satélite (K)

$L$  = radiância espectral, no topo da atmosfera (watts / m<sup>2</sup> \* srad \* μm)

$\rho_1$  = conversão térmica da faixa específica constante a partir dos metadados (K1\_CONSTANT\_BAND\_x, em que x é o número de banda, 10 ou 11)

$\rho_2$  = conversão térmica da faixa específica constante a partir dos metadados (K2\_CONSTANT\_BAND\_x, em que x é o número de banda, 10 ou 11).

#### 4.4.2 Imagens Sentinel-1

O pré-processamento aplicado às imagens do Sentinel-1 consistiu na correção radiométrica dos dados a partir de uma ferramenta disponibilizada pelo S1TBX através da calibração para  $\sigma_0$  (*sigma nought*) de modo a normalizar o valor de *backscatter* ou retrodifusão. Esta correção concedeu um significado geofísico aos dados facilitando a análise temporal. As imagens obtidas a partir do sensor SAR sofreram ainda uma correção geométrica alterando a orientação dos dados para o sistema de referência norte-sul.

### 4.5 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

A etapa de processamento digital de imagens consiste num conjunto de técnicas simultâneas ao pré-processamento, com o intuito de realçar características espaciais ou espectrais facilitando a extração de informação e contribuindo para o objetivo do estudo. O emprego destas técnicas, consoante a natureza das características manipuladas, baseia-se na utilização de operações de vizinhança, mas também operações algébricas tipicamente associadas a imagens multiespectrais incidindo sobre os valores de intensidade dos pixels, não interferindo nos pixels vizinhos, como a adição, subtração, multiplicação (etc) entre diferentes bandas ou imagens. Em contrapartida, as operações de vizinhança como a classificação e a filtragem de imagens representam um processamento mais comum na totalidade das imagens digitais criando valores de saída para cada pixel baseados no valor inicial desse mesmo pixel e da vizinhança, resultando numa convolução matricial.

#### 4.5.1 Imagens Landsat 8

A utilização de operações de processamento nas imagens recolhidas pelo Landsat 8 foi um procedimento fundamental e necessário para aplicação do algoritmo *Canny Edge*. Nesta etapa foi desenvolvido e aplicado através da ferramenta *Code Editor* da plataforma Google Earth Engine™ uma cadeia de processamento na forma de um código-fonte capaz de aplicar as operações necessárias aos dados selecionados. Deste

modo foi definida a aplicação de um filtro gaussiano com intuito de suavizar a imagem apelidado de *low-pass kernel* seguido do algoritmo *Canny Edge Detector* incluído nas ferramentas da plataforma.

No procedimento de identificação da pluma através de dados TIRS com recurso ao *software* ArcGIS Desktop 10.7.1<sup>TM</sup>, a análise das imagens obtidas foi auxiliada pela criação de uma composição RGB de cor natural. Nesta operação foram utilizadas as bandas 4, 3 e 2 pertencentes ao sensor OLI e o processo realizado pela ferramenta *Composite Bands* disponibilizada pelo próprio ambiente SIG. As imagens TIRS sofreram ainda uma operação de retificação de contraste através do painel *Processing* inserido na janela *Image Analysis*.

### 4.5.2 Imagens Sentinel-1

Na etapa de processamento dos dados obtidos pelo sensor SAR abordo da plataforma Sentinel-1 foram realizadas duas operações distintas com o intuito de facilitar a extração de informação pelo utilizador. A aplicação destas operações foi apoiada pelas S1TBX através da utilização de um filtro de convolução com o intuito de reduzir o ruído da imagem (*speckle noise*) bem como a conversão de escala para dB (decibel) aumentando o contraste.

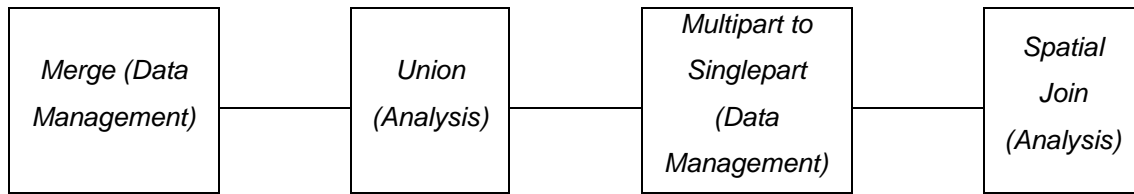
## 4.6 PÓS-PROCESSAMENTO

O pós-processamento de imagens digitais corresponde à fase de avaliação dos resultados obtidos e apresentação dos mesmos. Nesta etapa foram realizados procedimentos com intuito de representar e interpretar a informação presente nas imagens selecionadas.

### 4.6.1 Imagens Landsat 8

De modo a expor os resultados obtidos pelo tratamento e procedimentos anteriores foram produzidos mapas de escala 1/125 000 referentes à análise cartográfica da pluma do estuário do Vouga nas diferentes datas selecionadas. Nesta fase foi ainda desenvolvido um mapa 1/75 000 representando uma análise à frequência relativa da posição da pluma na região de interesse. Este mapa foi concretizado pela aplicação da sequência de ferramentas disponibilizadas pelo ArcGIS Desktop 10.7.1<sup>TM</sup> apresentadas na **Tabela 4.1**, representando a sobreposição dos resultados obtidos pela análise cartográfica da série temporal definida.

**Tabela 4.1.** Cadeia de pós-processamento aplicada às imagens Landsat 8



#### 4.6.2 Imagens Sentinel-1

Nesta fase foram produzidos, de forma semelhante às imagens Landsat 8, mapas representativos dos resultados obtidos numa escala 1/125 000. De modo a realizar uma análise baseada em valores numéricos e não apenas observacional foi desenvolvido um perfil linear na região de interesse através da ferramenta *Profile Plot* intrínseca ao software SNAP 7.0. A elaboração deste gráfico permitiu assim analisar os valores de intensidade relativos a cada pixel intersectado pelo perfil realizado.



## 5. RESULTADOS

Os resultados desta dissertação apresentam-se neste capítulo divididos em três fases distintas, consoante a metodologia e os tipos de imagens utilizadas. Depois da criação de uma base de dados, de acordo com os critérios já referidos, foram selecionadas algumas imagens (*Tabela 5.1*) de modo a aplicar a metodologia proposta.

*Tabela 5.1. Imagens selecionadas*

DATA	Landsat 8	Sentinel-1
06/06/2017	Path 205 Row 32	-
24/07/2017	Path 205 Row 32	-
10/09/2017	Path 205 Row 32	-
21/03/2018	Path 205 Row 32	-
24/10/2018	Path 204 Row 32	1B
04/05/2019	Path 204 Row 32	1B
30/12/2019	Path 204 Row 32	1B
22/05/2020	Path 204 Row 32	1B

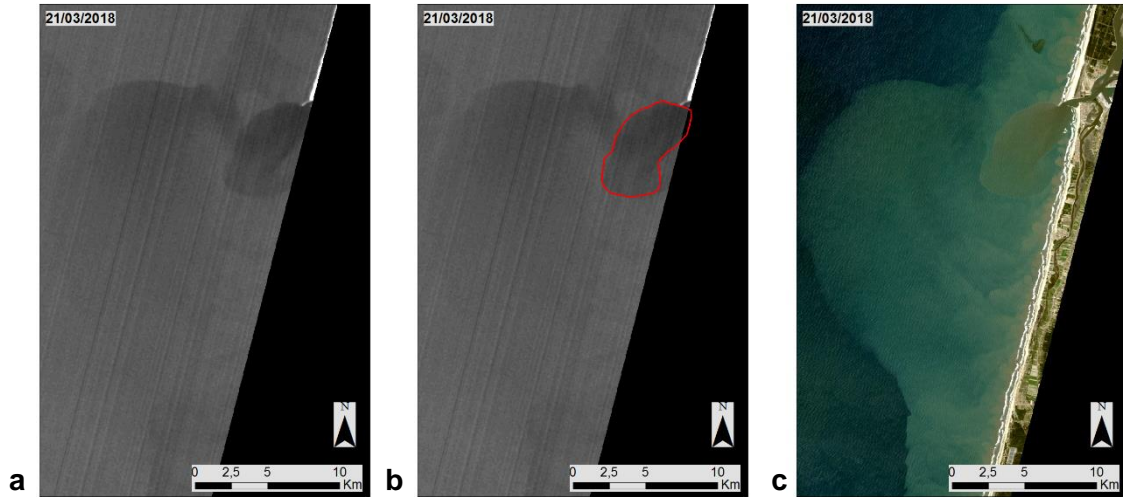
De acordo com as datas selecionadas foi depois possível obter através dos procedimentos referidos no capítulo anterior, os dados hidrográficos referentes aos afluentes da Ria de Aveiro e as respetivas condições de maré (*Tabela 5.2*). A identificação da condição de maré observado em cada imagem é realizada através da aproximação da hora em que a imagem foi adquirida, entre as 11h e 11h30 no caso do Landsat 8, com os dados da tabela de marés fornecidos pelo Instituto Hidrográfico.

**Tabela 5.2.** Dados hidrográficos referentes às imagens selecionadas

Data		24/07/ 2017	06/06/ 2017	10/09/ 2017	21/03/ 2018	24/10/ 2018	04/05/ 2019	30/12/ 2019	22/05/ 2020
Condição de Maré		Baixa-mar	Baixa-mar	Baixa-mar	Baixa-mar	Baixa-mar	Baixa-mar	Baixa-mar	Baixa-mar
Caudal médio diário (m <sup>3</sup> /s)	10G/02H	31,02	32,57	29	-	29,31	-	-	31,86
	09G/01H	-	-	0,01	10,47	0,11	-	7,51	-
Escoamento mensal (dam <sup>3</sup> )	10G/02H	83741	69146	-	-	78724	-	-	-
	09G/01H	-	-	120	-	-	-	-	-

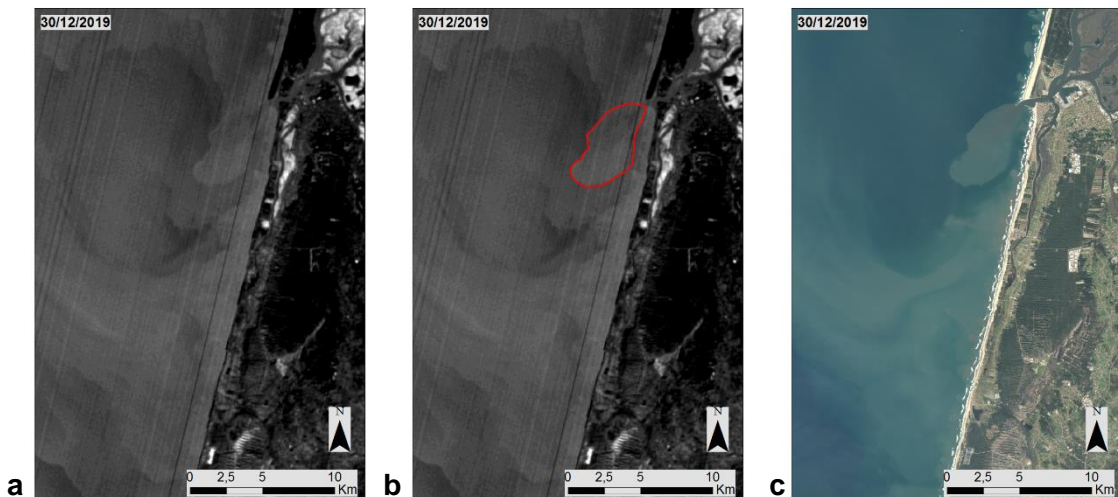
### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA PLUMA DO ESTUÁRIO DO VOUGA

A cartografia e análise da pluma do estuário do Vouga através das imagens térmicas obtidas pelo sensor TIRS a bordo da plataforma Landsat 8 foi auxiliada por uma composição RGB e delimitada manualmente de acordo com o procedimento metodológico. O foco principal desta fase encontra-se no desenvolvimento de um mapa de escala 1/75 000 com a frequência relativa da pluma (*Figura 5.3*) bem como o estudo dos dados hidrográficos e batimetria para o período definido. Este processo foi realizado através da identificação individual da pluma para as diferentes datas e a análise descritiva e estatística de comparação entre as características da batimetria e a sua localização, mas também possíveis correlações entre os dados hidrográficos (*Tabela 5.3*). Nesta fase encontram-se também representados alguns exemplos de mapas numa escala 1/125 000 dos resultados obtidos na análise da posição da pluma nas diferentes datas selecionadas (*Figura 5.1, Figura 5.2*), os restantes mapas utilizados na identificação e cartografia da pluma encontram-se representados em anexo (*Anexo VI*).



**Figura 5.1.** Resultados Landsat 8 referentes ao dia 21 de março de 2018; **(a)** TIRS\_banda10; **(b)** cartografia da pluma costeira; **(c)** composição RGB432.

Na **Figura 5.1** e **Figura 5.2** estão representados os mapas correspondentes às imagens térmicas e compósitos RGB utilizados na análise e identificação da pluma. Nestes exemplos é possível identificar a posição da estrutura através quer dos gradientes térmicos como da turbidez da água representada na composição RGB de cores verdadeiras. O mapa central da figura corresponde à análise dessas mesmas imagens através da delimitação dos limites estruturais, a vermelho, da pluma formada pela descarga lagunar nas respetivas datas.

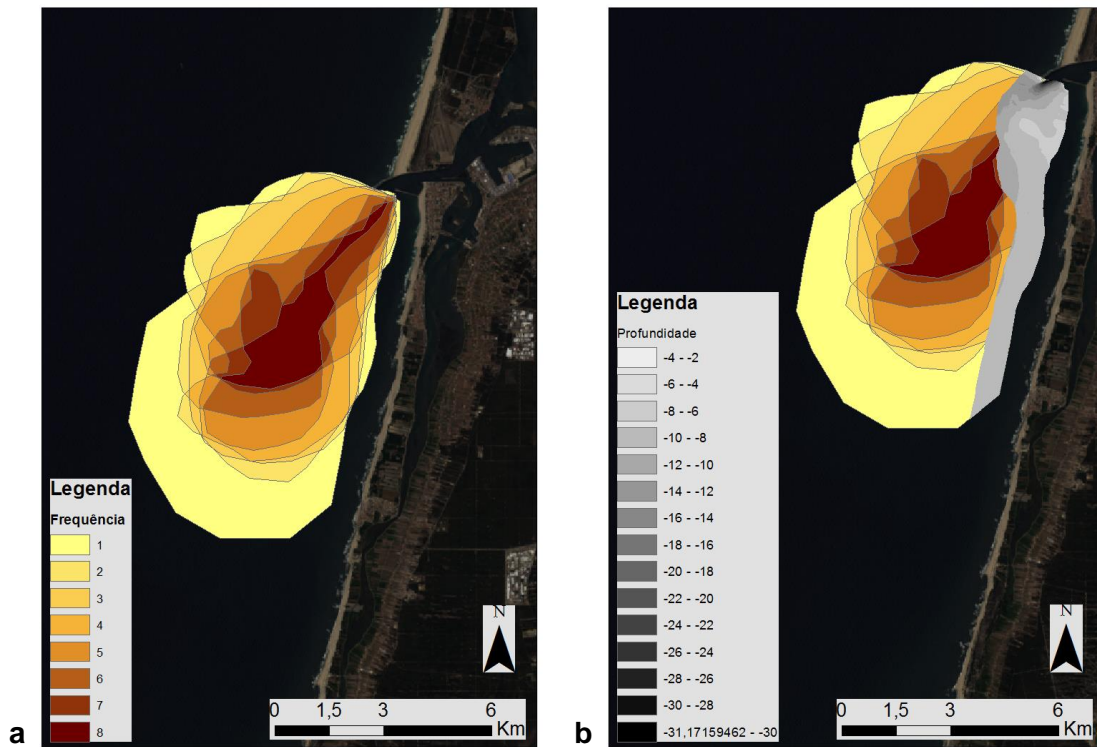


**Figura 5.2.** Resultados Landsat 8 referentes ao dia 30 de dezembro de 2019; **(a)** TIRS\_banda10; **(b)** cartografia da pluma costeira; **(c)** composição RGB432.



## RESULTADOS

Através da identificação da posição da pluma no conjunto de todas as imagens da série temporal foi calculada a frequência relativa da pluma e comparada aos dados de batimetria COSMO (*Figura 5.3*). Através deste mapa é possível delimitar a zona com maior probabilidade de observar algum tipo de estrutura associada à pluma formada pela descarga do estuário do Vouga bem como as profundidades associadas.



**Figura 5.3.** (a) Frequência relativa da pluma gerada pelo estuário do Vouga; (b) Batimetria COSMO associada à região de interesse.

A **Figura 5.3** exhibe os mapas correspondentes à frequência relativa da pluma na série temporal definida (*Figura 5.3 (a)*) e a sua comparação à batimetria costeira (*Figura 5.3 (b)*). Na **Figura 5.3 (a)** é possível identificar o número de vezes que a pluma figura na região de interesse durante a série temporal analisada. A limitação da componente de correlação entre a frequência relativa da pluma costeira e a batimetria da região está relacionada com domínio geográfico inferior associado ao levantamento topohidrográfico disponibilizado pelo Programa COSMO. Por outro lado, a informação contida na **Tabela 5.3** corresponde a uma análise estatística efetuada utilizando os valores dos dados hidrográficos nas diferentes datas selecionadas. Estes dados representam os valores médios referentes aos diferentes parâmetros controladores bem

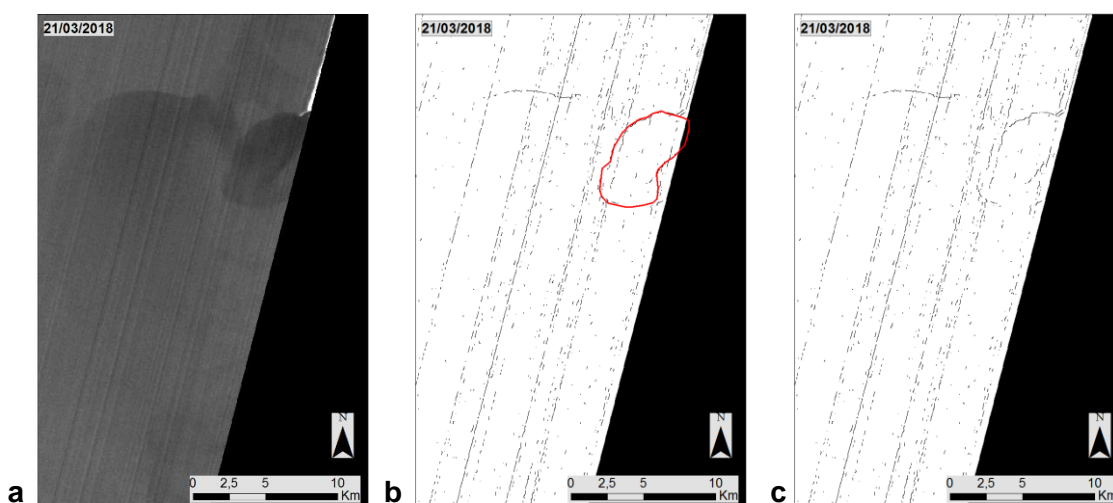
como as condições mais prováveis capazes de gerar estruturas costeiras através da descarga lagunar.

**Tabela 5.3.** Análise estatística dos fatores controladores da pluma do estuário do Vouga

Caudal médio (m <sup>3</sup> /s)	10G/02H	30,752
	09G/01H	4,525
Escoamento médio mensal (dam <sup>3</sup> )	10G/02H	77203,67
	09G/01H	120
Condição de Maré		Baixa-mar

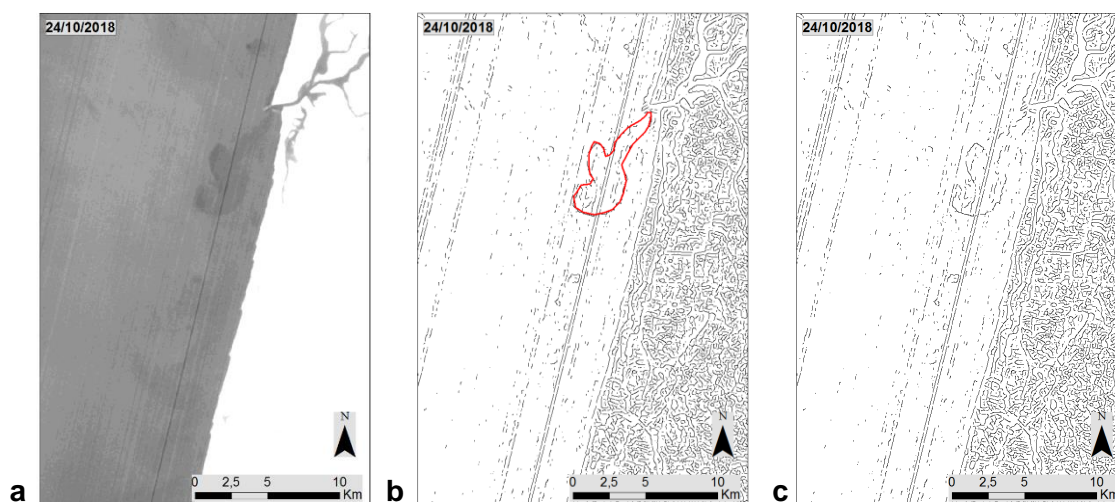
### 5.1.1 Método Canny Edge

A utilização do algoritmo *Canny Edge* teve como objetivo a deteção de frentes térmicas capazes de traduzir os limites estruturais associados à pluma do estuário do Vouga. A dificuldade de análise dos dados térmicos utilizados surgiu no ruído adquirido durante o processo de aquisição das imagens por parte do sensor TIRS abordo da plataforma Landsat 8. Assim sendo, as imagens adquiridas pelo processamento e aplicação do método *Canny Edge* surgiram como validação e apoio aos dados analisados manualmente demonstrando a sua capacidade e autonomia na identificação dos limites associados a frentes térmicas. Os mapas obtidos nesta fase apresentam características semelhantes aos representados anteriormente bem como as figuras que exibem uma organização similar.



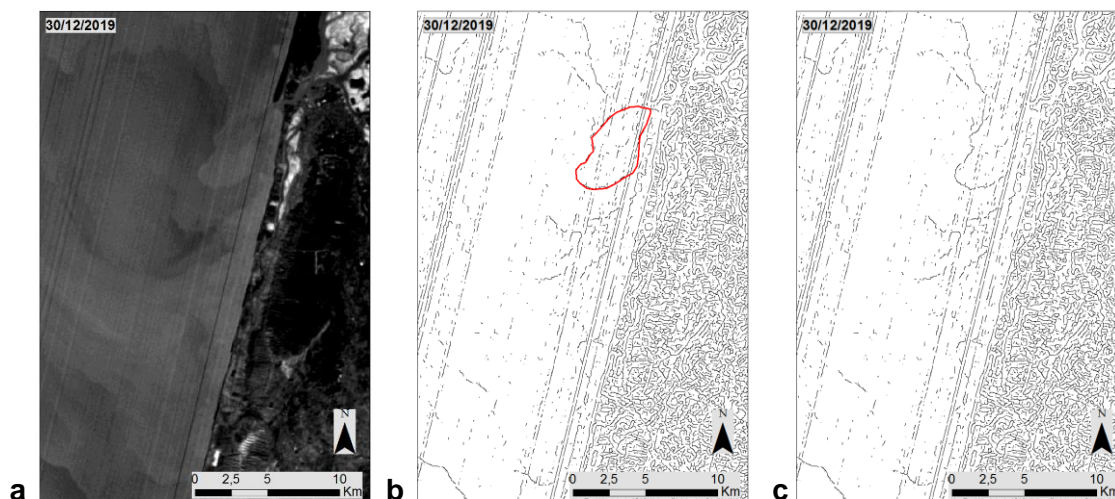
**Figura 5.4.** Resultado do processamento da imagem do dia 21 de março de 2018 através do método Canny Edge (a) imagem original TIRS\_banda10; (b) comparação da cartografia com os resultados obtidos (c) resultado Canny Edge.

Na **Figura 5.4** estão representados os dados adquiridos na data 21 março 2018 referentes ao *path* 205 e *row* 32 através da plataforma Landsat 8. Esta figura apresenta os resultados obtidos através da aplicação do algoritmo *Canny Edge* a partir da imagem térmica adquirida pelo sensor TIRS. O mapa representado na posição central evidencia e confirma os resultados obtidos pelo processamento realizado através da sobreposição da região cartografada previamente e de forma manual com a imagem obtida através do método de identificação automático.



**Figura 5.5.** Resultado do processamento da imagem do dia 24 de outubro de 2018 através do método *Canny Edge* (a) imagem original TIRS\_banda10; (b) comparação da cartografia com os resultados obtidos (c) resultado *Canny Edge*.

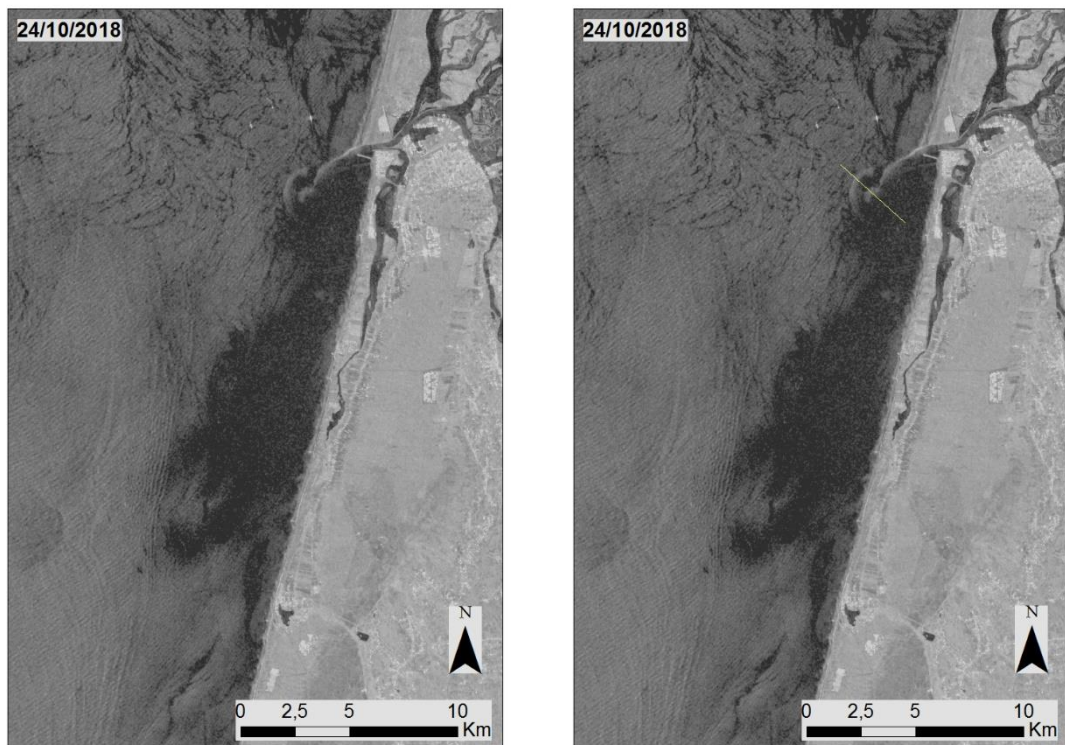
A **Figura 5.5** e **Figura 5.6** apresentam de forma similar alguns dos resultados obtidos para as diferentes datas selecionadas. Nestes mapas é possível confirmar os resultados conseguidos pelo processamento anterior, mas também identificar através da presença de estruturas na forma de bandas com uma orientação preferencial NNE-SSW, o ruído comum a todas as imagens processadas proveniente de erros de calibração do sensor TIRS. Os resultados e mapas referentes às restantes datas selecionadas encontram-se anexados a esta dissertação (**Anexo VIII**).



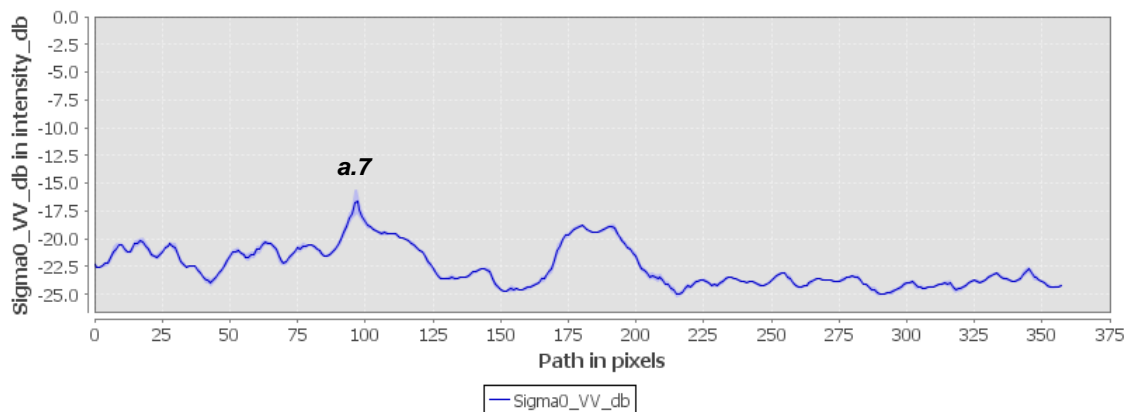
**Figura 5.6.** Resultado do processamento da imagem do dia 30 de dezembro de 2019 através do método Canny Edge **(a)** imagem original TIRS\_banda10; **(b)** comparação da cartografia com os resultados obtidos **(c)** resultado Canny Edge.

### 5.1.2 Imagens SAR

A análise das imagens adquiridas através do processamento dos dados SAR para as datas selecionadas foi realizada com o objetivo de identificar características presentes nas imagens passíveis de serem atribuídas à presença de estruturas costeiras como a pluma do estuário do Vouga. Este tipo de dados obtidos pela plataforma Sentinel-1 produzem imagens através da quantificação da intensidade ou amplitude de cada pixel. A alteração da intensidade dos pixels pressupõe uma mudança das características da superfície na região de interesse. De modo a observar estas variações foi traçada uma linha de perfil exibindo as alterações de intensidade nos diferentes pixels presentes na zona de estudo através da utilização da S1TBX.



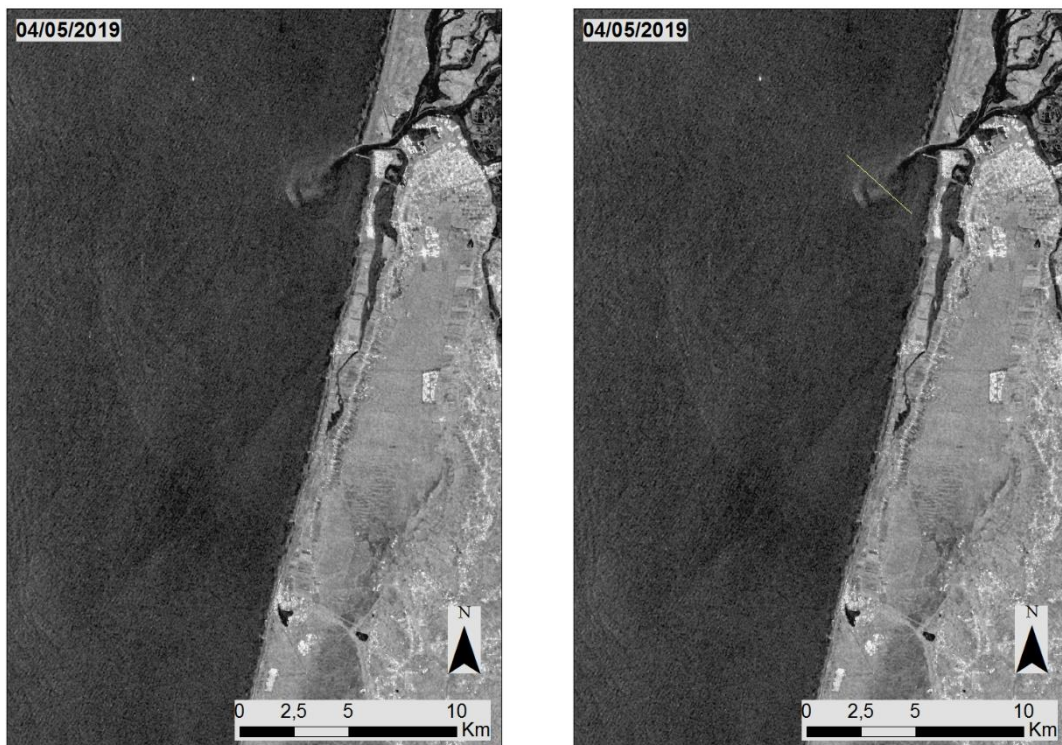
**Profile Plot for 24/10/2018**



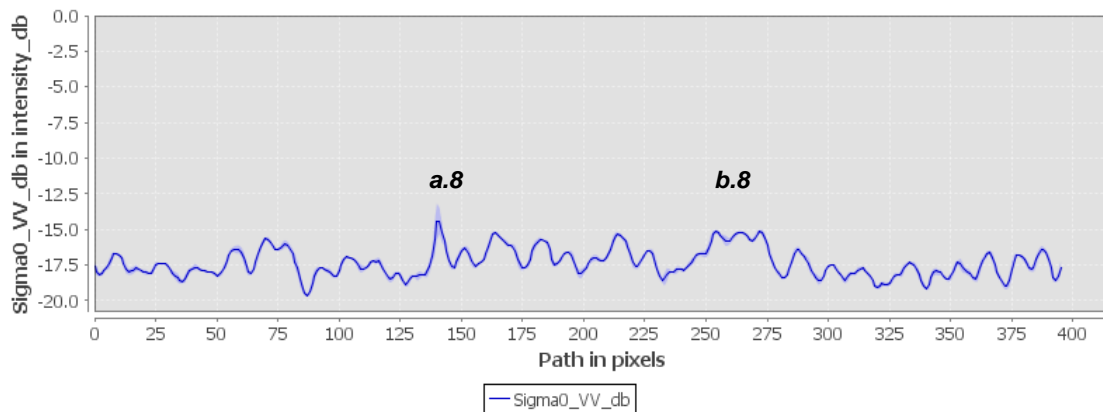
**Figura 5.7.** Resultados do processamento da imagem SAR de 24 de outubro de 2018 (a.7) pico de intensidade máxima

Na **Figura 5.7** e **Figura 5.8** estão representados dois mapas de escala 1/125 000 bem como o gráfico referente ao perfil analisado com os valores de intensidade em dB (decibel). Estes mapas resultam da aplicação do procedimento metodológico, referenciado no capítulo anterior, de tratamento de dados SAR bem como a representação física do perfil analisado. Na imagem adquirida a 24 outubro 2018 (**Figura 5.7**) é possível observar a existência de um limite estrutural representado por uma cor mais clara na zona de interesse seguido de uma região menos definida. Estas alterações são observáveis nos valores de intensidade apresentados no gráfico através

do pico representado graficamente a sombreado (pico **a.7**), seguido de valores mais baixos e estáveis relativos à região menos definida.



**Profile Plot for 04/05/2019**

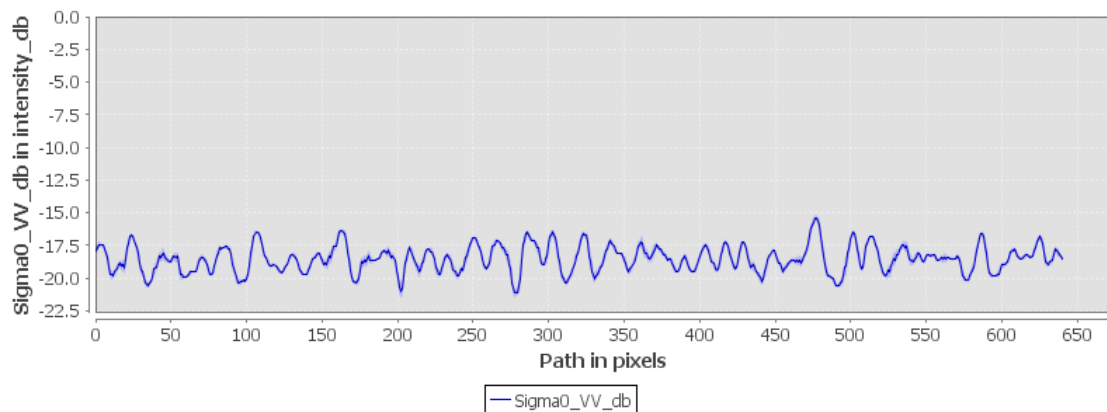


**Figura 5.8.** Resultados do processamento da imagem SAR de 04 de maio de 2019 (**a.8**) pico de intensidade máxima; (**b.8**) pico de intensidade expressiva

Na **Figura 5.8** é possível delimitar visualmente uma região de alteração das propriedades físicas da massa oceânica, semelhante em configuração e localização aos mapas anteriores (**Figura 5.7**). Estas alterações dos valores de *backscatter*, comprovados pelos dados do gráfico (picos **a.8** e **b.8**) apresentado podem estar, em ambos os casos, relacionados com alterações provocadas pela descarga lagunar.

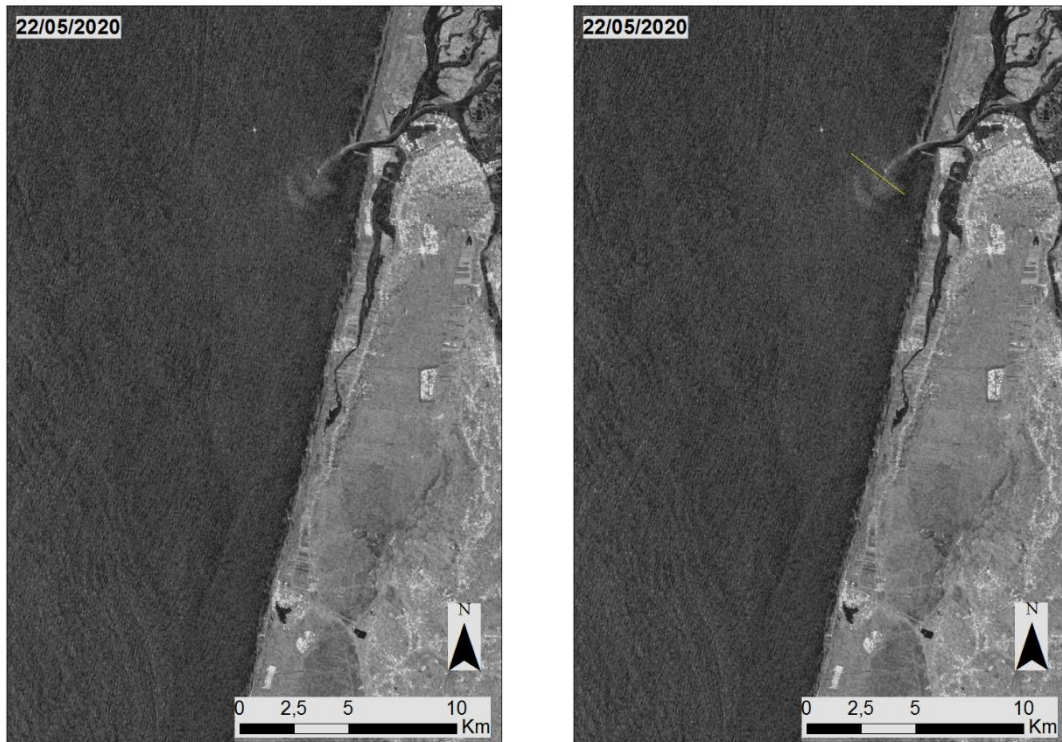


**Profile Plot for 30/12/2019**

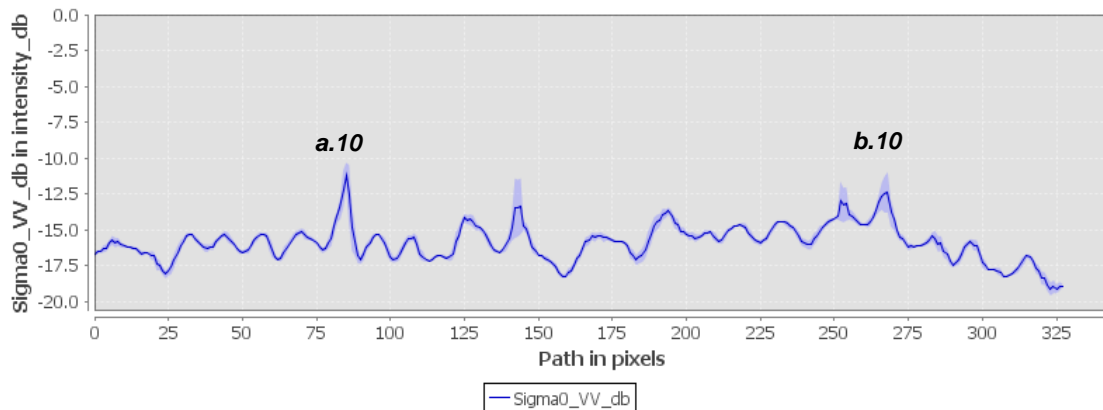


**Figura 5.9.** Resultados do processamento da imagem SAR de 30 de dezembro de 2019

Na **Figura 5.9** referente ao dia 30 dezembro 2019, a imagem adquirida não evidencia visualmente alguma característica que possa ser atribuída à presença da pluma ou frentes térmicas. Graficamente, os valores de intensidade adquiridos pelo perfil realizado nesta data não evidenciam algum tipo de variação ou pico fora dos valores médios de intensidade.



**Profile Plot for 22/05/2020**



**Figura 5.10.** Resultados do processamento da imagem SAR de 22 de maio de 2020 (**a.10**) pico de intensidade máxima; (**b.10**) pico de intensidade expressiva

A **Figura 5.10** referente ao dia 22 maio 2020 apresenta, de forma similar às figuras anteriores (**Figura 5.7**, **Figura 5.8**), alterações nos valores de intensidade representados pelos picos **a.10** e **b.10**. Neste gráfico é possível observar em extremidades opostas dois picos distintos nos valores de intensidade podendo ser interpretados como os limites da região observada compreendida pelo perfil exibido no mapa.





## 6. ANÁLISE E DISCUSSÃO

A caracterização da pluma costeira originada pelo estuário do Vouga com recurso a técnicas de detecção remota foi possível através da análise de imagens térmicas obtidas pela plataforma Landsat 8, englobando o período entre 2017 e 2020 (apenas primeiro semestre). As características das imagens adquiridas pelo sensor TIRS permitem identificar zonas de gradientes térmicos tipicamente associados a plumas costeiras e aos limites entre massas de água. Este tipo de estruturas apresenta ainda uma expressão em profundidade (Belkin et al., 2009) não explorada neste estudo devido às limitações metodológicas e da informação disponível nas imagens de detecção remota.

As datas selecionadas e as imagens correspondentes utilizadas neste estudo foram escolhidas de modo a que as condições atmosféricas não representassem uma limitação na análise dos dados térmicos de detecção remota, mas também pela correspondência existente entre a obtenção de imagens pelo sensor SAR a bordo da plataforma Sentinel-1 e as imagens obtidas pela plataforma Landsat 8.

A observação da Terra através de plataformas espaciais apresenta um conjunto de vantagens capazes de justificar a tendência atual para o desenvolvimento de metodologias com recurso a dados de detecção remota. A obtenção de informação através deste processo possibilita não só a aquisição regular de dados em áreas inóspitas e inacessíveis em formato digital como a redução dos custos associados aos utilizadores devido à sua disponibilização gratuita e *online* em diversas plataformas, mas também quando comparado com métodos anteriores como a fotografia aérea.

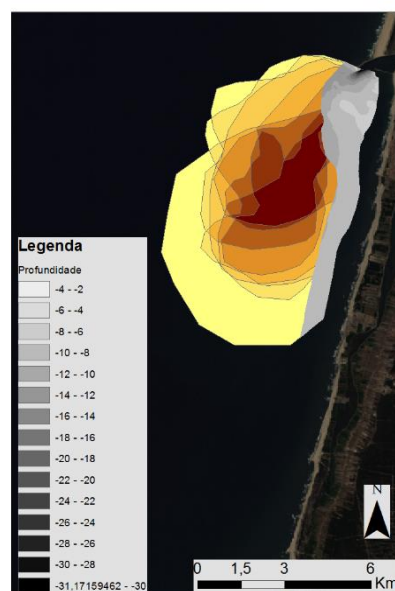
A utilização de técnicas de detecção remota possibilitou a caracterização da região de interesse no âmbito do presente estudo facilitando a cartografia da pluma, sem ser necessário o contacto direto através de dados digitais. De referir ainda que a variabilidade e domínio geográfico desta estrutura, durante a série temporal definida, demonstrou-se dependente dos fatores controladores associados à dinâmica costeira como as condições de maré e agitação marítima. Desta forma, a aquisição periódica de informação e a sua disponibilização em formato digital permitiu não só o acesso a uma extensa base de dados de acesso *online* e imediata como a realização de um processamento de dados idêntico e de forma automatizada através de *software* especializado. Estas características associadas à informação obtida pela observação da Terra via satélite justificam a utilização de técnicas de detecção remota na realização deste estudo, mas também na monitorização ambiental e gestão de recursos naturais e geológicos. A criação de uma metodologia com recurso a dados e técnicas de detecção

remota, englobada no estudo de uma pluma costeira com origem na descarga lagunar, permitiu obter resultados concordantes através de diferentes métodos de análise quer na identificação e cartografia da mesma como na possibilidade de correlação com diferentes parâmetros físicos capazes de gerar alterações na sua expressão e comportamento.

A análise e cartografia de estruturas costeiras através de metodologias definidas com recurso a dados térmicos infravermelhos demonstrou a sua capacidade, já comprovada por Belkin & O'Reilly (2009) e Castelao et al. (2006), tendo sido possível identificar e cartografar na região costeira referente ao estuário do Vouga uma estrutura concordante com a presença da pluma em todas as imagens selecionadas. A identificação dos gradientes térmicos relacionados com a descarga lagunar foi apoiada pela análise de composições RGB e pelas características de turbidez da água observáveis. As correntes de maré associadas ao processo de bombeamento das marés (*tidal pumping*), referenciado por Lopes & Dias (2007) como o motivo principal na origem da turbidez verificada na região da “Ria de Aveiro”, e especialmente associadas à condição de baixa-mar bem como a sua comprovada intensificação durante os meses de primavera surgem como conjunturas verificadas na análise das imagens adquiridas. Estas condições preferenciais referenciadas foram verificadas no conjunto dos dados adquiridos sendo que metade das imagens analisadas neste estudo representam a época do ano referente à primavera e a totalidade das imagens à condição de baixa-mar (**Tabela 5.3**).

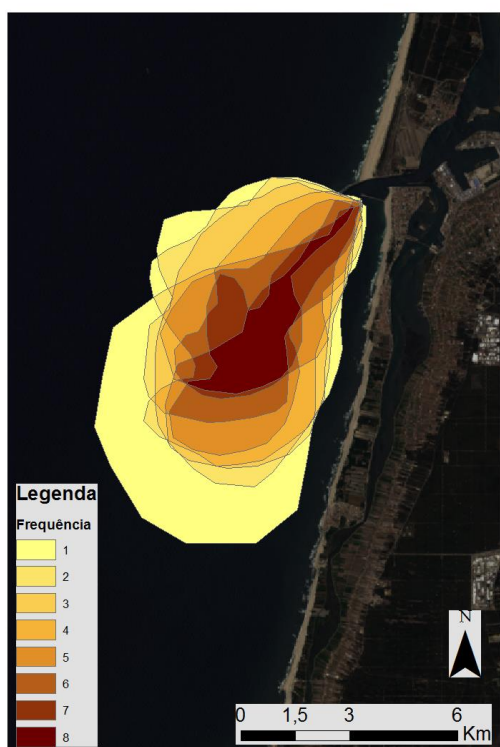
A força destas correntes provocadas pelas variações da maré depende, entre vários fatores, da batimetria e de parâmetros hidrográficos intrínsecos à bacia hidrográfica em causa, como o caudal e o escoamento referenciados neste estudo. As características da batimetria disponibilizada pelo programa COSMO relativas ao levantamento topo-hidrográfico Praia de São Jacinto - Praia da Gafanha da Boa Hora (S16/AC2) apresentam alguns obstáculos à possível correlação entre ambos, maioritariamente associado ao domínio geográfico (**Figura 6.1**).

Relativamente aos dados de caudal e escoamento, a falta de estações hidrométricas funcionais na região da bacia hidrográfica do Vouga representa o maior obstáculo na



**Figura 6.1.** Batimetria COSMO da região associada à pluma costeira

análise de dados disponibilizados pela plataforma SNIRH. Tendo isto em conta, a base de dados hidrométricos nas estações existentes demonstrou-se também bastante incompleta não só influenciando o processo de seleção das estações como durante a análise da informação relativa às estações selecionadas. A monitorização destes parâmetros foi realizada nos rios Águeda (10G/02H) e Caima (09G/01H), ambos afluentes do Vouga, com os resultados apresentados na **Tabela 5.2**. A análise destes parâmetros e a relação já evidenciada com os meses de primavera, tipicamente chuvosos na região de Aveiro, sustentam os valores obtidos estatisticamente apesar da região lagunar apresentar uma dinâmica interior própria com o desaguio não só do rio Vouga como também dos rios Antuã, Boco e Fontão. Neste estudo e através dos valores semelhantes de caudal obtidos nas datas selecionadas não é possível deduzir uma influência direta entre a dimensão e posição da pluma com o caudal. De modo a evidenciar esta correlação poder-se-ia ter recorrido à modelação hidrológica dos valores de escoamento mensal através de dados climatológicos (precipitação) referentes à bacia do Vouga.



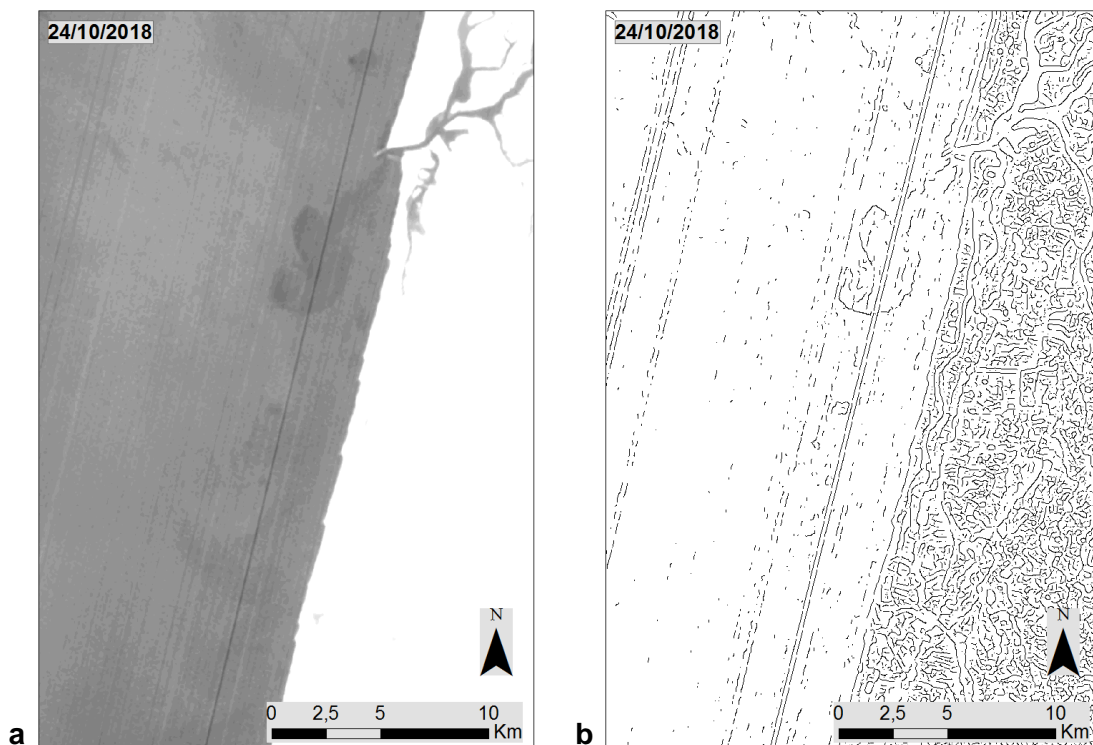
**Figura 6.2.** Frequência relativa da pluma na região de interesse no período 2017-2020

A frequência relativa de observação da pluma costeira na área de interesse, representada pela **Figura 6.2**, facilita não só a delimitação das regiões com maior expressividade natural da estrutura costeira como a identificação da extensão máxima coberta pela pluma no período analisado. Nesta figura (**Figura 6.2**) é ainda possível identificar a orientação da pluma predominantemente para sudoeste (SW). Esta orientação é concordante com as características referidas no capítulo associado à dinâmica costeira da região lagunar de Aveiro podendo ser interpretada pela influência da agitação marítima, mas também do processo de deriva litoral N – S típico da costa portuguesa.

Com o intuito de complementar o processamento manual baseado nas características observacionais das imagens adquiridas pelo Landsat 8, a cartografia dos limites estruturais foi apoiada pelo método de processamento automático *Canny Edge*

(Canny, 1986) para deteção de frentes térmicas. Este algoritmo procedeu à identificação automática dos limites estruturais associados aos gradientes térmicos observados nas imagens térmicas infravermelhas. Através deste processamento e em concordância com a análise convencional anterior foram reconhecidas em todas as datas selecionadas os limites referentes à estrutura costeira com origem na descarga lagunar. A utilização do método de *Canny Edge*, apesar de bem-sucedido na identificação dos limites estruturais associados a gradientes térmicos, apresenta algumas desvantagens quer na sua aplicação a imagens de satélite como na identificação de ruído defeituoso como limites estruturais. Exemplos destas situações são os critérios de *cloud cover* utilizados na pré-seleção das imagens com intuito de minimizar os efeitos atmosféricos na região de interesse, mas sobretudo a sucessiva representação de limites estruturais de orientação NNE-SSW observados nas imagens resultantes.

No exemplo representado na **Figura 6.3** é distintamente identificável as linhas de orientação NNE-SSW não só no mapa obtido pelo processamento referido como na imagem térmica original. As linhas observadas com uma orientação preferencial e imprecisamente identificadas pelo algoritmo *Canny Edge* como limites estruturais presentes nas imagens térmicas estão associadas a erros de calibração do sensor TIRS abordo da plataforma Landsat 8. Apesar de, como referido, ter sido possível identificar em todas as imagens os limites estruturais correspondentes à pluma formada pelo estuário do Vouga, o resultado deste processamento foram mapas demarcados pelo ruído com origem em características intrínsecas dos dados originais.



**Figura 6.3.** Exemplo do resultado da aplicação do algoritmo *Canny Edge* (a) imagem original TIRS\_banda10; (b) resultado *Canny Edge*.

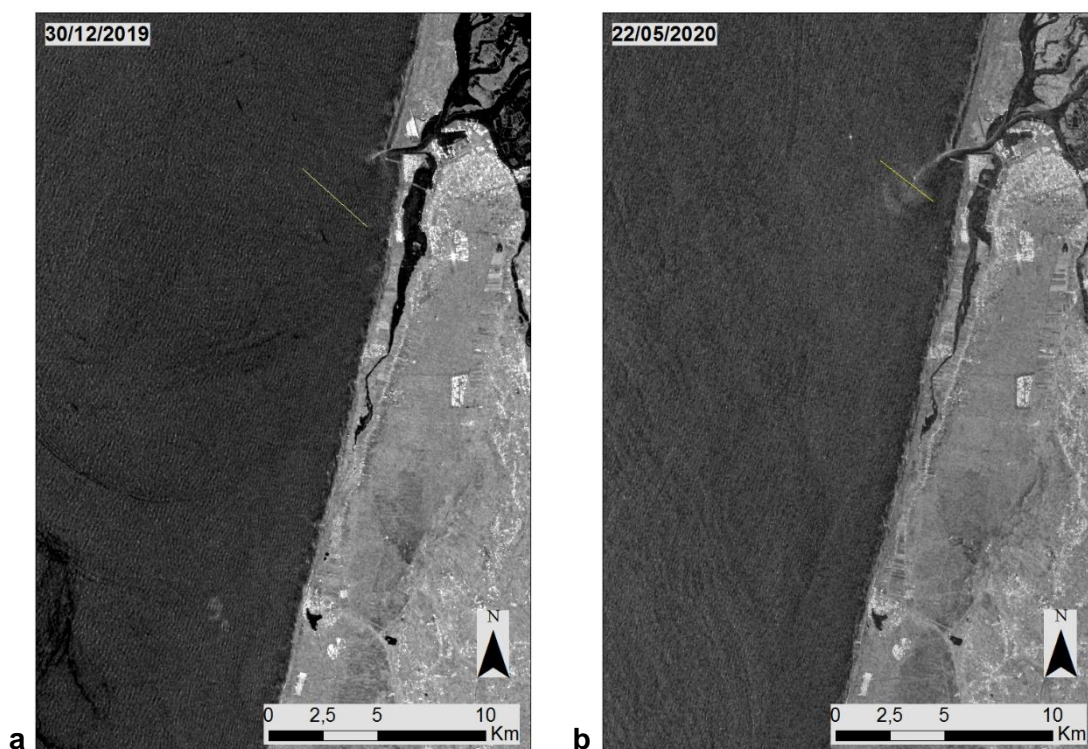
Por outro lado, a metodologia utilizada na aplicação do algoritmo *Canny Edge* com recurso à computação em nuvem (*cloud computing*) permitiu o desenvolvimento de uma metodologia sem a necessidade de instalação de *software* específico ou de armazenamento de dados. Através do ambiente interativo oferecido pela plataforma Google Earth Engine™ foi possível desenvolver um programa dedicado ao processamento automático baseado em JavaScript<sup>9</sup> na forma de um código-fonte representado em anexo (**Anexo VII**). A possibilidade de criar e executar programas personalizados de forma online e gratuita consoante o intuito de processamento e análise de informação traduz a importância deste tipo de plataformas na realização não só deste estudo, mas também no desenvolvimento das tecnologias geoespaciais e de informação.

No que diz respeito aos resultados obtidos pelo processamento de dados Sentinel-1 através da plataforma SNAP, a análise das imagens foi possibilitada maioritariamente pela utilização da ferramenta *Profile Tool* na realização de um perfil baseado numa figura geométrica linear. Esta análise procurou revelar a existência de efeitos visíveis nas imagens SAR provocados pela presença da pluma costeira na região de interesse. Como referido, os dados adquiridos pelo sensor SAR permitem a criação

<sup>9</sup> Linguagem de programação utilizada principalmente em tecnologias World Wide Web.

de imagens de alta resolução baseadas na intensidade das ondas rádio captadas e traduzindo esses valores em pixels passíveis de representação digital. Esses valores de intensidade representados por cada pixel encontram-se consequentemente relacionados com a rugosidade da superfície em causa, neste caso da região costeira relativa à barra de Aveiro e ao estuário do Vouga. De forma simplificada, quanto maior a intensidade dos valores representados, maior a rugosidade da superfície incidente. Esta condição é constatada visualmente nas imagens referentes à superfície oceânica através da representação com uma cor mais escura de superfícies mais calmas e, portanto, menos rugosas.

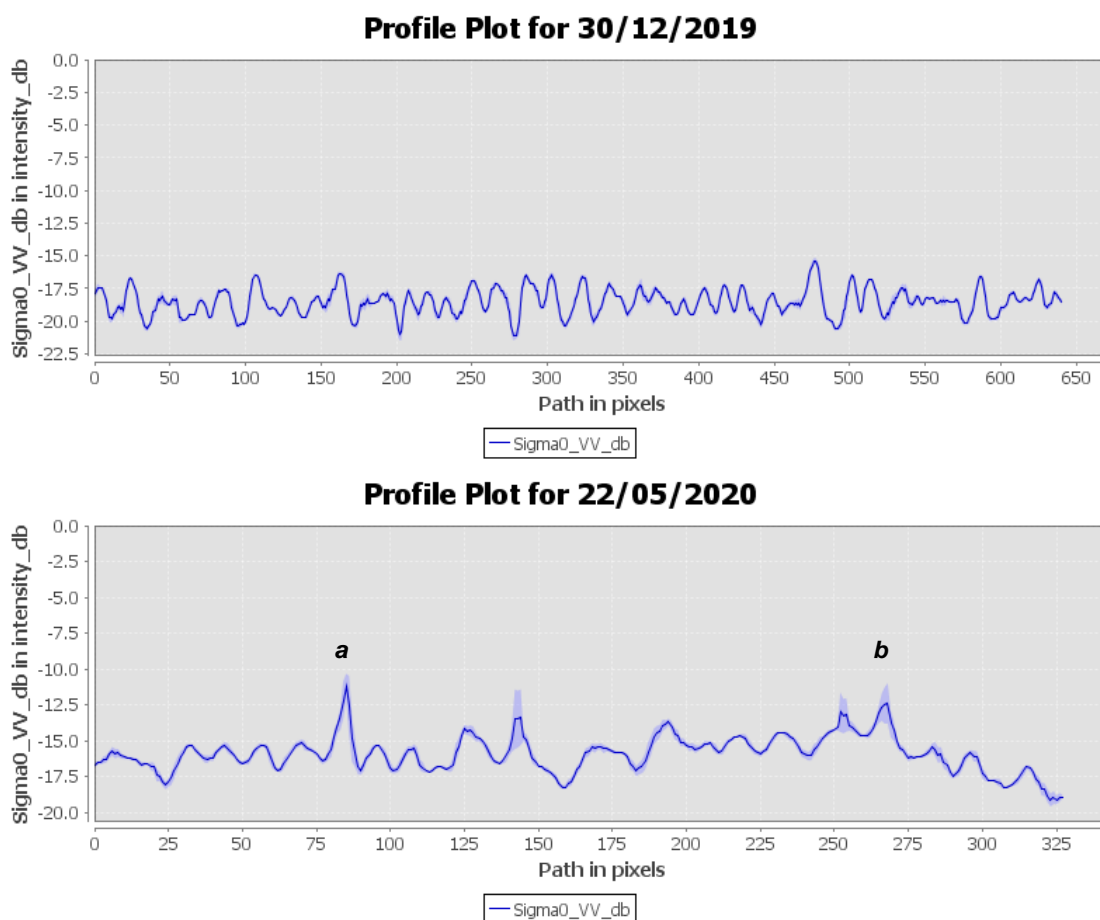
Na **Figura 6.4.** é possível observar dois exemplos distintos dos resultados obtidos pelo processamento das imagens adquiridas pela plataforma Sentinel-1. Através de uma primeira análise visual da imagem do dia 22 de maio de 2020 é identificável, na região de interesse correspondente à foz, a existência de uma área circular especialmente intensa e refletiva. Contrariamente, no mapa referente ao dia 30 de dezembro de 2019, a região de interesse apresenta uma maior homogeneidade nos valores dos pixels representados.



**Figura 6.4.** Exemplo de perfis realizados na análise de imagens SAR (a) 30 de dezembro de 2019; (b) 22 de maio de 2020.

Nos mapas da **Figura 6.4** é ainda identificável o perfil linear realizado e utilizado na análise dos valores de intensidade, representados graficamente na **Figura 6.5**. Nestes gráficos estão representados os valores de intensidade, em decibel,

correspondentes aos píxeis atravessados pelo perfil traçado. Analisando o gráfico referente à imagem do dia 22 de maio de 2020 destacam-se alguns picos nos valores de intensidade realçados a sombreado. Estes picos de maior intensidade situados nas extremidades do gráfico (identificados na *Figura 6.5* como *a* e *b*) podem ser atribuídos, tendo em conta a extensão do perfil, aos limites da região previamente referida como mais refletiva. Por sua vez, no gráfico referente ao dia 30 de dezembro de 2019 é observável um sinal mais contínuo e regular, consistente com a homogeneidade observada na imagem correspondente, nos valores representados de intensidade.



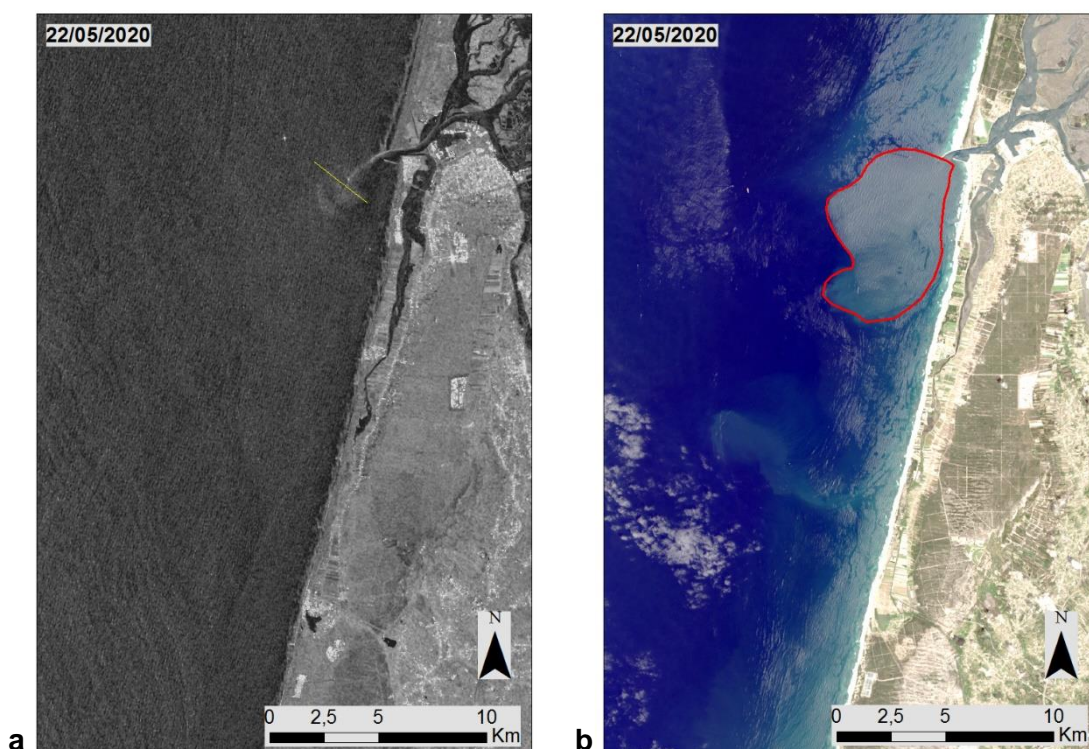
**Figura 6.5.** Gráficos correspondentes aos perfis das imagens SAR nos dias 30 de dezembro de 2019 e 22 de maio de 2020 (**a**) pico de intensidade máxima; (**b**) pico de intensidade expressiva

A identificação destes picos de intensidade na região de interesse e a sua atribuição aos limites das áreas visivelmente mais refletivas e intensas confirmam a maior rugosidade da superfície oceânica estudada. Neste sentido, a correlação entre a rugosidade superficial identificada maioritariamente nos limites das áreas mais “brilhantes”, com a identificação da pluma formada pelo estuário do Vouga surge associada às características físicas e climatológicas intrínsecas a estes fenómenos.



Associados portanto à presença de frentes oceânicas e plumas costeiras, estes fenômenos foram descritos por Bentao et al. (2010) como mecanismos capazes de alterar a rugosidade da superfície oceânica. Os principais mecanismos responsáveis por estas alterações estão associados não só às interações de ondas superficiais com as correntes tipicamente convergentes formadas nos limites estruturais entre massas de água, mas também nas variações do regime de ventos provocadas pelos gradientes de temperatura superficiais. Os efeitos destas interações, observados tipicamente nos limites das frentes oceânicas e plumas costeiras, resultam na alteração dos valores de intensidade permitindo a detecção e reconhecimento deste tipo de estruturas através de imagens SAR.

Apesar de, como referido, ter sido possível identificar alguns efeitos visíveis nas imagens SAR atribuídos à presença da pluma costeira, a extensão desses mesmos efeitos evidencia a presença de uma estrutura de menor dimensão comparativamente aos resultados obtidos pela análise da composição RGB (*Figura 6.6*). Esta diferença pode ser interpretada pela hipótese de a região identificada coincidir com o núcleo (*core*) da estrutura costeira cuja carga sedimentar e a influência das correntes de maré sejam mais preponderantes.



**Figura 6.6.** Comparação dos resultados SAR com a composição RGB432 para o dia 22 de maio de 2020 (a) imagem SAR; (b) RGB432.

No entanto, a utilização do software SNAP disponibilizado pela ESA, apesar de eficaz no processamento de imagens SAR, apresentou algumas dificuldades na aplicação de metodologia definida. Os obstáculos sentidos no processamento advêm não só da grande dimensão das imagens utilizadas, mas também da gestão interna realizada pelo *software* da capacidade de processamento do *hardware*<sup>10</sup>. Apesar do equipamento informático utilizado apresentar todos os requisitos necessários e recomendados para executar de forma eficiente as funcionalidades do programa SNAP, o processamento dos dados adquiridos demonstrou-se ser sempre muito demorado afetando a possibilidade de análise de um maior número de imagens.

O desenvolvimento de algoritmos capazes de proporcionar a identificação automática de estruturas oceânicas resulta não só da necessidade de analisar o crescente volume de dados como do desenvolvimento tecnológico capaz de realizar estas operações. A adaptação das metodologias com recurso a operadores humanos para metodologias capazes de aplicar critérios idênticos na análise dos dados de forma automática não só agiliza o processo como retira a subjetividade intrínseca aos resultados obtidos de forma tradicional. Neste estudo, o potencial destes algoritmos na identificação de frentes oceânicas e plumas costeiras foi desenvolvido através da aplicação do algoritmo *Canny Edge* a imagens térmicas de deteção remota. De forma semelhante, o desenvolvimento de algoritmos específicos com intuito de identificar estruturas oceânicas através de imagens SAR representa uma alternativa à metodologia aplicada e referida anteriormente. Chen et al. (2008) descreveu um modelo automático de identificação de estruturas oceânicas através do reconhecimento de padrões específicos e recorrentes na rugosidade superficial associados às interações das diferentes estruturas. Este processo de automatização poderá representar a etapa seguinte na identificação de plumas costeiras através de imagens SAR.

No contexto ocidental da Península Ibérica, a caracterização da pluma costeira com origem na descarga do rio Vouga retrata mais uma etapa no auxílio da definição dos processos físicos oceanográficos observados a mesoescala, mais especificamente da *Western Iberia Buoyant Plume* (WIBP). Apesar da variação sazonal na descarga fluvial e a diminuição significativa nos meses de verão, a WIBP é observável durante todas as estações do ano (Castelao et al., 2006). A este tipo de estruturas, caracterizadas pelos baixos valores de salinidade, são associados alguns fenómenos de relevo científico como a formação de regiões estratificadas evidenciadas pelas propriedades óticas específicas (Mantas et al., 2019). Relacionados com o fenómeno de

---

<sup>10</sup> Conjunto dos elementos físicos de um equipamento informático.

estratificação e à variação de temperaturas entre massas de água, inferiores no período de inverno comparativamente às águas de plataforma, a representação superficial desta pluma descreve alterações de maior ou menor contraste identificáveis pelas técnicas de deteção remota.

A WIBP reflete, como referido, a grande influência das descargas fluviais no ecossistema oceanográfico ocidental ibérico no qual está inserida a pluma costeira formada pelo estuário do Vouga. O estudo deste tipo de estruturas locais permite não só caracterizar os fenómenos relacionados com a origem dos processos físicos observados a mesoescala, neste caso a WIBP, como facilita a correlação entre os comportamentos observados neste tipo de estruturas análogas através da sua interpretação numa escala significativamente inferior.

Através deste estudo foi possível desenvolver e aprofundar algumas relações quer a uma escala local quer como referido, com a WIBP. A utilização de uma série temporal associada a técnicas de deteção remota e a correlação com dados hidrográficos referentes à bacia hidrográfica em causa foram fatores determinantes não só na identificação da pluma como do comportamento associado e influência nas dinâmicas costeiras. Os resultados adquiridos que demonstram a persistência da pluma gerada pelo estuário do Vouga durante todos os meses do ano e intensificação verificada durante os meses de inverno e primavera permitem a confirmação e correlação evidenciada anteriormente com os processos físicos a mesoescala da região ocidental da Ibéria, mais especificamente a WIBP.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, tanto a originalidade da temática como o carácter de investigação representaram um grande desafio no desenvolvimento metodológico e análise dos resultados. Apesar disto, a utilização de técnicas de detecção remota demonstrou a sua eficácia e eficiência já comprovadas não apenas pelo crescente número de estudos realizados com recurso a este tipo de metodologias, mas também pelo leque de aplicações cada vez mais variadas. O estudo de caso apresentado nesta dissertação incide essencialmente na identificação e caracterização da pluma costeira formada na região do estuário do Vouga a partir de imagens de satélite durante o período entre 2017 e 2020.

A importância associada à escolha das imagens representou não só a etapa inicial no desenvolvimento da metodologia apresentada, como representou um passo de grande importância devido aos critérios atmosféricos definidos e a possibilidade de correlação entre os diferentes tipos de imagens utilizadas. O estabelecimento de uma base de dados completa associada a imagens cuja correspondência e características se encontrem bem definidas possibilitou a uniformização dos dados e atenuação de discrepâncias melhorando assim os resultados obtidos.

Do ponto de vista específico, o estudo da pluma costeira associada ao estuário do Vouga foi, como referido, baseado na interpretação de imagens de satélite, mais especificamente de imagens térmicas infravermelhas e de radar de abertura sintética (SAR). A utilização de imagens térmicas infravermelhas, obtidas pelo sensor TIRS a bordo da plataforma Landsat 8, representou não só o foco principal desta metodologia como facilitou a identificação e cartografia da pluma evidenciando os gradientes térmicos característicos destas estruturas. Por outro lado, o procedimento metodológico associado às imagens SAR foi realizado com o intuito de avaliar a capacidade de identificação de estruturas costeiras através de alterações na superfície oceânica representadas nas imagens SAR. Esta componente foi considerada inicialmente devido à observação recorrente de alterações nas imagens SAR em regiões de interface e a correlação depois verificada pela análise de imagens térmicas para as mesmas datas, garantindo a presença da pluma na zona de interesse.

No entanto e apesar das diferenças nas imagens de satélite utilizadas, o processamento das imagens estabelecido na metodologia constituiu uma fase essencial neste estudo, melhorando não só qualidade visual dos mapas criados como facilitando a interpretação das imagens e da informação nelas contida. Associado à utilização de imagens térmicas infravermelhas, este processamento dos dados facilitou ainda o

desenvolvimento de uma componente interpretativa bastante completa possibilitando a análise das imagens quer de forma manual através da observação direta como automática por intermédio de algoritmos matemáticos de identificação de limites.

A utilização de diferentes tipos de imagens e das componentes metodológicas associadas representou um papel de grande relevância neste estudo quer, como referido, na análise manual *versus* automática das imagens Landsat 8 como na análise das imagens SAR adquiridas pela plataforma Sentinel-1. Apesar das diferenças, a partilha de um objetivo principal como o da identificação e caracterização da pluma costeira do estuário do Vouga correspondeu ao elemento facilitador e integrante entre estas componentes de análise. A caracterização e cartografia da pluma costeira, com recurso a imagens Landsat 8 e através de características previamente observadas e associadas a este tipo de estruturas proporcionou uma base empírica suportada pelos resultados obtidos facilitando a análise de carácter mais experimental resultante das características texturais das imagens SAR. Desta forma e apesar das diferentes componentes metodológicas foi possível desenvolver uma análise baseada em resultados distintos, mas complementares entre si.

Apesar das dificuldades sentidas e referidas anteriormente, como o ruído nos resultados obtidos pela aplicação do algoritmo *Canny Edge* ou das limitações associadas à utilização do software SNAP 7.0, a aplicação da metodologia desenvolvida neste estudo com o intuito de caracterizar plumas costeiras demonstrou-se ser bastante eficaz. A escolha da região do estuário do Vouga e o estudo da pluma costeira associada contribuiu também para o sucesso desta metodologia através da restringida e artificial conexão ao mar, mantendo sempre constante as características do estuário, mas também pela dimensão reduzida da estrutura costeira formada quando comparada a estruturas análogas como a pluma associada à descarga do rio Douro. Estas características associadas ainda à insuficiência de informação e de estudos realizados sobre a dinâmica costeira da região determinou a escolha do estuário do Vouga na realização deste estudo.

Por outro lado, a análise dos dados hidrográficos referentes à bacia hidrográfica do Vouga, que apesar de demonstrar uma possível correlação com o comportamento da pluma costeira pelos dados adquiridos, não apresentou os resultados concretos esperados devido principalmente à barreira criada pela deficiente monitorização da bacia hidrográfica do Vouga. Nesta componente associada à caracterização da pluma costeira surge ainda a possibilidade de monitorização e correlação futura entre os dados de precipitação total da bacia hidrográfica e a pluma costeira recorrendo à modelação hidrológica de águas superficiais.

Concluindo, a utilização de metodologias baseadas em técnicas de deteção remota não só confirmou a sua capacidade em gerar conhecimento e resultados conclusivos como neste caso permitiu a caracterização de fenómenos associados às dinâmicas costeiras locais na forma da pluma associada ao estuário do Vouga.

Finalmente, os resultados obtidos neste estudo poderão ser considerados como um ponto de partida para o desenvolvimento de projetos na área das dinâmicas costeiras associadas às plumas. Em desenvolvimentos futuros, a realização de uma componente prática e de campo representa a maior oportunidade quer para observação e estudo direto dos fenómenos e características particulares destas regiões como a própria validação dos resultados obtidos remotamente.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, I., Dias, J. M., deCastro, M., Vaz, N., Sousa, M. C., & Gómez-Gesteira, M. (2013). Influence of upwelling events on the estuaries of the north-western coast of the Iberian Peninsula. *Marine and Freshwater Research*, 64(12), 1123–1134. <https://doi.org/10.1071/MF12298>
- Bang, N. D. (1973). Characteristics of an intense ocean frontal system in the upwell regime west of Cape Town. *Tellus*, 25(3), 256–265. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v25i3.9659>
- Belkin, I. M., Cornillon, P. C., & Sherman, K. (2009). Fronts in Large Marine Ecosystems. *Progress in Oceanography*, 81(1–4), 223–236. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.04.015>
- Belkin, I. M., & O'Reilly, J. E. (2009). An algorithm for oceanic front detection in chlorophyll and SST satellite imagery. *Journal of Marine Systems*, 78(3), 319–326. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.11.018>
- Benta, A. A. R. C. e A. da. (2007). *Aspectos do Comportamento* [ { ^ & é } ã & [ Á à æÁ Ø [ ! { æ8 è  
 CE' \* ã | æ• Á à Universidade de Aveiro
- Bentao, Z., Biao, C., & Guoxing, G. (2010). Research on the Spaceborne SAR Image Processing and Feature Extraction for Ocean Fronts Detection. *CCTAE 2010 - 2010 International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering*, 2(1), 473–476. <https://doi.org/10.1109/CCTAE.2010.5544849>
- Caetano, M. (2007). *Sebentas de Detecção Remota*. Universidade Nova de Lisboa - ISEGI, 168.
- Canny, J. (1986). A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 679–698. <https://doi.org/10.1109/ASICON.2011.6157287>
- Castelao, R. M., Mavor, T. P., Barth, J. A., & Breaker, L. C. (2006). Sea surface temperature fronts in the California Current System from geostationary satellite observations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(9), 1–13. <https://doi.org/10.1029/2006JC003541>
- Cayula, J.-F., & Cornillon, P. (1995). Multi-Image Edge Detection for SST Images. In *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* (Vol. 12, Issue 4, pp. 821–829). [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1995\)012<0821:miedfs>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1995)012<0821:miedfs>2.0.co;2)
- Cayula, J. F., & Cornillon, P. (1992). Edge detection algorithm for SST images. In *Journal of Atmospheric & Oceanic Technology* (Vol. 9, Issue 1, pp. 67–80). [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1992\)009<0067:EDAFSI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1992)009<0067:EDAFSI>2.0.CO;2)
- Chen, J., Sun, J., & Yang, J. (2008). Typical ocean features detection in SAR images. *2008 International Workshop on Education Technology and Training and 2008 International Workshop on Geoscience and Remote Sensing, ETT and GRS 2008*, 2(1), 425–428. <https://doi.org/10.1109/ETTandGRS.2008.198>
- Cromwell, T., & Reid Jr., J. L. (1956). A Study of Oceanic Fronts. *Tellus*, 8(1), 94–101. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v8i1.8947>
- Dias, J. M., & Fernandes, E. H. (2006). Tidal and subtidal propagation in two atlantic estuaries: Patos Lagoon (Brazil) and Ria de Aveiro Lagoon (Portugal). *Journal of Coastal Research*, 39 SPEC. ISSUE, 1422–1426.
- Dillon, T., Wu, C., & Chang, E. (2010). Cloud computing: Issues and challenges. *Proceedings - International Conference on Advanced Information Networking and Applications, AINA*, 27–33. <https://doi.org/10.1109/AINA.2010.187>
- Ferreira Óscar, Dias João Alveirinho, & Andrade César Freire de. (1993). *Caracterização dos principais factores condicionantes do balanço sedimentar e da evolução da linha de costa entre Aveiro e o Cabo Mondego [Texto policopiado] [[s.n.]].* <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,shib,uid&db=cat00942>



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- a&AN=sibul.000309811&site=eds-live&scope=site
- Garvine, R. W. (1974). Dynamics of Small-Scale Oceanic Fronts. In *Journal of Physical Oceanography* (Vol. 4, Issue 4, pp. 557–569). [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1974\)004<0557:dossof>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1974)004<0557:dossof>2.0.co;2)
- Geudtner, D., Torres, R., Snoeij, P., Bibby, D., & Rommen, B. (2014). SENTINEL-1 SYSTEM CAPABILITIES AND APPLICATIONS. 1–3. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2014.6946711>
- Gomes, A. A. T. (2008). *Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral entre Espinho e Águeda*. Universidade do Porto.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hetland, R. D., & Hsu, T. J. (2013). Freshwater and sediment dispersal in large river plumes. In T. S. Bianchi, M. A. Allison, & W.-J. Cai (Eds.), *Biogeochemical Dynamics at Major River-Coastal Interfaces: Linkages with Global Change* (pp. 55–85). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139136853.006>
- Ihlen, V. (2019). Landsat 8 Data Users Handbook. *U.S. Geological Survey*, 114. <https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>
- Klemas, V. (2012). Remote Sensing of Coastal Plumes and Ocean Fronts: Overview and Case Study. *Journal of Coastal Research*, 278, 1–7. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-11-00025.1>
- Kuang, H. L., Perrie, W., Xie, T., Zhang, B., & Chen, W. (2012). Retrievals of sea surface temperature fronts from SAR imagery. *Geophysical Research Letters*, 39(10), 1–7. <https://doi.org/10.1029/2012GL051288>
- Largier, J. L. (1992). Tidal intrusion fronts. *Estuaries*, 15(1), 26–39. <https://doi.org/10.2307/1352707>
- Li, C., Li, X., Zhang, G., Boswell, K. M., Kimball, M. E., Shen, D., & Lin, J. (2017). Estuarine Plume: A Case Study by Satellite SAR Observations and In Situ Measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(4), 2276–2287. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2641161>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). Remote Sensing and Image Interpretation. In *Wiley* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Lira, C., Amorim, A., Silva, A. N., & Taborda, R. (2016). *Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite*.
- Lopes, J. F., & Dias, J. M. (2007). Residual circulation and sediment distribution in the Ria de Aveiro lagoon, Portugal. *Journal of Marine Systems*, 68(3–4), 507–528. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.02.005>
- Mantas, V. M., Pereira, A. J. S. C., & Marques, J. C. (2019). Partitioning the ocean using dense time series of Earth Observation data. Regions and natural boundaries in the Western Iberian Peninsula. *Ecological Indicators*, 103(November 2018), 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.045>
- Martins, C. A. F. B. (2012). *Á Ó æ ! i æ Á â æ Á Š æ \* ~ } æ Á â ^ Á Ç ç ^ ã ! [ Á } [ Á Û ...& ~ | [ Á* *Antrópica na Dinâmica Lagunar*. Universidade do Porto.
- Martins, I., Moreira, M., Luiz, L., Laut, M., Virgínia, M., Martins, A., Sobrinho, F., Fontana, L. F., Fernandes, A., Pinto, D. S., Miranda, P., Pereira, E., & Graciano, J. (2015). *Impacto Da Poluição E Qualidade De Matéria Orgânica Nas Assembleias ( Totais ) De Foraminíferos - Ria De*. 32–46.
- O'Donnell, J. (1993). Û ~ ! ~ æ & ^ Á Ø ! [ } c • Á ã } Á 10(1)ç12–29. ã ^ • K Á Ç Á Û ^ ç ã ^ ,
- Oliveira de Sousa, A. M., & Marques da Silva, J. R. (2011). Fundamentos Teóricos de Detecção

Remota. *Universidade de Évora - Departamento de Engenharia Rural*, 57.

- Reddy, M. A. (2008). Remote Sensing and Geographic Information Systems. In *Field Informatics* (pp. 1–20). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-29006-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29006-0_1)
- Rees, W. G. (2012). Physical Principles of Remote Sensing, 3rd Edition. In *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1201/9780429506482-2>
- Relvas, P., Barton, E. D., Dubert, J., Oliveira, P. B., Peliz, Á., da Silva, J. C. B., & Santos, A. M. P. (2007). Physical oceanography of the western Iberia ecosystem: Latest views and challenges. *Progress in Oceanography*, 74(2–3), 149–173. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2007.04.021>
- Ribeiro, L. T., & Gamito, T. M. (2012). Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis Integrados na Região Hidrográfica 4. In *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas do Vouga, Mondego e Lis integradas na Região Hidrográfica 4*. [https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportaldocs/Planos/PGRH4/RB%5CParte2%5C1.Caracterizacao\\_Geral%5C1.3\\_Geologica%5Crh4\\_p2\\_s1\\_3\\_rt\\_final.pdf](https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportaldocs/Planos/PGRH4/RB%5CParte2%5C1.Caracterizacao_Geral%5C1.3_Geologica%5Crh4_p2_s1_3_rt_final.pdf)
- Rosa, T. L., Barata, A., Cabaço, J. G., & Teles, M. (2011). Intervenções de Dragagem na Barra de Aveiro (Portugal) e de Protecção da Zona Costeira a Sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 12(1), 57–78. <https://doi.org/10.5894/rgci286>
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., C.E., W., Allen, R. G., Anderson, M. C., Helder, D., Irons, J. R., Johnson, D. M., Kennedy, R., Scambos, T. A., Schaaf, C. B., Schott, J. R., Sheng, Y., Vermote, E. F., Belward, A. S., Bindschadler, R., Cohen, W. B., Gao, F., ... Zhu, Z. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154–172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
- Silva, P., Ramos, M., Almeida, M., & Dubert, J. (2004). Water exchange mechanisms between Ria de Aveiro and the Atlantic Ocean. *Journal of Coastal Research*, SI 39(39), 1622–1626.
- Torres, R., Snoeij, P., Geudtner, D., Bibby, D., Davidson, M., Attema, E., Potin, P., Rommen, B. Ö., Floury, N., Brown, M., Traver, I. N., Deghaye, P., Duesmann, B., Rosich, B., Miranda, N., Bruno, C., L'Abbate, M., Croci, R., Pietropaolo, A., ... Rostan, F. (2012). GMES Sentinel-1 mission. *Remote Sensing of Environment*, 120, 9–24. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.028>
- Ullman, D. S., & Cornillon, P. C. (1999). Satellite-derived sea surface temperature fronts on the continental shelf off the northeast U.S. coast. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104.
- Vaz, N., & Dias, J. M. (2008). Hydrographic characterization of an estuarine tidal channel. *Journal of Marine Systems*, 70(1–2), 168–181. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.05.002>
- <https://cosmo.apambiente.pt>, acedido em 15/08/2020.
- ESRI 2019. ArcGIS Desktop: Release 10.7.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.



## **ANEXOS**



Anexo I - Base de dados (Path 205; Row 32)

Tabela A 1

2017		2018	
LANDSAT 8 (Path 205; Row32)	SENTINEL-1A	LANDSAT 8 (Path 205; Row32)	SENTINEL-1A
<b>13/jan</b>	1/jan	16/jan	8/jan
29/jan	<b>13/jan</b>	<b>1/fev</b>	20/jan
14/fev	25/jan	17/fev	<b>1/fev</b>
<b>2/mar</b>	6/fev	5/mar	13/fev
18/mar	18/fev	<b>21/mar</b>	25/fev
3/abr	<b>2/mar</b>	6/abr	9/mar
<b>19/abr</b>	14/mar	22/abr	<b>21/mar</b>
5/mai	26/mar	<b>8/mai</b>	2/abr
21/mai	7/abr	24/mai	14/abr
<b>6/jun</b>	<b>19/abr</b>	9/jun	26/abr
22/jun	1/mai	<b>25/jun</b>	<b>8/mai</b>
8/jul	13/mai	11/jul	20/mai
<b>24/jul</b>	25/mai	27/jul	1/jun
9/ago	<b>6/jun</b>	<b>12/ago</b>	13/jun
25/ago	18/jun	28/ago	<b>25/jun</b>
<b>10/set</b>	30/jun	13/set	7/jul
26/set	12/jul	<b>29/set</b>	19/jul
12/out	<b>24/jul</b>	15/out	31/jul
<b>28/out</b>	5/ago	31/out	<b>12/ago</b>
13/nov	17/ago	<b>16/nov</b>	24/ago
29/nov	29/ago	2/dez	5/set
<b>15/dez</b>	<b>10/set</b>	18/dez	17/set
31/dez	22/set		<b>29/set</b>
	4/out		11/out
	16/out		23/out
	<b>28/out</b>		4/nov
	9/nov		<b>16/nov</b>
	21/nov		28/nov
	3/dez		10/dez
	<b>15/dez</b>		22/dez
	27/dez		

Additional Criteria	Additional Criteria	<b><u>Imagens selecionadas</u></b>
Scene Cloud Cover less than 10%	Scene Cloud Cover less than 20%	

Tabela A 2

2019		2020	
LANDSAT 8 (Path 205; Row32)	SENTINEL-1A	LANDSAT 8 (Path 205; Row32)	SENTINEL-1A
<b>3/jan</b>	<b>3/jan</b>	6/jan	10/jan
19/jan	15/jan	<b>22/jan</b>	<b>22/jan</b>
4/fev	27/jan	7/fev	3/fev
<b>20/fev</b>	8/fev	<b>23/fev</b>	15/fev
8/mar	<b>20/fev</b>	<b>10/mar</b>	27/fev
<b>24/mar</b>	4/mar	26/mar	<b>10/mar</b>
<b>9/abr</b>	16/mar	11/abr	22/mar
25/abr	28/mar	<b>27/abr</b>	3/abr
<b>11/mai</b>	<b>9/abr</b>	13/mai	15/abr
<b>27/mai</b>	21/abr	<b>29/mai</b>	<b>27/abr</b>
12/jun	3/mai	<b>14/jun</b>	9/mai
<b>28/jun</b>	15/mai	30/jun	21/mai
<b>14/jul</b>	<b>27/mai</b>		2/jun
<b>30/jul</b>	8/jun		<b>14/jun</b>
<b>15/ago</b>	20/jun		26/jun
<b>31/ago</b>	2/jul		
16/set	<b>14/jul</b>		
2/out	26/jul		
<b>18/out</b>	7/ago		
3/nov	19/ago		
19/nov	<b>31/ago</b>		
<b>5/dez</b>	12/set		
21/dez	24/set		
	6/out		
	<b>18/out</b>		
	30/out		
	11/nov		
	23/nov		
	<b>5/dez</b>		
	17/dez		
	29/dez		

Additional Criteria	Additional Criteria	<b><u>Imagens selecionadas</u></b>
Scene Cloud Cover less than 10%	Scene Cloud Cover less than 20%	

Anexo II - Base de dados (Path 204; Row 32)

Tabela A 3

2017		2018	
LANDSAT 8 (Path 204; Row32)	SENTINEL-1B	LANDSAT 8 (Path 204; Row32)	SENTINEL-1B
6/jan	2/jan	9/jan	9/jan
22/jan	14/jan	25/jan	21/jan
7/fev	26/jan	10/fev	2/fev
23/fev	7/fev	26/fev	14/fev
11/mar	19/fev	14/mar	26/fev
27/mar	3/mar	30/mar	10/mar
12/abr	15/mar	15/abr	22/mar
28/abr	27/mar	1/mai	3/abr
14/mai	8/abr	17/mai	15/abr
30/mai	20/abr	2/jun	27/abr
15/jun	2/mai	18/jun	9/mai
1/jul	14/mai	4/jul	21/mai
17/jul	26/mai	20/jul	2/jun
2/ago	7/jun	5/ago	14/jun
18/ago	19/jun	21/ago	26/jun
3/set	1/jul	6/set	8/jul
19/set	13/jul	22/set	20/jul
5/out	25/jul	8/out	1/ago
21/out	6/ago	24/out	13/ago
6/nov	18/ago	9/nov	25/ago
22/nov	30/ago	25/nov	6/set
8/dez	11/set	11/dez	18/set
24/dez	23/set	27/dez	30/set
	5/out		12/out
	17/out		24/out
	29/out		5/nov
	10/nov		17/nov
	22/nov		29/nov
	4/dez		11/dez
	16/dez		23/dez
	28/dez		

Additional Criteria	Additional Criteria	<b><u>Imagens selecionadas</u></b>
Scene Cloud Cover less than 10%	Scene Cloud Cover less than 20%	



Tabela A 4

2019		2020	
LANDSAT 8 (Path 204; Row32)	SENTINEL-1B	LANDSAT 8 (Path 204; Row32)	SENTINEL-1B
12/jan	4/jan	15/jan	11/jan
28/jan	16/jan	31/jan	23/jan
13/fev	28/jan	16/fev	4/fev
1/mar	9/fev	3/mar	16/fev
17/mar	21/fev	19/mar	28/fev
2/abr	5/mar	4/abr	11/mar
18/abr	17/mar	20/abr	23/mar
4/mai	29/mar	6/mai	4/abr
20/mai	10/abr	22/mai	16/abr
5/jun	22/abr	7/jun	28/abr
21/jun	4/mai	23/jun	10/mai
7/jul	16/mai		22/mai
23/jul	28/mai		3/jun
8/ago	9/jun		15/jun
24/ago	21/jun		
9/set	3/jul		
25/set	15/jul		
11/out	27/jul		
27/out	8/ago		
12/nov	20/ago		
28/nov	1/set		
14/dez	13/set		
30/dez	25/set		
	7/out		
	19/out		
	31/out		
	12/nov		
	24/nov		
	6/dez		
	18/dez		
	30/dez		

Additional Criteria	Additional Criteria	<b><u>Imagens selecionadas</u></b>
Scene Cloud Cover less than 10%	Scene Cloud Cover less than 20%	

**Anexo III** - Tabela de marés para as datas selecionadas (Fonte: Instituto Hidrográfico)

**Tabela A 5**

	<b>Data e hora</b>	<b>Altura</b>	<b>Condição</b>
<b>2017</b>	06/06/2017 02:01	2.9 m	Preia-mar
	06/06/2017 07:57	1.0 m	Baixa-mar
	06/06/2017 14:24	3.0 m	Preia-mar
	06/06/2017 20:16	1.1 m	Baixa-mar
	24/07/2017 04:35	3.4 m	Preia-mar
	24/07/2017 10:16	0.5 m	Baixa-mar
	24/07/2017 16:56	3.6 m	Preia-mar
	24/07/2017 22:49	0.4 m	Baixa-mar
	10/09/2017 06:31	3.2 m	Preia-mar
	10/09/2017 12:16	0.7 m	Baixa-mar
	10/09/2017 18:53	3.3 m	Preia-mar
	11/09/2017 00:40	0.7 m	Baixa-mar
<b>2018</b>	21/03/2018 05:30	3.3 m	Preia-mar
	21/03/2018 11:15	0.7 m	Baixa-mar
	21/03/2018 17:48	3.2 m	Preia-mar
	21/03/2018 23:35	0.8 m	Baixa-mar
	24/10/2018 03:40	3.2 m	Preia-mar
	24/10/2018 09:24	0.7 m	Baixa-mar
	24/10/2018 15:56	3.3 m	Preia-mar
	24/10/2018 17:45	-	Lua cheia
24/10/2018 21:42	0.6 m	Baixa-mar	
<b>2019</b>	04/05/2019 03:43	3.2 m	Preia-mar
	04/05/2019 09:29	0.7 m	Baixa-mar
	04/05/2019 16:02	3.2 m	Preia-mar
	04/05/2019 21:47	0.8 m	Baixa-mar
	04/05/2019 23:45	-	Lua nova
	30/12/2019 05:37	3.1 m	Preia-mar
	30/12/2019 11:34	0.9 m	Baixa-mar
	30/12/2019 17:57	2.8 m	Preia-mar
30/12/2019 23:41	1.1 m	Baixa-mar	
<b>2020</b>	22/05/2020 03:49	3.1 m	Preia-mar
	22/05/2020 09:34	0.8 m	Baixa-mar
	22/05/2020 16:07	3.2 m	Preia-mar
	22/05/2020 18:39	-	Lua nova
	22/05/2020 21:56	0.9 m	Baixa-mar

**Anexo IV** - Levantamento topo-hidrográfico Praia de São Jacinto - Praia da Gafanha da Boa Hora (S16/AC2), Escala 1/75 000 (Fonte: Programa Cosmo)



**Figura A 1**

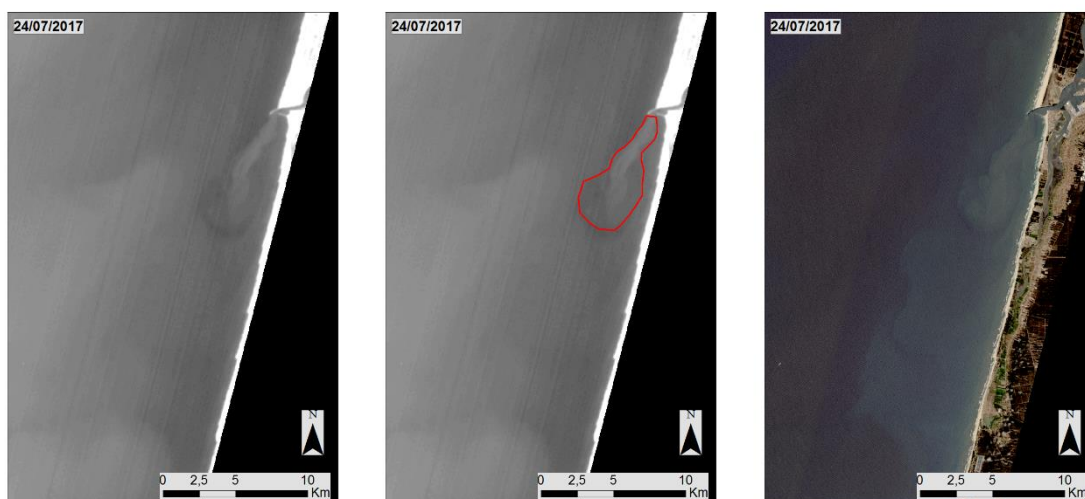
**Anexo V** - Características das estações hidrográficas (Fonte: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos)**Tabela A 6**

<b>Código</b>	10G/02H	09G/01H
<b>Estação</b>	Ponte Águeda	Ponte Vale Maior
<b>Altitude (m)</b>	12	32
<b>Latitude (°N)</b>	40.571	40.693
<b>Longitude (°W)</b>	-8.448	-8.461
<b>Coord_X (m)</b>	173374.642	172263.473
<b>Coord_Y (m)</b>	400272.633	413867.791
<b>Bacia</b>	Vouga/Ribeiras Costeiras	Vouga/Ribeiras Costeiras
<b>Rio</b>	Rio Águeda	Rio Caima
<b>Entidade Responsável</b>	Autoridade Nacional da Água	Autoridade Nacional da Água
<b>Tipo de estação (automática)</b>	Sensor de nível	Sensor de nível
<b>Parâmetro</b>	Caudal médio diário	Caudal médio diário
	Escoamento mensal	Escoamento mensal
<b>Unidade</b>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
	dam <sup>3</sup>	dam <sup>3</sup>
<b>Data início</b>	13/01/1997	20/03/2015
	13/01/1997	01/10/2019
<b>Data final</b>	12/07/2020	02/05/2020
	20/03/2015	01/09/2018

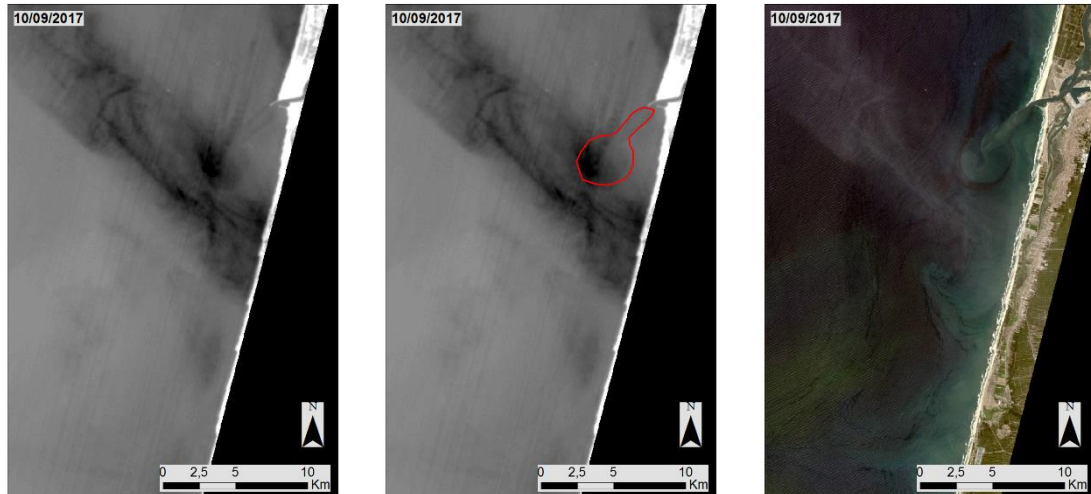
**Anexo VI - Cartografia da pluma nas diferentes datas selecionadas, Escala 1/125 000**



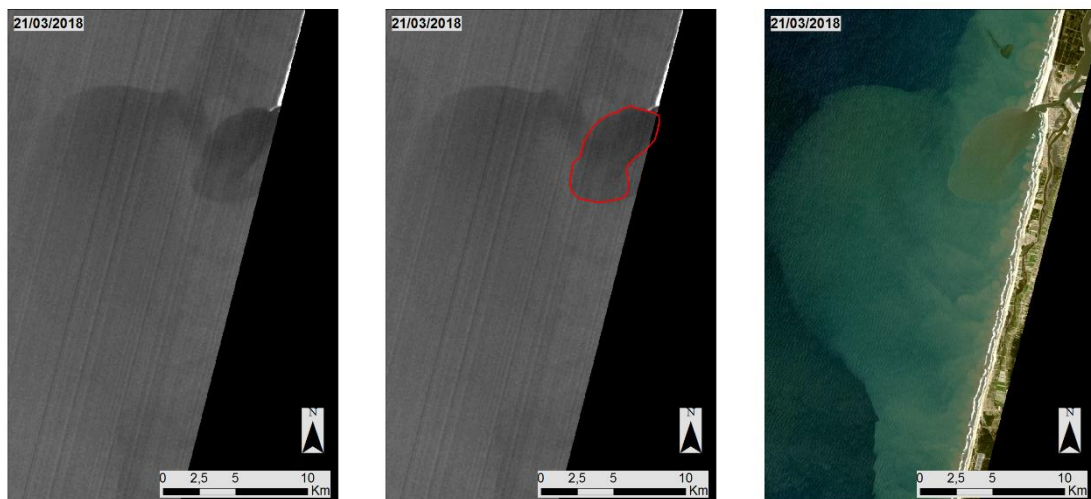
*Figura A 2. 06 de junho de 2017*



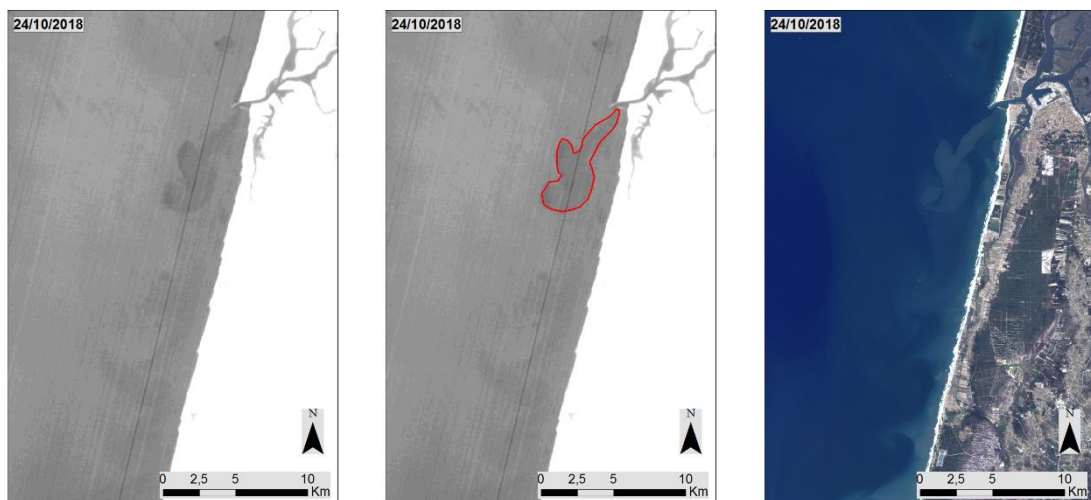
*Figura A 3. 24 de julho de 2017*



**Figura A 4.** 10 de setembro de 2017



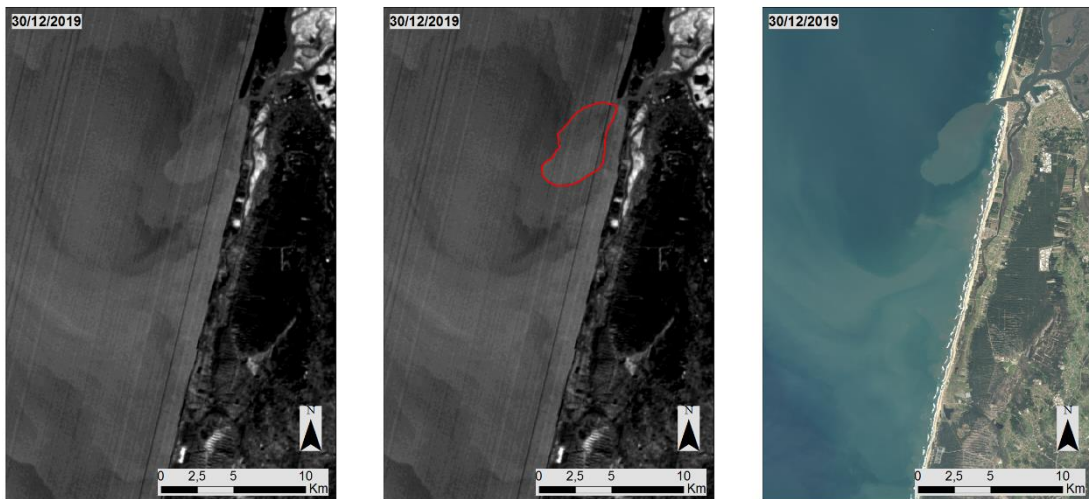
**Figura A 5.** 21 de março de 2018



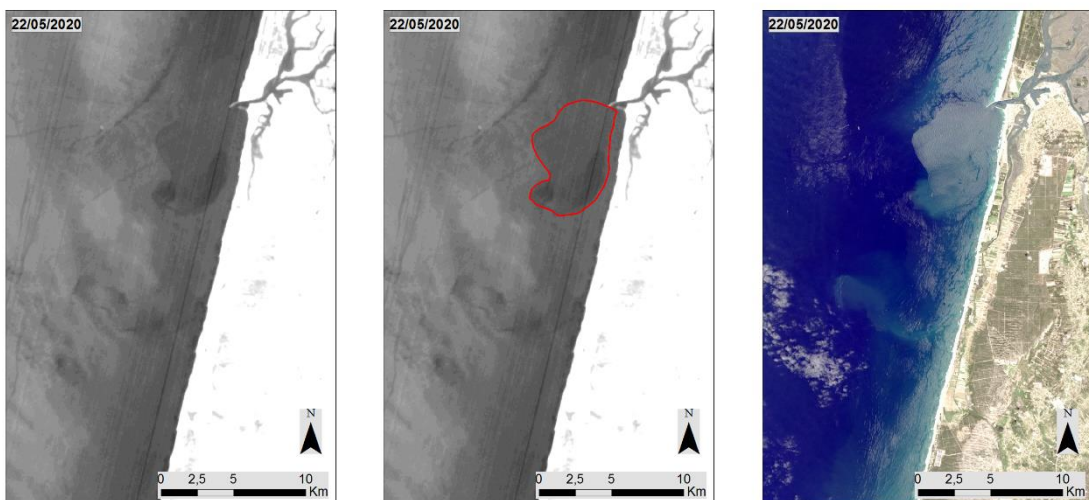
**Figura A 6.** 24 de outubro de 2018



*Figura A 7. 04 de maio de 2019*



*Figura A 8. 30 de dezembro de 2019*



*Figura A 9. 22 de maio de 2020*

**Anexo VII** – Código-fonte Google Earth Engine™

```

“var collection = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')
    .select(['B10'])
    .filter(ee.Filter.eq('WRS_PATH', 205))
    .filter(ee.Filter.eq('WRS_ROW', 32))
    .filterDate('2019-01-01', '2019-01-30')

var vizParamsThermal = {
    bands: ['B10'],
    min: 284,
    max: 288,
    gamma: [0.5]
};

var vizParamsThermalSmoothed = {
    min: 284,
    max: 288,
    gamma: [0.5]
};

print(collection);
Map.addLayer(collection, vizParamsThermal, 'LS8 Thermal');

var collection1 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')
    .select(['B4','B3','B2'])
    .filter(ee.Filter.eq('WRS_PATH', 205))
    .filter(ee.Filter.eq('WRS_ROW', 32))
    .filterDate('2019-01-01', '2019-01-30')

var vizParams1 = {
    bands: ['B4','B3','B2'],
    min: -0.2118766419330117,
    max: 0.4462544244056965,
    gamma: [0.5]
};

print(collection1);
Map.addLayer(collection1, vizParams1, 'RGB');

var image = collection.toBands();
var boxcar = ee.Kernel.square({
    radius: 3, units: 'pixels', normalize: true
});

var smooth = image.convolve(boxcar);

Map.addLayer(smooth, vizParamsThermalSmoothed, 'filtered');

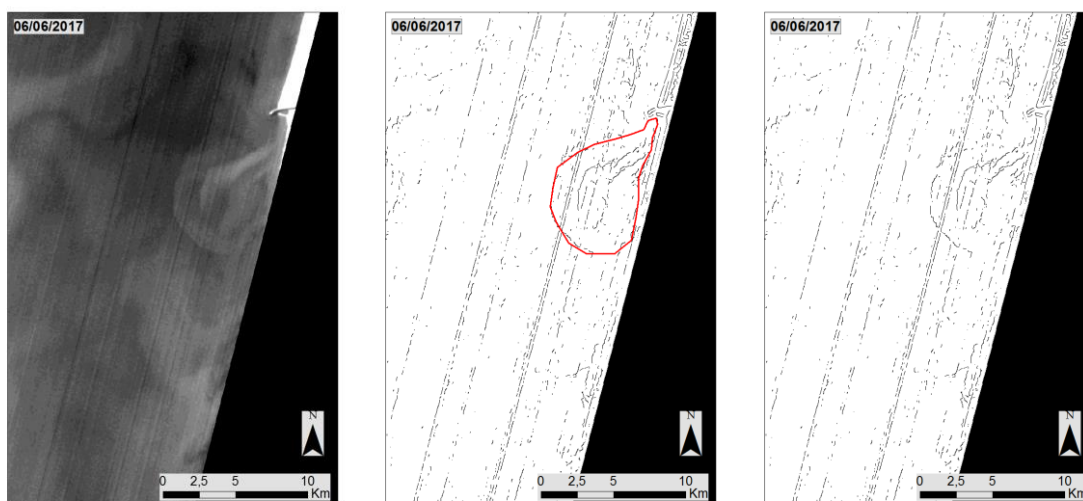
var canny = ee.Algorithms.CannyEdgeDetector(smooth, 0.2, 0.5);
Map.addLayer(canny, {}, 'canny');

var geometry = ee.Geometry.Rectangle([-10, 39.5, -8.0, 41.35]);”

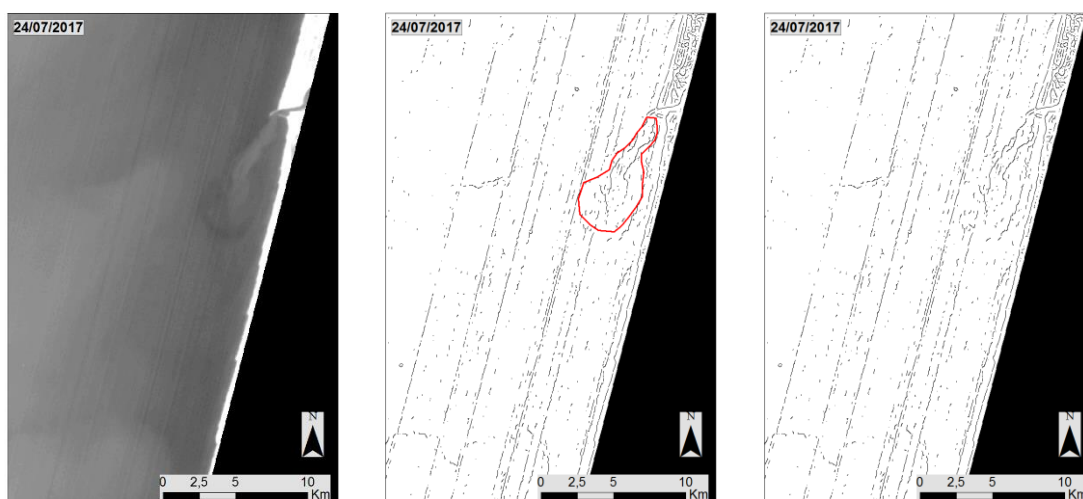
```



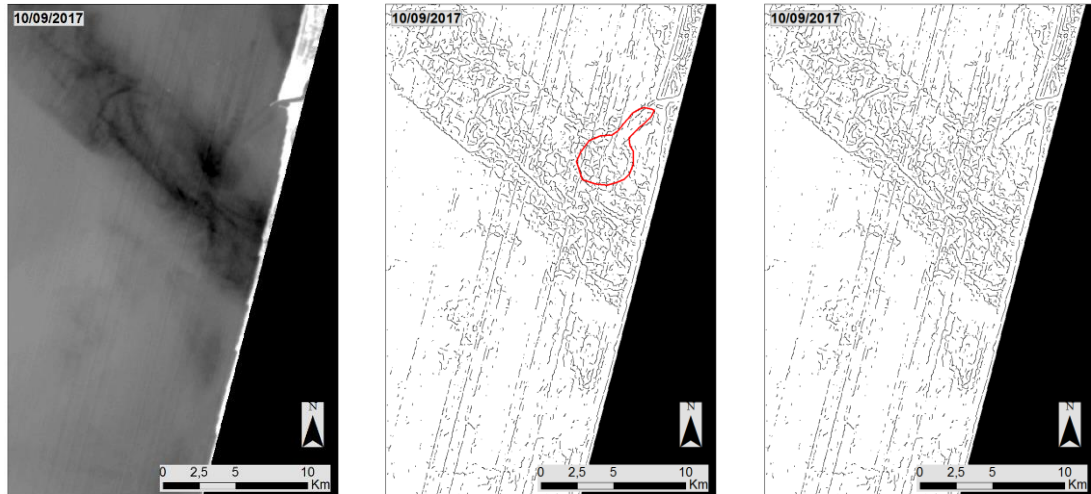
**Anexo VIII** - Cartografia da pluma nas diferentes datas selecionadas através do método Canny Edge, Escala 1/125 000



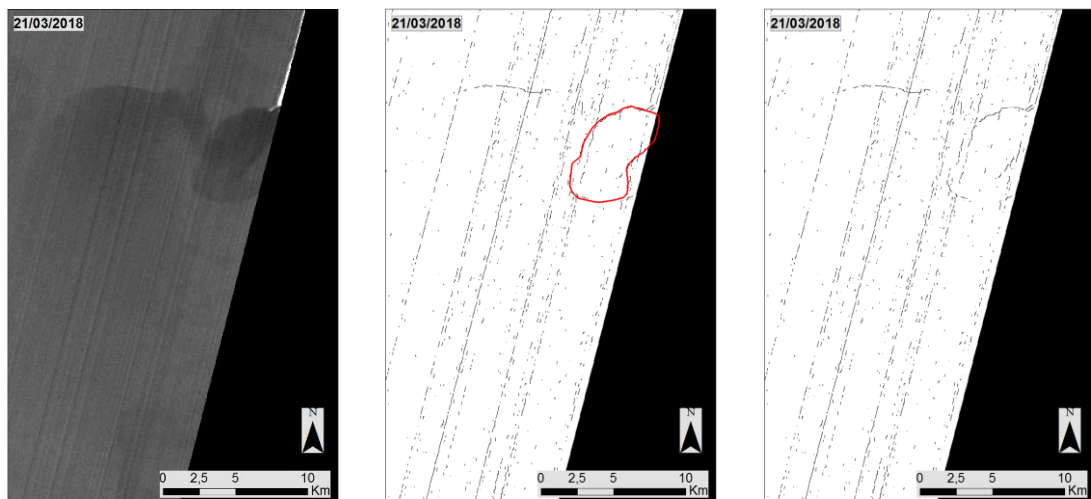
**Figura A 10.** 06 de junho de 2017



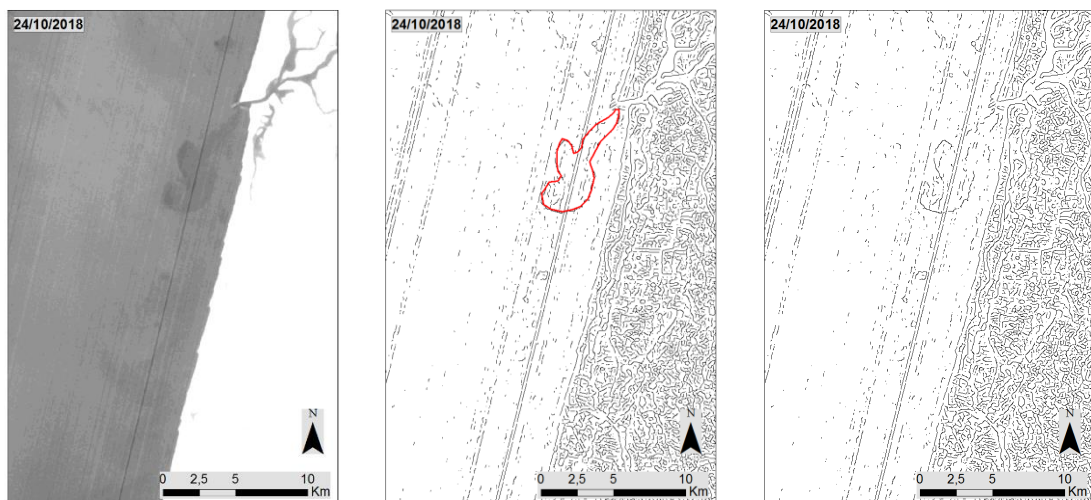
**Figura A 11.** 24 de julho de 2017



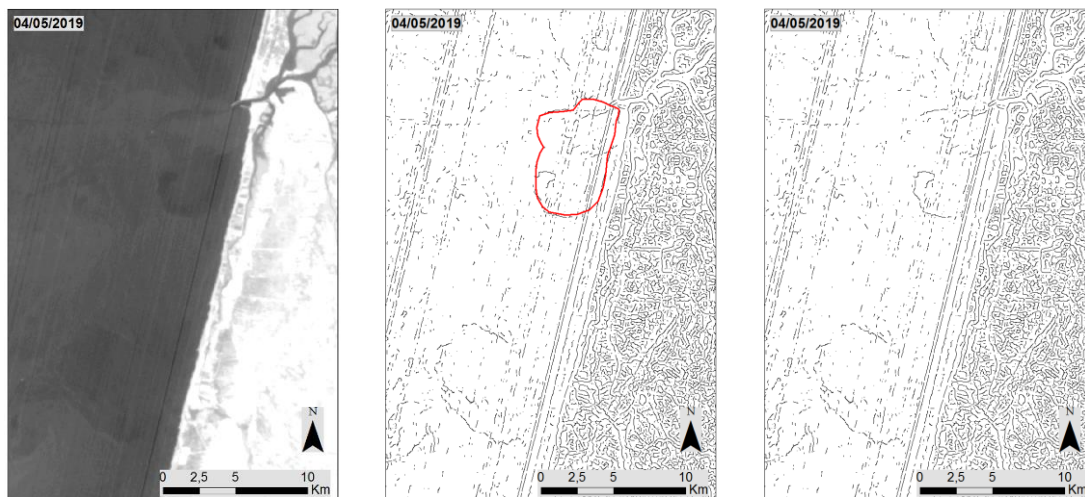
**Figura A 12.** 10 de setembro de 2017



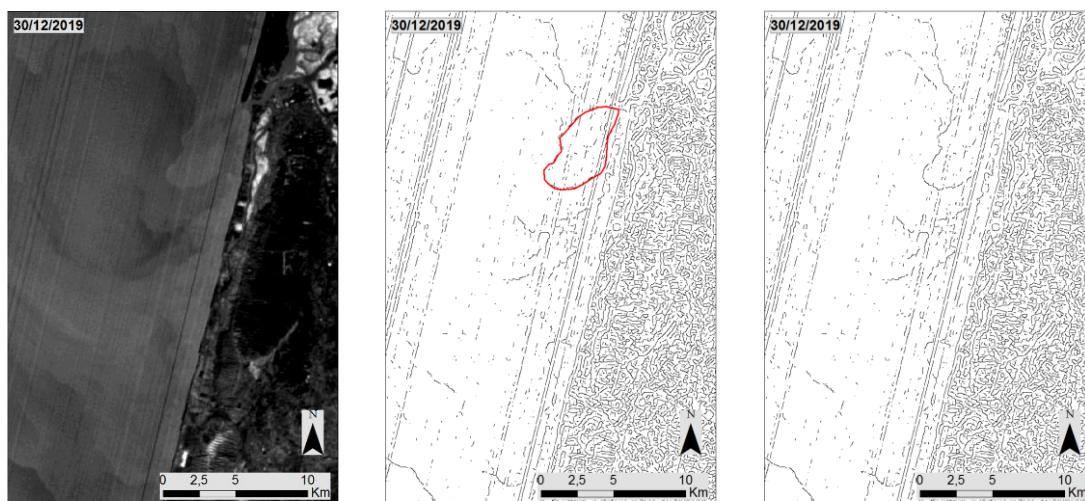
**Figura A 13.** 21 de março de 2018



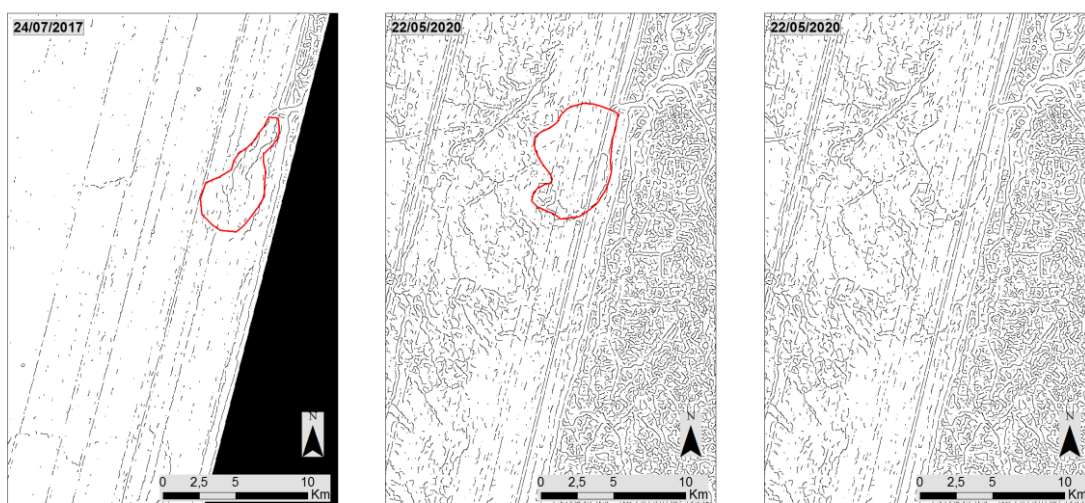
**Figura A 14.** 24 de outubro de 2018



**Figura A 15.** 04 de maio de 2019



**Figura A 16.** 30 de dezembro de 2019



**Figura A 17.** 22 de maio de 2020

