

**FLÁVIO DE ABREU TEIXEIRA**

**ANÁLISE RELATIVA DA HUMIDADE DISPONÍVEL À SUPERFÍCIE  
NO CONCELHO DE LAGOA POR DETECÇÃO REMOTA  
MULTIESPECTRAL  
PROJETO**

**Mestrado em Geomática  
(Especialidade em SIG)**

**Trabalho efetuado sob a orientação de:  
Dr. Gonçalo Nuno Delgado Prates**



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
2020



# **Análise relativa da humidade disponível à superfície no Concelho de Lagoa por deteção remota multiespectral**

## **Declaração de autoria de trabalho**

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

“Copyright” – Flávio de Abreu Teixeira, UALG, FCT

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.



A Deus, pela fé que me tem mantido no caminho certo e honesto do trabalho e estudo.

À minha família pelo apoio incondicional, compreensão e paciência ao longo desta etapa

*Las naciones marchan hacia su grandeza al mismo paso que avanza su educación.*

*Simón Bolívar*



## **Agradecimentos**

Queria agradecer à minha família por ter-me dado as condições para a obtenção de um curso superior, a ajuda e apoios dados ao longo de todo o meu percurso académico.

À minha namorada Vânia, pela sua boa disposição e compreensão, especialmente quando sacrificava dias, noites, feriados e fins de semana em prol da realização deste projeto.

Ao meu amigo José Nabiça, um sincero agradecimento por aconselhar-me ao longo da minha jornada.

Ao meu orientador, o professor Gonçalo Prates, pelo facto de ter aceitado o desafio de orientar-me durante a realização do meu Projeto.

À Faculdade de Ciências e Tecnologia e ao Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve pelos conhecimentos que adquiri.

Deixo os meus agradecimentos ao Município de Lagoa, por toda a informação disponibilizada, nas pessoas do Sr. Presidente e Vice-presidente, Luís Encarnação e Anabela Simão, respetivamente.



## **Resumo**

A água é fundamental para sustentar a vida na Terra, sendo usada para consumo, produção de alimentos, atividades industriais e outros. Este recurso vital está sob pressão de uma população crescente, distribuição desigual de recursos e impactos das mudanças climáticas, estando a agricultura entre os setores mais vulneráveis. A utilização das novas tecnologias aliadas à investigação científica, poderão ajudar a desenvolver metodologias de observação e monitorização, que ajudem a evitar o desperdício do valioso recurso hídrico.

O projeto desenvolvido teve essencialmente por objeto a recolha, processamento e análise de imagens de radar do satélite Sentinel-1 (SAR), que permitam visualizar mensalmente a evolução da humidade relativa do solo, tanto nas margens de enchente de bacias hidrográficas como em campos agrícolas, assim como o efeito da alteração do coberto vegetal, em particular após grandes incêndios, no período entre fevereiro 2016 e fevereiro 2019.

A área de estudo centrou-se no Concelho de Lagoa, abrangendo ainda parte da bacia hidrográfica do rio Arade e algumas zonas em redor, de modo a ser possível observar e analisar os diversos fenómenos que pudessem surgir, decorrentes do processamento dos dados.

Na ausência de uma estratégia de processamento consensual, foi necessário adotar uma desenhada com base em conceitos teóricos, após sendo avaliada a coerência dos resultados.

Com a análise pretendeu-se avaliar a sensibilidade do sistema SAR, em relação à água e a humidade. Para isso foi dado enfoque à prática dos agricultores do Concelho de Lagoa, no que respeita ao uso da água nas culturas de arroz, nas diferentes épocas do ano, observando também a suscetibilidade do sistema quanto à variação no nível de água das albufeiras, o efeito das marés e após grandes incêndios. Para apresentação dos resultados, foi desenvolvido um sistema de Websig, com ferramentas 100% código aberto, como Postgresql, Postgis, Geoserver, Node.js e OpenLayers3.

**PALAVRAS-CHAVE:** Deteção Remota, Radar de Abertura Sintética, SAR, SNAP, Websig.



## **Abstract**

Water is essential to sustain life on Earth, used for consumption, food production, industrial activities and others. This vital resource is under pressure from a growing population, unequal distribution of resources and impacts of climate change, with agriculture being among the most vulnerable sectors. The use of new technologies combined with scientific research, may help to develop methodologies for observation and monitoring, which help to avoid wasting valuable water resources.

The project developed is essentially aimed at the collection, processing and analysis of radar images from the Sentinel-1 satellite (SAR), which allow the visualization of the evolution of the relative moisture of the soil on a monthly basis, at the margins of hydrographic basins and in agricultural fields, as well as the effect of changing the vegetation cover, particularly after major fires, in the period between February 2016 and February 2019.

The study area focused on the Municipality of Lagoa, also covering part of the hydrographic basin of the Arade River and some surrounding areas, in order to be able to observe and analyze the various phenomena that could arise, resulting from the data processing.

In the absence of a consensual processing strategy, it was necessary to adopt a design based on theoretical concepts, after evaluating the coherence of the results.

The analysis was intended to evaluate the sensitivity of the SAR system, in relation to water and moisture. To this end, a focus was given to the practice of farmers in the Municipality of Lagoa, with regard to the use of water in rice crops, at different times of the year, also observing the susceptibility of the system to the variation of the water level of reservoirs, the effect of the tides and after big fires. To present the results, a Websig system was developed, with 100% open source tools, such as Postgresql, Postgis, Geoserver, Node.js and OpenLayers3.

**KEYWORDS:** Remote Sensing, Synthetic Aperture Radar, SAR, SNAP, Websig.



## **ÍNDICE GERAL**

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT.....	v
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Enquadramento da área de estudo .....	16
1.1.1 Concelho de Lagoa .....	16
a) Planos Municipais de Ordenamento do Território.....	17
b) Planta de Ordenamento - Concelho de Lagoa .....	18
c) Planta de Condicionantes - Concelho de Lagoa .....	18
d) Reserva Agrícola Nacional .....	19
e) Reserva Ecológica Nacional .....	20
1.2 Agricultura e sistemas de rega .....	21
1.2.1 Canais de rega.....	22
1.2.2 Humidade do Solo .....	23
1.2.3 Rega .....	23
1.2.4 Bacia do Arade .....	24
1.2.5 Aproveitamento Hidroagrícola de Silves, Lagoa e Portimão .....	25
1.2.6 Consumos e Perdas .....	25
1.3 Deteção remota na agricultura.....	26
1.4 Disponibilidade Hídrica para o Concelho .....	27
1.4.1 Precipitação e Clima .....	27
a) Ano 2016.....	28
b) Ano 2017.....	29
c) Ano 2018.....	30
1.4.2 Capacidade das barragens.....	31
1.5 Objetivos e motivação .....	32
1.6 Estrutura do Projeto.....	32
<b>2 CONCEITOS TEÓRICOS .....</b>	<b>34</b>

2.1	Deteção Remota .....	34
2.2	Satélites, Programa Copernicus e Família Sentinel .....	35
2.3	Sensores e Espectro eletromagnético .....	37
2.4	Scanner multiespectral .....	39
2.5	Receção, transmissão e processamento de dados .....	42
2.6	Resolução .....	42
2.6.1	Resolução Espacial .....	42
2.6.2	Resolução Espectral .....	43
2.6.3	Resolução Radiométrica .....	44
2.6.4	Resolução Temporal .....	44
2.7	Distorção geométrica nas imagens .....	45
2.8	Radares de Abertura Sintética (SAR).....	46
2.8.1	Geometria do radar .....	48
2.8.2	Polarização no radar .....	49
2.8.3	Calibração radiométrica.....	51
2.8.4	Resolução de Azimute .....	52
2.8.5	Efeitos da rugosidade do solo .....	52
2.8.6	Efeitos da água no alvo .....	53
2.8.7	Efeitos da vegetação .....	54
2.8.8	Efeitos da polarização do SAR.....	54
2.8.9	Efeitos do ambiente envolvente.....	55
2.8.10	Efeitos do ruído.....	56
2.8.11	Efeito das configurações do SAR.....	56
2.8.12	Meio físico e retro-reflexão em imagens SAR .....	58
2.9	Metodologia de Processamento SAR/SNAP.....	59
2.9.1	Adquisição de dados .....	59
2.9.2	Processamento de dados .....	62
a)	Pré-processamento .....	63
b)	Corregistro .....	64
c)	Corte das imagens.....	65

d) Diferença entre imagens .....	66
e) Exportação .....	67
2.10 Implementação duma plataforma SIG para disponibilização dos dados.....	67
3 RESULTADOS E ANÁLISE .....	69
3.1 Análise da variação da humidade relativa (2016-2018) - Concelho de Lagoa ..	69
3.1.1 Ano 2016 .....	70
3.1.2 Ano 2017 .....	83
3.1.3 Ano 2018 .....	96
4 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES .....	109
5 BIBLIOGRAFIA.....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Área de estudo .....	16
Figura 1.2 - Concelho de Lagoa .....	17
Figura 1.3 - Concelho de Lagoa - Área Agrícola .....	18
Figura 1.4 - Concelho de Lagoa - RAN.....	19
Figura 1.5 - Concelho de Lagoa - REN .....	20
Figura 1.6 - Bacia do Arade.....	24
Figura 1.7 - Concelho de Lagoa - Perímetro de Rega .....	26
Figura 1.8 - Boletim Climatológico Anual Portugal Continental Ano 2016.....	28
Figura 1.9 - Boletim Climatológico Anual Portugal Continental Ano 2017.....	29
Figura 1.10 - Boletim Climatológico Anual Portugal Continental Ano 2018.....	30
Figura 1.11 - Capacidade das Barragens % .....	31
Figura 2.1 - Diagrama Sistema de Deteção Remota.....	35
Figura 2.2 - Espetro Eletromagnético.....	38
Figura 2.3 - Componentes da onda.....	38
Figura 2.4 - SAR.....	39
Figura 2.5 - Across-track .....	40
Figura 2.6 - Along-track .....	41
Figura 2.7 - IFOV .....	43

Figura 2.8 - Distorção das imagens .....	46
Figura 2.9 - Sistema Radar .....	48
Figura 2.10 - Geometria SAR.....	49
Figura 2.11 - Polarização da onda .....	50
Figura 2.12 - Retrodifusão Beta, Sigma e Gama.....	51
Figura 2.13 - SAR.....	52
Figura 2.14 - Marsabit, Quénia.....	55
Figura 2.15 - Masai Mara, Quénia.....	55
Figura 2.16 - Repositório NASA.....	59
Figura 2.17 - Software SNAP.....	62
Figura 2.18 - Pré-processamento Gama .....	64
Figura 2.19 - Corregisto .....	65
Figura 2.20 - Corte das imagens.....	66
Figura 2.21 - Diferença entre imagens .....	66
Figura 2.22 - Exportação .....	67
Figura 2.23 - Plataforma SIG .....	68
Figura 3.1 - Concelho de Lagoa - Arrozaís - Zona c/ Risco de Inundação .....	69
Figura 3.2 - VV-08-03-2016-06:35:05 .....	71
Figura 3.3 - VH-08-03-2016-06:35:05 .....	71
Figura 3.4 - VV-25-04-2016-06:35:04 .....	72
Figura 3.5 - VH-25-04-2016-06:35:04 .....	72
Figura 3.6 - VV-19-05-2016-06:35:03 .....	73
Figura 3.7 - VH-19-05-2016-06:35:03 .....	73
Figura 3.8 - VV-12-06-2016-06:35:04 .....	74
Figura 3.9 - VH-12-06-2016-06:35:04 .....	74
Figura 3.10 - VV-06-07-2016-06:35:05 .....	75
Figura 3.11 - VH-06-07-2016-06:35:05 .....	75
Figura 3.12 - VV-11-08-2016-06:35:07.....	76
Figura 3.13 - VH-11-08-2016-06:35:07 .....	76
Figura 3.14 - VV-04-09-2016-06:35:08.....	77
Figura 3.15 - VH-04-09-2016-06:35:08.....	77
Figura 3.16 - VV-10-10-2016-06:35:09.....	78
Figura 3.17 - VH-10-10-2016-06:35:09.....	78

Figura 3.18 - VV-15-11-2016-06:35:09 .....	79
Figura 3.19 - VH-15-11-2016-06:35:09 .....	79
Figura 3.20 - VV-09-12-2016-06:35:08 .....	80
Figura 3.21 - VH-09-12-2016-06:35:08 .....	80
Figura 3.22 - VV-02-01-2017-06:35:06 .....	81
Figura 3.23 - VH-02-01-2017-06:35:06 .....	81
Figura 3.24 - VV-07-02-2017-06:35:05 .....	82
Figura 3.25 - VH-07-02-2017-06:35:05 .....	82
Figura 3.26 - VV-03-03-2017-06:35:05 .....	84
Figura 3.27 - VH-03-03-2017-06:35:05 .....	84
Figura 3.28 - VV-08-04-2017-06:35:06 .....	85
Figura 3.29 - VH-08-04-2017-06:35:06 .....	85
Figura 3.30 - VV-02-05-2017-06:35:07 .....	86
Figura 3.31 - VH-02-05-2017-06:35:07 .....	86
Figura 3.32 - VV-07-06-2017-06:35:10 .....	87
Figura 3.33 - VH-07-06-2017-06:35:10 .....	87
Figura 3.34 - VV-01-07-2017-06:35:11 .....	88
Figura 3.35 - VH-01-07-2017-06:35:11 .....	88
Figura 3.36 - VV-06-08-2017-06:35:13 .....	89
Figura 3.37 - VH-06-08-2017-06:35:13 .....	89
Figura 3.38 - VV-11-09-2017-06:35:15 .....	90
Figura 3.39 - VH-11-09-2017-06:35:15 .....	90
Figura 3.40 - VV-05-10-2017-06:35:16 .....	91
Figura 3.41 - VH-05-10-2017-06:35:16 .....	91
Figura 3.42 - VV-10-11-2017-06:35:15 .....	92
Figura 3.43 - VH-10-11-2017-06:35:15 .....	92
Figura 3.44 - VV-04-12-2017-06:35:15 .....	93
Figura 3.45 - VH-04-12-2017-06:35:15 .....	93
Figura 3.46 - VV-09-01-2018-06:35:13 .....	94
Figura 3.47 - VH-09-01-2018-06:35:13 .....	94
Figura 3.48 - VV-02-02-2018-06:35:13 .....	95
Figura 3.49 - VH-02-02-2018-06:35:13 .....	95
Figura 3.50 - VV-10-03-2018-06:35:12 .....	97

Figura 3.51 - VH-10-03-2018-06:35:12 .....	97
Figura 3.52 - VV-03-04-2018-06:35:13 .....	98
Figura 3.53 - VH-03-04-2018-06:35:13 .....	98
Figura 3.54 - VV-09-05-2018-06:35:14 .....	99
Figura 3.55 - VH-09-05-2018-06:35:14 .....	99
Figura 3.56 - VV-14-06-2018-06:35:17 .....	100
Figura 3.57 - VH-14-06-2018-06:35:17 .....	100
Figura 3.58 - VV-08-07-2018-06:35:18 .....	101
Figura 3.59 - VH-08-07-2018-06:35:18 .....	101
Figura 3.60 - VV-01-08-2018-06:35:19 .....	102
Figura 3.61 - VH-01-08-2018-06:35:19 .....	102
Figura 3.62 - VV-06-09-2018-06:35:22 .....	103
Figura 3.63 - VH-06-09-2018-06:35:22 .....	103
Figura 3.64 - VV-12-10-2018-06:35:22 .....	104
Figura 3.65 - VH-12-10-2018-06:35:22 .....	104
Figura 3.66 - VV-05-11-2018-06:35:22 .....	105
Figura 3.67 - VH-05-11-2018-06:35:22 .....	105
Figura 3.68 - VV-11-12-2018-06:35:21 .....	106
Figura 3.69 - VH-11-12-2018-06:35:21 .....	106
Figura 3.70 - VV-16-01-2019-06:35:20 .....	107
Figura 3.71 - VH-16-01-2019-06:35:20 .....	107
Figura 3.72 - VV-09-02-2019-06:35:19 .....	108
Figura 3.73 - VH-09-02-2019-06:35:19 .....	108
Figura 4.1 - Bloco de Lagoa - Obra de modernização.....	111
Figura 4.2 - Arrozal seco - 03/2017.....	112
Figura 4.3 - Arrozal alagado - 05/2017 .....	112
Figura 4.4 - Incêndio de Monchique 03/2018 .....	112
Figura 4.5 - Setembro de 2018 - Polarização VH.....	113
Figura 4.6 - Setembro de 2018 - Polarização VV.....	113
Figura 4.7 - Novembro de 2018 - Polarização VV .....	114
Figura 4.8 - Efeito das marés.....	115
Figura 4.9 - Barragem do Arade - 11/2017 .....	115
Figura 4.10 - Barragem do Arade - 04/2018 .....	115

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1.1 - Área infraestruturada para rega - 2018.....	21
Tabela 1.2 - Precipitação mensal registada para o período de estudo .....	28
Tabela 1.3 - Capacidade das Barragens.....	31
Tabela 2.1 - Meio físico e retro-reflexão.....	58
Tabela 2.2 - Produtos Adquiridos do repositório da NASA – Ano 2016.....	60
Tabela 2.3 - Produtos Adquiridos do repositório da NASA – Ano 2017.....	60
Tabela 2.4 - Produtos Adquiridos do repositório da NASA – Ano 2018.....	61
Tabela 2.5 - Produtos Adquiridos do repositório da NASA – Ano 2019.....	61
Tabela 2.6 - Pré-processamento Gama.....	63
Tabela 2.7 - Corregisto.....	64
Tabela 2.8 - Spatial Subset from View.....	65
Tabela 3.1 - Análise entre março de 2016 e fevereiro de 2017.....	70
Tabela 3.2 - Análise entre março de 2017 e fevereiro de 2018.....	83
Tabela 3.3 - Análise entre março de 2018 e fevereiro de 2019.....	96

## **SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

CAOP	- Carta Administrativa Oficial de Portugal
CE	- Comissão Europeia
CIGeoE	- Centro de Informação Geospacial do Exército
DGADR	- Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural
DGT	- Direção-Geral do Território
EN	- Estrada Nacional
ER	- Estrada Regional
ESA	- European Space Agency
FENAREG	- Federação Nacional de Regantes
Ha	- Hectare
IFOV	- Instantaneous Field of View
IPMA	- Instituto Português do Mar e da Atmosfera
LOS	- Line of Sight
MSS	- Multispectral Scanner System
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
PDM	- Plano Diretor Municipal
PMOT	- Planos Municipais de Ordenamento do Território
PP	- Planos de Pormenor
PROT	- Programas Regionais de Ordenamento do Território
PU	- Planos de Urbanização
RADAR	- Radio Detection And Ranging
RAN	- Reserva Agrícola Nacional
RBG	- Red-Blue-Green
REN	- Reserva Ecológica Nacional
SAR	- Synthetic Aperture Radar
SNAP	- Sentinel Application Platform
SNIRH	- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
STEP	- Science Toolbox Exploitation Platform
TDRSS	- Tracking and Data Relay Satellite System

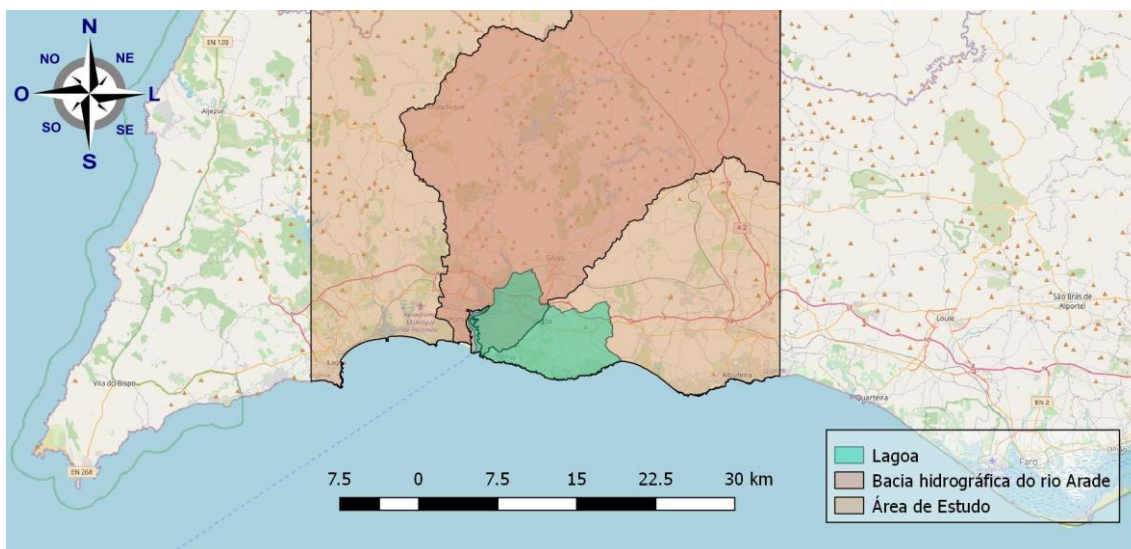
# 1 INTRODUÇÃO

A seca pode ser classificada como um fenómeno climático severo que tem impacto na sociedade, em várias escalas. Começa regularmente com um período de chuva escassa que, à medida que se vai tornando mais severo, vai intensificando os seus efeitos, especialmente os impactos diretos à atividade produtiva a nível nacional, onde os setores mais afetados são os da agricultura e hídricos, avançando depois para todo o alcance socioeconómico.

O Município de Lagoa, tal como outros municípios portugueses, contempla nos seus instrumentos de gestão territorial grandes áreas de interesse agrícola. Com a observação das imagens de satélite, disponibilizadas num Websig, mais a colaboração dos técnicos em ações de sensibilização, podemos impelir os agricultores no sentido de gerir com maior eficiência os seus sistemas de rega, otimizando a utilização de água, especialmente em períodos de seca, quando a água é limitada.

## 1.1 Enquadramento da área de estudo

Foi escolhida uma área de estudo ampla, centrada no Concelho de Lagoa, mas abrangendo parte da bacia hidrográfica do rio Arade e zonas em redor, de modo a ser possível observar e analisar os diversos fenômenos que possam surgir, decorrentes do processamento dos dados.



*Figura 1.1 - Área de estudo*

*Fonte: elaboração própria com base em dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e da Direção-Geral do Território (DGT)*

*URLs: <https://snirh.apambiente.pt> e <http://www.dgterritorio.pt/>*

### 1.1.1 Concelho de Lagoa

O Concelho de Lagoa pertence ao distrito de Faro, região do Algarve, comporta uma área aproximada 8825.45 ha e é constituído por quatro freguesias, União das freguesias Lagoa/Carvoeiro 3913.2 ha, Porches 1564.06 ha, União das freguesias Estômbar/ Parchal 2807 ha e Ferragudo 540.95 ha (CAOP 2016).

Destaca-se ainda uma forte relação de fronteira com o Oceano Atlântico e uma confrontação com os concelhos de Portimão e Silves situados a Poente e Norte, respetivamente.

Lagoa é essencialmente um concelho caracterizado por núcleos residenciais, constituídos por habitação, comércio e serviços, mas a sua área é maioritariamente de carácter rural. A interligação funcional com os concelhos limítrofes é estruturada por dois eixos

importantes que atravessam a cidade longitudinalmente, a EN125 que a divide e mais a norte a A22 e EN124-1 que faz fronteira e ligação com Silves (Santos & Araújo, 2001).

Geomorfologicamente, o concelho de Lagoa caracteriza-se por uma superfície aplanada de ligeira inclinação em direção ao Oceano e ao Rio Arade, sendo a altitude média de 37m e a máxima na ordem dos 102m. A relação com o Rio Arade enquanto recurso natural é de extrema importância, assim como as ribeiras do Barranco do Vale da Vila, Vale Formoso e de Ferragudo (Santos & Araújo, 2001).

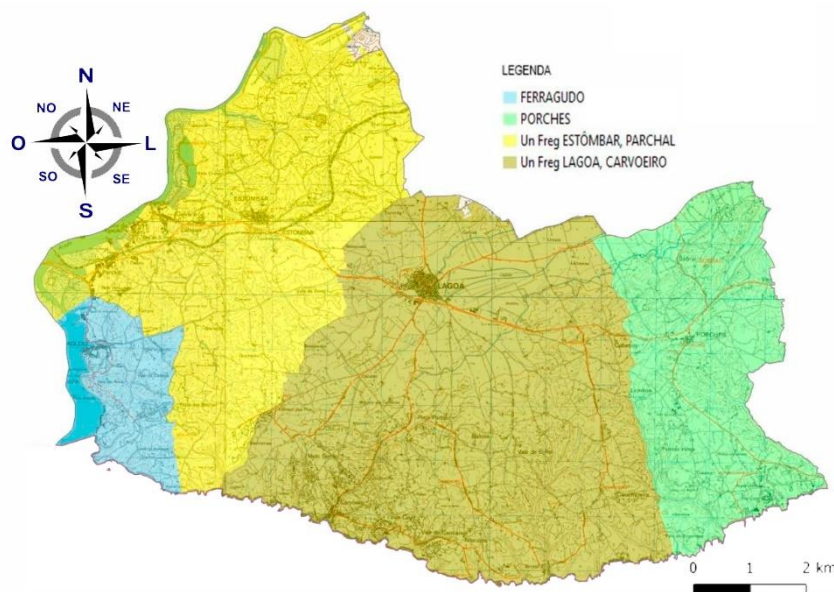


Figura 1.2 - Concelho de Lagoa

Fonte: elaboração própria com base em cartas do Centro de Informação Geoespacial do Exército (CIGeoE)

#### a) Planos Municipais de Ordenamento do Território

Os Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT) são instrumentos regulamentares, que estabelecem o regime do uso do solo, através da sua classificação e qualificação, seguindo as diretrizes estabelecidas pelo Programa Nacional de Ordenamento do Território (PNOT) e pelos Planos Regionais de Ordenamento do Território (PROT) e planos intermunicipais, no caso de existirem (Câmara Municipal do Porto, 2014).

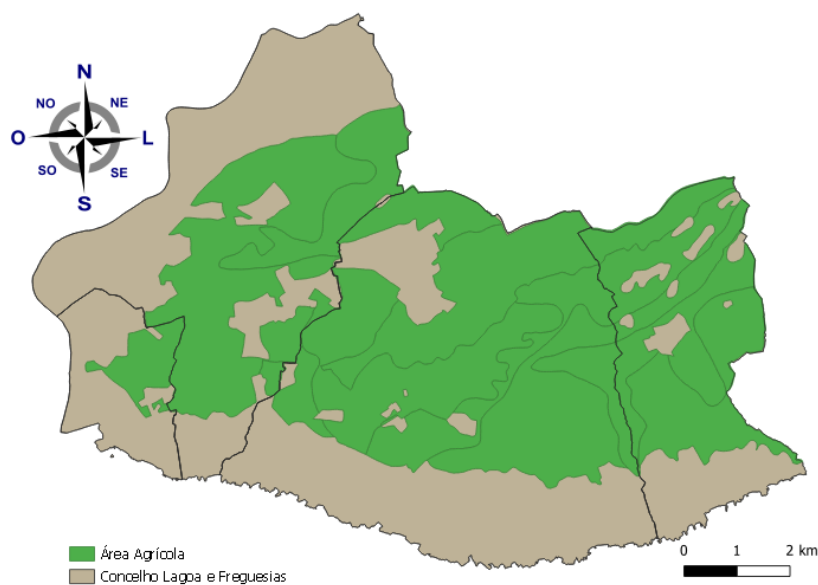
Existem três tipos de PMOT: Plano Diretor Municipal (PDM), Plano de Urbanização (PU) e Plano de Pormenor (PP). O principal objetivo destes instrumentos é a qualificação

do território, de acordo com o desenvolvimento sustentável, de modo a contribuir para a qualidade de vida dos cidadãos, bem como para o desenvolvimento económico e social.

O PDM é constituído pelo Regulamento, Planta de Ordenamento e Planta de Condicionantes.

#### *b) Planta de Ordenamento - Concelho de Lagoa*

A Planta de Ordenamento (PO) representa o modelo de organização espacial do território municipal, conforme definição constante na alínea b) do n.º 1 do artigo 97.º do Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT), aprovado pelo (Decreto-Lei nº 80/2015) de 14 de maio. No caso concreto do Município de Lagoa, a sua planta de ordenamento prevê grandes áreas classificadas de interesse agrícola ( $\cong 57\%$  da área total disponível).



*Figura 1.3 - Concelho de Lagoa - Área Agrícola*

*Fonte: elaboração própria com base em cartas da Câmara Municipal de Lagoa*

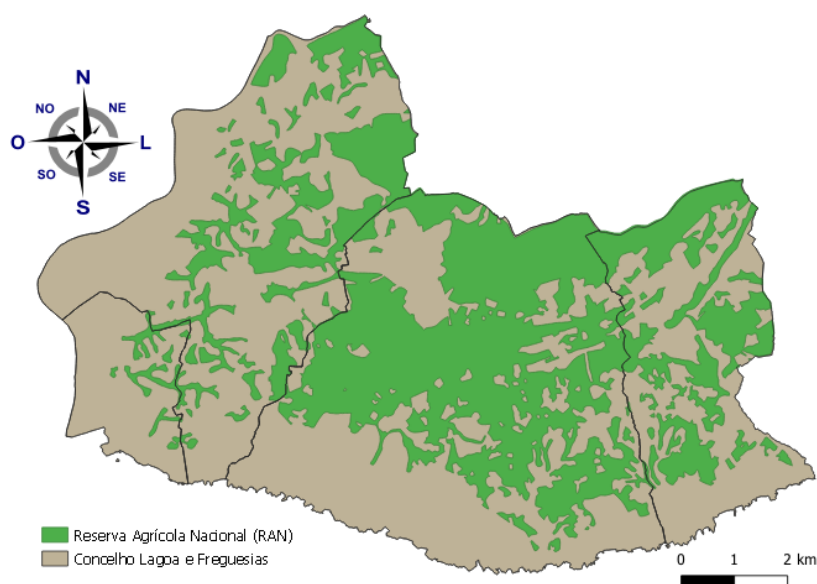
#### *c) Planta de Condicionantes - Concelho de Lagoa*

A Planta de Condicionantes identifica as servidões administrativas e as restrições de utilidade pública em vigor que possam constituir limitações ou impedimentos a qualquer forma específica de aproveitamento do solo, como previsto na alínea c) do n.º 1 do artigo 97.º do RJIGT.

#### *d) Reserva Agrícola Nacional*

A Reserva Agrícola Nacional (RAN) é o conjunto das áreas que apresentam maior aptidão para a atividade agrícola (Decreto-Lei nº 199/2015) de 16 de setembro. A RAN tem por objetivo proteger os solos que apresentam essa qualidade, restringindo a sua utilização para outros fins. Assim, segundo o artigo 4º desse regime jurídico, são objetivos da RAN:

- a) Proteger o recurso solo, como suporte do desenvolvimento da atividade agrícola;
- b) Contribuir para o desenvolvimento sustentável da atividade agrícola;
- c) Promover a competitividade dos territórios rurais e contribuir para o ordenamento do território;
- d) Contribuir para a preservação dos recursos naturais;
- e) Assegurar que a atual geração respeite os valores a preservar, permitindo uma diversidade e uma sustentabilidade de recursos;
- f) Contribuir para a conectividade e a coerência ecológica da Rede Fundamental de Conservação da Natureza;
- g) Adotar medidas cautelares de gestão com vista a perenidade do recurso «solo».



*Figura 1.4 - Concelho de Lagoa - RAN*

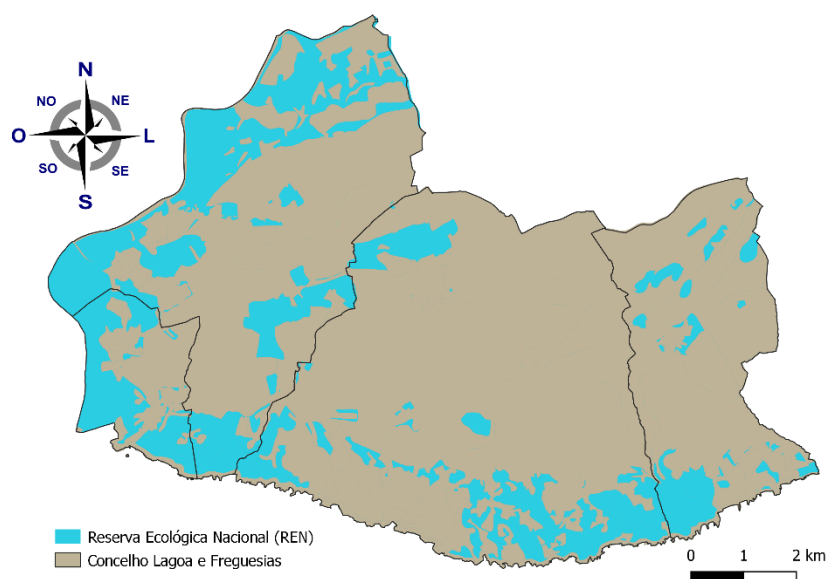
*Fonte: elaboração própria com base em cartas da Câmara Municipal de Lagoa*

*e) Reserva Ecológica Nacional*

A Reserva Ecológica Nacional (REN) é uma estrutura biofísica que integra o conjunto das áreas que, pelo valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e suscetibilidade perante riscos naturais, são objeto de proteção especial (Decreto-Lei nº 166/2008).

Assim, segundo o artigo 2º desse regime jurídico, são objetivos da REN:

- a) Proteger os recursos naturais água e solo, bem como salvaguardar sistemas e processos biofísicos associados ao litoral e ao ciclo hidrológico terrestre, que asseguram bens e serviços ambientais indispensáveis ao desenvolvimento das atividades humanas;
- b) Prevenir e reduzir os efeitos da degradação da recarga de aquíferos, dos riscos de inundação marítima, de cheias, de erosão hídrica do solo e de movimentos de massa em vertentes, contribuindo para a adaptação aos efeitos das alterações climáticas e acautelando a sustentabilidade ambiental e a segurança de pessoas e bens;
- c) Contribuir para a conectividade e a coerência ecológica da Rede Fundamental de Conservação da Natureza;
- d) Contribuir para a concretização, a nível nacional, das prioridades da Agenda Territorial da União Europeia nos domínios ecológico e da gestão transeuropeia de riscos naturais.



*Figura 1.5 - Concelho de Lagoa - REN*

*Fonte: elaboração própria com base em cartas da Câmara Municipal de Lagoa*

## 1.2 Agricultura e sistemas de rega

A agricultura é a atividade económica que mais consome recursos no mundo (banco mundial, 2019), pelo que é necessário desenvolver metodologias mais eficientes para prevenir a escassez de água, principalmente em regiões áridas e semiáridas.

A Agricultura de Precisão consiste em observar, medir e agir contra a variabilidade dos muitos fatores que afetam negativamente os cultivos, que podem estar associados ao tipo de solo, como a capacidade de armazenamento de água, o teor em nutrientes, o pH, ou a matéria orgânica. No entanto, existem outras que o não estão, como o declive, a exposição ao sol, ou a existência de pragas e/ou doenças, e que são igualmente responsáveis pela variabilidade da produtividade das culturas (Castro & Silva, 2020).

A eficiência da utilização da água disponível em cultivos agrícolas é um dos grandes problemas enfrentados pelos produtores rurais, nas diversas tipologias de infraestruturas para rega. A nível nacional, a perda de água no setor agrícola estima-se nos 35% (Agência Portuguesa do Ambiente).

Tipologia	Área	%
Regadios coletivos públicos	230.000 ha	39.7%
Regadios coletivos privados	50.000 ha	8.6%
Regadios individuais	300.000 ha	51.7%
TOTAL	580.000 ha	100%

*Tabela 1.1 - Área infraestruturada para rega - 2018*

*Fonte: Federação Nacional de Regantes de Portugal (FENAREG)*

*URL: [http://www.fenareg.pt/wp-content/uploads/Apresenta%C3%A7%C3%A3o\\_Estrategia-Regadio\\_15Nov.pdf](http://www.fenareg.pt/wp-content/uploads/Apresenta%C3%A7%C3%A3o_Estrategia-Regadio_15Nov.pdf)*

Nos regadios coletivos públicos, o uso eficiente da água está associado à redução das perdas verificadas, por um lado, no armazenamento, transporte e distribuição de água e, por outro lado, na aplicação da água no solo.

Segundo o Eng. José Pombo, Chefe da Divisão do Regadio da Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR), um aspeto positivo do regadio público resulta das economias de escala decorrentes da utilização conjunta das infraestruturas, propiciadora de um uso mais eficiente da água e da energia com consequente redução dos encargos com estes fatores de produção nas contas do regante. O Estado atribui a uma entidade gestora, de preferência representativa dos beneficiários, a conservação e exploração das infraestruturas de regadio público. Este modelo assegura a adequada

gestão das obras e garante que os encargos do sistema são partilhados proporcionalmente pelos regantes, mas sobretudo salvaguarda que o acesso à água se faz em condições de equidade.

Outra vantagem apelativa para o regante de aproveitamentos hidroagrícolas é a transferência da responsabilidade individual para o coletivo. De facto, neste caso, os equipamentos para a gestão da água são dotados de sistemas de alarme e segurança e objeto de contratos de manutenção, oferecendo melhores prestações e resolução de imprevistos, em contraponto às múltiplas situações com que o regante isolado se depara, de avaria ou furto dos sistemas bombagem, cada vez mais frequentes nas áreas rurais (Pombo, 2018).

Cabe destacar que, dos 230.000 ha de regadios públicos, cerca de 80.000 ha estão incluídos em aproveitamentos hidroagrícolas construídos antes de 1974, isto é, em obras de hidráulica com mais de 40 anos, muitas delas a necessitarem de reparações mais ou menos significativas, sendo que algumas, mais do que simples reparações, deverão configurar verdadeiras obras de modernização de todo ou parte do sistema de captação, armazenamento e distribuição de água (Fenareg, 2018).

### 1.2.1 Canais de rega

Foram obras de engenharia importantes, maioritariamente inseridas em regadios e aproveitamentos hidroagrícolas, projetadas para o desenvolvimento sustentável da agricultura, de modo a não provocar danos ao meio ambiente.

O principal objetivo dos canais de rega é o fornecimento de água a longas distâncias, de modo eficiente, maximizando a quantidade de água transportada. No entanto, devido a fatores como a infiltração e evaporação, costumam ocorrer perdas na ordem dos 35% a 40% (Ramirez, 2017).

Com vista a melhorar a eficiência e reduzir as perdas, os canais têm vindo a ser substituídos por redes de distribuição de água sob pressão, com os quais adquire-se a capacidade de poder controlar e medir a quantidade de água entregue a cada utilizador (Redagrícola, 2016).

### 1.2.2 Humidade do Solo

A água pode escoar rapidamente consoante o tipo de solo. Ao conhecer os níveis de humidade, o produtor pode regar somente quando for necessário. Deste modo pode evitar a ocorrência de doenças na plantação, decorrente da falta ou excesso de água aplicada no cultivo.

Ao conhecer quais as épocas de chuva ou seca e o modo em que aparecem problemas no cultivo ligados à temperatura, humidade relativa do ar, ventos ou chuvas e presença de água no solo, o agricultor fica mais preparado, podendo efetuar uma melhor gestão das atividades de manutenção e plantio.

### 1.2.3 Rega

Consiste no fornecimento controlado de água em quantidade suficiente, de modo a aumentar a produtividade do cultivo.

A rega é regulada pela:

- Exigência das plantas em termos de humidade;
- Capacidade de água que um determinado solo pode reter.

Embora Portugal seja um país com uma precipitação média anual da ordem dos 700 mm, a distribuição irregular gera problemas de escassez de água no período de abril a setembro, com particular incidência no sul e interior centro e norte (Direção Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural, 2019).

O desenvolvimento e melhoria de sistemas de rega na agricultura, baseados em sensores capazes de quantificar o teor de humidade no solo, regulando automaticamente o início e fim da rega, favoreceria o desenvolvimento de uma agricultura mais moderna e produtiva, tanto para o pequeno quanto para o grande produtor.

Na agricultura moderna, ao medir a humidade do solo e só regar em função das necessidades hídricas adicionais, protegem-se os recursos naturais da sobre-exploração, evitando-se desequilíbrios no ecossistema, que causam fenómenos como a desertificação ou a contaminação de águas subterrâneas (Rocha, 2014), reduzindo a necessidade de construção de novas barragens ou outras estruturas de armazenamento que garantam o abastecimento em períodos de escassez.

#### 1.2.4 Bacia do Arade

A Bacia do Arade é um curso de água formado pela junção das águas dos rios Odelouca e Silves, que descem da serra do Caldeirão. A bacia contempla um importante ecossistema de elevado valor ecológico, com um estuário de elevada biodiversidade e uma vasta panóplia de espécies de flora e fauna (ECOMIND - Consultadoria Ambiental, 2009), na qual podemos ainda encontrar uma conhecida espécie emblemática, o lince ibérico.

O rio Arade é o rio algarvio de maior caudal, depois do Guadiana. Alinha-se no contacto entre a serra xistenta e o barrocal calcário, na região de Silves e desagua numa enseada do Oceano Atlântico, em Portimão, entre as fortalezas de Santa Catarina e de S. João. Com os seus afluentes, ribeira de Boina, ribeira de Odelouca e ribeira de Arade, constitui o mais importante curso de água do Barlavento Algarvio. A sua albufeira fornece água para a rega e fins industriais e a sua bacia hidrográfica tem uma superfície de 980 Km<sup>2</sup>. (União das Freguesias Estômbar e Parchal, 2019).

A bacia do Arade sustenta as barragens do Arade, Funcho e Odelouca.

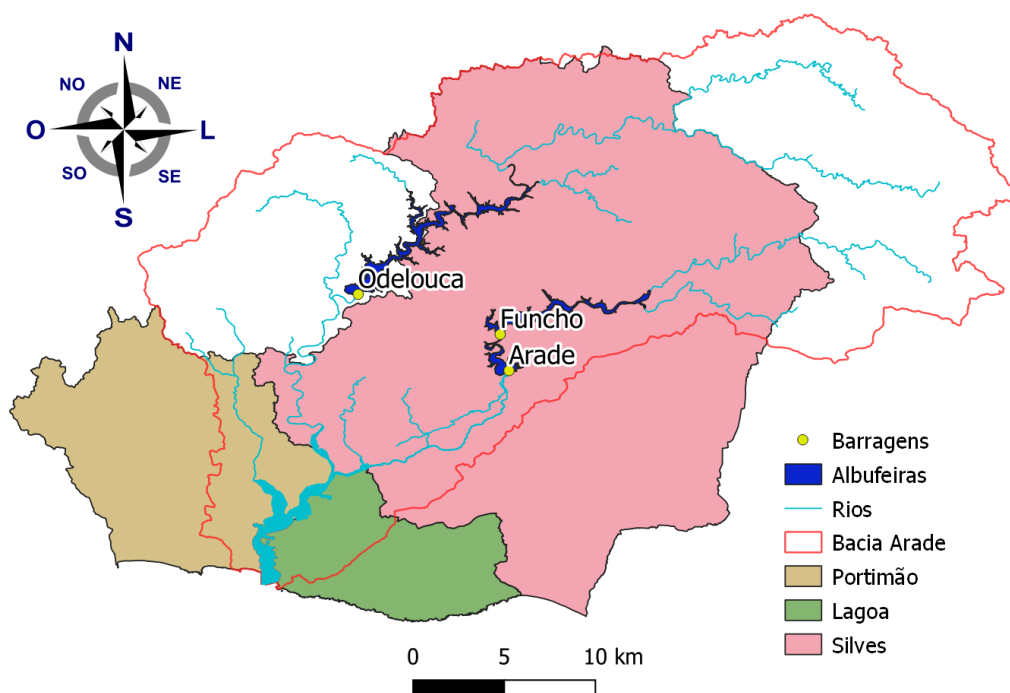


Figura 1.6 - Bacia do Arade

Fonte: Elaboração própria baseado em dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e da Direção-Geral do Território (DGT) URLs: <https://snirh.apambiente.pt> e <http://www.dgterritorio.pt/>

### 1.2.5 Aproveitamento Hidroagrícola de Silves, Lagoa e Portimão

O aproveitamento hidroagrícola de Silves, Lagoa e Portimão situa-se nas margens das ribeiras do Arade e de Odelouca. Segundo a resolução do Conselho de Ministros n.º 21/2014, a sua infraestrutura desenvolve-se nas freguesias de Silves e Alcantarilha, do concelho de Silves (1458 ha), nas freguesias de Porches, Lagoa, Carvoeiro e Estômbar, do concelho de Lagoa (704 ha), e na freguesia de Portimão do concelho com o mesmo nome (138 ha), todas no distrito de Faro.

A Barragem de Arade, domina a totalidade da área atualmente regada, ainda que com auxílio da elevação na Estação Elevatória de Mata Mouros, que eleva a partir do termo do canal de Silves para o distribuidor de Lagoa. As obras foram promovidas pela Junta Autónoma de Obras de Hidráulica Agrícola, entre 1944 a 1956, tendo sido transferida a exploração em 1959, para a Associação de Regantes e Beneficiários de Silves, Lagoa e Portimão (ARBSLP).

### 1.2.6 Consumos e Perdas

Segundo a Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve (DRAP), num ano normal de rega sem restrições utiliza-se cerca de 12.000.000 m<sup>3</sup> de água retirada da Barragem do Arade. A eficiência do sistema de rega, é cerca de 60%, o que corresponde a 4.800.000 m<sup>3</sup> perdidos no transporte da água desde a Barragem até ao agricultor.

Com o objetivo de economizar água, foi realizada uma obra de modernização no bloco de Silves, de modo a passar de um sistema de distribuição de água datado dos anos 50, em canais a céu aberto, com grandes perdas de água, para uma rega em conduta fechada com água sob pressão (Varela & Pires, 2015).

O bloco de Lagoa continua a operar com o sistema antigo de distribuição de água em canais a céu aberto. No dia 27/08/2018 foi celebrado um contrato para a realização de obras de modernização neste bloco, com prazo de execução de 670 dias (Base, 2018).

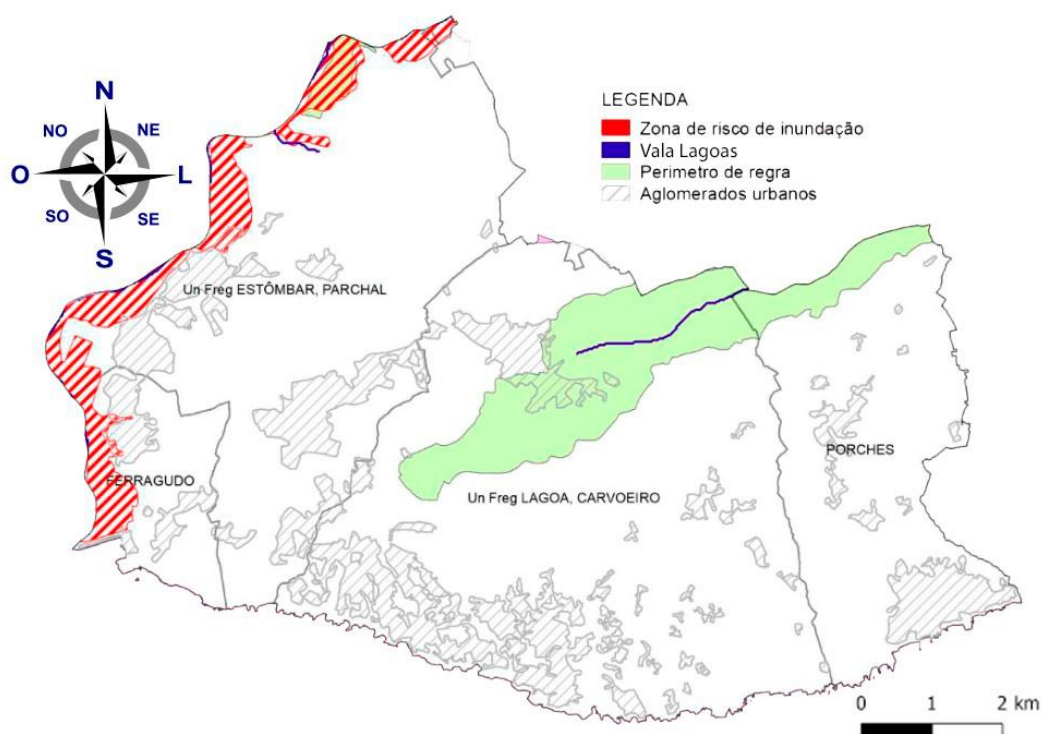


Figura 1.7 - Concelho de Lagoa - Perímetro de Rega

Fonte: elaboração própria com base em cartas da Câmara Municipal de Lagoa

### 1.3 Deteção remota na agricultura

Um agricultor precisa de estar informado para ser eficiente, pelo que deverá de ter o conhecimento e a informação necessária para elaborar uma estratégia viável para as operações agrícolas (Natural Resources Canada, 2019). As imagens da deteção remota ajudá-lo-ão a entender qual é o estado de saúde do cultivo ou o potencial rendimento e as condições do solo. Esse processo exige que as imagens de deteção remota sejam fornecidas com frequência (no mínimo, semanal) e entregues ao agricultor rapidamente, geralmente em 2 dias.

O avanço das novas tecnologias, a disponibilização de dados em regime aberto e a qualificação dos meios humanos, tornam viáveis um fornecimento contínuo e ininterrupto das imagens, com as inerentes consequências positivas, tanto a nível económico, como a nível de proteção e salvaguarda dos recursos naturais.

A deteção remota oferece um meio eficiente e confiável de obter as informações necessárias, a fim de mapear o tipo e área cultivada. Além disso, pode fornecer

informações estruturais sobre a saúde da vegetação. A reflexão espectral de um campo varia em relação às alterações na fenologia e saúde das culturas, e, portanto, pode ser medida e monitorada por sensores multiespectrais. O sensor de radar é sensível à estrutura, alinhamento e teor de humidade da cultura e, portanto, pode fornecer informações complementares aos dados óticos, além de ser útil quando a presença de nuvens limita a utilidade dos sensores óticos.

Atualmente existe uma grande variedade de satélites comerciais ou de acesso livre, com ampla gama de resoluções espaciais, que variam de algumas dezenas de metros a 0,5 metros nos satélites de alta resolução, permitindo a monitorização de grandes áreas, como bacias hidrográficas ou regiões agrícolas, tornando fácil a consulta de imagens recentes.

Como algumas vantagens temos a identificação, quantificação e monitoramento de cultivos; a avaliação do estado fenológico dos cultivos numa parcela específica; e quantificação de danos nos cultivos devido a fenómenos atmosféricos ou climáticos.

#### 1.4 Disponibilidade Hídrica para o Concelho

O clima desempenha um papel importante quer seja de maneira direta ou indireta, nos resultados. As condições meteorológicas influem na necessidade de maior ou menor consumo de água por parte das culturas, assim como os meses quentes com longos períodos de seca, são propícios ao aparecimento e proliferação de incêndios.

É importante contar com informação do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), de modo a poder explicar e validar a efetividade das imagens SAR, em discriminar os fenómenos em estudo.

##### 1.4.1 Precipitação e Clima

Apesar do radar ter fama de ser apto para qualquer condição meteorológica, no caso da presença de chuva, pode haver perda ou atenuação da potência no caminho de ida e volta, do sinal eletromagnético emitido pelo radar.

Precipitação mensal registada (mm) - Estação 30E/03C												
Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2016	71.8	76.9	35.8	61.8	74.1	3.8	0.8	0.6	5.5	92.8	244.3	112.8
2017	100.8	124.1	143.4	8.1	36.5	6.7	1.7	0.3	85.8	7.8	64.4	64.7
2018	0.3	44.5	167.8	123.8	3.3	4.6	0.1	0	0	100.8	84.1	17.2
2019	23.9	45.5										

Tabela 1.2 - Precipitação mensal registada para o período de estudo  
 Fonte: Elaboração própria - dados provenientes do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) URL: <https://snirh.apambiente.pt>

a) Ano 2016

O ano de 2016, em Portugal Continental, foi quente quanto à temperatura do ar e normal quanto à quantidade de precipitação. O valor médio anual da temperatura média do ar, 15.91 °C, foi superior ao valor normal. O valor médio de precipitação total anual, 991.6 mm foi superior ao valor normal (anomalia de +109.5 mm).

**Eventos relevantes:** Vento forte e chuva persistente, episódios de tempo adverso em fevereiro; tempo extremamente quente de julho a setembro; episódio de tempo adverso de 23 a 25 de outubro no Sul.

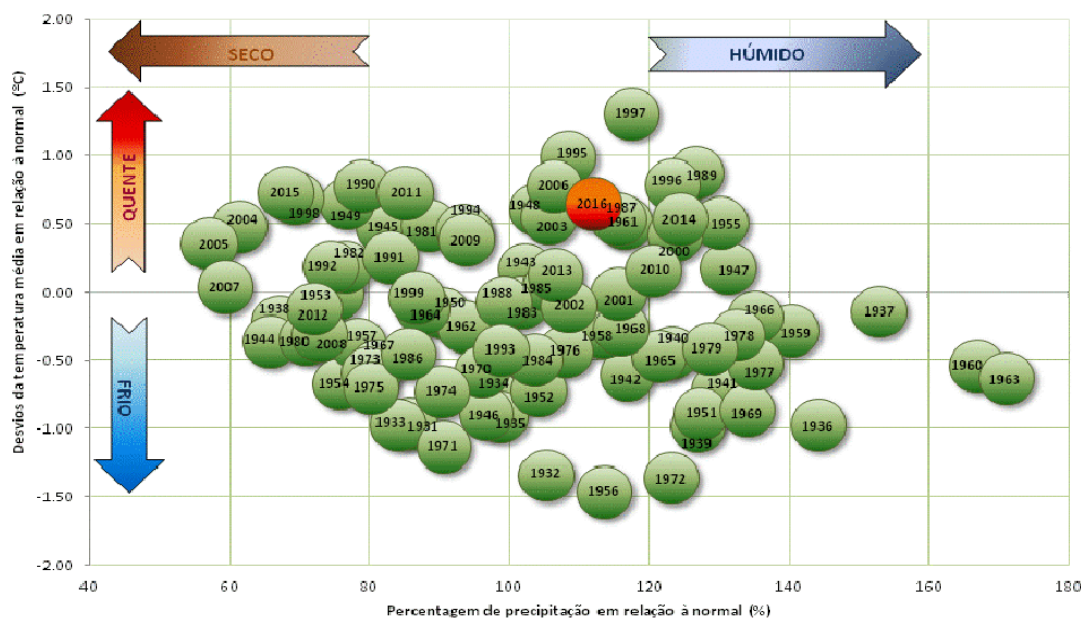


Figura 1.8 - Boletim Climatológico Anual Portugal Continental Ano 2016  
 Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera  
 URL: <http://www.ipma.pt>

b) Ano 2017

O ano de 2017, em Portugal Continental, classificou-se como extremamente quente e extremamente seco. Foi o 2º ano mais quente desde 1931 (o mais quente foi em 1997) com um valor médio de temperatura média do ar de 16.33 °C, +1.07 °C em relação ao valor normal 1971-2000. O valor médio de precipitação total anual, 541.3 mm, em 2017 foi o 3º mais baixo desde 1931 (mais baixos em 2005 e 2007), correspondendo a cerca de 60% do valor normal.

**Eventos relevantes:**

- Tempo frio em janeiro;
- Vento forte em fevereiro;
- Inundações no dia 11 de fevereiro no sotavento Algarvio;
- Tempo extremamente quente em abril, junho e outubro;
- Seca meteorológica entre abril e dezembro;
- Época de incêndios florestais muito severa.

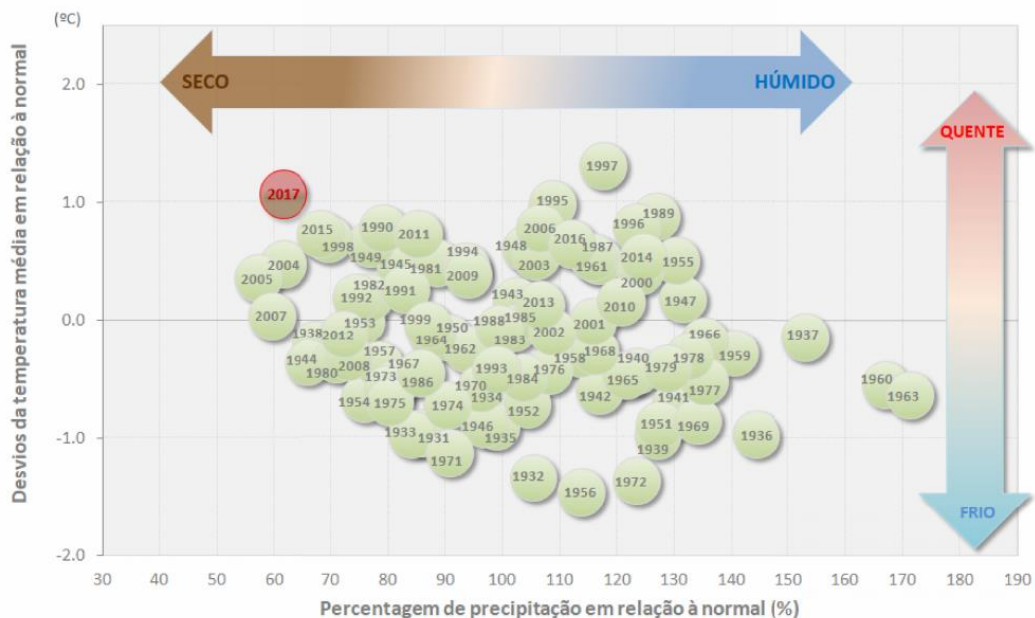


Figura 1.9 - Boletim Climatológico Anual Portugal Continental Ano 2017

Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera

URL: <http://www.ipma.pt>

c) Ano 2018

O ano de 2018, em Portugal continental, classificou-se como normal, em relação à temperatura do ar também em relação à precipitação. O valor médio anual da temperatura média do ar, 15.37 °C, foi ligeiramente superior ao valor normal 1971-2000 (+ 0.11 °C). O valor médio de precipitação total anual, 939.9 mm, corresponde a cerca de 107 % do valor normal.

**Eventos relevantes:**

- Agravamento da situação de seca meteorológica nos meses de janeiro e fevereiro;
- Em março ocorrência de episódios de tempo adverso (chuva e vento) e final da situação de seca severa (2º março mais chuvoso desde 1931);
- Ocorrência de 3 tornados: 2 em março, 1 em abril;
- Tempo extremamente quente e extremamente seco em agosto e setembro;
- Passagem da tempestade subtropical Leslie em Portugal continental no final do dia 13 de outubro;
- Episódios de precipitação intensa no dia 11 de novembro nas regiões do Norte e Centro.



Figura 1.10 - Boletim Climatológico Anual Portugal Continental Ano 2018  
Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera  
URL: <http://www.ipma.pt>

### 1.4.2 Capacidade das barragens

Imagens de radar podem ser utilizadas para detetar variações nas laminas de água de lagos, rios e barragens. No caso de ocorrer uma variação brusca na capacidade da barragem, esta poderia ser visível nas imagens de radar.

Capacidade Barragens	2016 (%)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Arade	31,6	40,4	39,1	63,0	59,6	49,9	39,2	29,0	20,3	17,2	17,0	17,7
Funcho	70,4	67,0	69,0	56,3	65,8	65,3	64,4	63,1	62,4	63,0	63,6	72,8
Odelouca	55,4	55,0	53,8	53,3	60,9	57,4	53,2	48,9	45,3	42,7	40,9	45,8
Capacidade Barragens	2017 (%)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Arade	23,2	65,2	69,9	66,8	60,5	51,0	40,8	30,8	23,9	18,2	16,1	30,9
Funcho	82,6	72,6	76,4	77,3	77,8	76,6	75,4	73,7	73,0	72,3	72,1	63,4
Odelouca	49,3	56,5	59,1	57,7	55,2	51,6	47,8	43,1	40,4	37,8	36,1	34,6
Capacidade Barragens	2018 (%)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Arade	30,9	30,8	76,4	81,9	77,7	70,1	61,0	50,9	43,0	62,3	62,1	61,8
Funcho	63,5	63,7	88,3	89,1	90,7	91,0	89,5	88,3	87,0	73,9	74,8	75,0
Odelouca	33,1	32,0	62,8	72,8	70,9	67,2	62,8	58,1	54,4	51,7	50,2	48,1
Capacidade Barragens	2019 (%)											
	JAN	FEV										
Arade	61,3	61,2										
Funcho	75,1	75,6										
Odelouca	46,4	47,4										

Tabela 1.3 - Capacidade das Barragens

Fonte: Elaboração própria - dados provenientes do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH)  
 URL: <https://snirh.apambiente.pt>

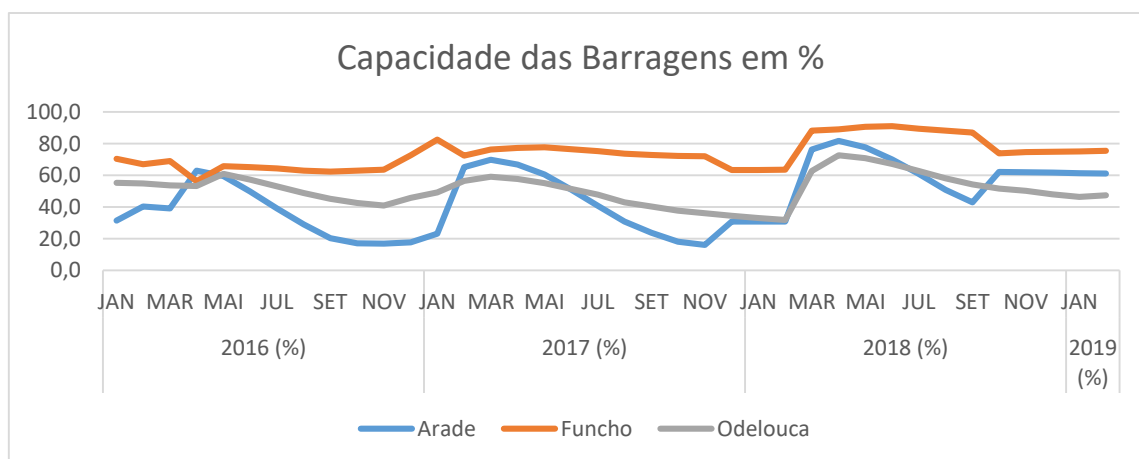


Figura 1.11 - Capacidade das Barragens %

Fonte: Elaboração própria - dados provenientes do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH)  
 URL: <https://snirh.apambiente.pt>

## 1.5 Objetivos e motivação

O projeto desenvolvido teve essencialmente por objeto a recolha, processamento e análise de imagens de radar do satélite Sentinel-1 (SAR), que permitam visualizar mensalmente a evolução da humidade relativa do solo, tanto nas margens de enchente de bacias hidrográficas como em campos agrícolas, assim como o efeito da alteração do coberto vegetal, em particular após grandes incêndios, no período entre fevereiro 2016 e fevereiro 2019.

Um radar mede os ecos dos pulsos de campos elétricos emitidos na faixa de micro-ondas que são refletidos na superfície da Terra. Os ecos que retornam ao radar, mudam de amplitude e de fase, dependendo da quantidade de humidade no solo, sendo que, quanto maior for o teor de água no solo, maior será a amplitude do campo disperso (sarmap, 2019).

Na ausência de uma estratégia de processamento consensual, foi necessário adotar uma desenhada com base em conceitos teóricos, após sendo avaliada a coerência dos resultados.

Com a análise pretendeu-se avaliar a sensibilidade do sistema SAR, em relação à água e a humidade. Para isso foi dado enfoque à prática dos agricultores do Concelho de Lagoa, no que respeita ao uso da água nas culturas de arroz, nas diferentes épocas do ano, observando também a suscetibilidade do sistema quanto à variação no nível de água das albufeiras, o efeito das marés e após grandes incêndios. Os dados obtidos serão de acesso aberto, pelo que as resoluções espaciais disponíveis condicionam as observações a zonas fora da malha urbana.

## 1.6 Estrutura do Projeto

Iniciou-se este Projeto abordando a área de estudo e os conceitos teóricos referentes à deteção remota na agricultura, bem como o estado da arte sobre a tecnologia. A seguir procedeu-se com a formulação dos principais conceitos teóricos do funcionamento do radar SAR e explicação do modo de aquisição de dados e de processamento, para formação das imagens de alta resolução.

Em continuidade com o ponto anterior, e assumindo um cariz prático, foi desenvolvido um sistema de Websig para apresentação dos resultados, com ferramentas 100% código aberto. A seguir foram analisados os resultados obtidos nas imagens satélite seleccionadas.

Por fim, foram discutidas e apresentadas as conclusões, referindo as principais alusões relativas ao presente projeto.

## 2 CONCEITOS TEÓRICOS

### 2.1 Deteção Remota

Segundo a Agência Espacial Europeia (ESA - EDUSPACE PT, 2019) a deteção remota é uma forma de obter informações acerca dos objetos, recolhendo e analisando dados sem que os instrumentos usados para recolher os dados estejam em contacto direto com o objeto.

Um dos instrumentos utilizados para realizar a deteção remota são os satélites, que permitem observar regularmente objetos a uma maior altura e distância, criando uma vasta panóplia de possibilidades no âmbito de deteção remota, nomeadamente, nos sistemas de deteção de alterações meteorológicas e para aquisição de conhecimento sobre o nosso planeta.

Um sistema de deteção remota é composto por vários componentes:

- 1) Fonte de Energia natural ou artificial (A)
- 2) Interação entre a Radiação e a Atmosfera (B)
- 3) Interação com o Objeto (C)
- 4) Registo da Energia pelo Sensor (D)
- 5) Transmissão, Receção e Processamento (E)
- 6) Interpretação e Análise (F)
- 7) Modelação e Aplicação (G)

As principais vantagens do uso de satélites estão na grande capacidade de obter dados a larga escala e transmiti-los em tempo real. Além disso, incorporam sensores com espectros de luz que não podem ser detetados pelo olho humano e que são responsáveis pela geração de imagens para a nossa posterior interpretação.

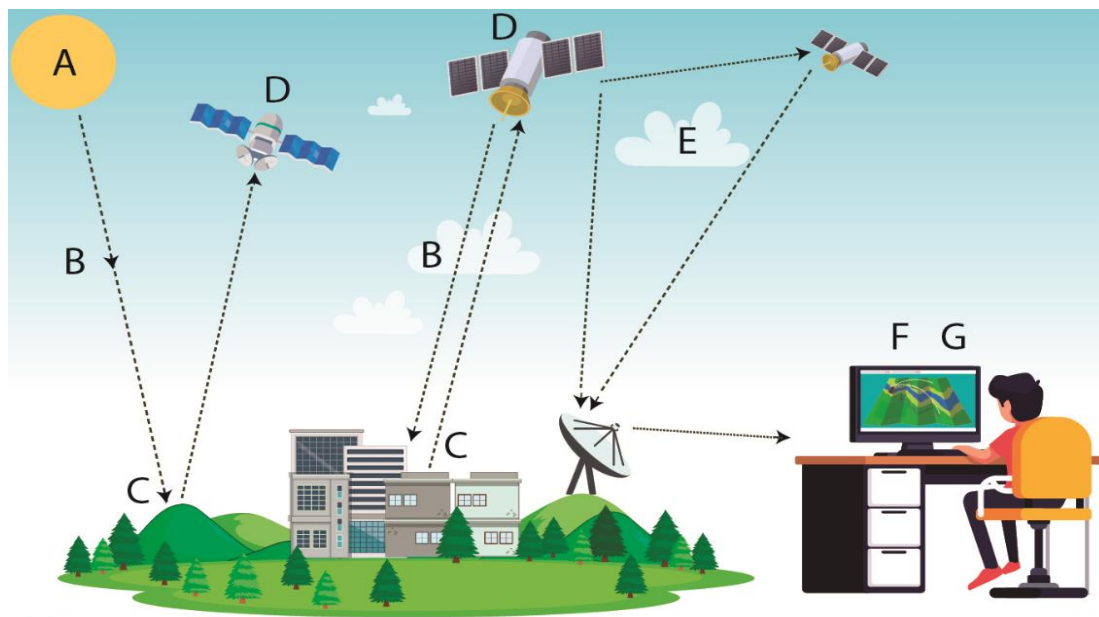


Figura 2.1 - Diagrama Sistema de Deteção Remota

Fonte: Elaboração própria baseado nos dados de: Canada Centre for Remote Sensing

URL: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/fundamentals-remote-sensing-introduction/9363>

## 2.2 Satélites, Programa Copernicus e Família Sentinel

Os satélites têm várias características únicas que os tornam particularmente úteis para a deteção remota da superfície da Terra (Natural Resources Canada, 2019). O percurso seguido por um satélite é chamado de órbita, a qual é escolhida de acordo com a capacidade e objetivo dos sensores que carregam. A seleção da órbita pode variar em termos de altitude (altura acima da superfície da Terra), orientação e rotação em relação à Terra. Satélites geoestacionários, em altitudes de aproximadamente 36.000 quilómetros, giram em velocidades que correspondem à rotação da Terra para parecer estacionários, permitindo que os satélites observem e adquiram informações continuamente sobre determinadas áreas.

Muitas plataformas de deteção remota são projetadas para seguir uma órbita (norte-sul) que, em conjunto com a rotação da Terra (oeste-leste), permite cobrir a maior parte da superfície da Terra durante um certo período de tempo. Estas quase órbitas polares são denominadas de órbitas heliossíncronas. Estas órbitas fazem uma volta em torno do planeta enquanto o planeta realiza uma volta em torno de si próprio, de modo que cobrem cada área do mundo num horário local e constante. Isso garante a consistência nas

condições de iluminação ao adquirir imagens ao longo de anos sucessivos ou de uma área específica numa série de dias. Esse é um fator importante para a monitorização das alterações entre imagens ou para a criação dum mosaico de imagens adjacentes, pois eles não precisam ser corrigidos para diferentes condições de iluminação.

A maioria das plataformas de satélite para deteção remota estão em órbitas quase polares, o que significa que o satélite viaja para o polo norte num dos lados da Terra e depois viaja em direção ao polo sul na segunda metade de sua órbita. Estas órbitas são chamadas de ascendente e descendente, respetivamente.

À medida que um satélite viaja em torno da Terra, o sensor capta uma certa porção da superfície da Terra. Esta área é chamada de faixa. As faixas geralmente variam entre dezenas a centenas de quilómetros de largura. Enquanto o satélite orbita a Terra de um polo para outro, a Terra está girando (de oeste para este), o que permite que a faixa do satélite captada pelo sensor cubra uma nova área a cada volta consecutiva. Ou seja, a órbita do satélite e a rotação da Terra trabalham em conjunto para permitir uma cobertura completa da superfície da Terra.

### **Programa Copernicus e família Sentinel**

O programa Copernicus é o projeto de observação da Terra mais ambicioso da história, projetado para fornecer informações precisas, atualizadas e de fácil acesso para melhorar a gestão ambiental, entender e mitigar os efeitos das mudanças climáticas e garantir a segurança dos cidadãos (Agência Espacial Europeia, 2019). Esta iniciativa é liderada pela Comissão Europeia (CE), em colaboração com a Agência Espacial Europeia (ESA).

Os satélites Sentinel fornecem um conjunto único de observações, começando com as imagens de radar do Sentinel-1, capazes de observar a superfície da Terra sob qualquer condição meteorológica, dia ou noite, o Sentinel-2 recolhe imagens óticas de alta resolução para monitorar a superfície do nosso planeta, e o Sentinel-3 transporta vários instrumentos para realizar uma longa série de estudos da Terra e seus oceanos. Futuramente, o Sentinel-4 e Sentinel-5 medirão a composição da atmosfera a partir da órbita geoestacionária e de uma órbita polar, respetivamente e o Sentinel-6 será dedicado a aplicações no âmbito da geodesia e oceanografia.

As imagens dos satélites Sentinel são distribuídas com base numa política de acesso aberto e sem custos, podendo ser acedidas através do portal web do projeto Copernicus <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.

## 2.3 Sensores e Espectro eletromagnético

### **Sensores**

O Sol é uma fonte ideal de energia para a deteção remota sendo a sua energia radiante transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. Os comprimentos de onda visíveis são absorvidos e refletidos pela superfície da Terra. Os sensores são dispositivos que captam e registam a radiação eletromagnética de determinada faixa do espectro, gerando imagens para posterior interpretação. Sistemas de sensores que medem a energia que está naturalmente disponível são chamados sensores passivos.

Os sensores distinguem-se entre: sensores passivos e sensores ativos. Os primeiros são sistemas de sensores que medem a energia que está naturalmente disponível, isto é, durante o tempo em que o Sol ilumina a Terra, pois funcionam através do registo da radiação eletromagnética solar, refletida pela Terra. Os segundos fornecem a sua própria fonte de energia para iluminação, dirigindo a radiação para o alvo que estão a analisar.

Comparando os dois tipos de sensores, é de concluir que, entre as várias vantagens que os sensores ativos apresentam, estes permitem obter medições a qualquer momento, independentemente da hora do dia ou da estação do ano. Isto porque os sensores ativos podem ser usados para testar comprimentos de onda que não são fornecidas em quantidade suficiente pelo Sol, como as micro-ondas, ou para controlar melhor a maneira como o alvo é iluminado.

### **Bandas do espectro eletromagnético**

De acordo com (Helerbrock, s.d.), o espectro eletromagnético é o intervalo completo de todas as possíveis frequências da radiação eletromagnética. Varia entre as ondas de baixa frequência, ondas de rádio, até às de maior frequência como as da radiação gama. Os radares operam em comprimentos de onda entre 0,5 cm a 100 cm.

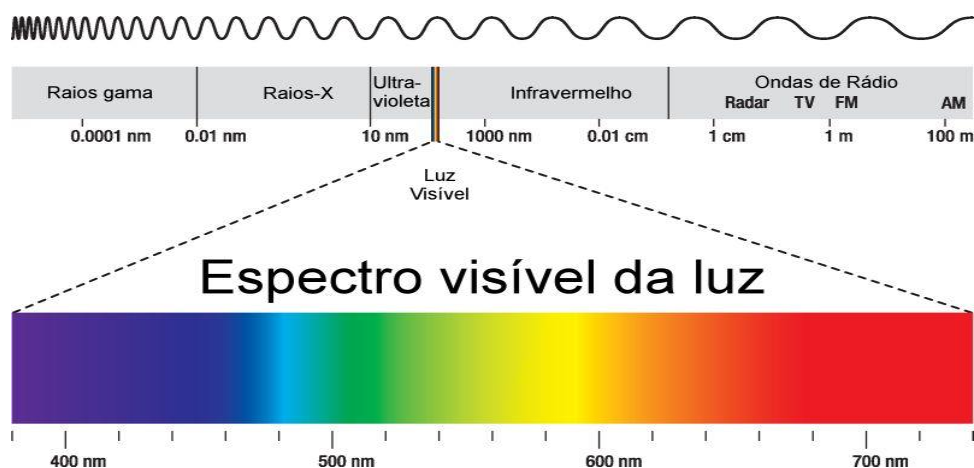


Figura 2.2 - Espectro Eletromagnético

Fonte: InfoEscola – Navegando e Aprendendo

URL: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>

O comprimento de onda é a distância que ela percorre durante um período, sendo o período o intervalo de tempo necessário para que ela complete uma oscilação. O comprimento de onda e frequência estão inversamente relacionados:

$$c = \lambda v$$

$c$  = velocidade da luz ( $3 \times 10^8$  m / s)

$\lambda$  = comprimento de onda (m)

$v$  = frequência (ciclos por segundo, Hz)

Outras componentes da onda são a amplitude, que é a distância máxima entre o ponto de vibração da onda e o eixo de equilíbrio, e a fase, que corresponde a posição de um ponto no tempo, em um ciclo em forma de onda.

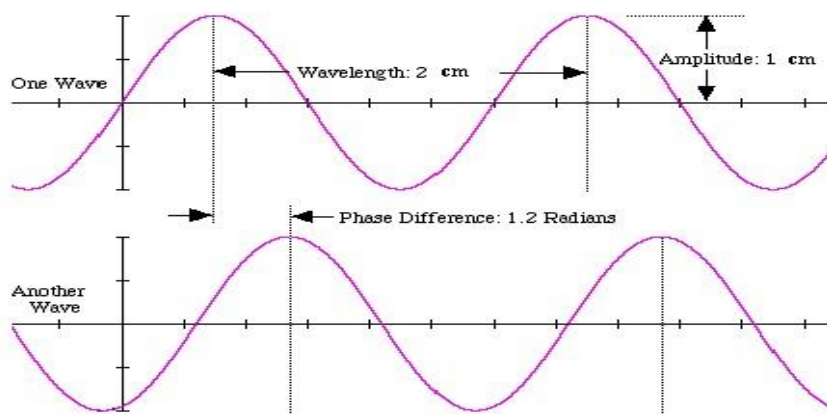


Figura 2.3 - Componentes da onda

Fonte: Special Features of ASAR

URL: <https://earth.esa.int/handbooks/asar/CNTR1-1-5.html>

Os sensores que captam a energia eletromagnética registam-na como uma matriz de números em formato digital. As informações de uma determinada faixa do comprimento de onda são obtidas e armazenadas numa banda.

Os satélites conseguem registar as diferentes bandas do espectro eletromagnético. Podemos combinar e exibir bandas usando as três cores primárias (azul, verde e vermelho). Os dados de cada banda são representados como uma das cores primárias e, dependendo do brilho (ou seja, o valor digital) de cada pixel em cada banda, as cores primárias combinam-se em proporções diferentes. A visualização individual de bandas é realizada através duma imagem monocromática em escala.

Quando exibimos mais de uma banda, cada um com uma cor primária diferente, os níveis de brilho, que podem ser diferentes para cada banda / cor primária, formam uma imagem colorida.

#### 2.4 Scanner multiespectral

É um sistema de varrimento usado para obter dados em diferentes intervalos ou bandas do comprimento de onda. Segundo o Centro Canadense de Mapeamento e Observação da Terra (Natural Resources Canada, 2019), os dois modos principais de varrimento utilizados para adquirir dados de imagem multiespectrais são o Across-track e Along-track.

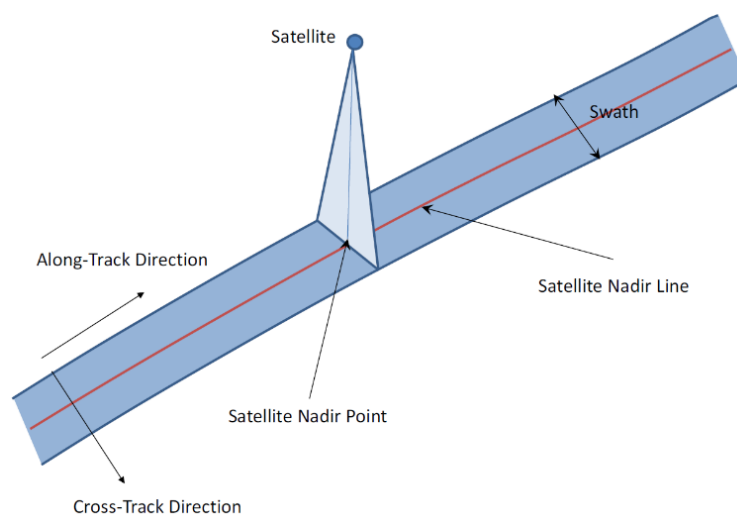


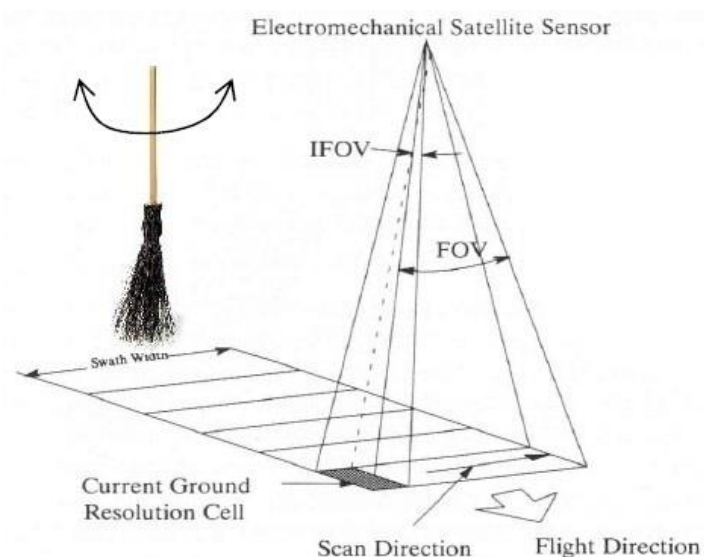
Figura 2.4 - SAR

Fonte: Information Technology Services URL:  
[http://www.its.caltech.edu/~ee157/lecture\\_note/Imaging%20geometries.pdf](http://www.its.caltech.edu/~ee157/lecture_note/Imaging%20geometries.pdf)

O Across-track digitaliza a superfície da Terra numa série de linhas. As linhas são orientadas na perpendicular à direção do movimento do satélite. Cada linha é digitalizada dum lado do sensor para o outro, usando um espelho rotativo. Enquanto o satélite avança sobre a Terra, os varrimentos sucessivos constroem uma imagem bidimensional da superfície da Terra.

A radiação refletida ou emitida é separada em vários componentes espectrais que são detetados independentemente. Um banco de sensores internos, cada um sensível a um intervalo específico do comprimento de onda, deteta e mede a energia de cada banda espectral e, em seguida, como sinal elétrico, são convertidos em dados digitais e gravados no computador.

O Campo de Visão Instantâneo (IFOV) do sensor e a altitude do satélite determinam a resolução do solo da célula visualizada, e, portanto, a resolução espacial. O Campo de Visão Angular (FOV) é o varrimento do espelho, medido em graus, usado para gravar uma linha de varrimento e determina a largura da faixa de imagem. Os satélites, por causa da sua grande altitude, precisam apenas de ângulos pequenos (10 - 20°) para cobrir uma região ampla. Como a distância do sensor ao alvo aumenta em direção às bordas da faixa, as células de resolução do solo também tornam-se maiores e introduzem distorções geométricas nas imagens.



*Figura 2.5 - Across-track*

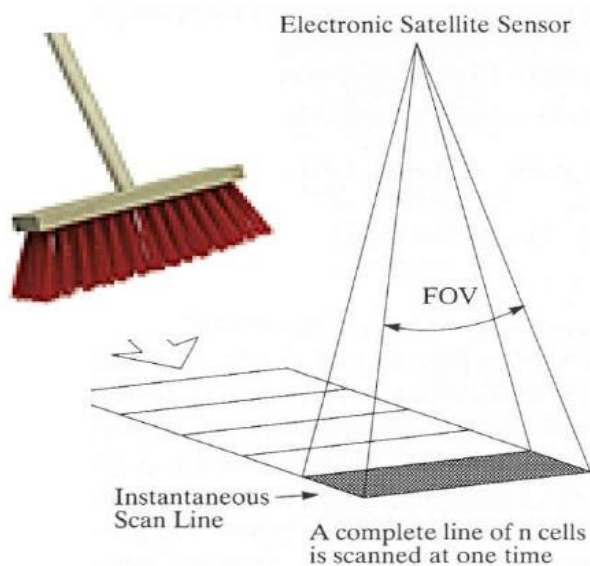
*Fonte: Canada Centre for Remote Sensing*

*URL: <http://www.florianhillen.de/studium/projekt/index.php?id=grundlagen&uid=sensoren>*

No que toca ao Along-track, também usa o movimento de deslocação do satélite para gravar linhas de digitalização sucessivas e construir uma imagem bidimensional, perpendicular à direção do voo. No entanto, em vez de uma digitalização por espelho, usa uma matriz linear de sensores localizado no plano focal da imagem, formada pelos sistemas de lentes, que são "empurrados" na direção do voo, ou seja, ao longo da pista.

Cada sensor individual mede a energia para uma única célula de resolução do solo e, portanto, o tamanho e o IFOV dos sensores determinam a resolução espacial do sistema. Uma matriz linear separada é necessária para medir cada banda espectral. Para cada linha de varredura, a energia captada por cada sensor de cada matriz linear é amostrada eletronicamente e digitalmente.

O Along-track com matrizes lineares tem várias vantagens em relação ao uso do espelho. A variedade de sensores combinados com o movimento permite a cada sensor "ver" e medir a energia de cada célula de resolução do solo por um longo período de tempo (tempo de permanência). Isso permite que mais energia seja detetada e melhora a resolução radiométrica. O aumento do tempo de espera também facilita o uso de IFOVs menores e larguras de banda mais estreitas para cada sensor.



*Figura 2.6 - Along-track*

*Fonte: Canada Centre for Remote Sensing*

*URL: <http://www.florianhillen.de/studium/projekt/index.php?id=grundlagen&uid=sensoren>*

## 2.5 Receção, transmissão e processamento de dados

Os dados adquiridos das plataformas de satélite precisam de ser transmitidos para a Terra, pois o satélite continua a permanecer em órbita durante a sua vida útil operacional. Existem três opções principais para transmitir os dados adquiridos pelos satélites.

Os dados podem ser transmitidos diretamente para a Terra se uma estação de receção terrestre estiver na linha de visão do satélite. Caso não seja possível, os dados podem ser gravados a bordo do satélite para uma transmissão posterior ou podem ser transmitidos através do Sistema de Rastreamento por Satélite de Retransmissão de Dados (TDRSS), que consiste numa série de satélites de comunicação em órbita geossíncrona, em que os dados são transmitidos a partir de um satélite para outro até atingirem a estação de receção terrestre apropriada.

Os dados são recebidos na estação num formato digital bruto. Todavia, caso seja necessário, eles podem ser processados para corrigir distorções geométricas e atmosféricas nas imagens, e ser posteriormente traduzido para um formato padronizado.

## 2.6 Resolução

A resolução de imagens adquiridas por deteção remota pode ser caracterizada de diferentes maneiras, sendo os principais tipos de resolução a Espacial, Espectral, Radiométrica e Temporal (Natural Resources Canada, 2019).

### 2.6.1 Resolução Espacial

A Resolução Espacial descreve a capacidade do sensor em dividir ou detalhar os elementos discerníveis na superfície terrestre e é definida pela altitude do satélite e pelo campo de visão instantâneo (IFOV). O detalhe discernível refere-se ao tamanho do menor recurso possível que pode ser detetado. Quanto maior for a resolução espacial, maior será o nível de pormenor observado o qual depende do comprimento do impulso (duração do impulso transmitido). Impulsos mais curtos resultam em maiores resoluções. Se os impulsos forem curtos, a amplitude transmitida deve ser aumentada para manter a mesma potência total no impulso.

A Resolução Espacial de sensores passivos depende principalmente do seu campo de visão instantâneo (IFOV). O IFOV é o cone angular de visibilidade do sensor (A) e determina a área na superfície da Terra que é "visto" de uma dada altitude em um momento específico. O tamanho da área visualizada é determinado multiplicando o IFOV pela distância do solo até o sensor (C). Esta área no chão é chamada de célula de resolução e determina o valor máximo de um sensor resolução espacial.

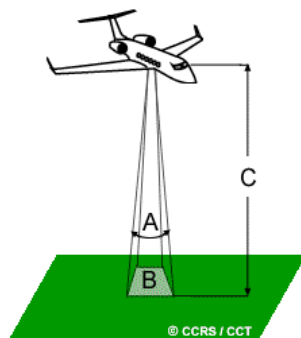


Figura 2.7 - IFOV

Fonte: Canada Centre for Remote Sensing

URL: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/satellites-sensors/spatial-resolution-pixel-size-and-scale/9407>

Para que um recurso seja detetado, o seu tamanho deve ser igual ou maior que a célula de resolução. Como já foi mencionado, a maioria das imagens de deteção remota são compostas por uma matriz de elementos de imagem ou pixels, que são as menores unidades de uma imagem. Os pixels da imagem são normalmente quadrados e representam uma determinada área numa imagem.

### 2.6.2 Resolução Espectral

A resolução espectral descreve a capacidade de um sensor de definir intervalos finos de comprimento de onda do espectro eletromagnético, ou seja, a capacidade do sensor de operar em várias bandas ou canais espectrais. Muitos sistemas de deteção remota registram a energia em várias faixas de comprimento de onda separadas em várias resoluções espectrais (sensores multiespectrais).

Quanto mais alta for a resolução espectral, mais fácil é a discriminação entre alvos diferentes com base nas respostas espectrais de cada uma das bandas.

### 2.6.3 Resolução Radiométrica

A resolução radiométrica descreve a capacidade de discriminar diferenças muito pequenas de energia. Quanto mais fina a resolução de um sensor, mais sensível será a deteção de pequenas diferenças de reflexão ou energia emitida. Está limitada por dados armazenados em bits no formato binário, que variam de 0 a 1, sendo que cada bit contempla um expoente da potência 2 (por exemplo, 1 bit =  $(2^1) = 2$ ).

O número máximo de níveis de brilho disponíveis depende do número de bits usados na representação da energia registrada. Por exemplo, se um sensor usar 8 bits para registrar os dados, haveria  $(2^8) = 256$  valores digitais disponíveis, variando de 0 a 255. No entanto, se apenas 4 bits forem usados, estariam disponíveis  $(2^4) = 16$  valores que variam de 0 a 15. Assim, a resolução radiométrica seria menor.

Os dados da imagem geralmente são exibidos numa variedade de tons de cinza, com o preto representando um número digital de 0 e o branco representando o valor máximo (por exemplo, 255 em dados de 8 bits). Ao comparar uma imagem de 2 bits com uma imagem de 8 bits, podemos ver que há uma grande diferença no nível de detalhe discernível, dependendo das suas resoluções radiométricas.

### 2.6.4 Resolução Temporal

O período de revisita de um satélite é geralmente de vários dias. Portanto, a resolução temporal ou período de revisita seria o período de tempo que leva o satélite a visualizar a mesma área ou ponto da superfície terrestre uma segunda vez.

A capacidade de obter imagens da mesma área da superfície da Terra em diferentes períodos de tempo é um dos elementos mais importantes para a aplicação de dados de deteção remota. As características dos recursos podem mudar com o tempo e essas alterações podem ser detetadas por recolha e comparação de imagens multitemporais.

Ao obter continuamente imagens em diferentes momentos, podemos monitorizar as mudanças que ocorrem na superfície da Terra, quer estas ocorram naturalmente (como mudanças na cobertura natural da vegetação, incêndios ou inundações), quer sejam induzidas pelo homem.

## 2.7 Distorção geométrica nas imagens

Todas as imagens de deteção remota estão sujeitas a alguma forma de distorção, dependendo da maneira como os dados foram adquiridos (Natural Resources Canada, 2019). É o que ocorre quando tentamos representar com precisão a superfície tridimensional da Terra como uma imagem bidimensional.

A distorção pode resultar de um ou mais dos seguintes fatores:

- Perspetiva do sensor ótico;
- Movimento do sistema de varredura;
- Movimentos e instabilidade da plataforma;
- Altitude e velocidade da plataforma;
- Relevo do terreno;
- Curvatura e rotação da Terra.

Relativamente às imagens de sistemas de varrimento Along-track, essas sofrem de distorção causada pela deslocação do relevo. Isto porque objetos diretamente abaixo do nadir terão apenas os seus topos visíveis, enquanto que todos os outros objetos parecem afastar-se do centro da foto, de modo que além do topo, as partes laterais também ficam visíveis.

Relativamente às imagens de sistemas de varrimento Across-track, essas sofrem de distorção causada pela deslocação do relevo (A), que ocorre numa direção paralela à direção da digitalização. Isto porque não há deslocamento diretamente abaixo do sensor, no nadir, mas a medida que o sensor varre a faixa, a parte superior e lateral dos objetos parece afastar-se do ponto nadir e a cada varrimento, o deslocamento aumenta, movendo-se em direção às bordas da faixa.

Outra distorção (B) ocorre devido à rotação do sensor ótico. À medida que o sensor varre cada linha, a distância entre o sensor e o solo aumenta quanto mais longe estiver do centro da faixa. Embora o espelho de digitalização gire a uma velocidade constante, o IFOV do sensor move-se mais rápido (em relação ao solo) e digitaliza uma área maior à medida que se aproxima das bordas. Este efeito resulta na compressão de recursos da imagem em pontos distantes do nadir e é chamado de distorção tangencial.

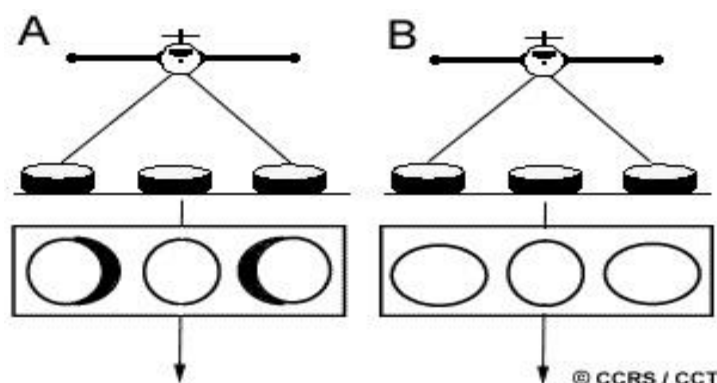


Figura 2.8 - Distorção das imagens

Fonte: Canada Centre for Remote Sensing

URL: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/tutorial-fundamentals-remote-sensing/9309>

A rotação da Terra durante a órbita do satélite, faz com que o varrimento cubra uma área ligeiramente a oeste da digitalização anterior. A distorção resultante é conhecida como distorção de inclinação e é comum em imagens obtidas de scanners multiespectrais. Na maioria dos casos, podemos remover ou pelo menos reduzir esses erros.

## 2.8 Radares de Abertura Sintética (SAR)

RaDAR é um acrónimo para Radio Detection And Ranging, que essencialmente caracteriza a função e operação dum sensor de radar. O sensor transmite um sinal de micro-onda sem direção ao alvo e deteta a parte refletida do sinal. A força do sinal refletido é medida para discriminar entre diferentes alvos e o atraso de tempo entre os sinais transmitidos e refletidos determina a distância ao alvo.

A deteção por micro-ondas abrange os sistemas passivos e ativos, variando o seu comprimento de onda entre os 1 cm a 1 m, o que lhes outorga propriedades importantes para a deteção remota (Natural Resources Canada, 2019). Comprimentos de onda mais longos podem penetrar com facilidade os elementos presentes na atmosfera, o que permite a deteção de energia de micro-ondas sob quase todas as condições meteorológicas e condições ambientais, para que os dados possam ser adquiridos a qualquer momento. Todos os objetos emitem energia de micro-ondas de alguma magnitude, mas as quantidades são geralmente muito pequenas.

Um sensor passivo de micro-ondas deteta a energia de micro-ondas emitida naturalmente, dentro do seu campo de visão. Esta energia emitida está relacionada às propriedades de temperatura e humidade do objeto emissor ou superfície.

Sensores ativos de micro-ondas fornecem a sua própria fonte de radiação de micro-ondas para iluminar o alvo. A forma mais comum de geração de imagens em sensores de micro-ondas ativos é o RaDAR.

O radar de abertura sintética (SAR) é uma forma de radar usada para criar imagens bidimensionais ou reconstruções tridimensionais de objetos. Esta técnica permite obter imagens de radar de alta resolução a grandes distâncias. O sistema SAR envia impulsos na lateral, retornando e registando os sinais refletidos de diferentes objetos na Terra para o sensor, em distintos momentos, permitindo assim diferenciar os objetos. Os impulsos formam linhas de imagem (dimensão da amplitude), sendo a outra dimensão (dimensão de azimute) formada pelo movimento e direção do sensor, que envia e recebe continuamente impulsos de radar (Moreira, Prats-Iraola, Younis, Krieger, & Hajnsek, 2019)

O sistema SAR regista o tempo de retorno e intensidade do impulso, bem como a fase da micro-onda. À medida que o dispositivo SAR a bordo do satélite se move, a localização da antena em relação ao alvo muda com o tempo. Como a transmissão e a receção ocorrem em momentos diferentes, elas são mapeadas para diferentes posições de antena. O processamento de sinais sucessivos dos ecos de radar permite a combinação das gravações dessas múltiplas posições de antena. A combinação bem ordenada dos sinais recebidos cria uma abertura virtual muito maior que a largura da antena física. Esse processo forma a abertura sintética da antena e permite a criação de imagens de alta resolução do que seria possível com uma determinada antena física (Moreira, Prats-Iraola, Younis, Krieger, & Hajnsek, 2019).

Normalmente, quanto maior a abertura, maior será a resolução da imagem, independentemente de a abertura ser física (uma antena grande) ou sintética (uma antena em movimento), o que permite que o SAR crie imagens de alta resolução com antenas físicas comparativamente pequenas. Além disso, o SAR tem a propriedade de ter aberturas maiores para objetos mais distantes, permitindo uma resolução espacial consistente em várias distâncias de visualização.

### 2.8.1 Geometria do radar

Um sistema de RaDAR consiste fundamentalmente em um transmissor, um recetor, uma antena e um sistema eletrónico para processar e registar os dados (Natural Resources Canada, 2019). O transmissor gera rajadas curtas sucessivas [ou pulsos de micro-ondas (A) em intervalos regulares que são focados pela antena em um feixe (B)]. O feixe de radar ilumina a superfície obliquamente em ângulo reto com o movimento da plataforma.

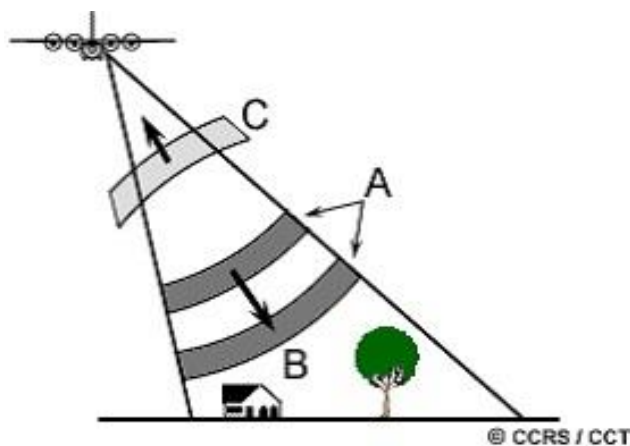


Figura 2.9 - Sistema Radar

Fonte: Canada Centre for Remote Sensing

URL: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/tutorial-fundamentals-remote-sensing/9309>

O RaDAR mede a relação entre a potência do pulso transmitido e o eco recebido. Essa proporção é chamada de retro-reflexão. A antena recebe uma parte da energia transmitida refletida dos vários objetos dentro da faixa coberta. Medindo o atraso de tempo entre a transmissão de um pulso e a receção do sinal refletido, é obtida a distância e localização do alvo. À medida que a plataforma do sensor avança, a gravação e o processamento dos sinais refletidos cria uma imagem bidimensional da superfície.

No sistema SAR, o radar é transportado num satélite que se movimenta a uma altitude e velocidade contantes.

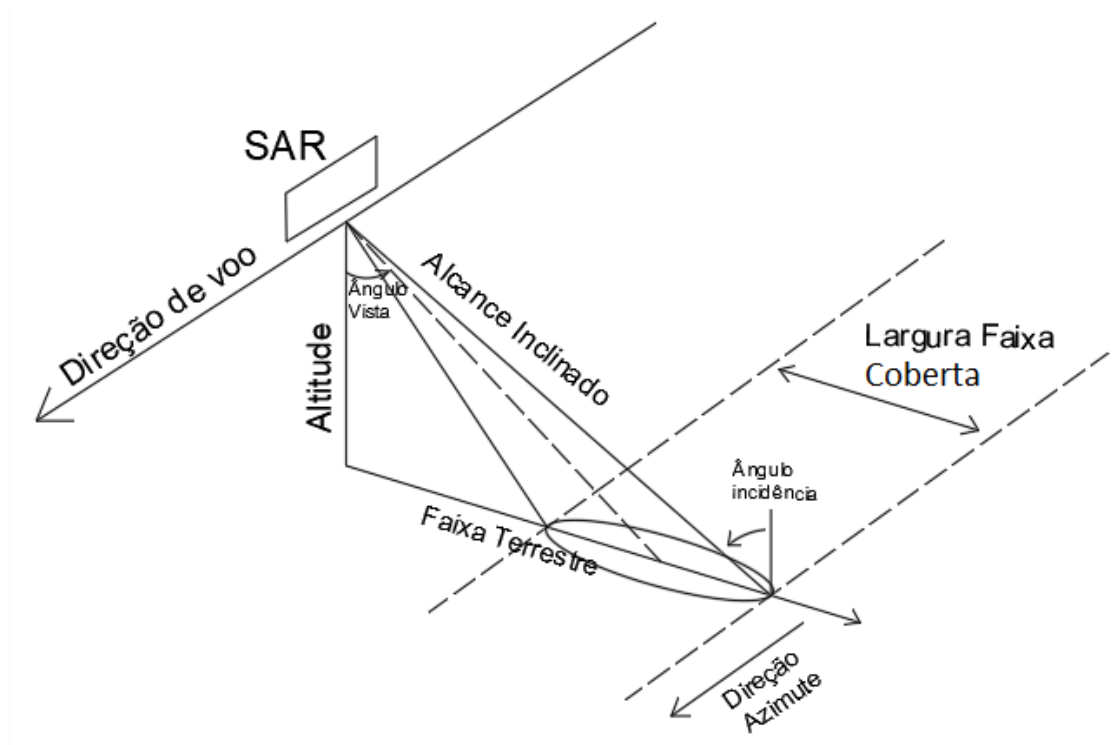


Figura 2.10 - Geometria SAR

Fonte: elaboração própria com base em “SAR for Mapping Soils and Crops”  
URL: <https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/disasters/Adv-SAR/session3-final.pdf>

A plataforma SAR viaja na direção de voo, com altitude ou ponto nadir diretamente abaixo da plataforma. O feixe de micro-ondas é transmitido obliquamente em ângulos retos à direção do voo, iluminando a faixa coberta. A retro-reflexão diminui com o aumento do ângulo de incidência, formado pela linha de visão do radar e a vertical do terreno. O ângulo de vista é o ângulo que o radar faz ao observar a superfície. A distância entre um alvo e o radar é conhecida como alcance inclinado e a direção de azimute refere-se à dimensão ao longo da pista paralela à direção do voo.

### 2.8.2 Polarização no radar

De maneira simples podemos dizer que a polarização permite duplicar a capacidade de transmissão de um satélite ao duplicar a capacidade de cada frequência. A Polarização afeta a interação com o alvo (Lima, 2014).

Segundo (McNairn & Jiao, 2019), a polarização consiste na orientação do campo elétrico da onda eletromagnética. Para criar uma onda alimenta-se simultaneamente a antena do radar com dois componentes ortogonais polarizados. O campo elétrico será igual ao vetor

soma da componente polarizada horizontal (H) e vertical (V). A diferença de fase entre estes dois componentes determina se a onda será linear, elíptica ou circular polarizada.

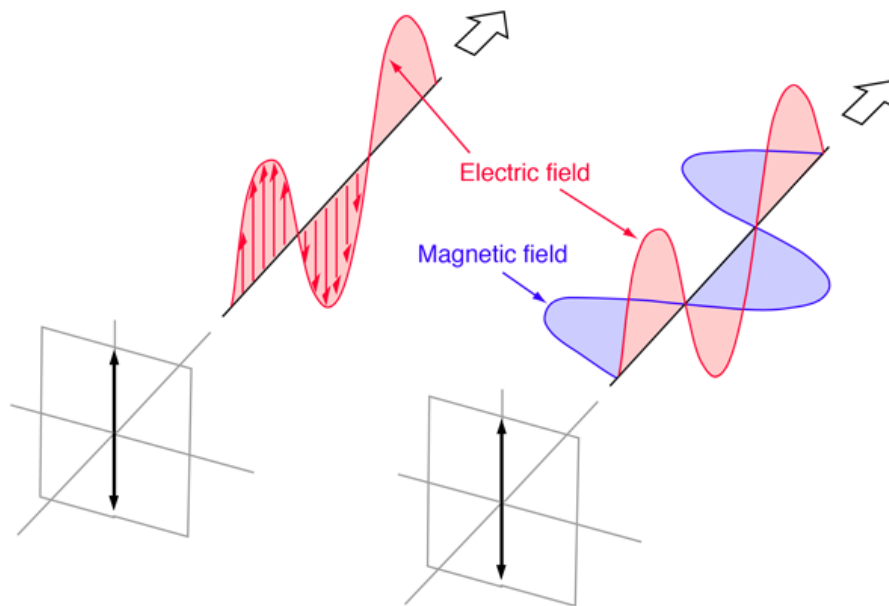


Figura 2.11 - Polarização da onda

Fonte: Georgia State University

URL: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polclas.html>

### Transmissão e Receção

Para (McNairn & Jiao, 2019), SARs transmitem em uma ou mais polarizações e, em seguida, recebe e regista a onda retro-refletida em uma ou mais polarizações.

Na polarização linear a onda pode ser transmitida tanto na vertical quanto na horizontal. Desta maneira as duas ondas de uma mesma frequência não se misturam e é possível fazer mais de uma transmissão em uma mesma frequência. Podem ser HH (transmissor-recetor horizontal) ou VV (transmissor-recetor vertical).

Na polarização cruzada podem ser HV (horizontal-vertical de transmissão/receção) ou VH (vertical-horizontal de transmissão/receção). Ondas HV e VH são idênticas e teoricamente a reciprocidade é assumida. Para a polarização, apenas estavam disponíveis os valores das componentes VV e VH.

### 2.8.3 Calibração radiométrica

A calibração dos valores de retro-reflexão são necessários para a comparação de imagens de RaDAR adquiridas com diferentes sensores, ou mesmo de imagens obtidas pelo mesmo sensor caso tenham sido adquiridas em modos diferentes ou processadas com processadores diferentes (sarmap, 2019).

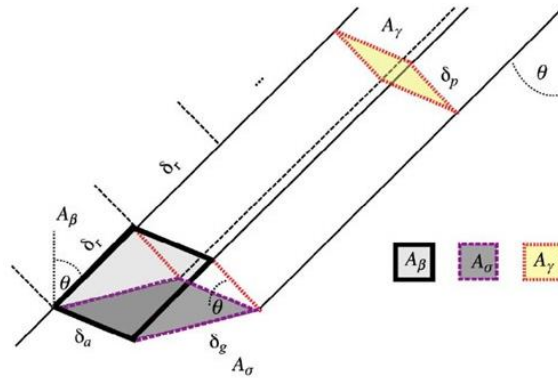


Figura 2.12 - Retrodifusão Beta, Sigma e Gama

Fonte: STEP Forum

URL: <https://forum.step.esa.int/t/when-used-sigma0-betta0-or-gamma0/7659>

- beta ( $\beta$ ) é o coeficiente de brilho (ou refletividade) do radar. A refletividade por área na faixa inclinada é adimensional. Essa normalização tem a virtude de não requerer conhecimento do ângulo de incidência.
- Sigma ( $\sigma$ ) é o coeficiente de retro-reflexão, que é a medida convencional da força do sinal de radar refletida, geralmente expressa em decibéis (dB). É um número adimensional normalizado, que compara a força refletida pela força que seria esperada, numa área de um metro quadrado.
- Gama ( $\gamma$ ) é o coeficiente de retro-reflexão normalizado pelo cosseno do ângulo de incidência.

Para a calibração radiométrica dos produtos Sentinel-1 utilizados no projeto, utilizou-se os valores de Gama ( $\gamma$ ), visto serem os que apresentam melhores resultados após processamento, para ondas que contêm a componente de polarização vertical V (Babu, 2015).

Os valores do coeficiente de retro-reflexão variam de -40 dB, para baixa retro-reflexão, a +5 dB, para alta retro-reflexão (Chin, 2001).

#### 2.8.4 Resolução de Azimute

Além dos tipos de resolução discutidos anteriormente, nos Sistemas SAR contamos com a resolução em Azimute. Esta é determinada pela largura do feixe da antena e da distância até ao alvo. A largura do feixe depende diretamente do comprimento de onda e depende inversamente do tamanho da antena (ou abertura) (McNairn & Jiao, 2019). O sistema SAR utiliza a deslocação do próprio satélite para gerar uma antena grande sintética, pela justaposição da antena enquanto se desloca.



*Figura 2.13 - SAR*

*Fonte: Georgia State University*

*URL: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polclas.html>*

#### 2.8.5 Efeitos da rugosidade do solo

A rugosidade do solo pode ser definida como o aspeto das irregularidades que a superfície do solo apresenta em relação a uma superfície de referência (Salemi, 2009).

Para os solos significa:

- Rugosidade aleatória causada por lavoura (e outras operações agrícolas), alterações por erosão do solo e os efeitos de intempérie;
- Estruturas de linhas periódicas provocadas pelo preparo e plantio.

A retro-reflexão irá aumentar à medida que a rugosidade do solo aumenta. Solos mais ásperos parecem mais brilhantes em imagens SAR. O impacto da rugosidade na retro-

reflexão depende da frequência e do ângulo de incidência da SAR. A rugosidade é um conceito relativo.

A linha de vista (LOS) do SAR em relação à direção da linha de deslocamento impacta na força de retorno do sinal do radar. São obtidos fortes resultados de retro-reflexão quando o sentido visual do SAR é perpendicular à direção do deslocamento. Todavia, podem existir efeitos de direção devidos à direção da plantação e do solo.

Este fenómeno não está presente quando os campos são fotografados em polarizações cruzadas (HV e VH), devido a que respondem à dispersão de volume ao invés do espalhamento superficial.

#### 2.8.6 Efeitos da água no alvo

Segundo (McNairn & Jiao, 2019), uma micro-onda vai continuar a propagar-se até encontrar uma descontinuidade dielétrica, como acontece quando a água está presente no solo. A constante dielétrica é uma medida da facilidade com que moléculas dipolares (tais como a água) giram em resposta a um campo aplicado.

Quando um campo elétrico é aplicado, as moléculas de água rodam facilmente de modo a alinharem-se com o campo. A resistência ao atrito é baixa e a pouca energia armazenada na rotação é perdida quando a onda passa e a molécula relaxa. A maior parte da energia armazenada é liberada. Os valores da constante dielétrica variam entre 3 (solos muito secos) e 80 (água).

Isto significa uma forte relação entre a real constante dielétrica e a retro-reflexão SAR, ou por outras palavras, uma forte relação entre a constante dielétrica e a humidade do solo. Simplificando: mais água no alvo provoca maior retro-reflexão originando retornos mais brilhantes. Aplica-se a qualquer tipo de alvo (solo, vegetação, etc.).

A profundidade de penetração ( $\delta\rho$ ) no solo e/ou cultivo é definido pelo dielétrico ( $\epsilon$ ), comprimento de onda ( $\lambda$ ) e ângulo de incidência. A penetração aumenta com o comprimento de onda e é maior quando o alvo (solo ou culturas) é mais seco.

### 2.8.7 Efeitos da vegetação

Para (McNairn & Jiao, 2019), uma maior dispersão do comprimento de onda das micro-ondas é causada por estruturas de grande escala (tamanho, forma, orientação das folhas, caules e frutos) e pelo volume da água no dossel florestal (ao nível da molécula).

A estrutura do cultivo altera significativamente a cada colheita, assim como varia nas suas fases de crescimento. A estrutura da cultura varia significativamente entre soja, trigo e milho.

#### **Dispersão a partir das culturas**

A estrutura das plantas, isoladas ou em conjunto, influenciam a retro-reflexão de cada tipo de plantas (número de eventos de retro-reflexão). Segundo (McNairn & Jiao, 2019), muitos tipos e combinações de dispersão diferentes podem ocorrer nos cultivos. Uma onda de micro-ondas entrando na vegetação pode dispersar diretamente para fora da folha, ou pode dispersar a partir da haste de uma planta para a folha de outra, ou pode fazer o seu caminho para o solo onde se dispersa a partir do solo. A onda também pode fazer o seu caminho para fora do cultivo sem mais dispersão, ou pode atingir partes do cultivo na sua saída.

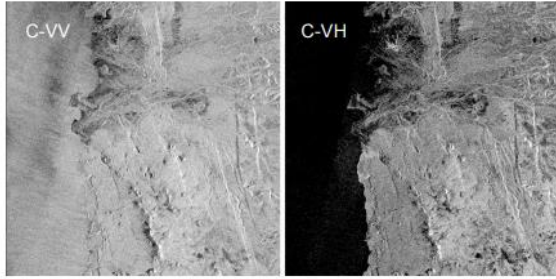
Esses eventos de espalhamento determinam o quanto da energia vai voltar para o sensor SAR e como a fase entre, por exemplo, as componentes de H e V irão alterar. Estas características de dispersão podem dizer qual o tipo de cultivo presente e qual a sua condição.

### 2.8.8 Efeitos da polarização do SAR

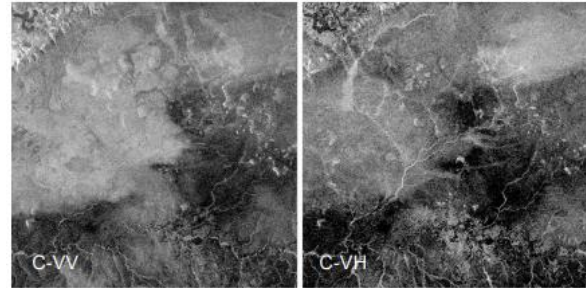
A polarização do RaDAR influi nos resultados obtidos. Tomemos como exemplo a região árida de Marsabit, no Quênia. Os mecanismos de retro-reflexão da banda C para terrenos áridos e rochosos, originam reflexões altas na polarização VV e moderadas na polarização VH. A resposta VH uniforme indica uma ausência de vegetação, que pode ser devido a pedras no solo (Perez & Olfindo, 2020).

Na região de Masai Mara no Quênia, estamos na presença de Savana. Como o comprimento de onda da banda C é altamente sensível à baixa vegetação, produz-se uma forte resposta nas polarizações VV e VH. A região central da imagem exhibe uma baixa retro-reflexão em ambas polarizações, sendo provavelmente uma área de solo liso e nu.

Como estamos perante a estação das chuvas na região, o teor de humidade do solo provavelmente contribuiu para a baixa retro-reflexão das áreas nuas do solo (Perez & Olfindo, 2020).



*Figura 2.14 - Marsabit, Quênia*



*Figura 2.15 - Masai Mara, Quênia*

*Fonte: Laymans SAR Interpretation Guide*

*URL: [http://ceos.org/document\\_management/SEO/DataCube/Laymans\\_SAR\\_Interpretation\\_Guide\\_2.0.pdf](http://ceos.org/document_management/SEO/DataCube/Laymans_SAR_Interpretation_Guide_2.0.pdf)*

Podemos constatar que para uma correta análise é muito importante conhecer bem a zona de estudo, a nível das condições meteorológicas, precipitação, corpos de água, tipo de solo, etc.

### 2.8.9 Efeitos do ambiente envolvente

É necessário verificar as condições ambientais no tempo de aquisição de imagem antes de usar dados SAR. Segundo (McNairn & Jiao, 2019), existem várias recomendações a ter em conta:

- Não devemos usar SAR se chovia no momento da aquisição. Embora a SAR seja considerada uma tecnologia passível de ser usada a “qualquer tempo”, não se deve incluir imagens durante eventos de chuva, uma vez que a água na atmosfera causará dispersão de SAR.
- Não devemos usar SAR se o solo está congelado. A constante dielétrica fica próxima de zero quando as gotas de água estão congeladas. Assim, mesmo se houver água no solo, o SAR vai ver o solo seco.
- Devemos considerar se o orvalho pode estar presente durante as aquisições no início do dia. A presença de água nas folhas vai aumentar a retro-reflexão (grande problema para a modelagem biofísica). Se a água na copa é significativa (imediatamente depois da chuva), o contraste entre alvos pode ser reduzido. O orvalho é mais proeminente em regiões temperadas no início da manhã.

### 2.8.10 Efeitos do ruído

Cada célula de resolução é composta por diversos elementos difusores, aleatoriamente distribuídos, os quais interferem uns nos outros contribuindo para a dispersão das ondas (McNairn & Jiao, 2019).

Todas estas ondas dispersas podem levar a uma interferência complexa, às vezes construtiva (soma do sinal, pixéis brilhantes) e, por vezes, destrutiva (cancelamento do sinal, pixéis escuros). Como resultado, aparecem variações súbitas na intensidade da imagem, originando assim o efeito de ruído de salpico.

#### **Supressão do ruído de salpico**

Segundo (McNairn & Jiao, 2019), o salpico pode ser reduzido de duas maneiras:

- processamento multi-look: divide o feixe do radar em vários sub-feixes mais estreitos. Cada sub-feixe fornece um “olhar” independente. Os “olhares” são somados para formar uma imagem de saída final com salpico reduzido;
- média espacial ou temporal: são aplicados filtros de redução à imagem detetada, reduzindo o salpico e preservando ao mesmo tempo as bordas. Esses filtros irão modificar a imagem com base em estatísticas extraídas do local ambiente de cada pixel.

Ambas as maneiras (multi-olhar e filtragem espacial) reduzem o salpico em detrimento da resolução.

### 2.8.11 Efeito das configurações do SAR

As configurações variam consoante as características dos cultivos. Para (McNairn & Jiao, 2019), as configurações mais importantes envolvem as componentes frequência, polarização e ângulo de incidência.

#### **Frequência:**

A copa pode atenuar ou dispersar as micro-ondas. A dominância de uma ou de outra depende do comprimento de onda em relação ao tamanho dos componentes do dossel. Ocorre dispersão quando o componente do dossel (tal como uma folha) esta perto do/ou é maior que o comprimento de onda.

Alguns componentes (tais como as cabeças de trigo) vão atenuar as micro-ondas, especialmente em comprimentos de onda mais curtos. A frequência também afeta a profundidade de penetração. Comprimentos de onda mais longos penetram mais profundamente na copa e interagem mais com o solo.

A melhor frequência depende do objetivo:

- humidade do solo: comprimentos de onda mais longos (como a banda L) são melhores porque penetram mais profundamente na copa e interagem com o solo;
- classificação do cultivo e modelagem biofísico: depende do dossel;
- é necessária uma penetração suficiente no dossel (banda L ou C para o milho, por exemplo), mas não muito profunda para que não tenhamos a interferência do solo (banda C ou X para culturas de baixa biomassa, como a soja).

### **Polarização**

A polarização afeta como as micro-ondas interagem com a cultura.

- Ondas polarizadas V emparelham com a vegetação de estrutura vertical e a energia é atenuada;
- Ondas polarizadas H têm uma maior penetração através do dossel ao solo subjacente;
- Ondas polarizadas cruzadas (HV / VH) são sensíveis ao volume do alvo e não são afetadas pelo efeito das fileiras. São a melhor polarização para qualquer identificação de culturas. A seguinte melhor polarização é geralmente VV.

### **Ângulo de incidência**

Não é crítico para a identificação de culturas. Para a deteção de mudanças temporais, não se misturam ângulos. Para estimativas biofísicas, é aceitável misturar ângulos desde que o modelo seja responsável pelo ângulo de incidência.

### 2.8.12 Meio físico e retro-reflexão em imagens SAR

Nas imagens SAR, as áreas claras são produzidas pela forte resposta ao radar, enquanto que as áreas escuras são resultado duma fraca resposta ao radar.

As áreas urbanas apresentam pixéis brilhantes, devido a retro-reflexão-múltipla nos cantos das superfícies, causando que a maior parte da energia retorne ao sensor. A retro-reflexão-múltipla resulta na soma de retro-reflexões dentro do mesmo “pixel”, aumentando o brilho.

Em relação aos corpos de água, eles não podem ser penetrados por micro-ondas, sendo necessário um meio físico (solo, vegetação, etc.). Ou seja, no caso de massas de água calmas e abertas, o sinal é refletido na superfície, mas se a água estiver com vegetação, ocorre o oposto, em vez da reflexão na superfície, teremos efeito de retro-reflexão-múltipla, com valores altos de retorno do sinal, originando pixéis brilhantes.

As gotas de água isoladas (humidade) provocam também retro-reflexão-múltipla, aumentando o brilho do objeto base (solo, plantas, etc.). Isto é, solo húmido é mais brilhante que o solo seco, mas solo inundado é mais escuro que o solo seco.

Meio físico	Comportamento	Cor de pixel
Floresta	Muito alta retro-reflexão	Muito Claro
Malha Urbana	Muito alta retro-reflexão	Muito Claro
Solo nu e seco	Alta retro-reflexão	Claro
Arrozais	Alta retro-reflexão	Claro
Humidade/Gotículas de Água	Alta retro-reflexão	Claro
Estradas	Baixa retro-reflexão	Escuro
Areia	Baixa retro-reflexão	Escuro
Corpo de Água	Baixa retro-reflexão	Escuro

*Tabela 2.1 - Meio físico e retro-reflexão*

*Fonte: Elaboração própria*

## 2.9 Metodologia de Processamento SAR/SNAP

### 2.9.1 Adquirição de dados

Existem disponíveis vários repositórios de acesso livre. Para a obtenção dos dados foi utilizado o repositório da NASA, disponível em: <https://search.earthdata.nasa.gov/>

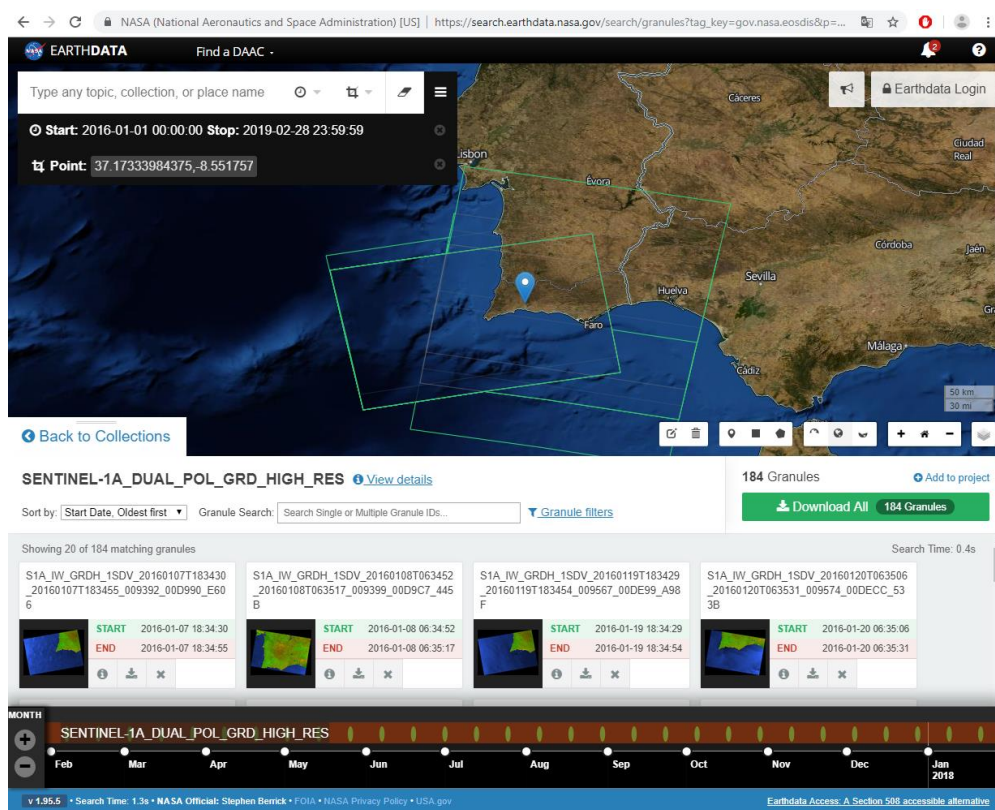


Figura 2.16 - Repositório NASA

Fonte: EarthData - URL: <https://search.earthdata.nasa.gov>

Foi escolhido o conjunto SENTINEL-1A\_DUAL\_POL\_GRD\_HIGH\_RES, cujas imagens têm uma faixa de 250 km de largura e resolução espacial de 5m x 20m. Foram escolhidos produtos de órbita descendente.

### Listagem de produtos adquiridos

Apesar de no momento de elaboração do presente projeto estarem disponíveis 184 produtos, foi necessário escolher aqueles que melhor se adequavam. Escolheu-se um produto de órbita descendente por cada mês de análise, para os anos 2016, 2017, 2018 e início de 2019.

Foram adquiridos os seguintes produtos referentes ao ano de 2016:

Produto	Data
S1A_IW_GRDH_1SDV_20161209T063508_20161209T063533_014299_017253_259A	09/12/2016
S1A_IW_GRDH_1SDV_20161115T063509_20161115T063534_013949_016771_854A	15/11/2016
S1A_IW_GRDH_1SDV_20161010T063509_20161010T063534_013424_015702_8A35	10/10/2016
S1A_IW_GRDH_1SDV_20160904T063508_20160904T063533_012899_014624_8ABA	04/09/2016
S1A_IW_GRDH_1SDV_20160811T063507_20160811T063532_012549_013A6F_C069	11/08/2016
S1A_IW_GRDH_1SDV_20160706T063505_20160706T063530_012024_012923_6D55	06/07/2016
S1A_IW_GRDH_1SDV_20160612T063504_20160612T063529_011674_011DFE_D6AF	12/06/2016
S1A_IW_GRDH_1SDV_20160519T063503_20160519T063528_011324_0112D2_C16A	19/05/2016
S1A_IW_GRDH_1SDV_20160425T063504_20160425T063529_010974_0107A7_225F	25/04/2016
S1A_IW_GRDH_1SDV_20160308T063505_20160308T063530_010274_00F311_9D00	08/03/2016
S1A_IW_GRDH_1SDV_20160201T063500_20160201T063525_009749_00E3F0_F35A	01/02/2016
S1A_IW_GRDH_1SDV_20160108T063452_20160108T063517_009399_00D9C7_445B	08/01/2016

Tabela 2.2 - Produtos Adquiridos do repositório da NASA – Ano 2016

Fonte: Elaboração própria

Foram adquiridos os seguintes produtos referentes ao ano de 2017:

Produto	Data
S1A_IW_GRDH_1SDV_20171204T063515_20171204T063540_019549_021310_C709	04/12/2017
S1A_IW_GRDH_1SDV_20171110T063515_20171110T063540_019199_020811_B526	10/11/2017
S1A_IW_GRDH_1SDV_20171005T063516_20171005T063541_018674_01F800_369B	05/10/2017
S1A_IW_GRDH_1SDV_20170911T063515_20170911T063540_018324_01ED4C_AF1B	11/09/2017
S1A_IW_GRDH_1SDV_20170806T063513_20170806T063538_017799_01DD40_8A4D	06/08/2017
S1A_IW_GRDH_1SDV_20170701T063511_20170701T063536_017274_01CD46_0A3C	01/07/2017
S1A_IW_GRDH_1SDV_20170607T063510_20170607T063535_016924_01C297_8929	07/06/2017
S1A_IW_GRDH_1SDV_20170502T063507_20170502T063532_016399_01B279_286E	02/05/2017
S1A_IW_GRDH_1SDV_20170408T063506_20170408T063531_016049_01A7CF_5234	08/04/2017
S1A_IW_GRDH_1SDV_20170303T063505_20170303T063530_015524_019810_EE4D	03/03/2017
S1A_IW_GRDH_1SDV_20170207T063505_20170207T063530_015174_018D4A_4D40	07/02/2017
S1A_IW_GRDH_1SDV_20170102T063506_20170102T063531_014649_017D2D_D901	02/01/2017

Tabela 2.3 - Produtos Adquiridos do repositório da NASA – Ano 2017

Fonte: Elaboração própria

Foram adquiridos os seguintes produtos referentes ao ano de 2018:

Produto	Data
S1A_IW_GRDH_1SDV_20181211T063521_20181211T063546_024974_02C0BF_93C9	11/12/2018
S1A_IW_GRDH_1SDV_20181105T063522_20181105T063547_024449_02AE02_329C	05/11/2018
S1A_IW_GRDH_1SDV_20181012T063522_20181012T063547_024099_02A26C_6077	12/10/2018
S1A_IW_GRDH_1SDV_20180906T063522_20180906T063547_023574_02915E_BB9D	06/09/2018
S1A_IW_GRDH_1SDV_20180801T063519_20180801T063544_023049_028092_ABEA	01/08/2018
S1A_IW_GRDH_1SDV_20180708T063518_20180708T063543_022699_0275AD_31F5	08/07/2018
S1A_IW_GRDH_1SDV_20180614T063517_20180614T063542_022349_026B6F_C513	14/06/2018
S1A_IW_GRDH_1SDV_20180509T063514_20180509T063539_021824_025AD5_72E7	09/05/2018
S1A_IW_GRDH_1SDV_20180403T063513_20180403T063538_021299_024A5D_424D	03/04/2018
S1A_IW_GRDH_1SDV_20180310T063512_20180310T063537_020949_023F46_74B7	10/03/2018
S1A_IW_GRDH_1SDV_20180202T063513_20180202T063538_020424_022E94_C3AF	02/02/2018
S1A_IW_GRDH_1SDV_20180109T063513_20180109T063538_020074_022372_BC16	09/01/2018

Tabela 2.4 - Produtos Adquiridos do repositório da NASA – Ano 2018

Fonte: Elaboração própria

Foram adquiridos os seguintes produtos referentes ao ano de 2019:

Produto	Data
S1A_IW_GRDH_1SDV_20190305T063519_20190305T063544_026199_02ECD9_9629	05/03/2019
S1A_IW_GRDH_1SDV_20190209T063519_20190209T063544_025849_02E060_81F0	09/02/2019
S1A_IW_GRDH_1SDV_20190116T063520_20190116T063545_025499_02D3AC_62DD	16/01/2019

Tabela 2.5 - Produtos Adquiridos do repositório da NASA – Ano 2019

Fonte: Elaboração própria

Uma vez adquiridos todos os produtos, procedeu-se a com o processamento dos mesmos através da utilização do software SNAP (SeNtinel's Application Platform).

## 2.9.2 Processamento de dados

Para processamento dos dados foi utilizado o software SNAP (SeNtinel's Application Platform). SNAP é um software de código aberto que opera de acordo com a licença GPL v3 e é composto por um conjunto de ferramentas ideais para a observação e exploração dos dados da terra. Para o correto funcionamento, é recomendável ter 4GB de memória RAM e uma placa gráfica dedicada.

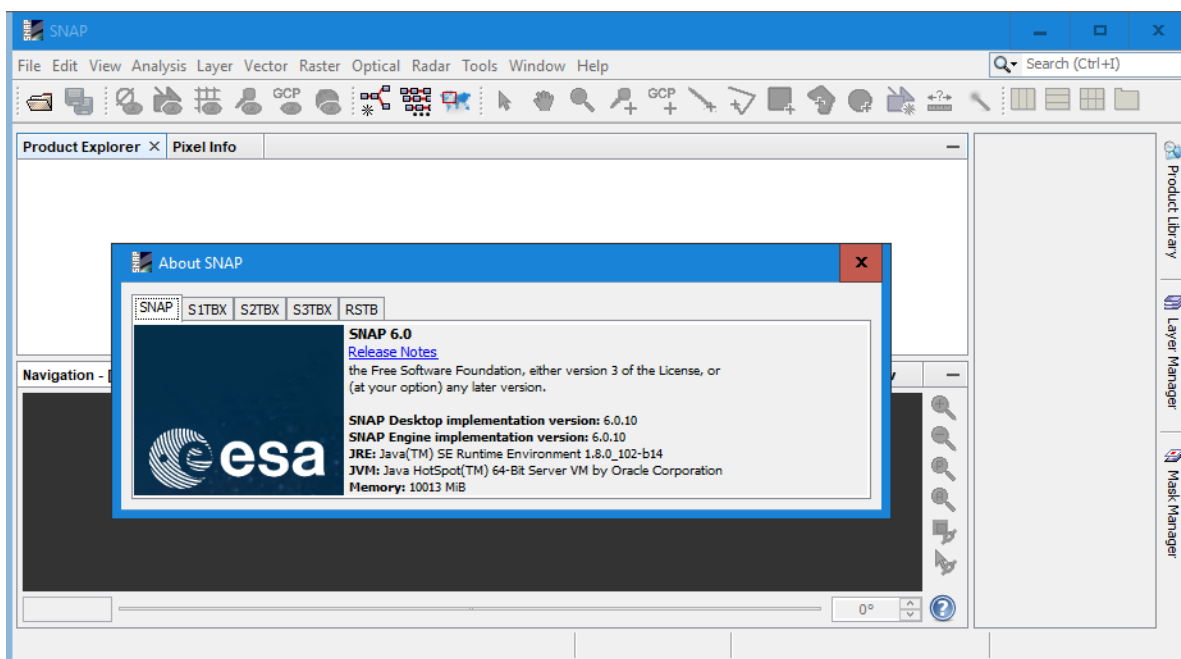


Figura 2.17 - Software SNAP

Fonte: Science Toolbox Exploitation Platform (STEP)

URL: <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>

O processamento consistiu de 5 passos fundamentais:

- a) Pré-processamento Gama
- b) Corregistro
- c) Corte das imagens
- d) Diferença entre imagens
- e) Exportação

a) *Pré-processamento*

O primeiro passo consistiu na utilização do script Pré-processamento, com o qual selecionamos a aplicação de vários parâmetros de processamento, entre os quais, filtros para a remoção do ruído ou correções de distorções geométricas das imagens. Para calibração radiométrica escolhemos utilizar os valores de gama ( $\gamma$ ), que é o coeficiente de retro-reflexão normalizado pelo cosseno do ângulo de incidência.

Não existe uma metodologia certa sobre quais parâmetros utilizar, visto ser uma tecnologia nova recentemente aberta ao público, pelo que cada investigador irá sugerir uma metodologia que considera mais eficaz e eficiente para alcançar os resultados.

Pré-processamento - Parâmetros de processamento	
I/O Parameters	Escolha dos parâmetros de entrada (Produtos) e de saída (Resultado do processamento).
Apply Orbit File	Adquisição do arquivo de órbita do satélite. O SNAP irá obter os dados de órbita mais precisos para ajudar a melhorar a geocodificação e outros resultados do processamento de SAR.
Multilook	Utilização dum método de redução do ruído (speckle), que consiste em dividir o espectro do sinal e, em seguida, calcular a média das subimagens recuperadas.
Calibration	As imagens SAR, além de imagens, são medições. Elas medem a intensidade dos reflexos do radar a partir do solo. Quanto mais reflexos, mais brilhante será a imagem. A intensidade dos reflexos são uma medida de humidade e rugosidade. Duas imagens SAR do mesmo objeto tiradas em épocas diferentes não nos dizem nada a menos que estejam calibradas radiometricamente, de modo a poderem ser comparadas.
Thermal Noise Remova	Remoção do ruído térmico.
Terrain Flattening	Correção das distorções radiométricas causadas por diferentes ângulos de incidência. As áreas viradas para o sensor são mais brilhantes e as outras são mais escuras. É recalculada a radiometria real com base na área iluminada por pixel.
Speckle Filter	Remoção do ruído (speckle). Este tipo de ruído confere às imagens SAR um aspeto granular de grãos claros e escuros, com variações espaciais aleatórias.
Terrain-Correction	Correção da imagem devido a distorções geométricas. O algoritmo usa um Modelo Digital do Terreno para fazer as correções. A imagem atual está na orientação que o satélite fez com a observação. A imagem corrigida estará com orientação correta e georreferenciada.

Tabela 2.6 - Pré-processamento Gama

Fonte: Science Toolbox Exploitation Platform (STEP)

URL: <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>

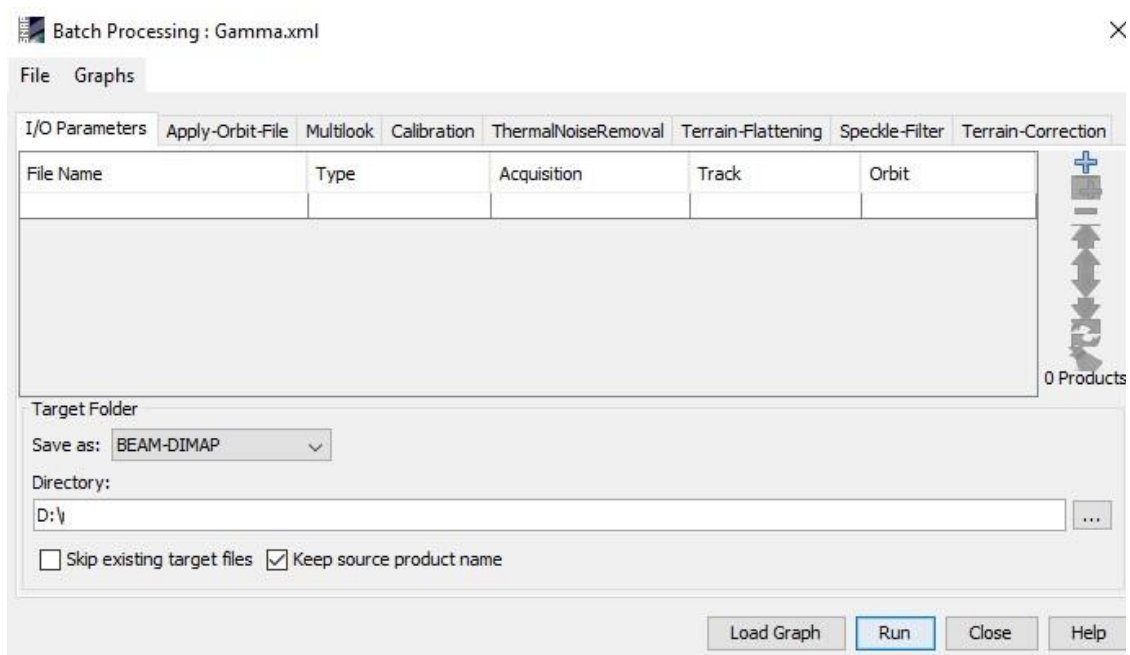


Figura 2.18 - Pré-processamento Gama  
 Fonte: Elaboração própria baseado no software SNAP

*b) Corregistro*

No segundo passo realizou-se o corregistro das imagens, o qual consiste em determinar a transformação que melhor mapeie as características de uma imagem de referência (Master) nas imagens restantes (slave). Deste modo é possível alinhar geometricamente os conjuntos, na mesma localização espacial.

Batch Processing - Parâmetros de processamento	
Product Set Reader	Leitura de todos os produtos já processados na etapa anterior. Em primeiro lugar deverá ficar o produto de referência (Master) e a seguir os produtos restantes (slaves).
CreateStack	Criação dum único produto contendo todos os produtos como bandas.
Cross-Correlation	Baseado na correspondência de um conjunto de pontos (Ground Control Points) para a realização do alinhamento.
Warp	Escolha do método de interpolação mais adequado, para realizar a mudança de coordenadas dos pixéis.
Write	Diretório de escrita do produto final

Tabela 2.7 - Corregistro  
 Fonte: Elaboração própria baseado no software SNAP

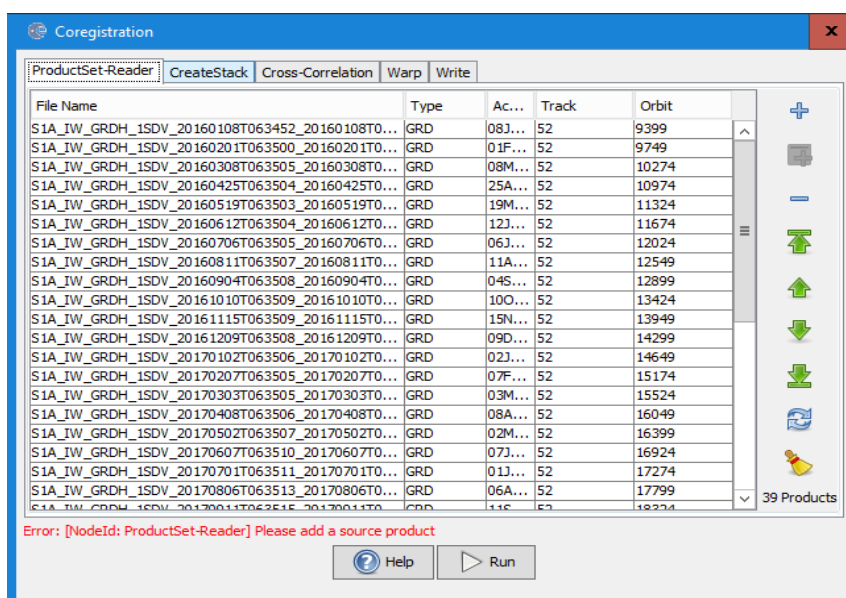


Figura 2.19 - Corregisto

Fonte: Elaboração própria baseado no software SNAP

### c) Corte das imagens

No terceiro passo realizou-se o corte das imagens de modo a delimitar a zona de estudo. Foi utilizada a ferramenta Spatial Subset from View.

Spatial Subset from View - Parâmetros de processamento	
Spatial Subset	Aplicação de uma margem de corte nas imagens. Foi escolhida em geo-coordenadas, de modo a abordar toda a área de estudo, centrada no Concelho de Lagoa.
Band Subset	Escolha das bandas ou subprodutos a serem cortados conforme as margens previamente definidas.

Tabela 2.8 - Spatial Subset from View

Fonte: Elaboração própria baseado no software SNAP

Os produtos foram cortados todos por igual, obtendo assim a área de estudo.

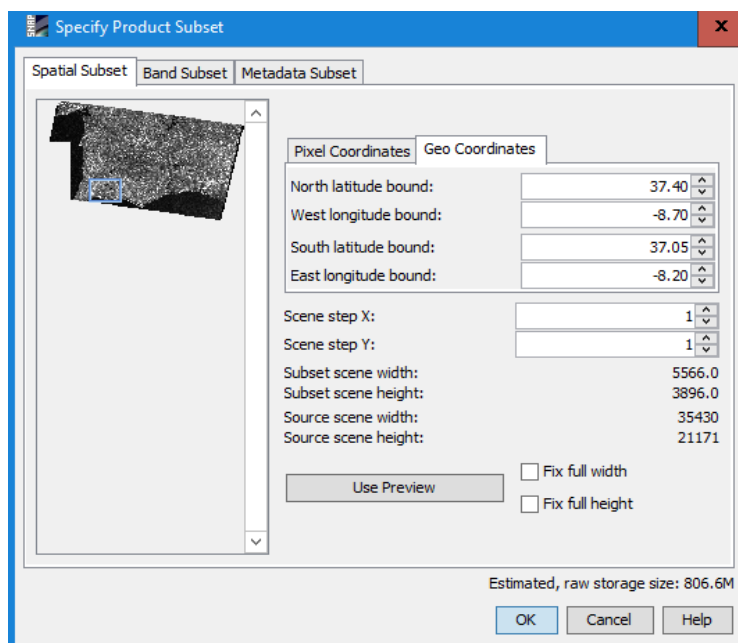


Figura 2.20 - Corte das imagens

Fonte: Elaboração própria baseado no software SNAP

#### d) Diferença entre imagens

No quarto passo identificou-se a diferença entre imagens. Para isso utilizou-se a ferramenta Open RGB Image Window. Como canais RGB, utilizou-se Green/Blue para a banda de referência e Red para as restantes bandas. A banda de referência utilizada foi fevereiro 2016. Como resultado obtemos uma imagem RGB, com as diferenças entre imagens.

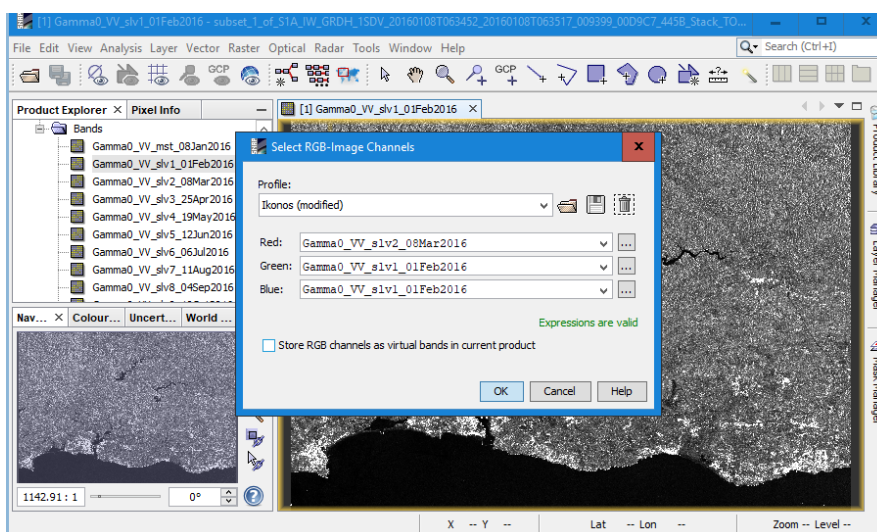


Figura 2.21 - Diferença entre imagens

Fonte: Elaboração própria baseado no software SNAP

### e) Exportação

No quinto e último passo exportou-se cada uma das imagens utilizando o comando Export View as Image.

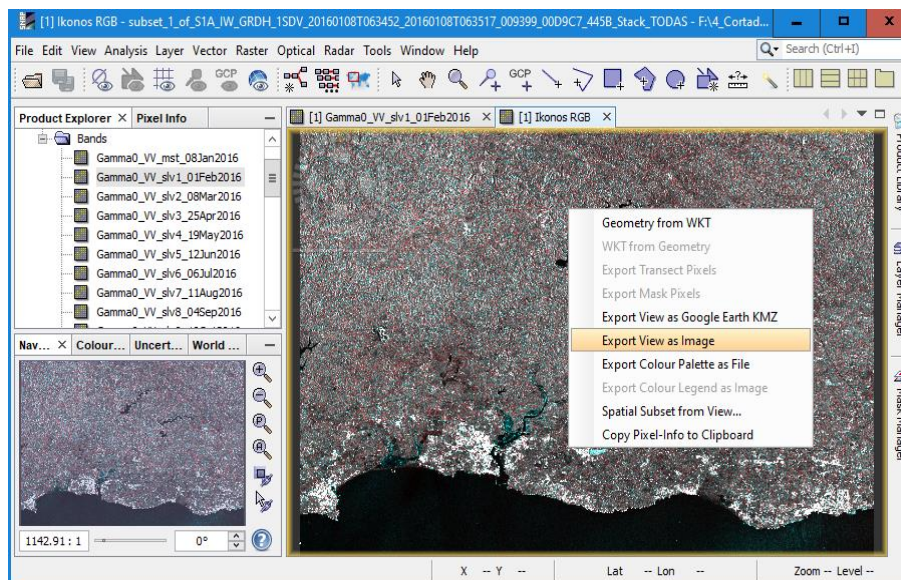


Figura 2.22 - Exportação

Fonte: Elaboração própria baseado no software SNAP

## 2.10 Implementação duma plataforma SIG para disponibilização dos dados

Com o objetivo futuro de poder disponibilizar a informação online, realizou-se a programação de um servidor de mapas de dados geográficos. Para o efeito foi utilizado o sistema gerenciador de base de dados relacional Postgresql, utilizando uma extensão que lhe confere a vertente espacial e de suporte a objetos geográficos, o Postgis.

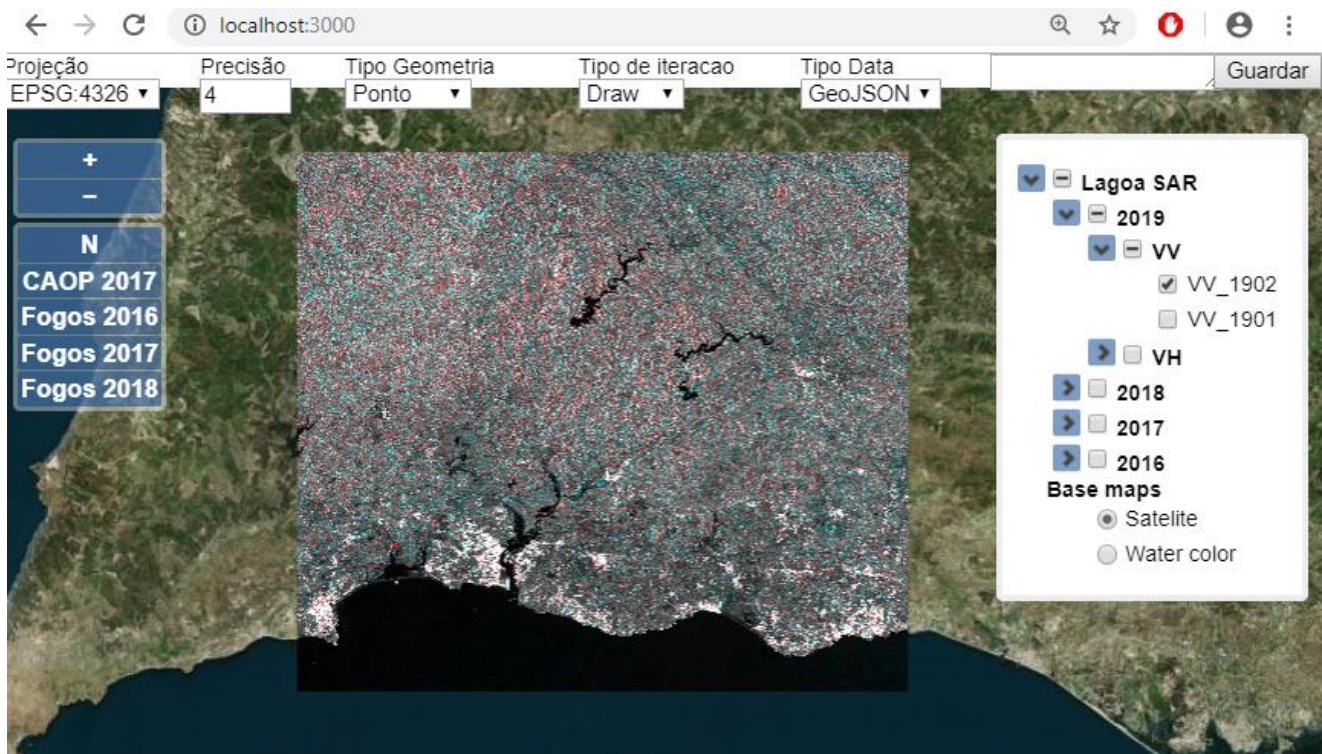
Para servidor foi utilizado o Geoserver, que é um servidor de Web Map Service (WMS) de código aberto. Como cliente foi utilizado o OpenLayers3, o qual funciona por navegador web e consiste numa biblioteca de ficheiros javascript de código aberto que permitem interagir e manusear os mapas iterativos.

Utilizou-se também o Node.js, que consiste numa plataforma de código aberto que permite executar código javascript do lado do servidor.

Foram inseridos no total 36 ficheiros rasters em formato Geotiff. Também foram adicionadas as shapefiles das áreas ardidas em Portugal Continental, entre 2016 e 2018,

que estão disponíveis na página web do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.

Esta plataforma SIG foi programada a pensar na possibilidade de permitir ao utilizador desenhar vários tipos de polígonos, que podem facilmente ser exportados para o formato GeoJSON ou KML. Desta maneira é possível importar os dados para dentro de sistemas como o QGIS ou Google Earth.



*Figura 2.23 - Plataforma SIG  
Fonte: Elaboração própria*

### 3 RESULTADOS E ANÁLISE

De modo a facilitar a análise dos resultados, as imagens foram agrupadas por mês, nas respetivas vertentes de polarização VH e VV. Ambas as polarizações fornecem muitas informações sobre as várias propriedades de uma superfície, de modo a distinguir melhor os recursos de interesse.

#### 3.1 Análise da variação da humidade relativa (2016-2018) - Concelho de Lagoa

O radar é muito sensível à rugosidade da superfície, e o desenvolvimento de arrozais fornece uma mudança dramática no brilho, desde os baixos retornos das superfícies lisas da água nos arrozais inundados até o alto retorno da colheita de arroz emergente.

Como já foi referido anteriormente, as imagens de radar podem ser utilizadas para detetar subidas e descidas do nível das águas de albufeiras, lagos e rios, assim como outras alterações cíclicas do nível das águas, como o efeito das marés.

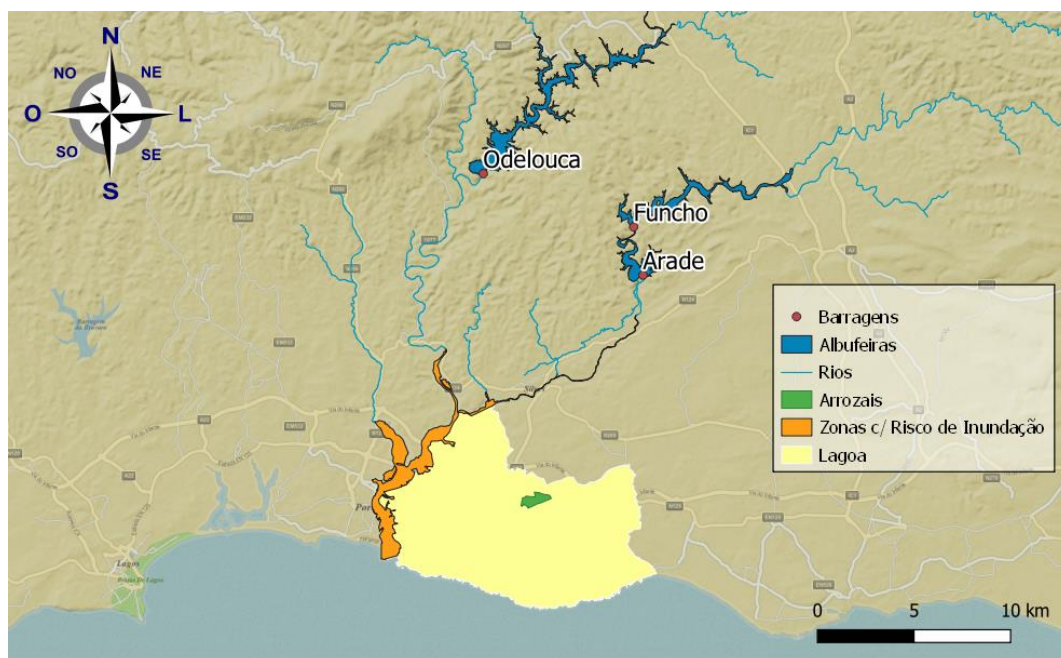


Figura 3.1 - Concelho de Lagoa - Arrozais - Zona c/ Risco de Inundação  
Fonte: elaboração própria com base em dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e da Direção-Geral do Território (DGT)

### 3.1.1 Ano 2016

As imagens obtidas no período entre março de 2016 e fevereiro de 2017 são apresentadas em seguida nas figuras 3.2 a 3.25. A Tabela 3.1 resume as incidências detetadas neste período.

Ano	Período	Figuras nº	Análise
2016	março abril	3.2 3.3 3.4 3.5	No mês de março existe uma notável falta de água nas culturas de arroz (prática comum neste tipo de culturas). No mês de abril é notório o alagamento dos campos de arroz. Ambas polarizações, VV e VH, refletem bem estes fenómenos.
	maio junho	3.6 3.7 3.8 3.9	Continuação do alagamento das culturas de arroz. Ambas polarizações refletem bem este fenómeno.
	julho agosto	3.10 3.11 3.12 3.13	Continuação do alagamento das culturas de arroz no mês de julho. No mês de agosto temos o início do processo de secagem das culturas de arroz. Ainda neste mês é visível uma mancha verde na imagem VH, em São Marcos da Serra, que reflete o incêndio que se iniciou no dia 08 de agosto.
	setembro outubro	3.14 3.15 3.16 3.17	Culturas de arroz com pouca ou nenhuma água. No mês de outubro, nas imagens VH, é possível observar rastros do Incêndio em Monchique, que iniciou a 3 de setembro e alastrou até Portimão.
	novembro dezembro	3.18 3.19 3.20 3.21	Culturas de arroz com pouca ou nenhuma água. Nas imagens VH, continuam visíveis as áreas dos incêndios de Monchique-Portimão e São Marcos da Serra.
2017	janeiro fevereiro	3.22 3.23 3.24 3.25	Culturas de arroz com pouca ou nenhuma água. Nas imagens VV, só passados alguns meses é que começam a ser visíveis os rastros do incêndio de Monchique-Portimão e do incêndio de São Marcos da Serra.

Tabela 3.1 - Análise entre março de 2016 e fevereiro de 2017

Fonte: Elaboração própria - dados provenientes do processamento SNAP

Março 2016

VV

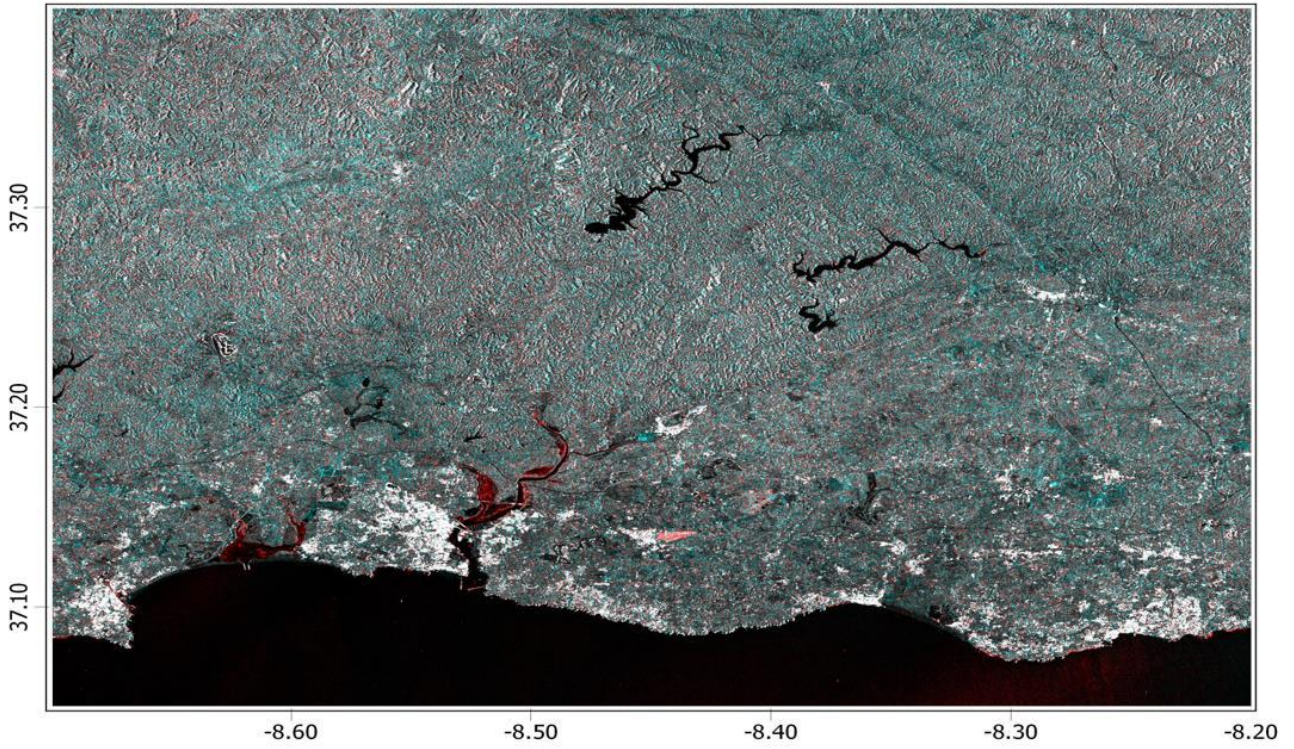


Figura 3.2 - VV-08-03-2016-06:35:05

VH

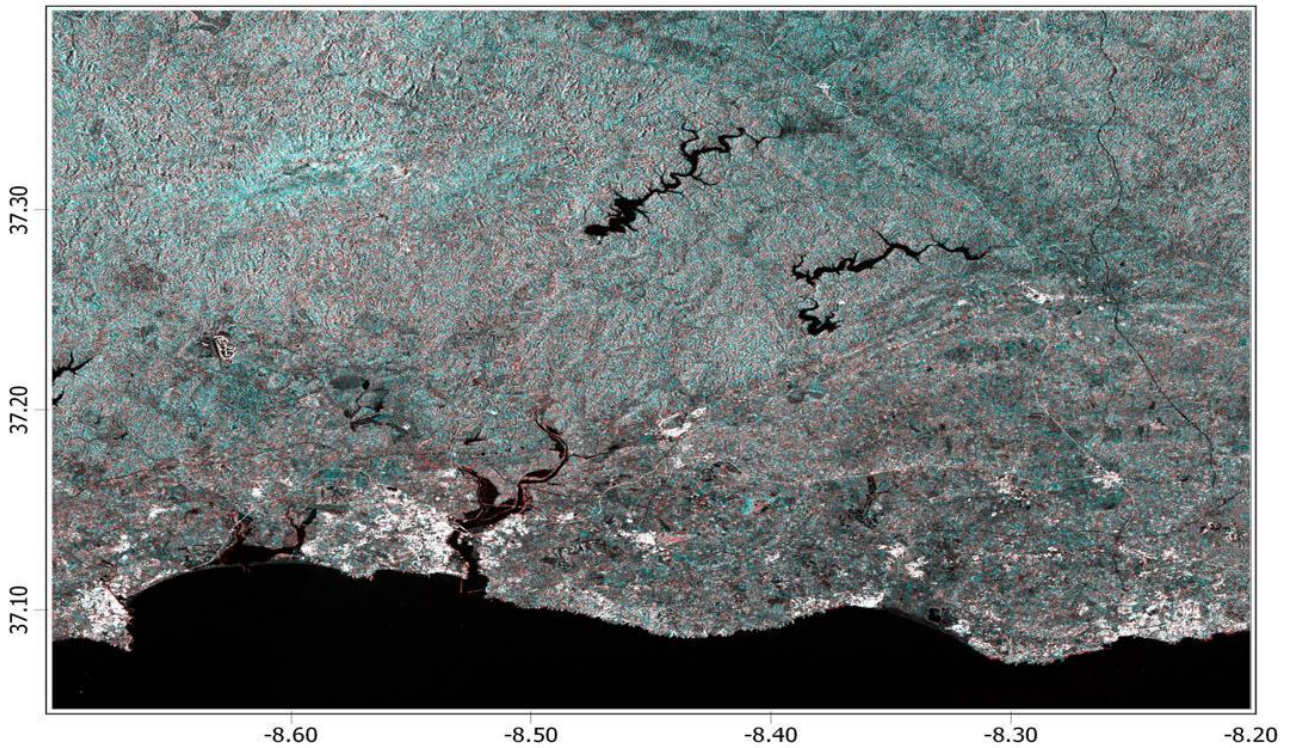


Figura 3.3 - VH-08-03-2016-06:35:05

Abril 2016

VV

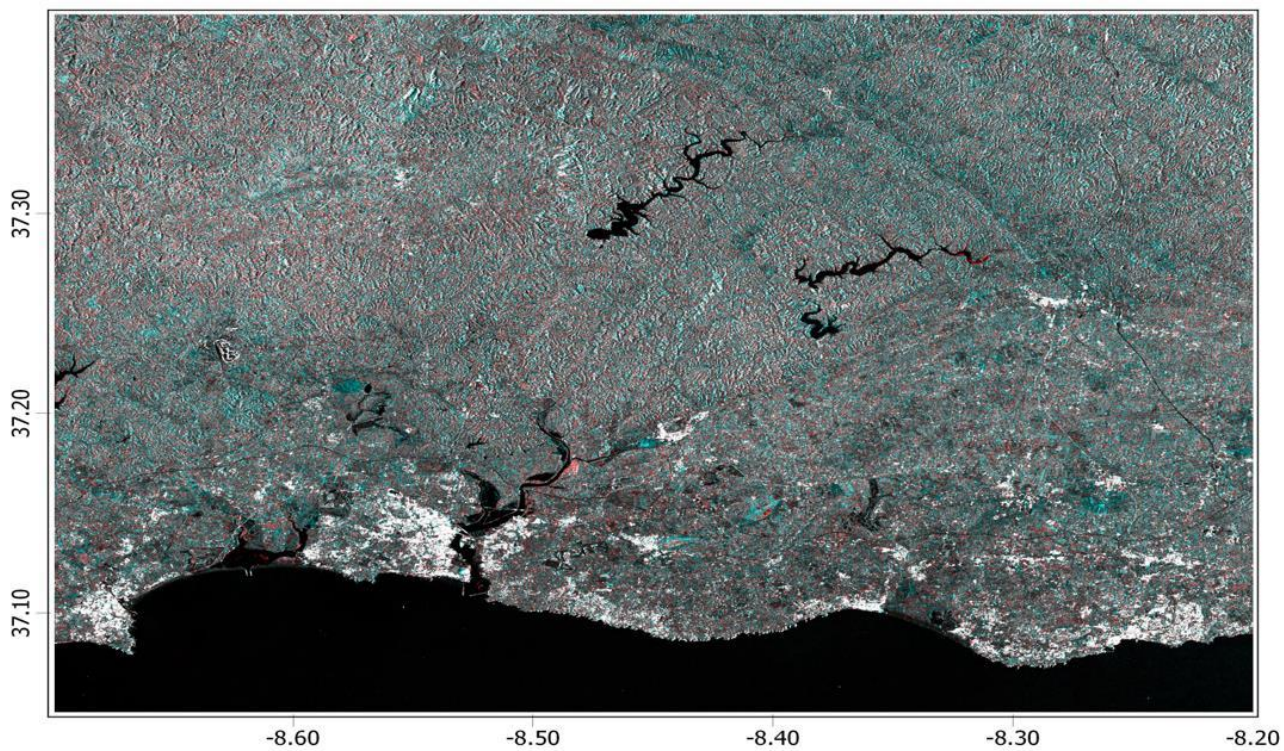


Figura 3.4 - VV-25-04-2016-06:35:04

VH

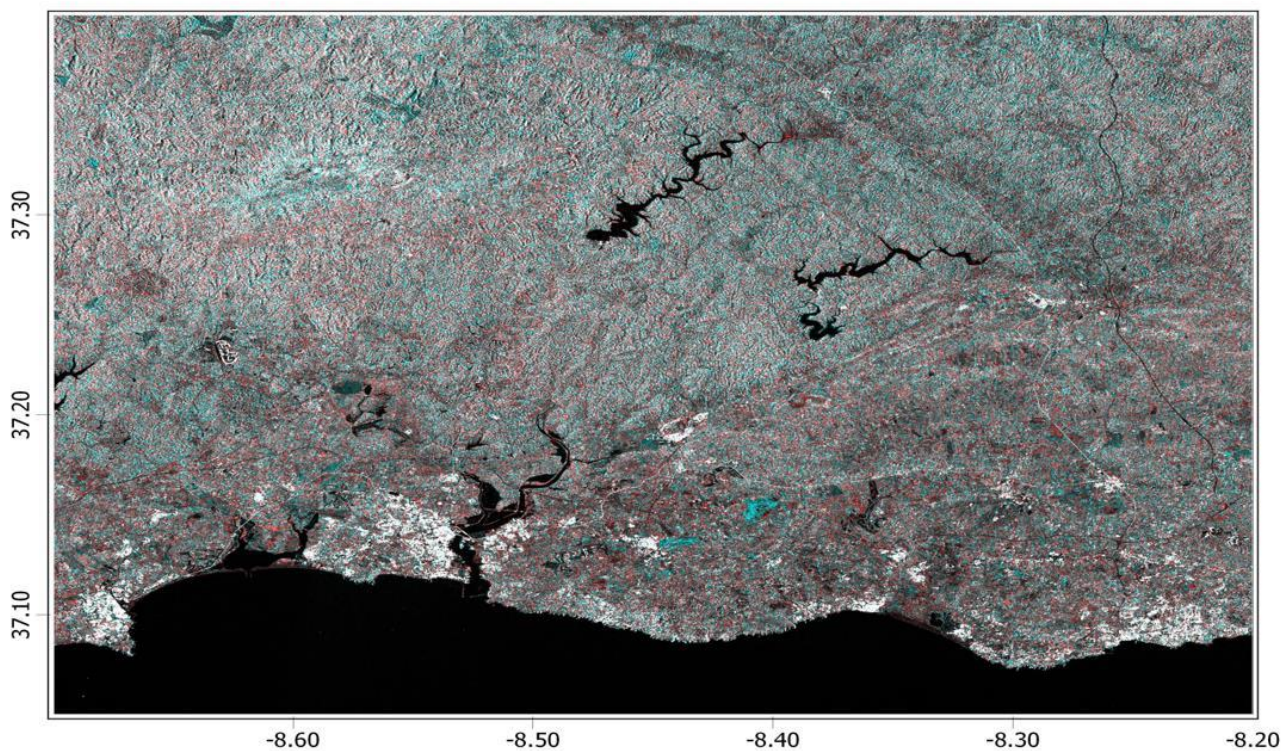


Figura 3.5 - VH-25-04-2016-06:35:04

Maio 2016

VV

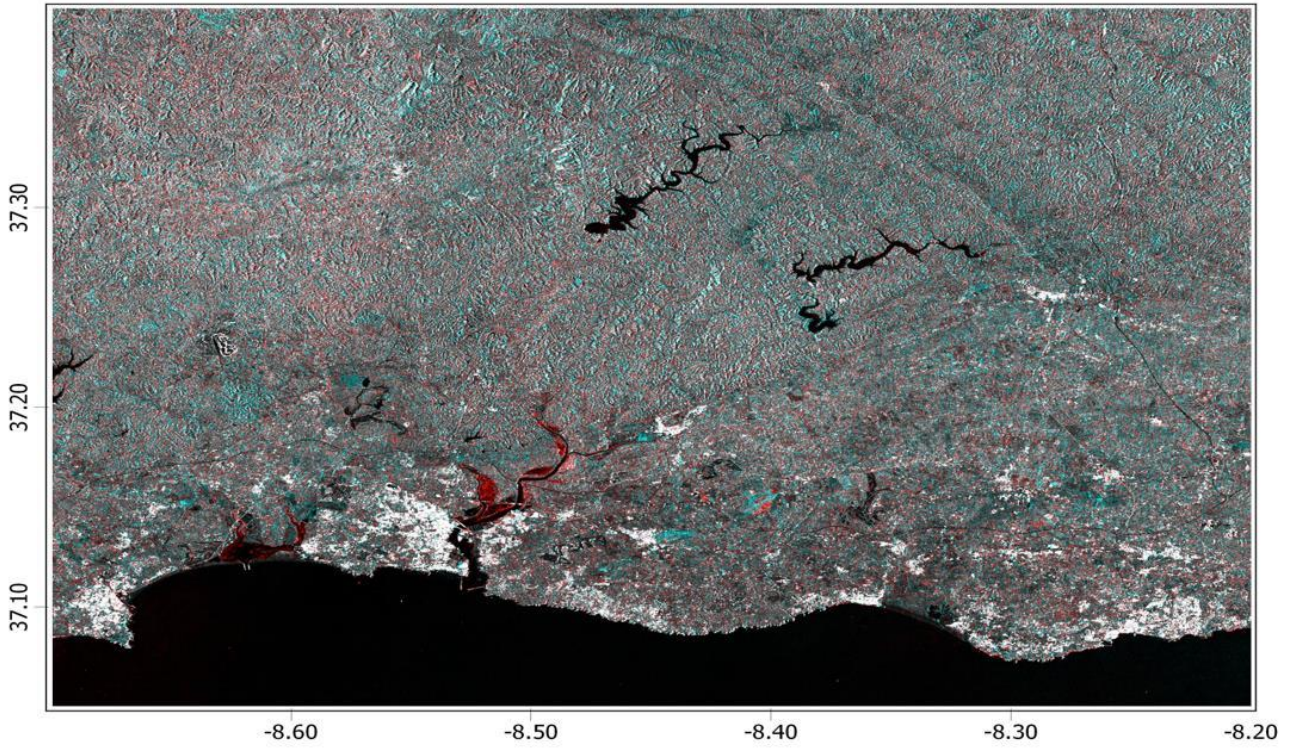


Figura 3.6 - VV-19-05-2016-06:35:03

VH

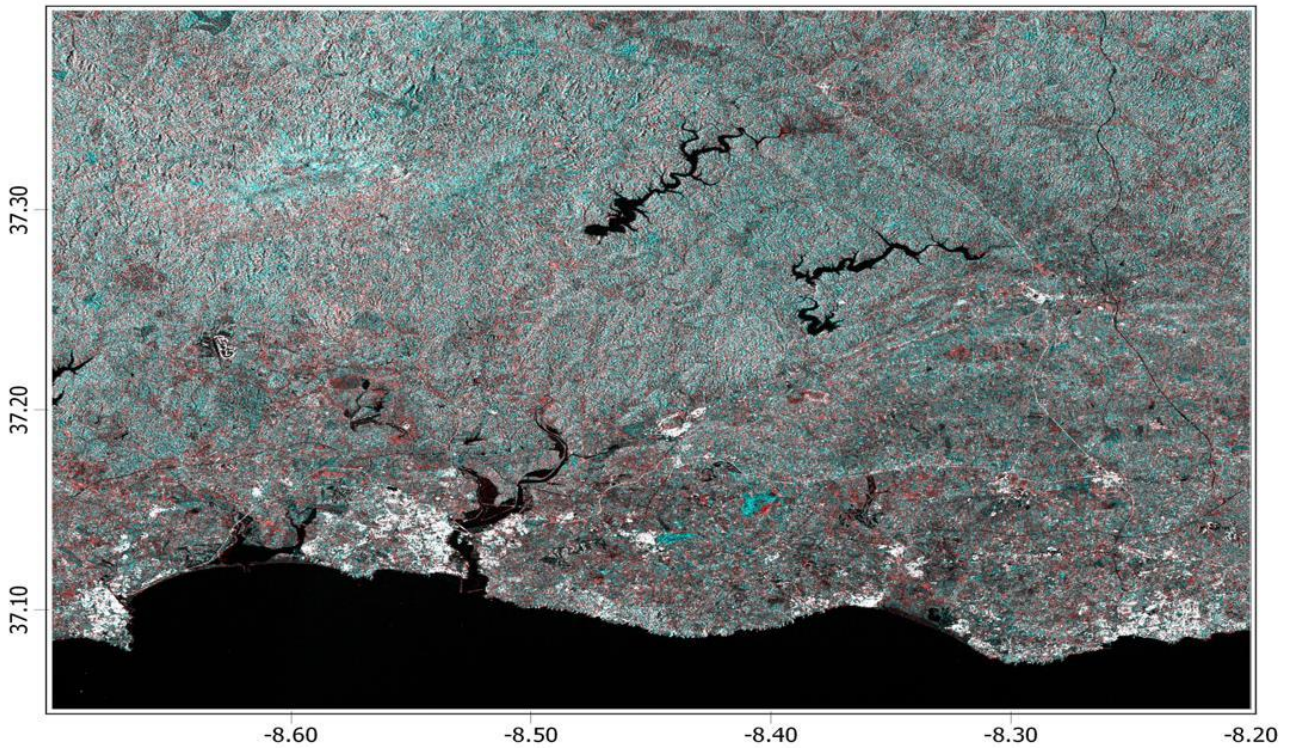


Figura 3.7 - VH-19-05-2016-06:35:03

Junho 2016

VV

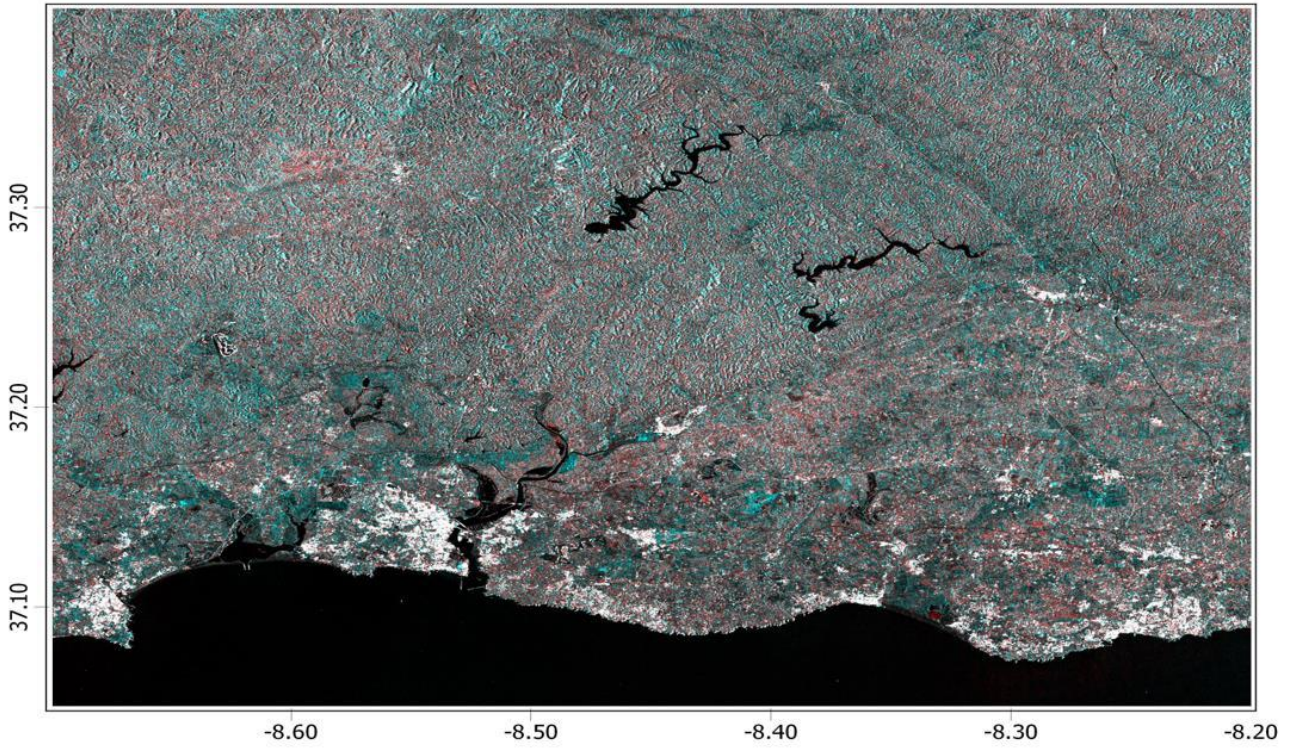


Figura 3.8 - VV-12-06-2016-06:35:04

VH

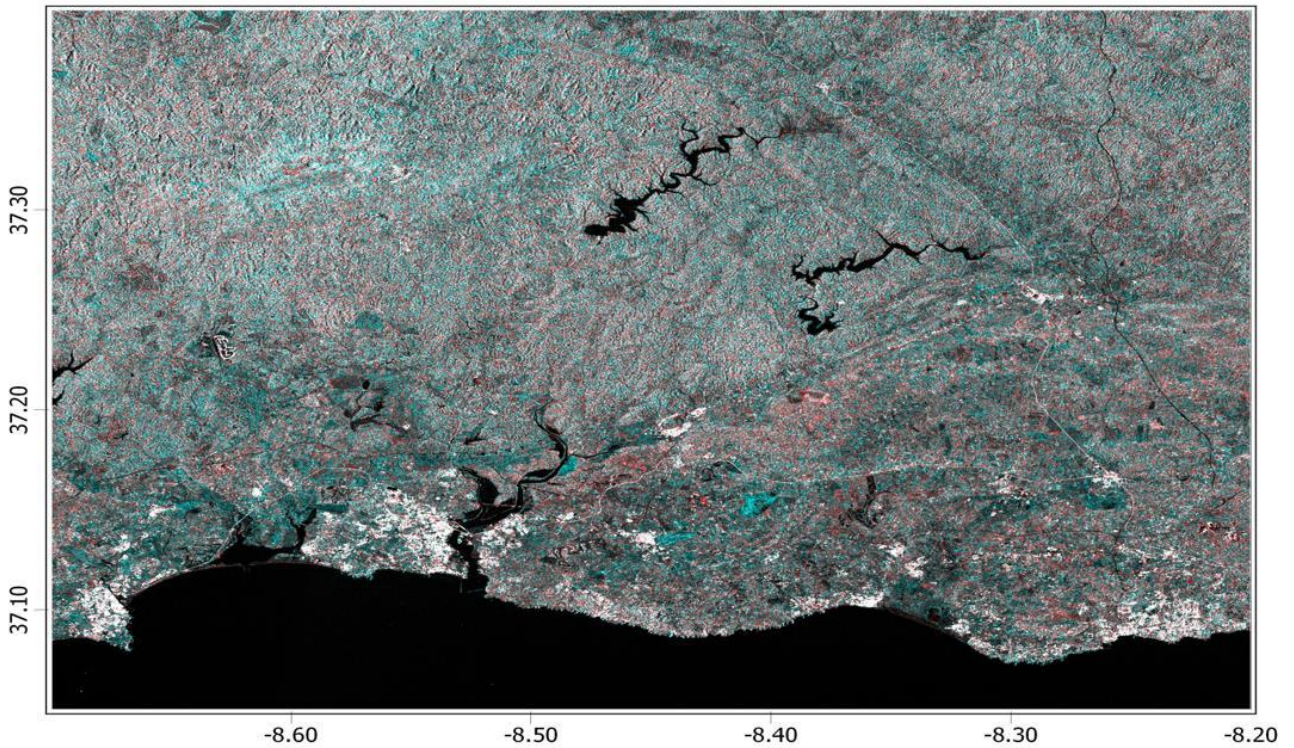


Figura 3.9 - VH-12-06-2016-06:35:04

Julho 2016

VV

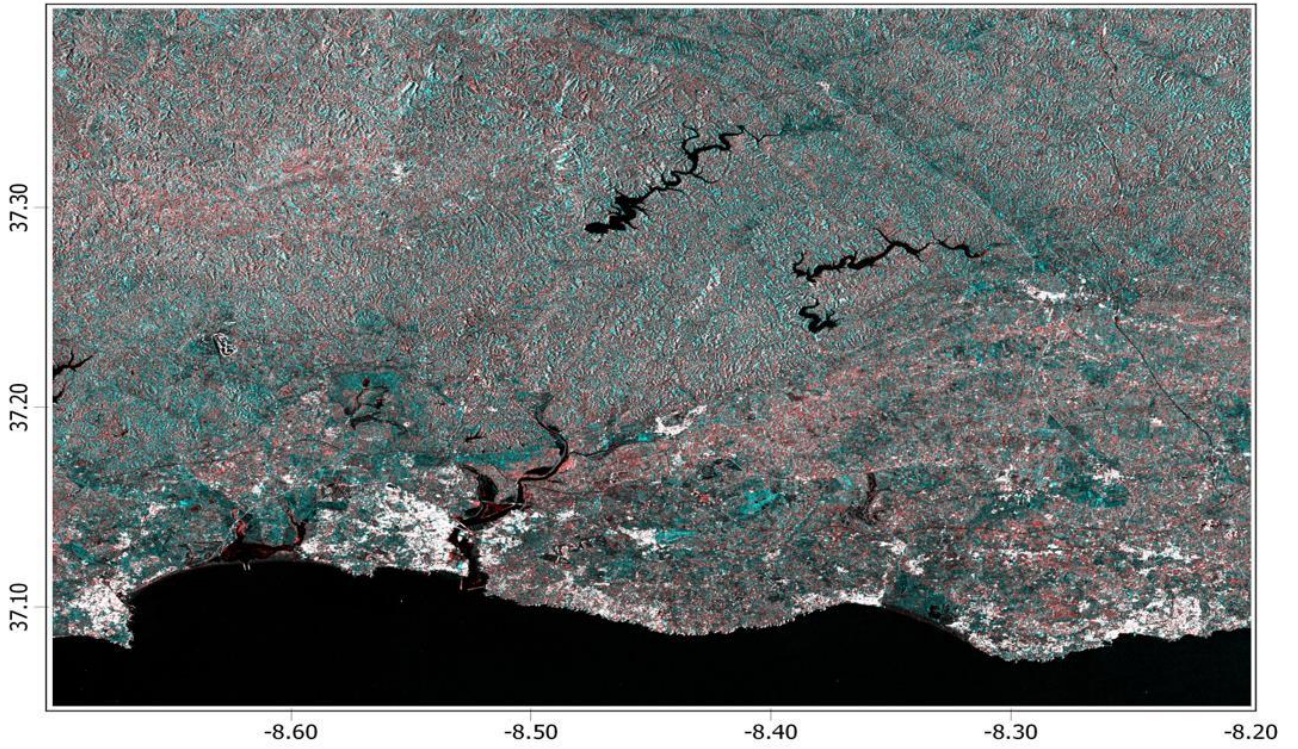


Figura 3.10 - VV-06-07-2016-06:35:05

VH

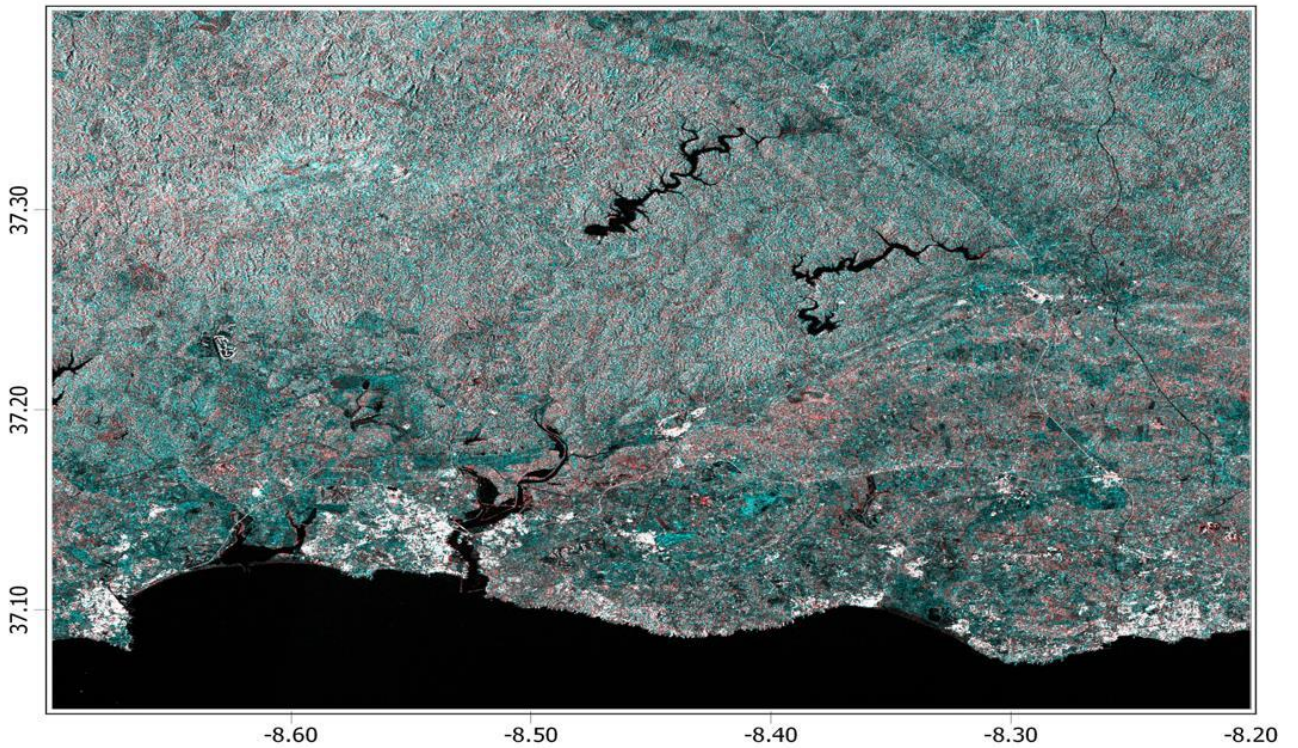


Figura 3.11 - VH-06-07-2016-06:35:05

Agosto 2016

VV

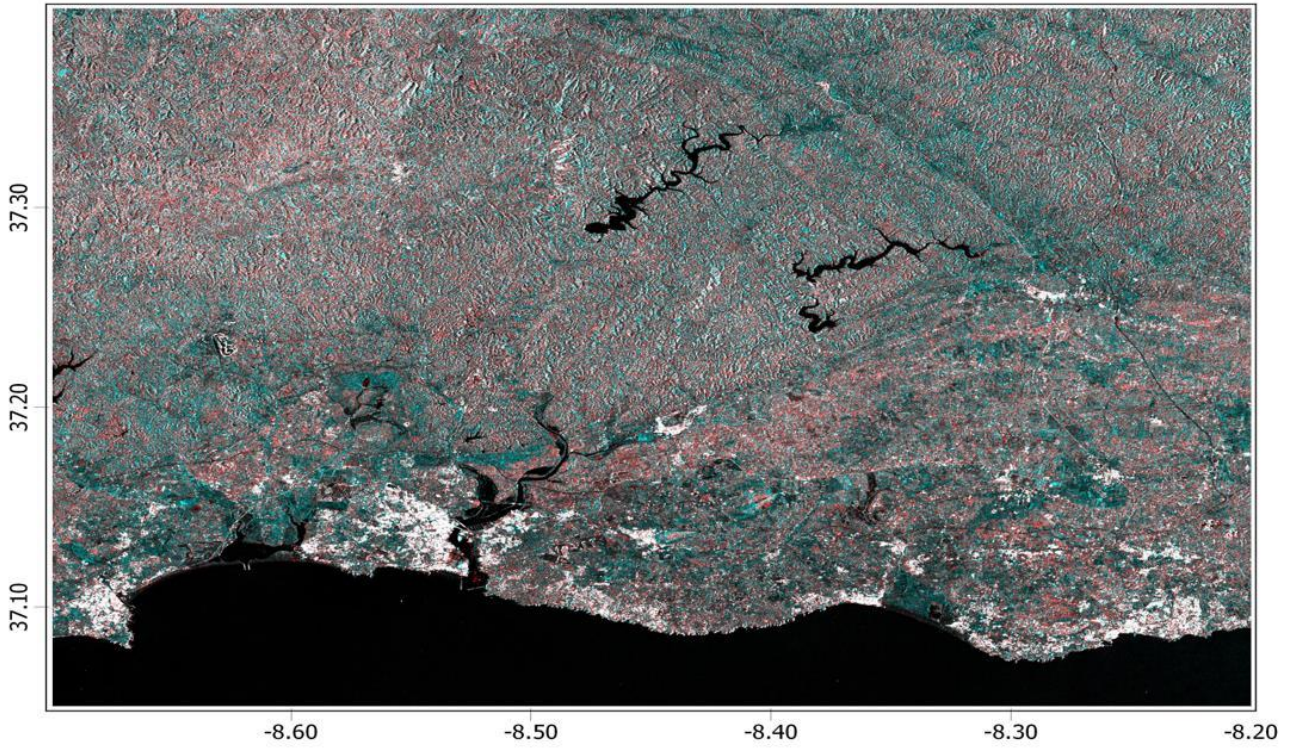


Figura 3.12 - VV-11-08-2016-06:35:07

VH

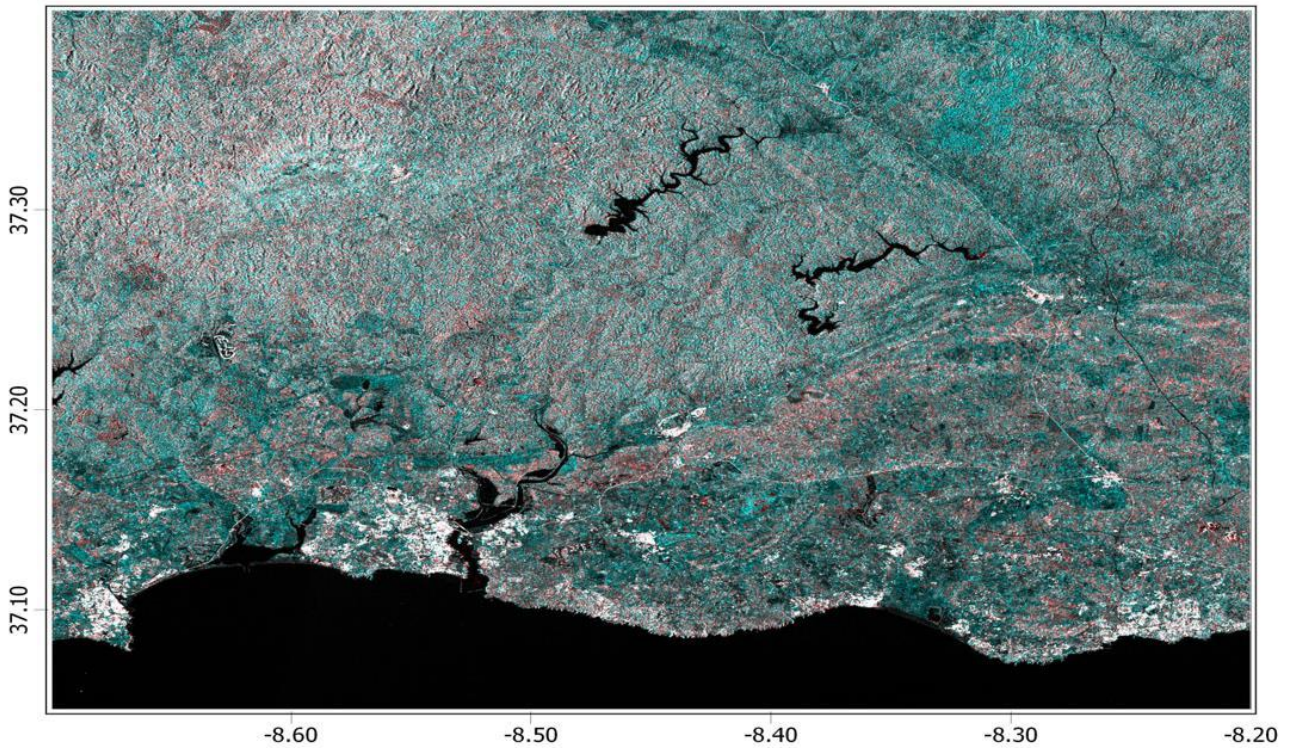


Figura 3.13 - VH-11-08-2016-06:35:07

Setembro 2016

VV

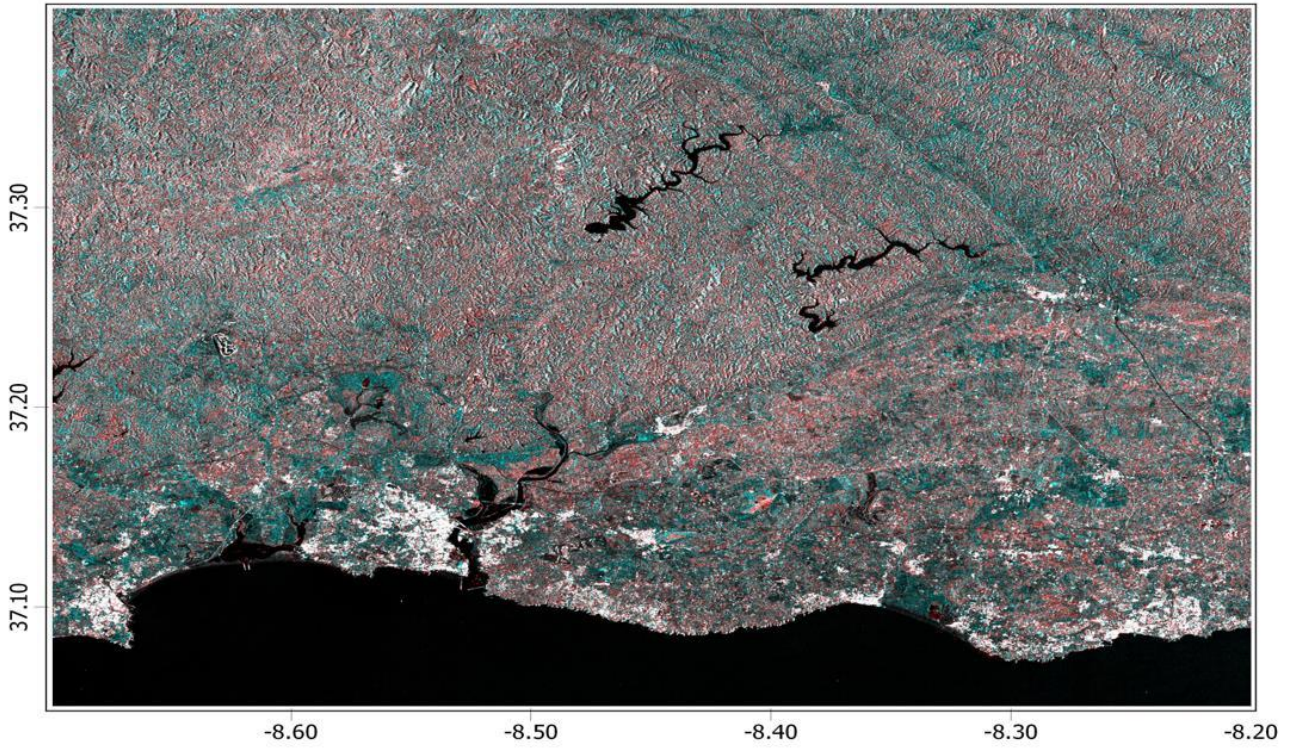


Figura 3.14 - VV-04-09-2016-06:35:08

VH

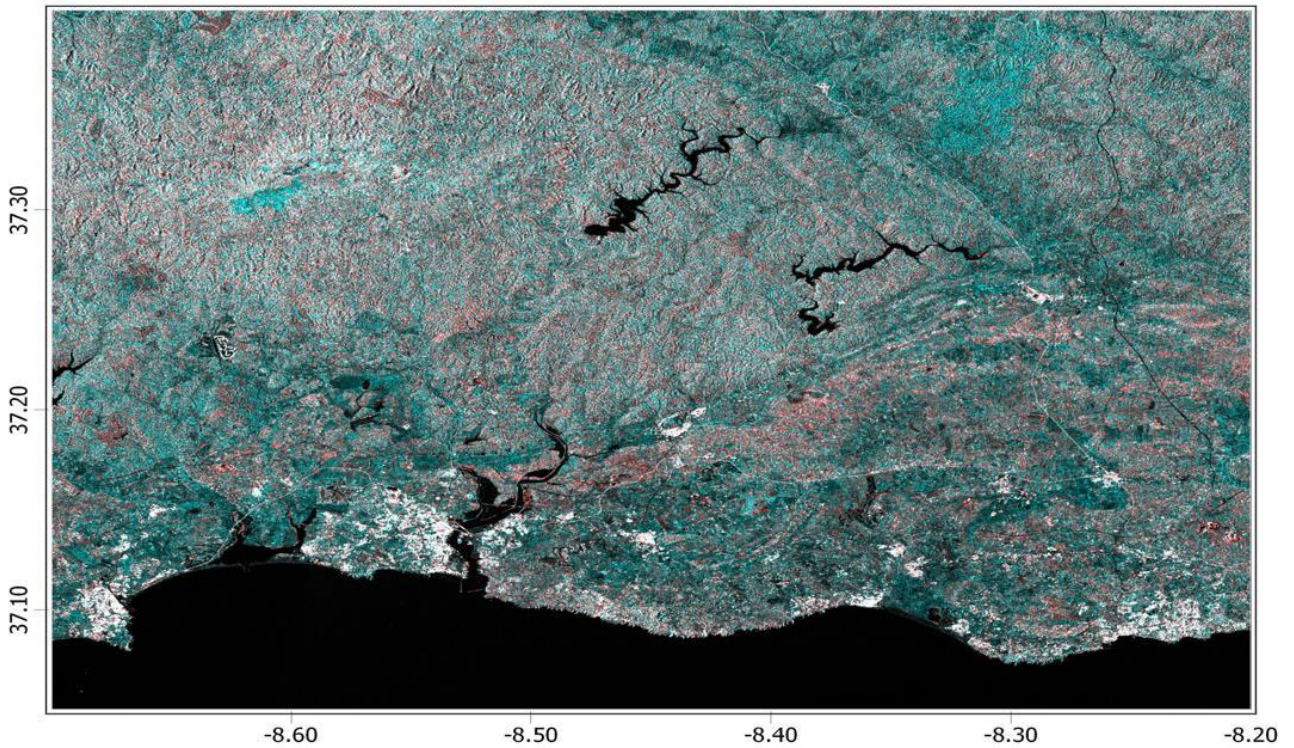


Figura 3.15 - VH-04-09-2016-06:35:08

Outubro 2016

VV

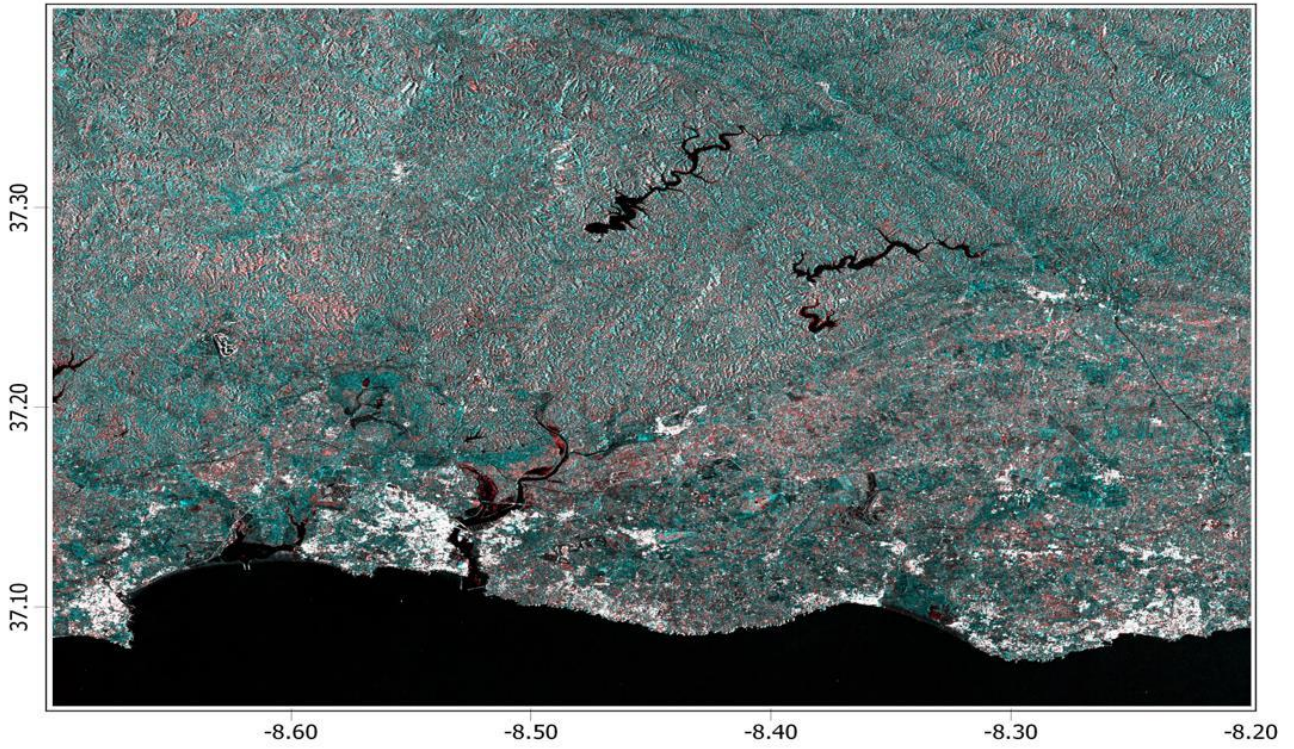


Figura 3.16 - VV-10-10-2016-06:35:09

VH

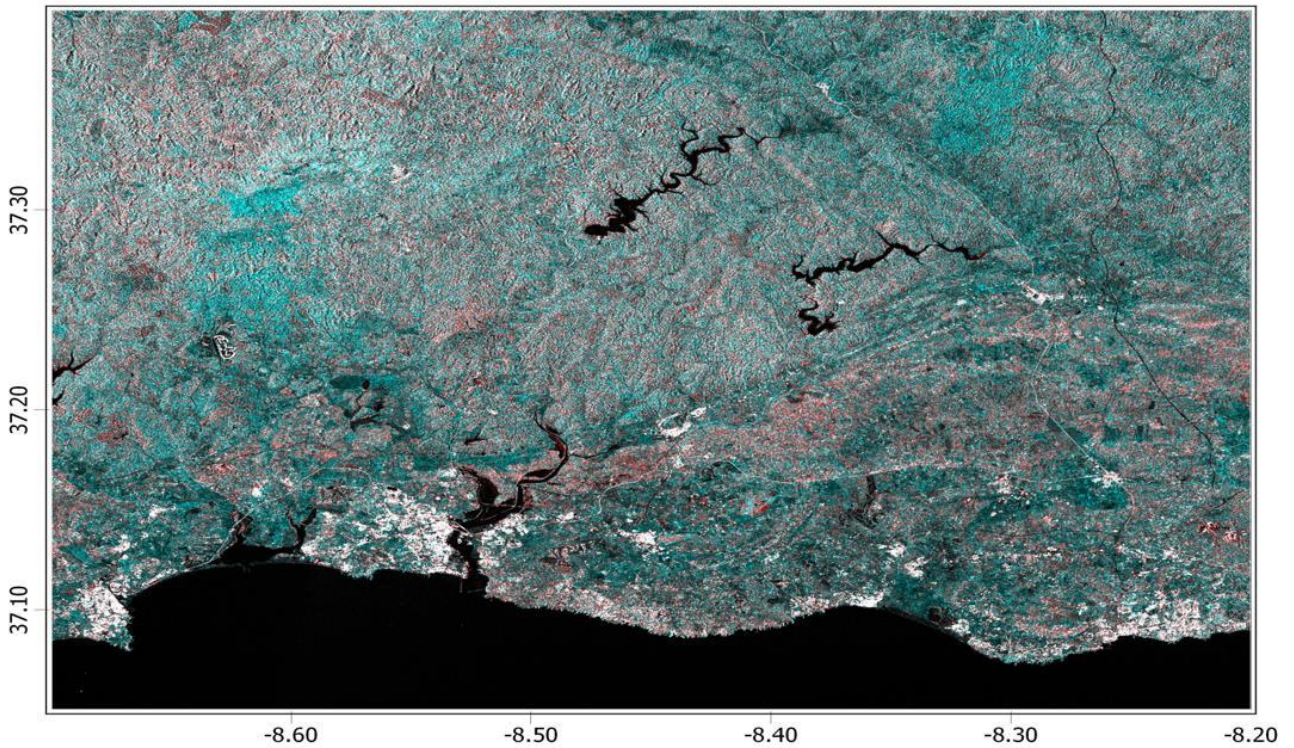


Figura 3.17 - VH-10-10-2016-06:35:09

Novembro 2016

VV

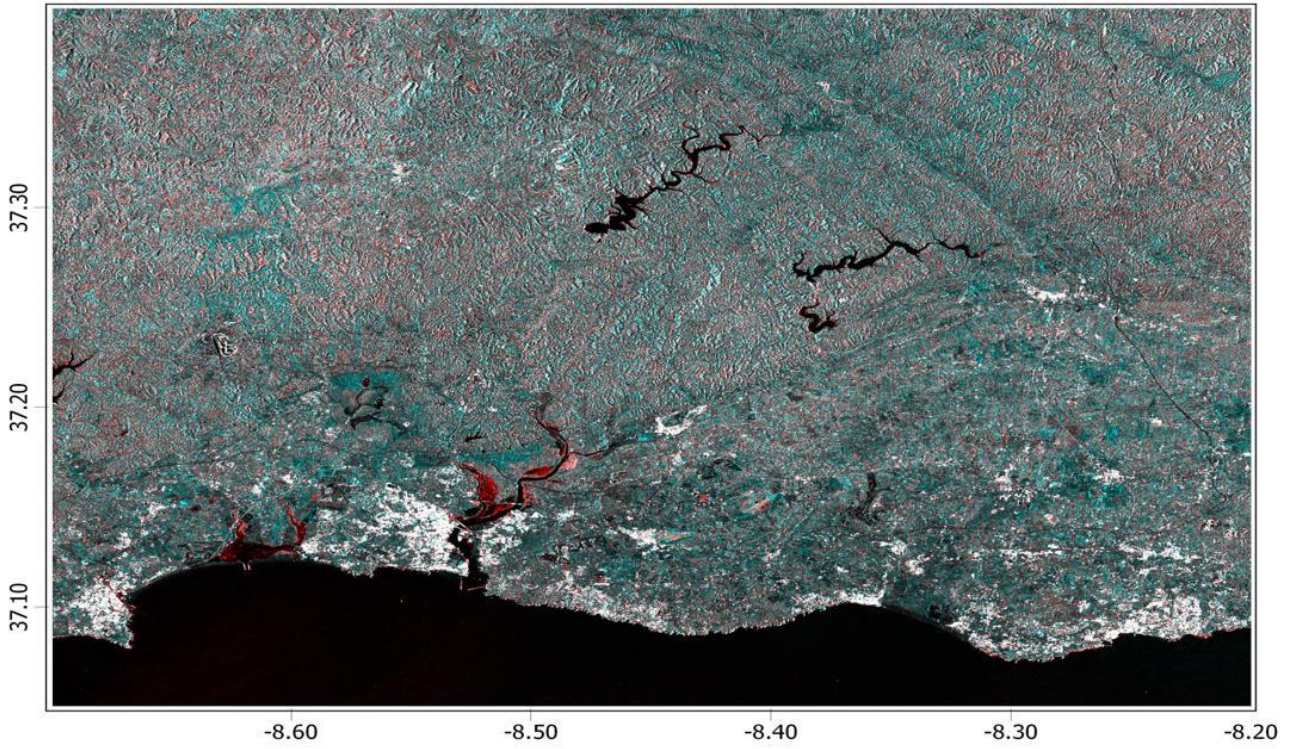


Figura 3.18 - VV-15-11-2016-06:35:09

VH

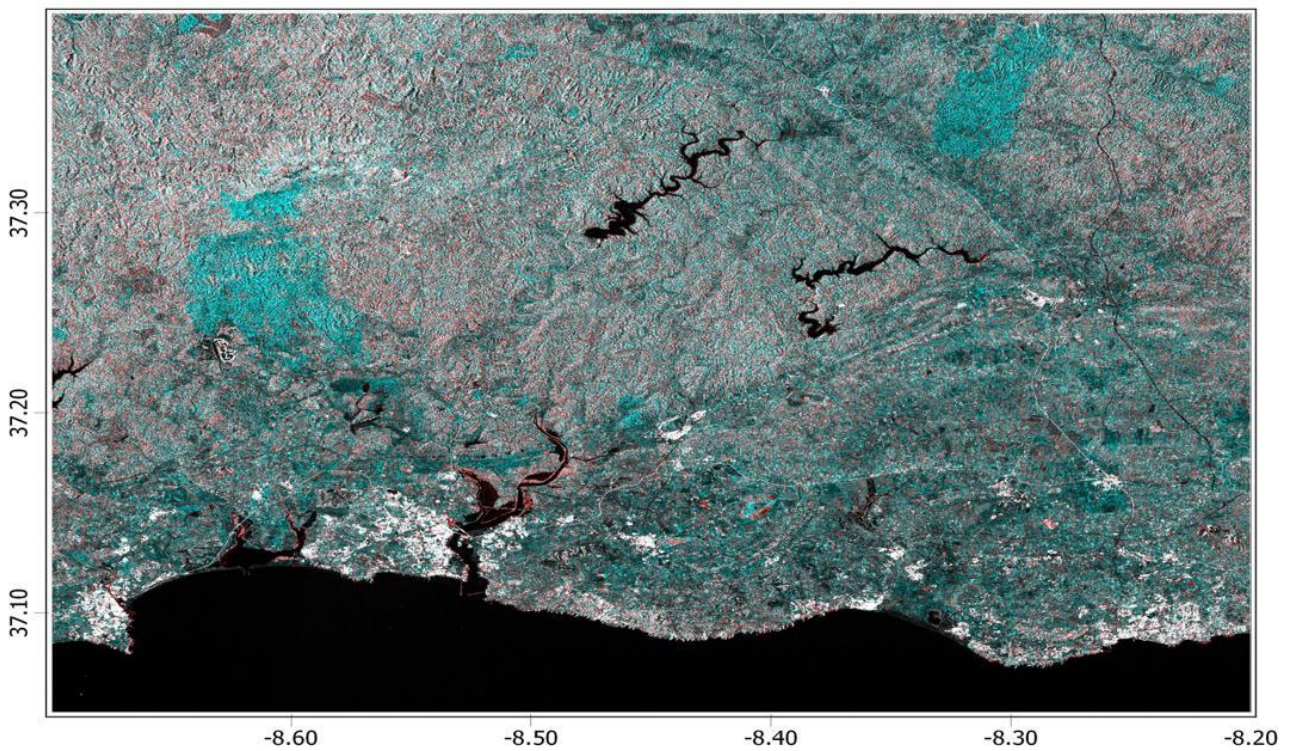


Figura 3.19 - VH-15-11-2016-06:35:09

Dezembro 2016

VV

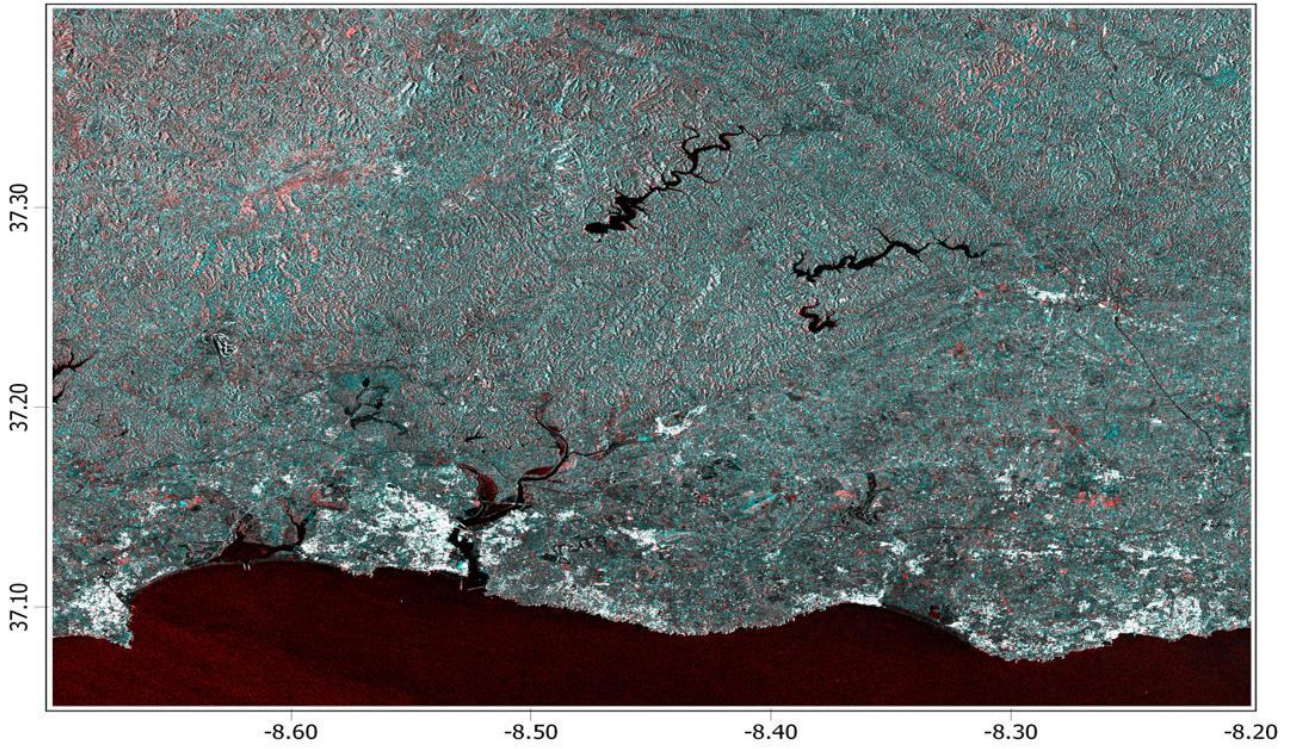


Figura 3.20 - VV-09-12-2016-06:35:08

VH

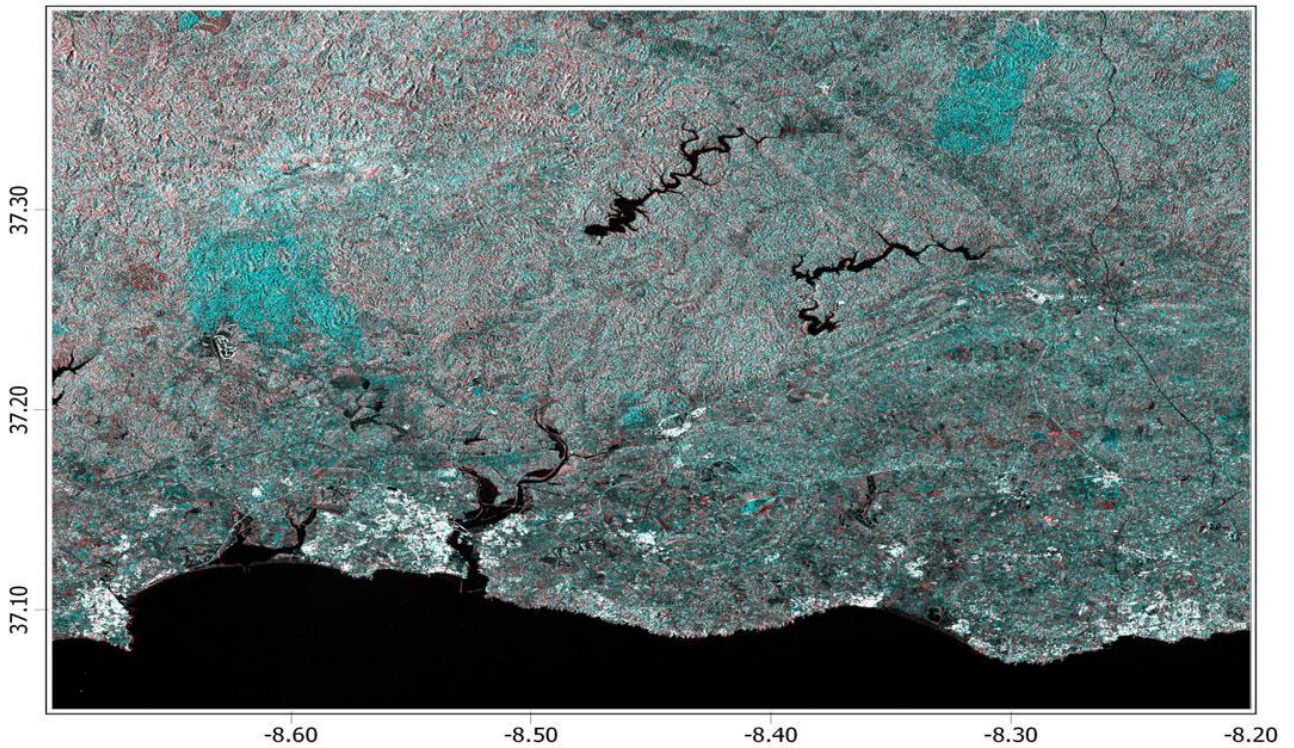


Figura 3.21 - VH-09-12-2016-06:35:08

Janeiro 2017

VV

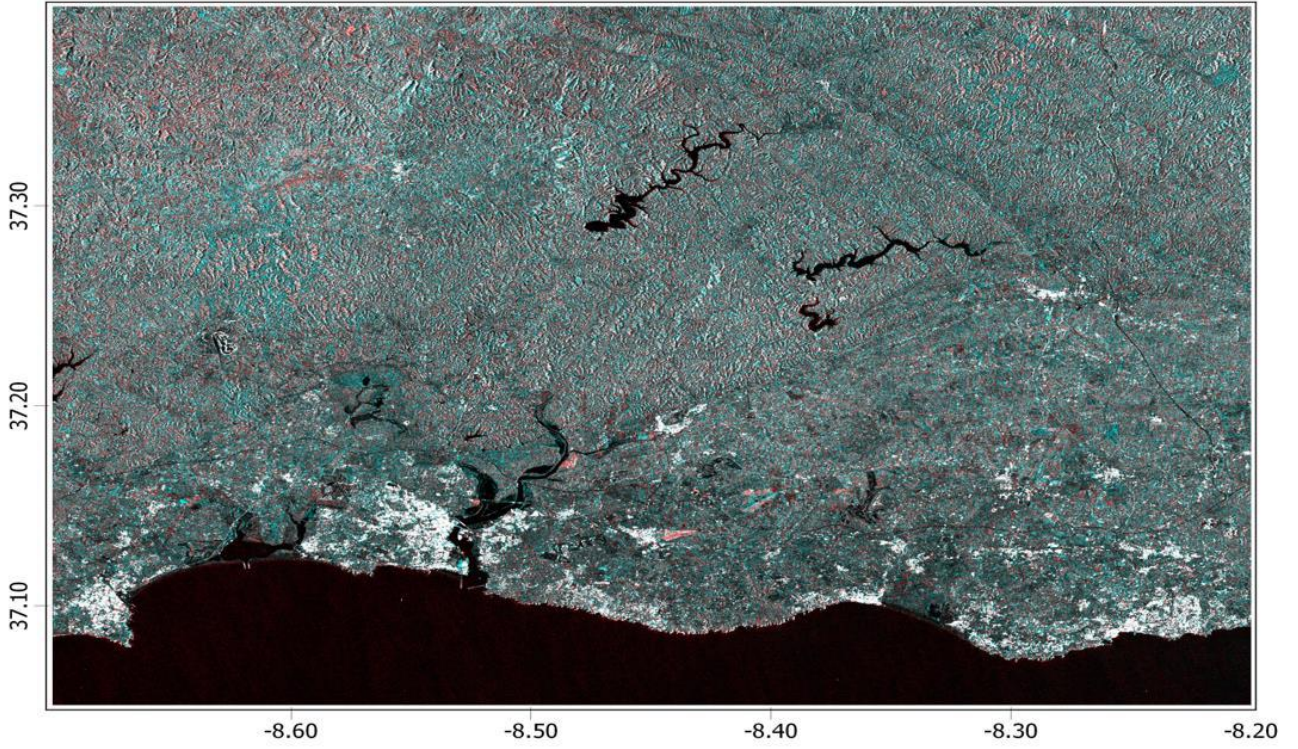


Figura 3.22 - VV-02-01-2017-06:35:06

VH

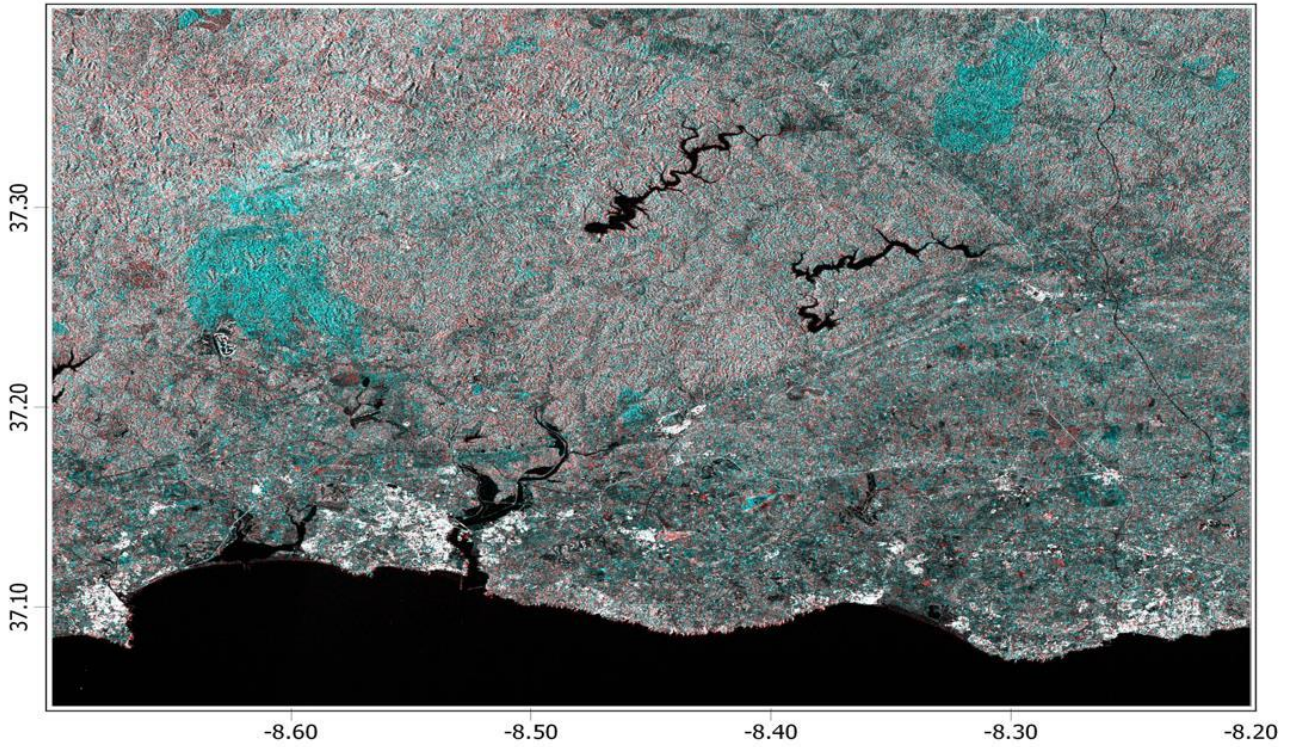


Figura 3.23 - VH-02-01-2017-06:35:06

Fevereiro 2017

VV

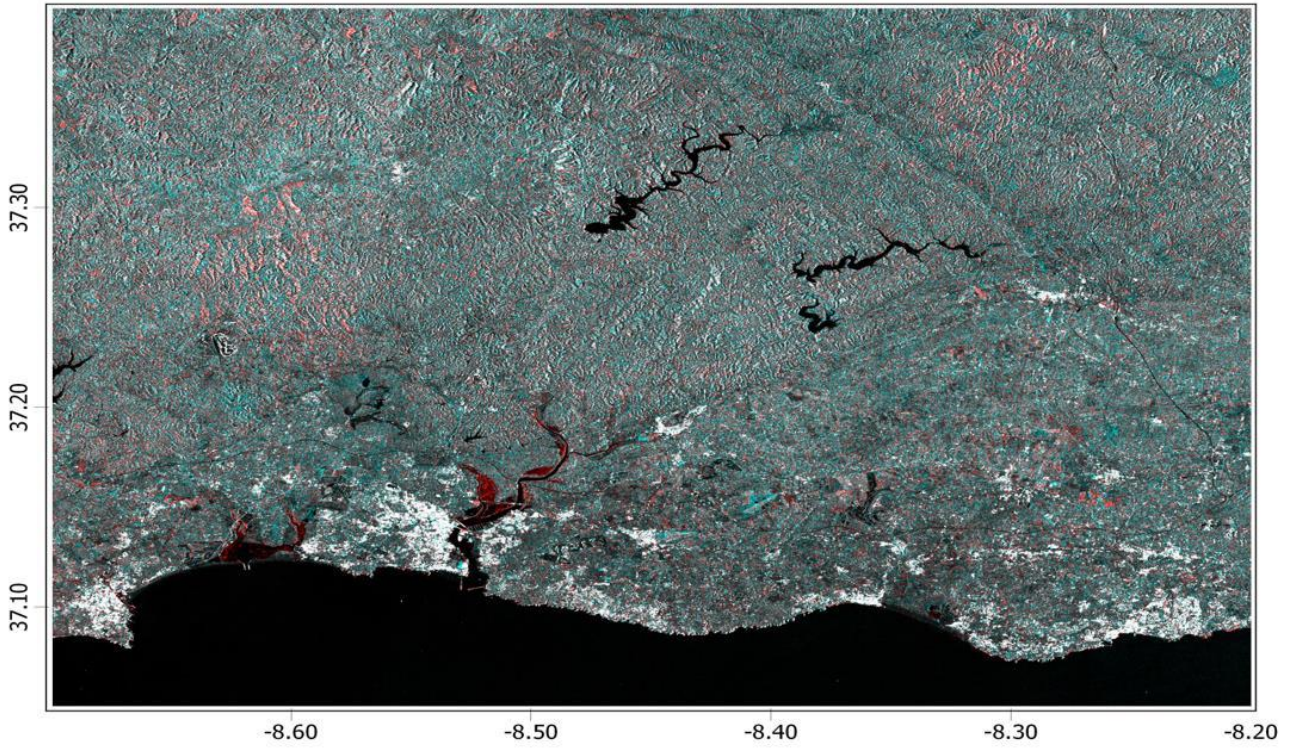


Figura 3.24 - VV-07-02-2017-06:35:05

VH

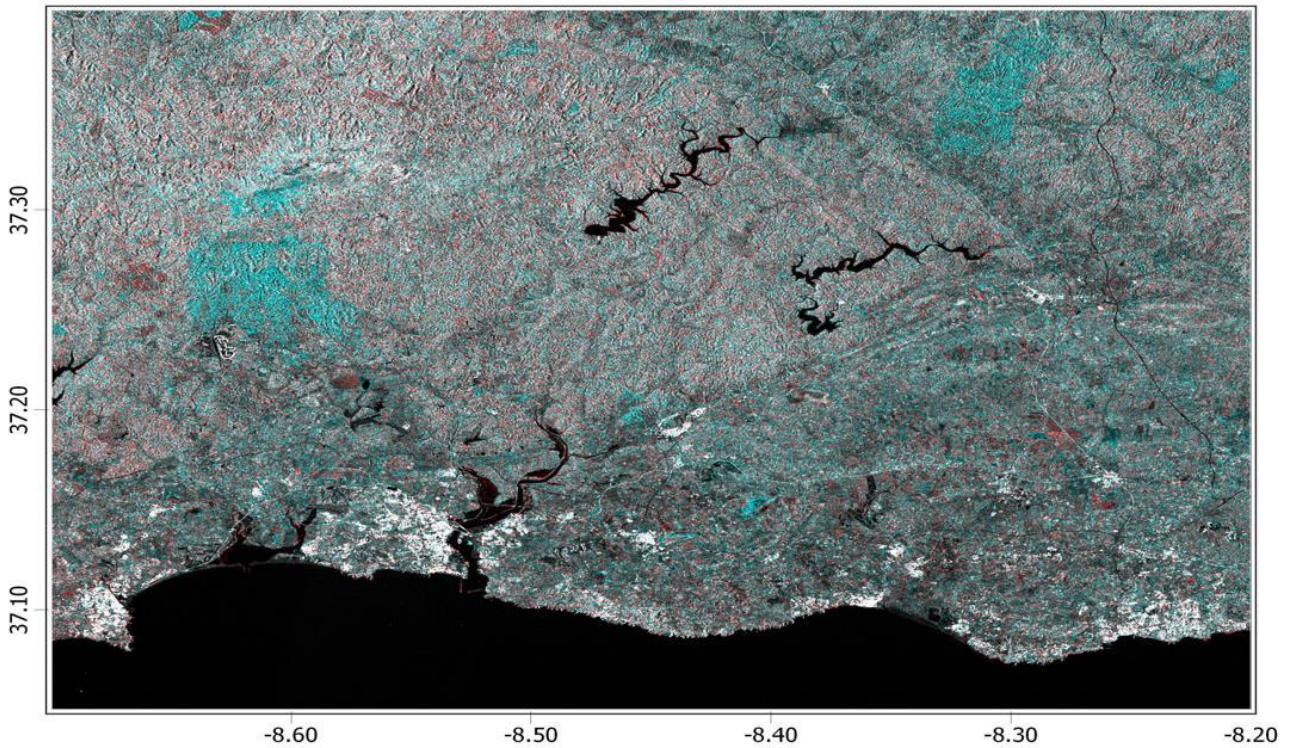


Figura 3.25 - VH-07-02-2017-06:35:05

### 3.1.2 Ano 2017

As imagens obtidas no período entre março de 2017 e fevereiro de 2018 são apresentadas em seguida nas figuras 3.26 a 3.49. A Tabela 3.2 resume as incidências detetadas neste período.

Ano	Período	Figuras nº	Análise
2017	março abril	3.26 3.27 3.28 3.29	No mês de março, nas imagens VV e VH, é visível a falta de água nas culturas de arroz. No mês de abril, na imagem VH, é visível o alagamento das culturas de arroz. A imagem VV mostra zonas com pouca água. A capacidade da barragem de Odelouca aumenta por esta altura.
	maio junho	3.30 3.31 3.32 3.33	Nas imagens é visível o alagamento das culturas de arroz. Nas imagens VH, continuam visíveis os efeitos dos incêndios de Monchique-Portimão e de São Marcos da Serra.
	julho agosto	3.34 3.35 3.36 3.37	No mês de julho, na imagem VV, é possível observar a falta de água nalgumas zonas das culturas de arroz. No mês de agosto, na imagem VV, é possível observar o efeito da descida da maré (maré baixa).
	setembro outubro	3.38 3.39 3.40 3.41	É possível observar a falta de água nalgumas zonas das culturas de arroz. No mês de outubro, na imagem VV, é visível o efeito da maré (maré baixa).
	novembro dezembro	3.42 3.43 3.44 3.45	Nas imagens VV, são visíveis os efeitos da maré (maré baixa) e da capacidade das barragens.
2018	janeiro fevereiro	3.46 3.47 3.48 3.49	No mês de janeiro, a imagem VV mostra o alagamento das culturas de arroz. No entanto, na imagem VH, começam a ser visíveis algumas zonas com pouca água. No mês de fevereiro, nas imagens VV e VH, é visível a falta de água nas culturas de arroz. Nas imagens VH, ainda é possível observar as áreas ardidadas por causa dos incendios de 2016.

Tabela 3.2 - Análise entre março de 2017 e fevereiro de 2018

Fonte: Elaboração própria - dados provenientes do processamento SNAP

Março 2017

VV

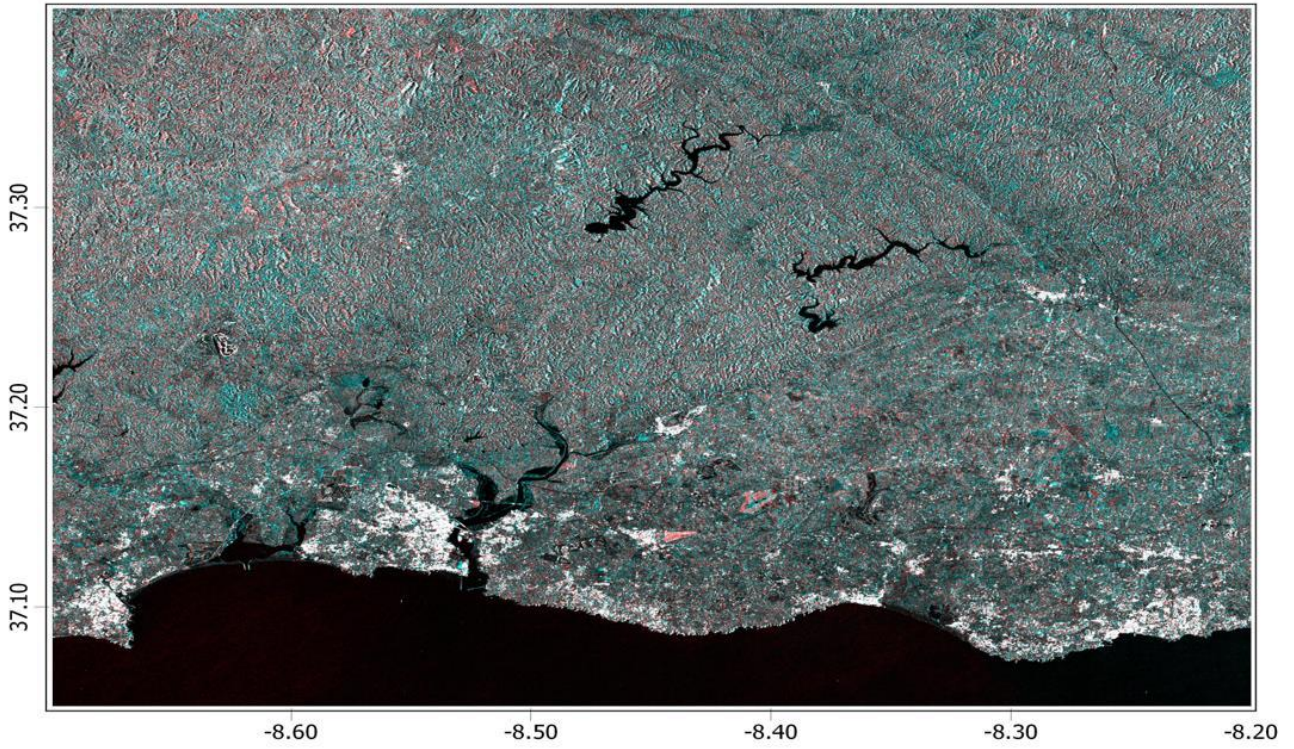


Figura 3.26 - VV-03-03-2017-06:35:05

VH

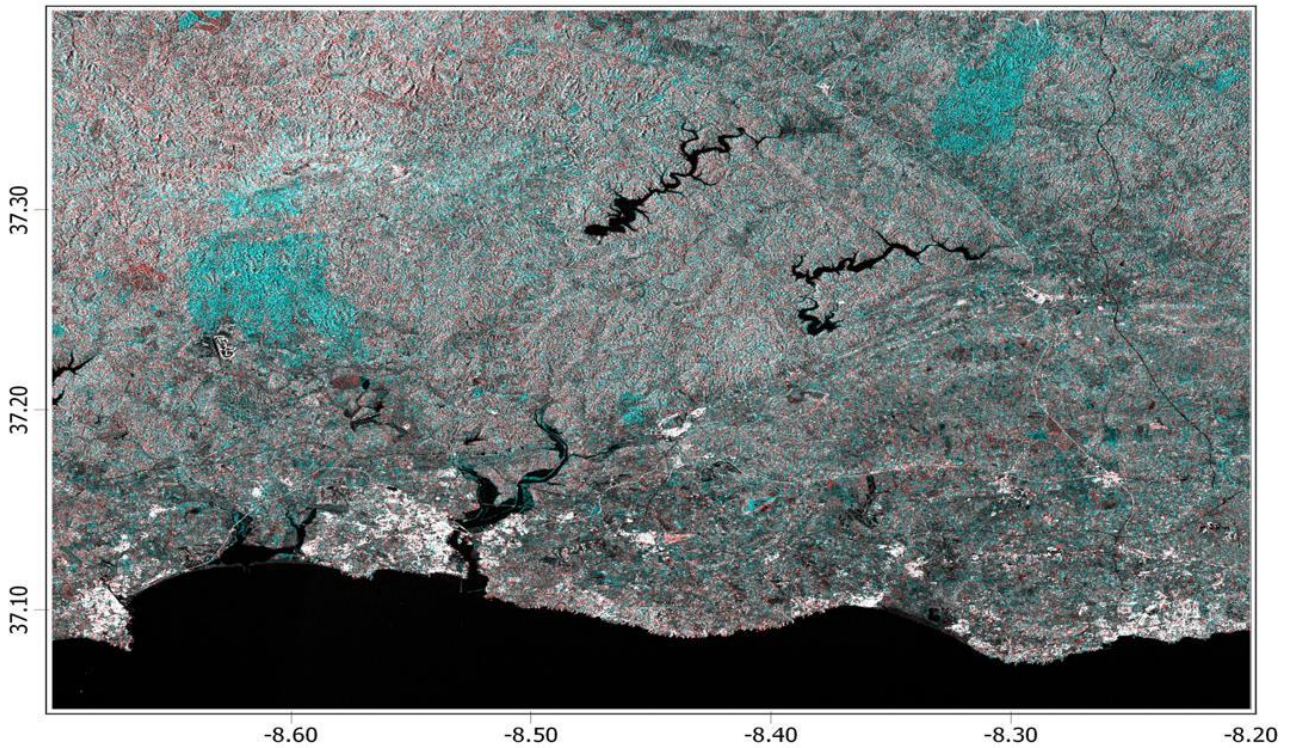


Figura 3.27 - VH-03-03-2017-06:35:05

Abril 2017

VV

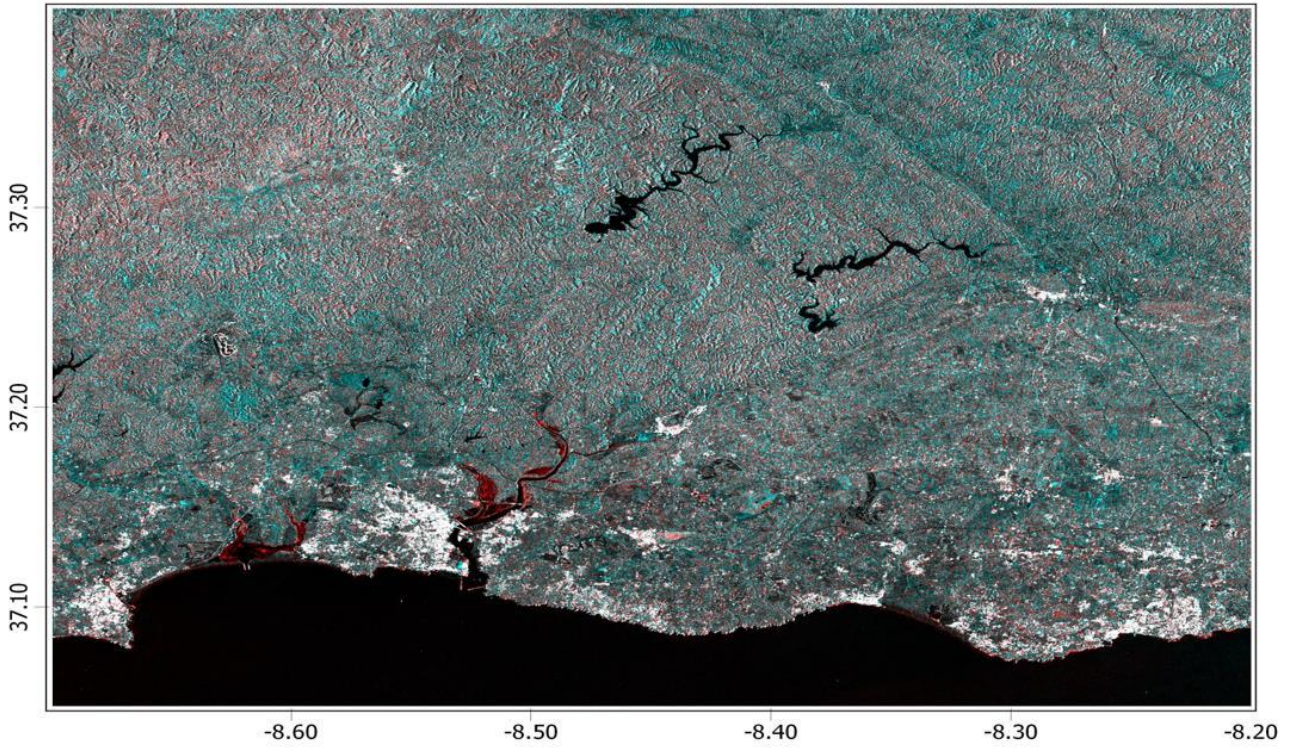


Figura 3.28 - VV-08-04-2017-06:35:06

VH

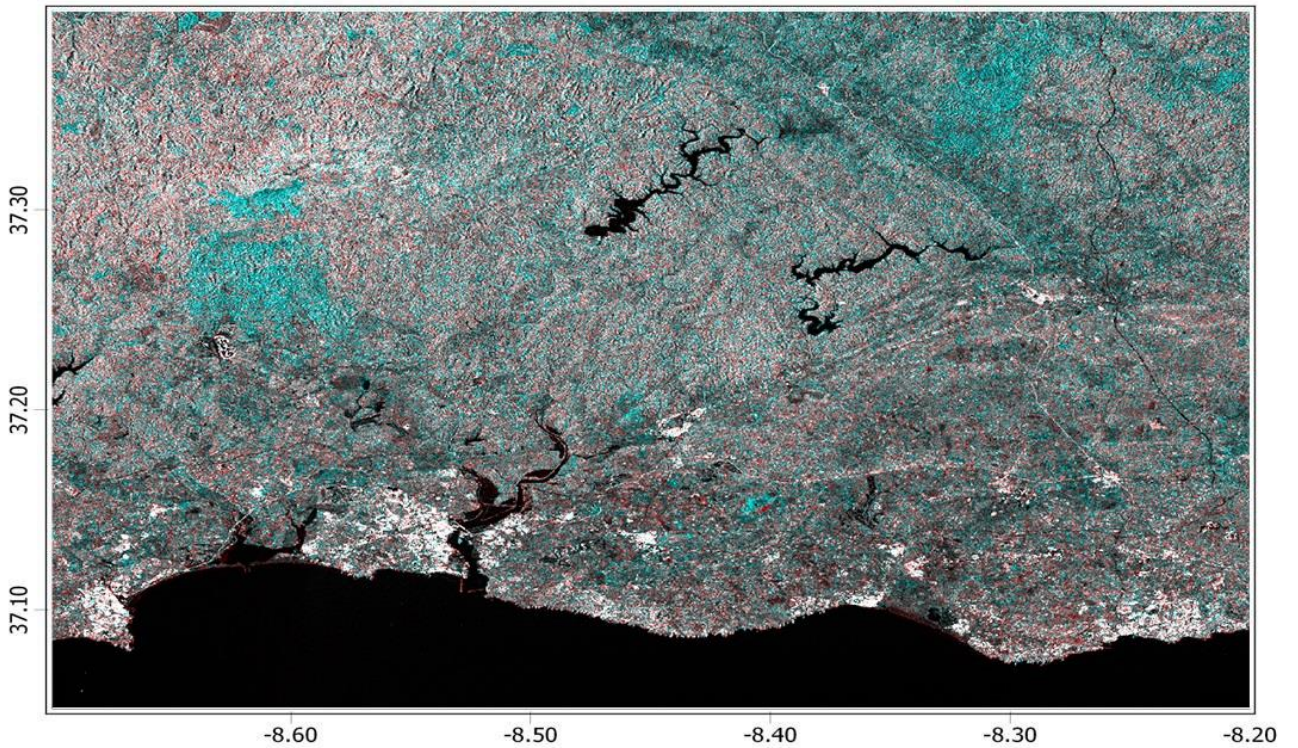


Figura 3.29 - VH-08-04-2017-06:35:06

Maio 2017

VV

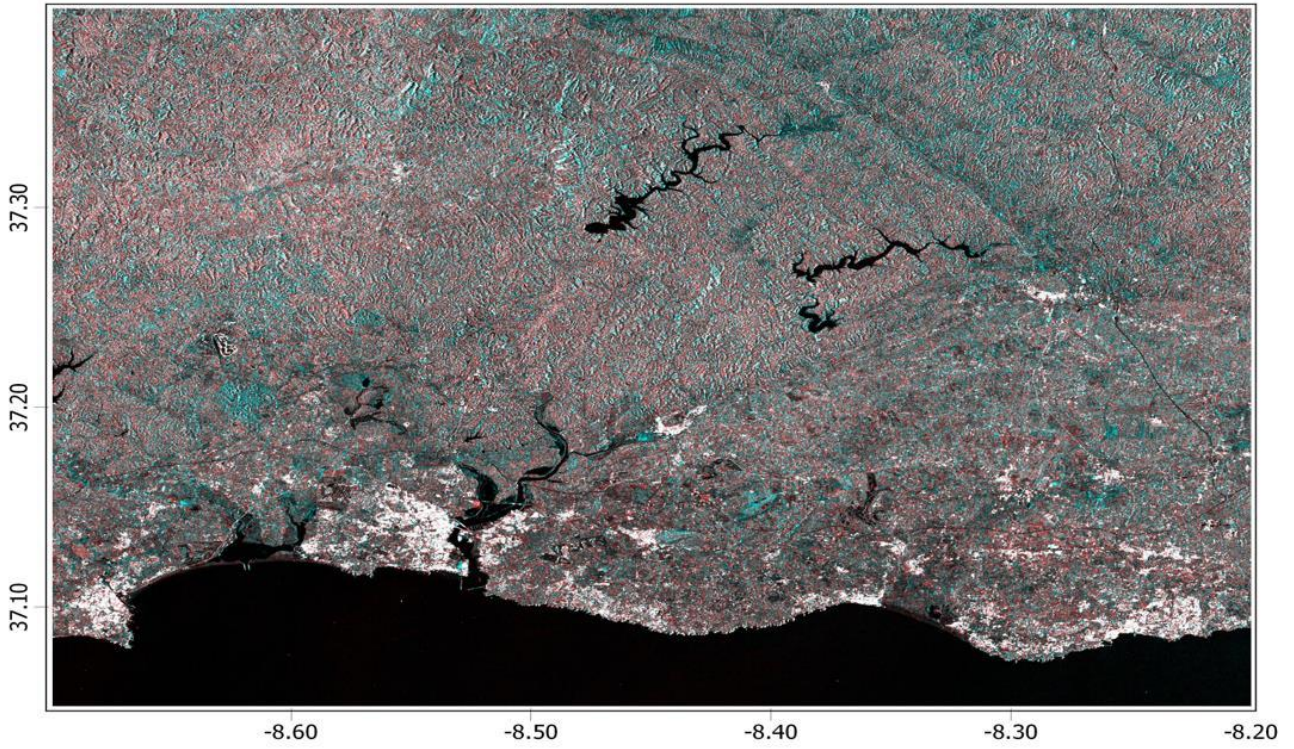


Figura 3.30 - VV-02-05-2017-06:35:07

VH

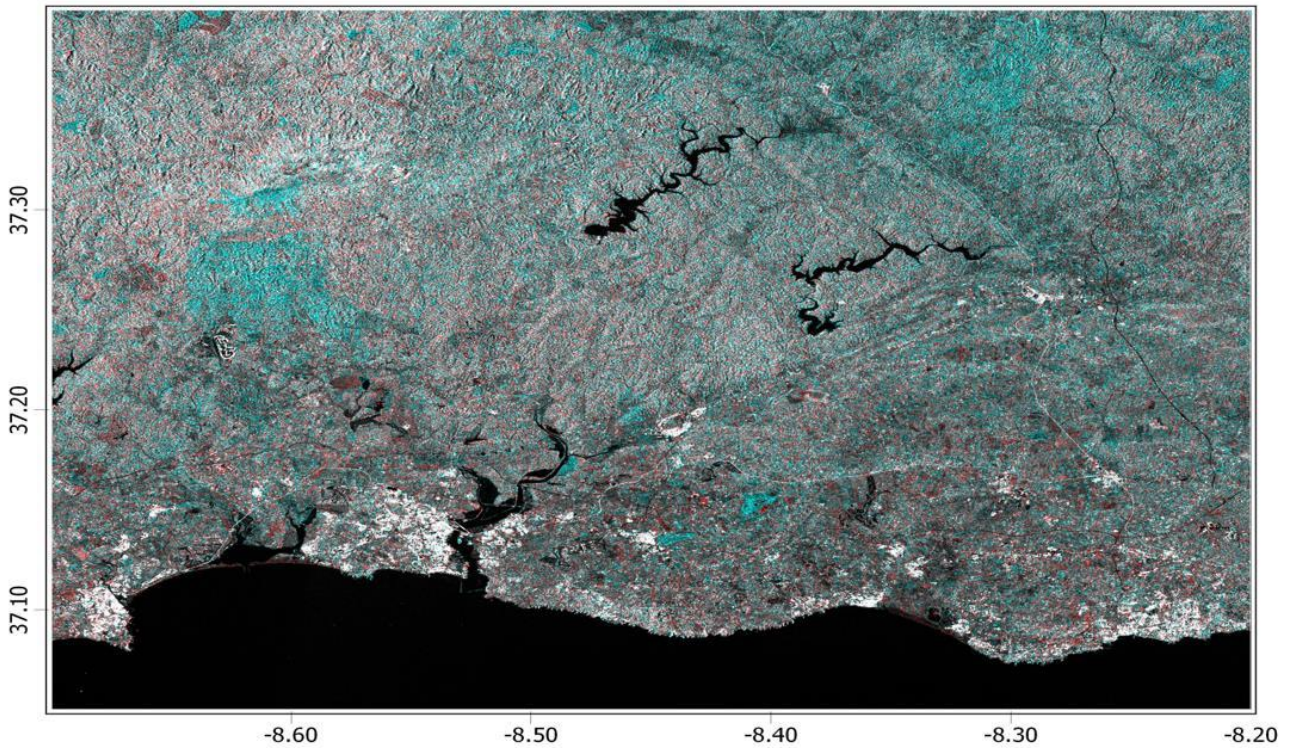


Figura 3.31 - VH-02-05-2017-06:35:07

Junho 2017

VV

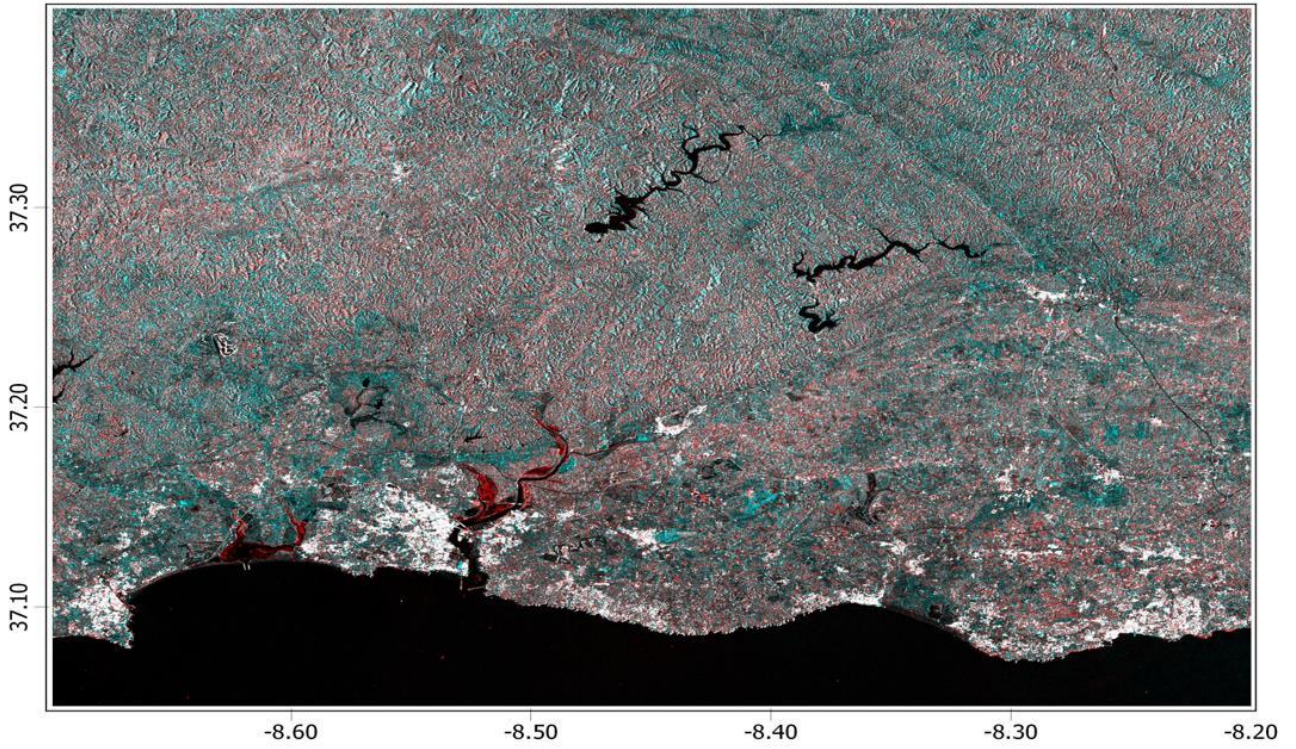


Figura 3.32 - VV-07-06-2017-06:35:10

VH

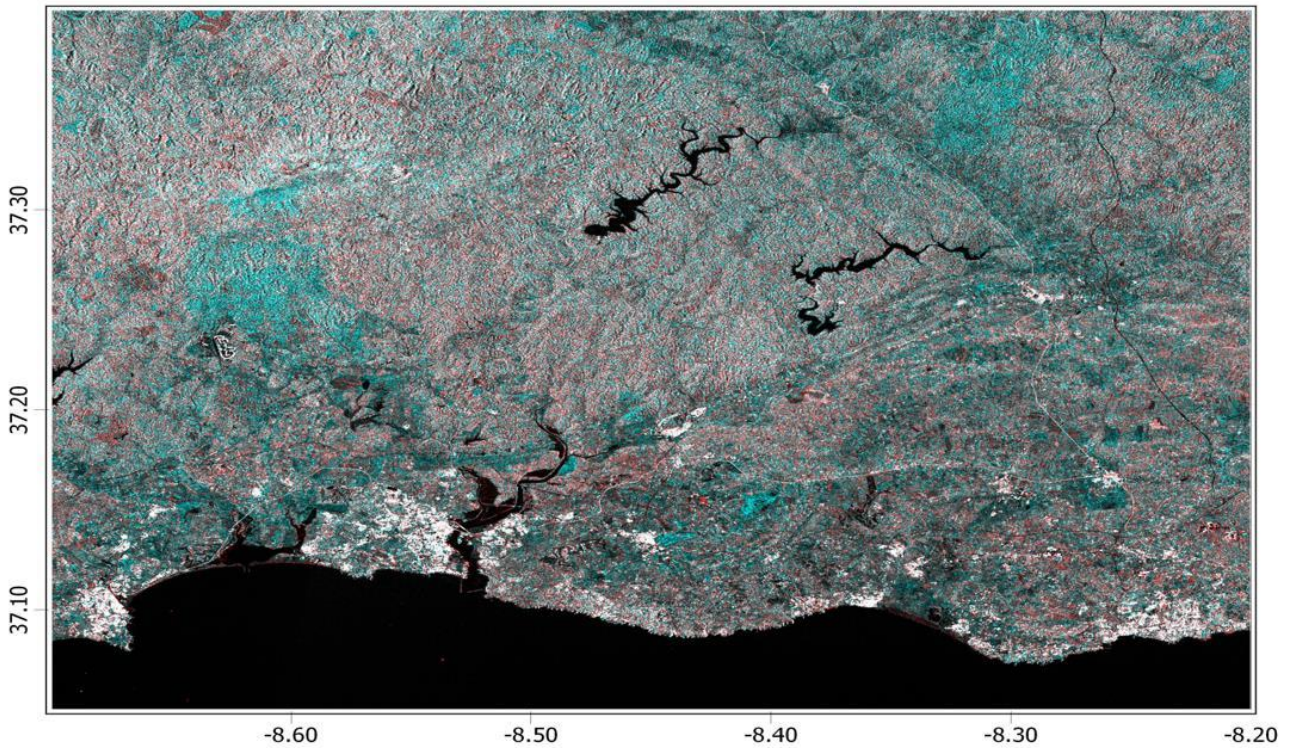


Figura 3.33 - VH-07-06-2017-06:35:10

Julho 2017

VV

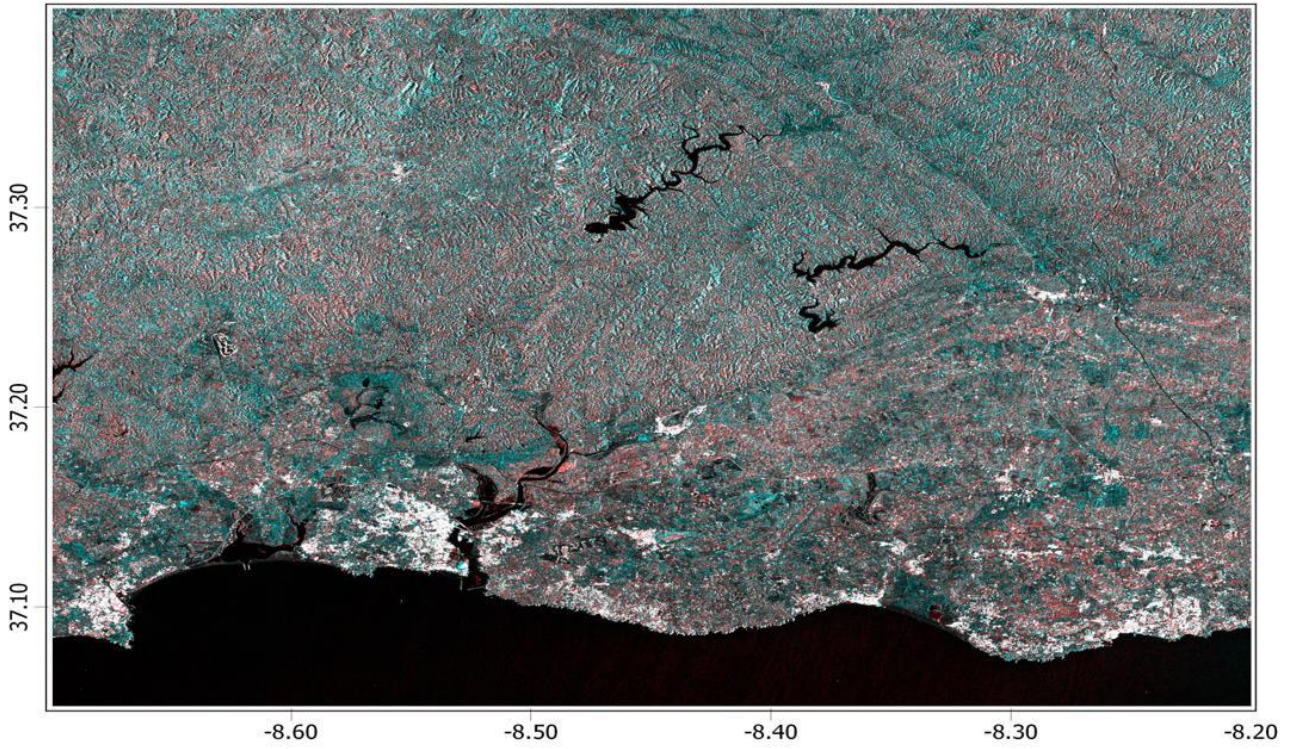


Figura 3.34 - VV-01-07-2017-06:35:11

VH

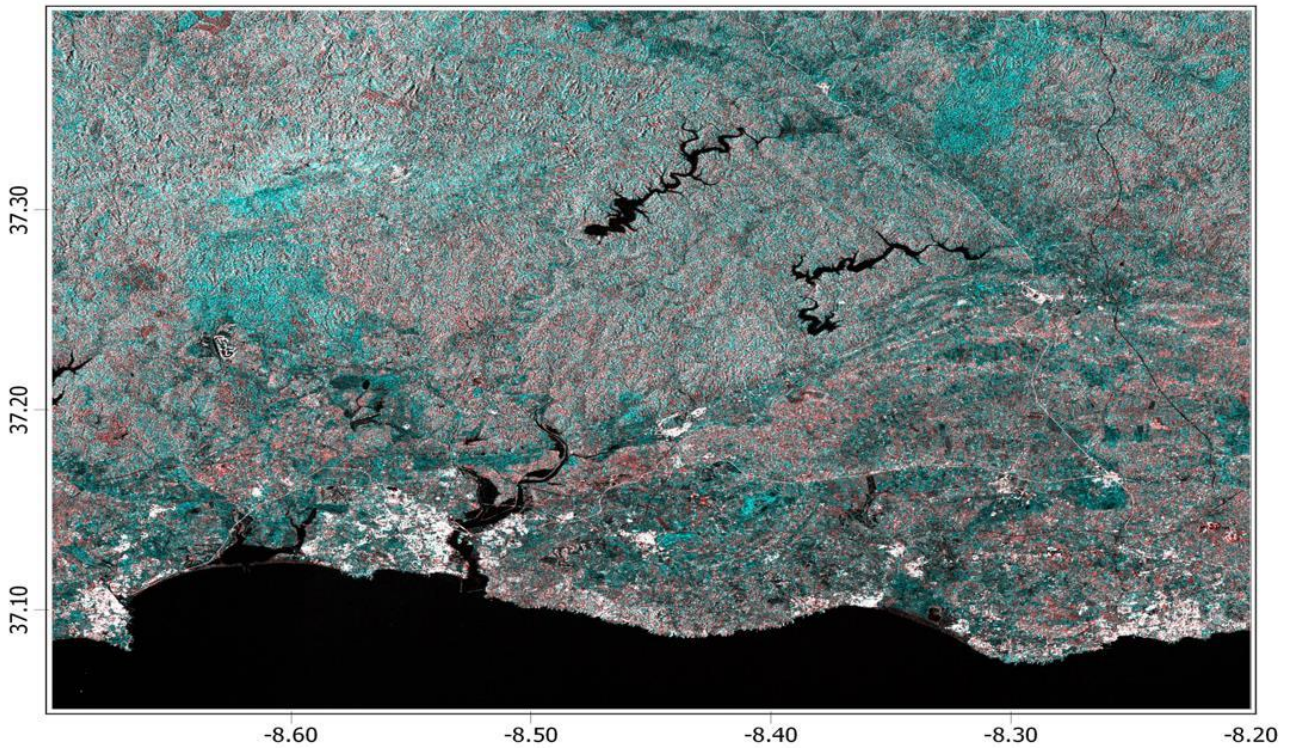


Figura 3.35 - VH-01-07-2017-06:35:11

Agosto 2017

VV

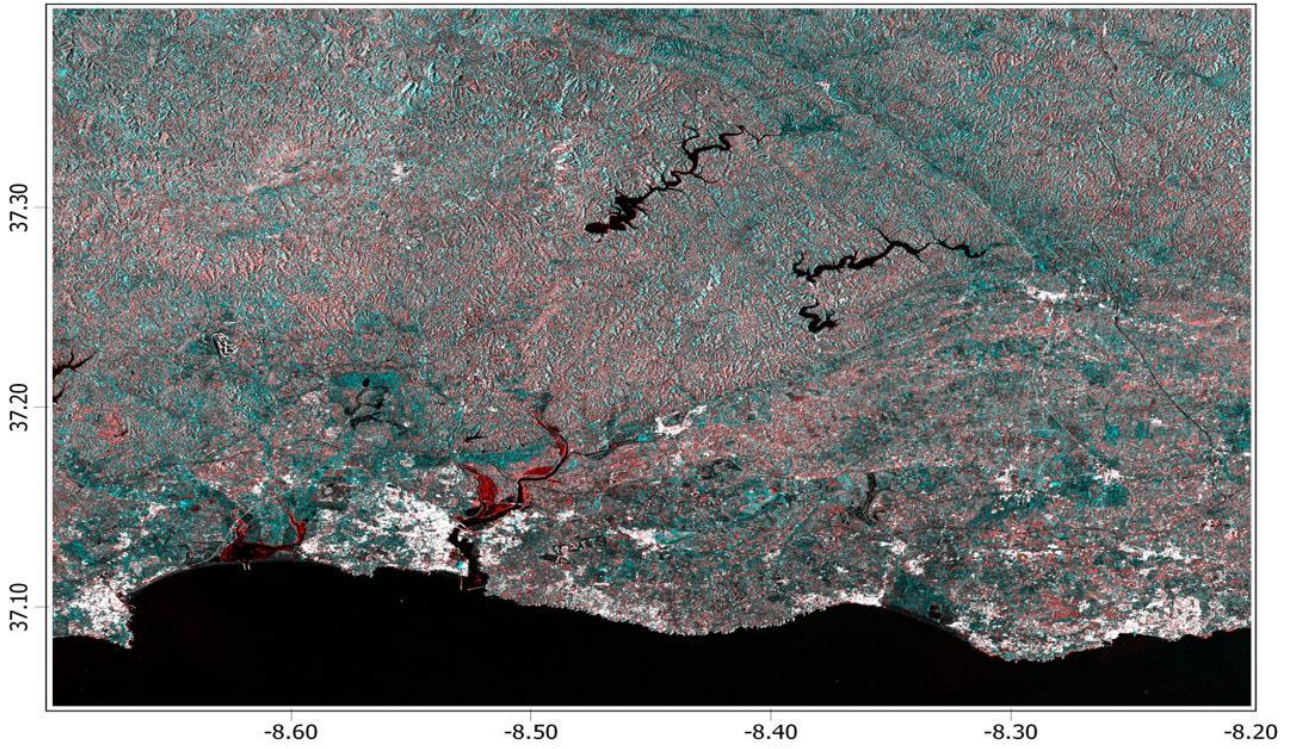


Figura 3.36 - VV-06-08-2017-06:35:13

VH

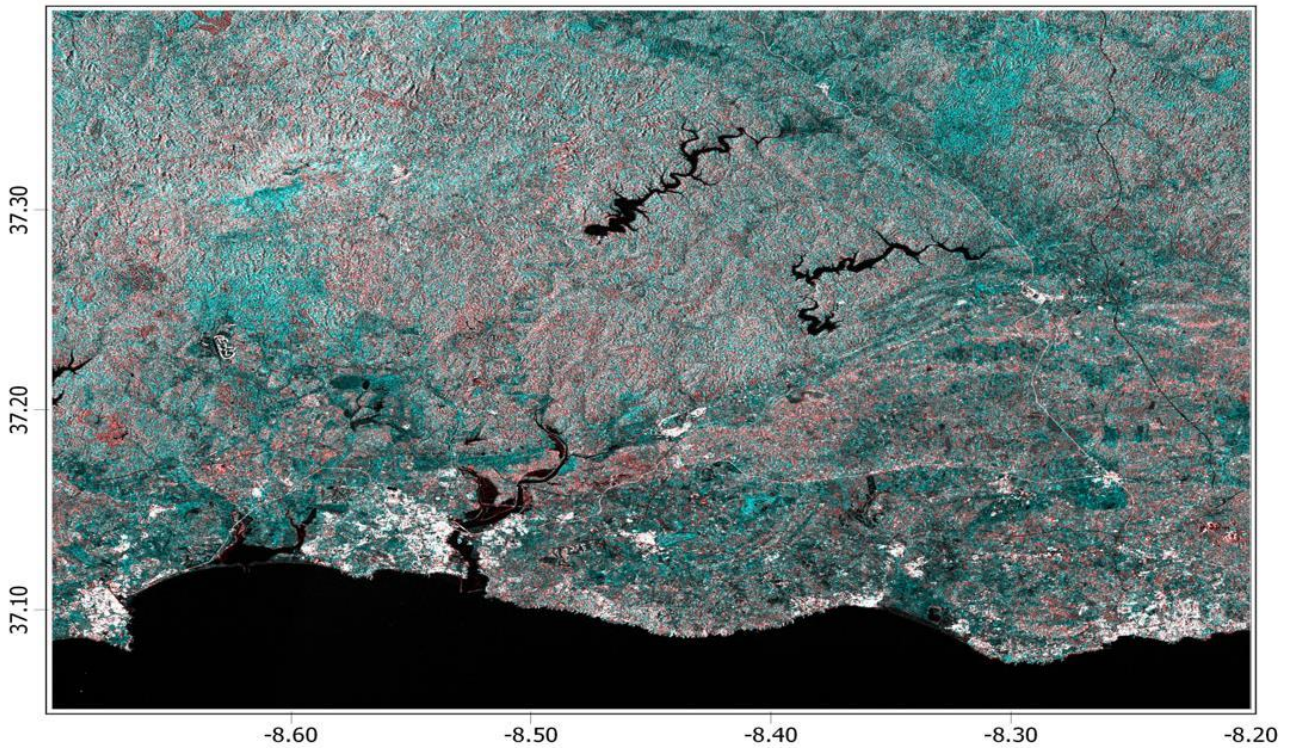


Figura 3.37 - VH-06-08-2017-06:35:13

Setembro 2017

VV

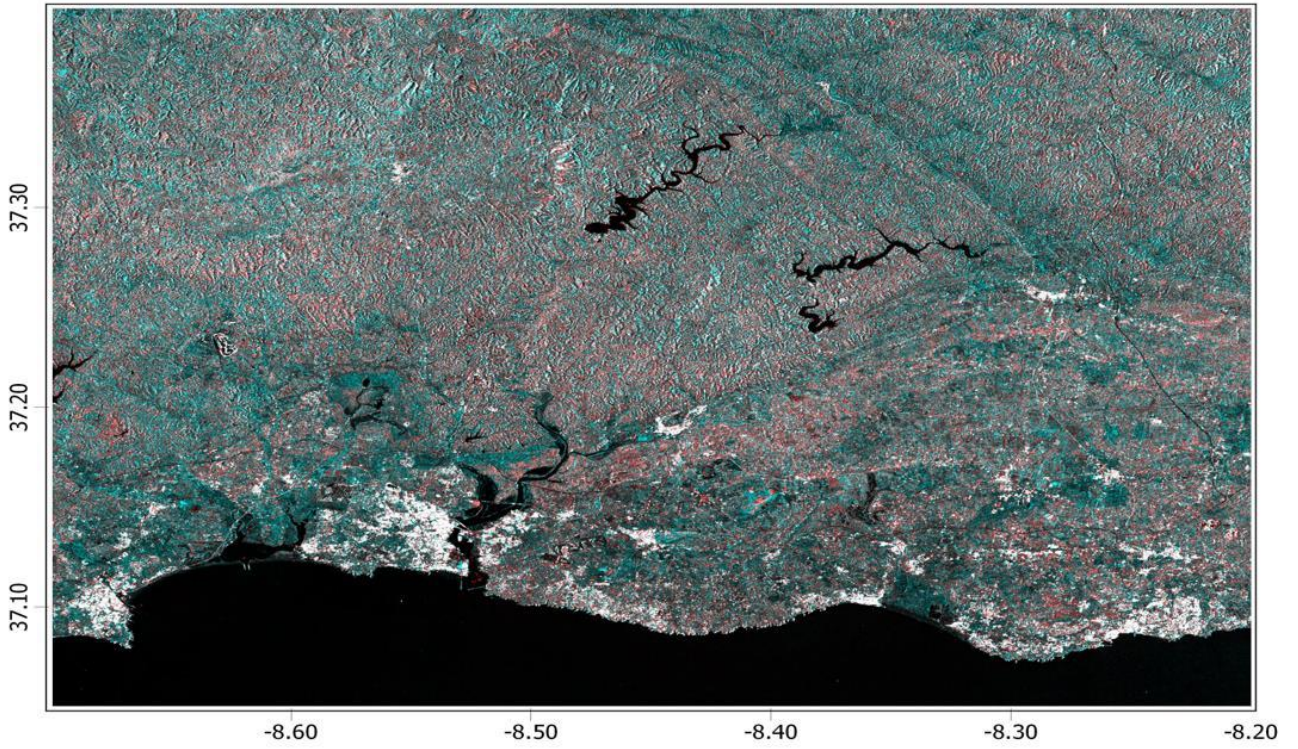


Figura 3.38 - VV-11-09-2017-06:35:15

VH

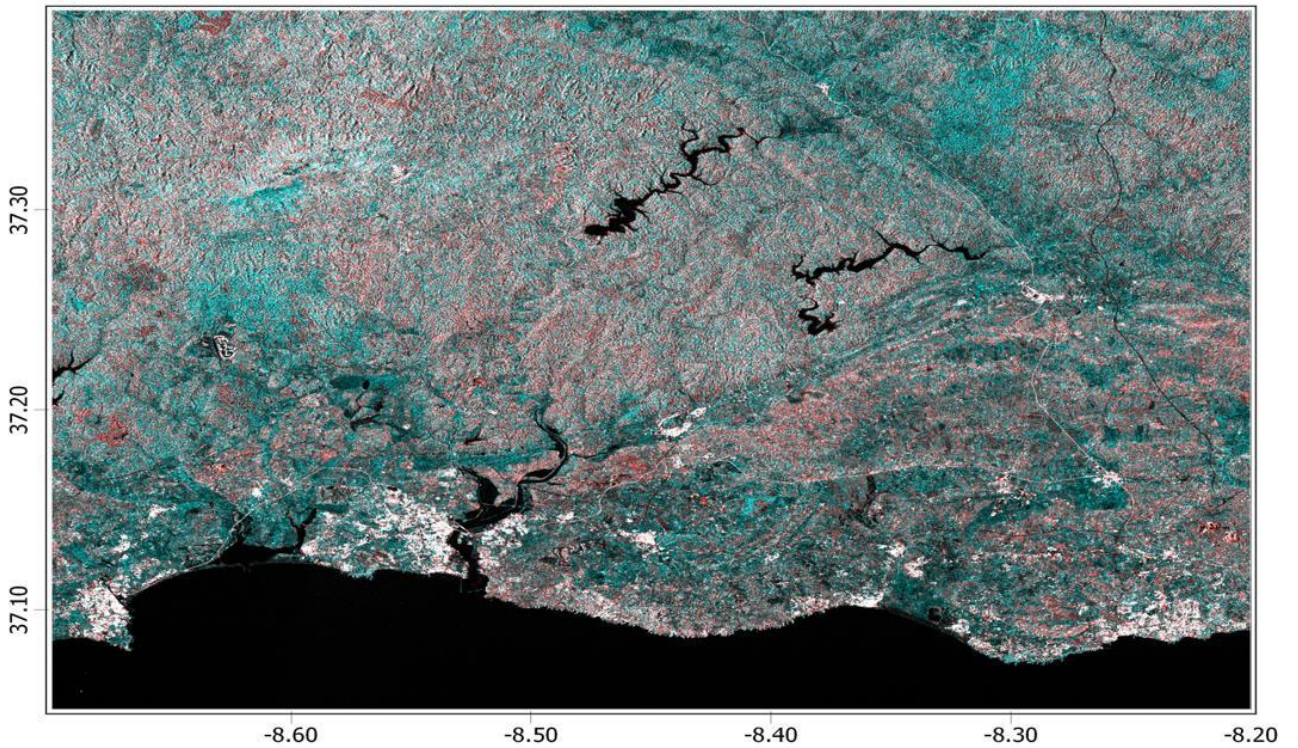


Figura 3.39 - VH-11-09-2017-06:35:15

Outubro 2017

VV

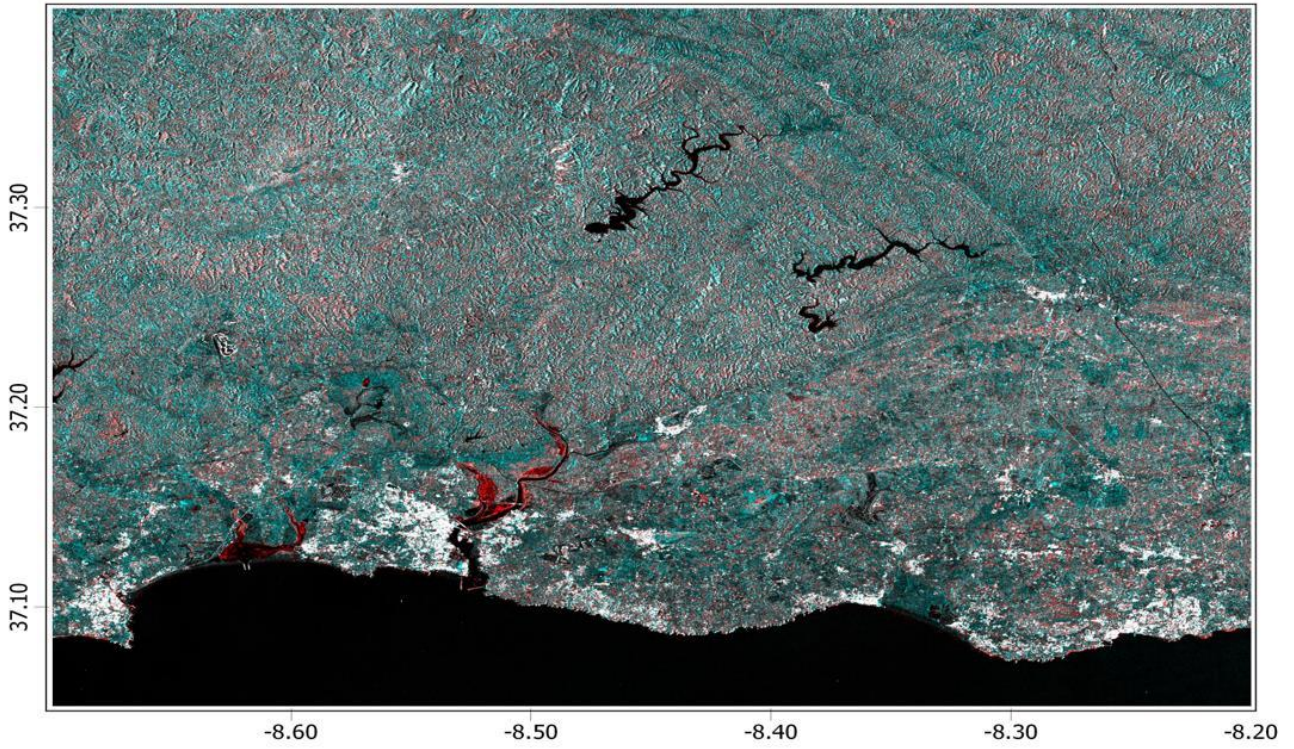


Figura 3.40 - VV-05-10-2017-06:35:16

VH

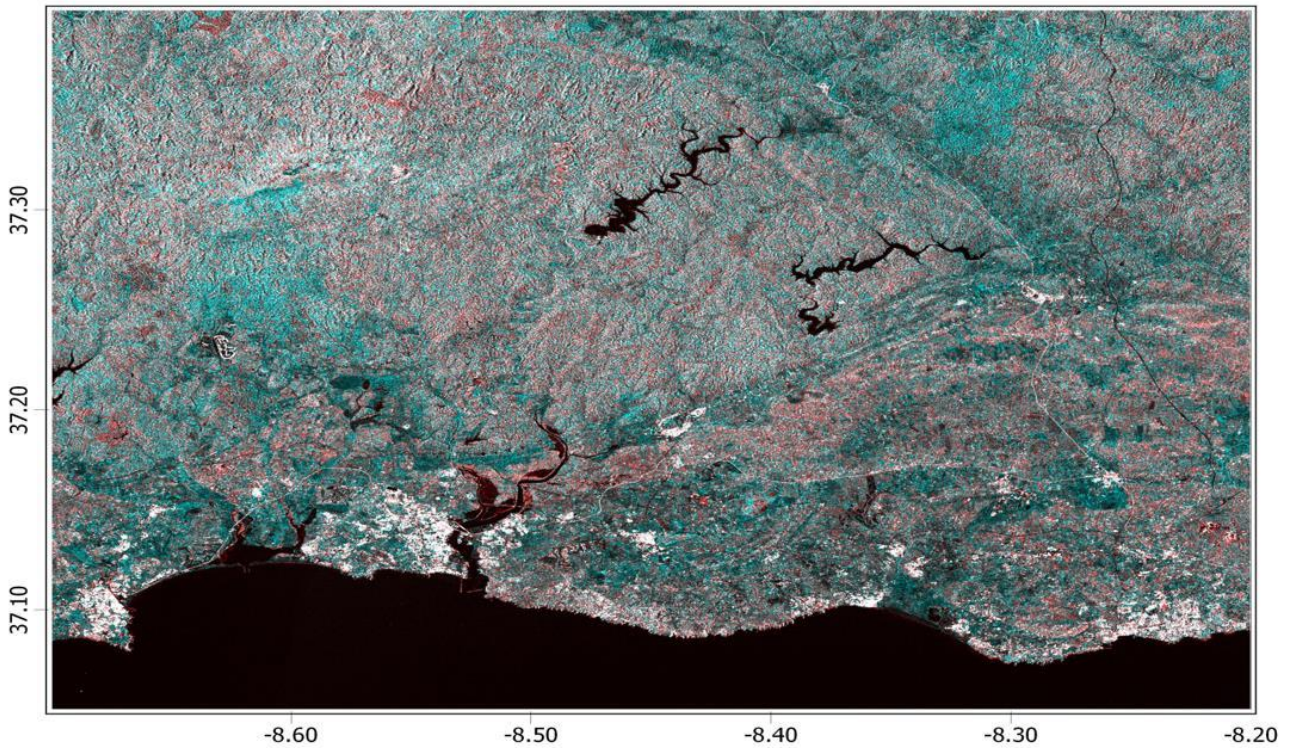


Figura 3.41 - VH-05-10-2017-06:35:16

Novembro 2017

VV

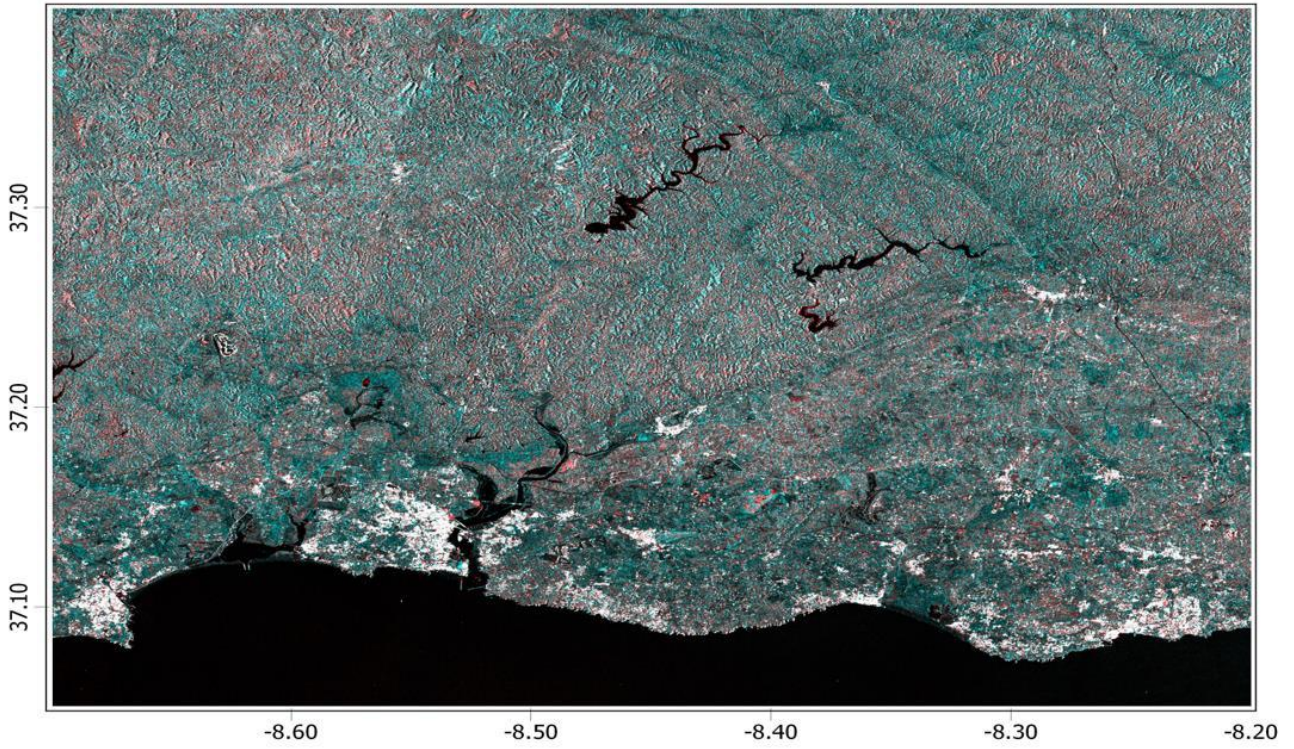


Figura 3.42 - VV-10-11-2017-06:35:15

VH

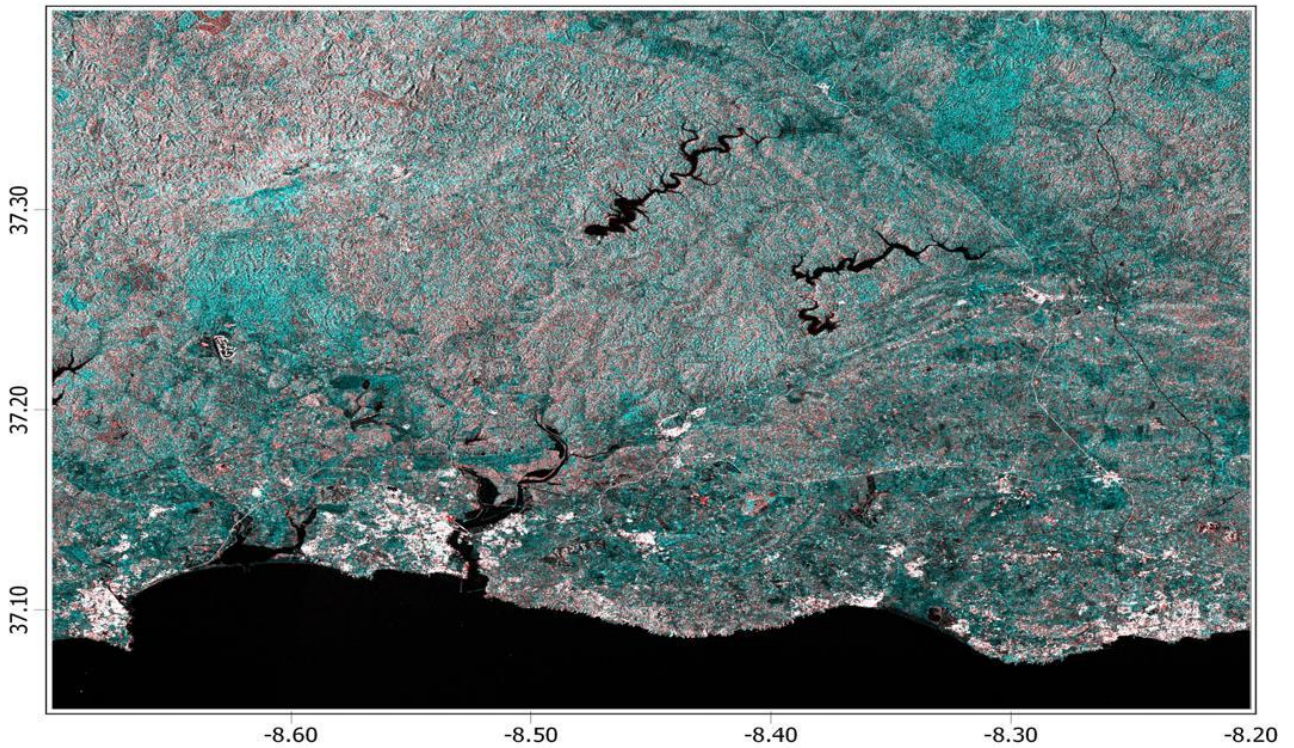


Figura 3.43 - VH-10-11-2017-06:35:15

Dezembro 2017

VV

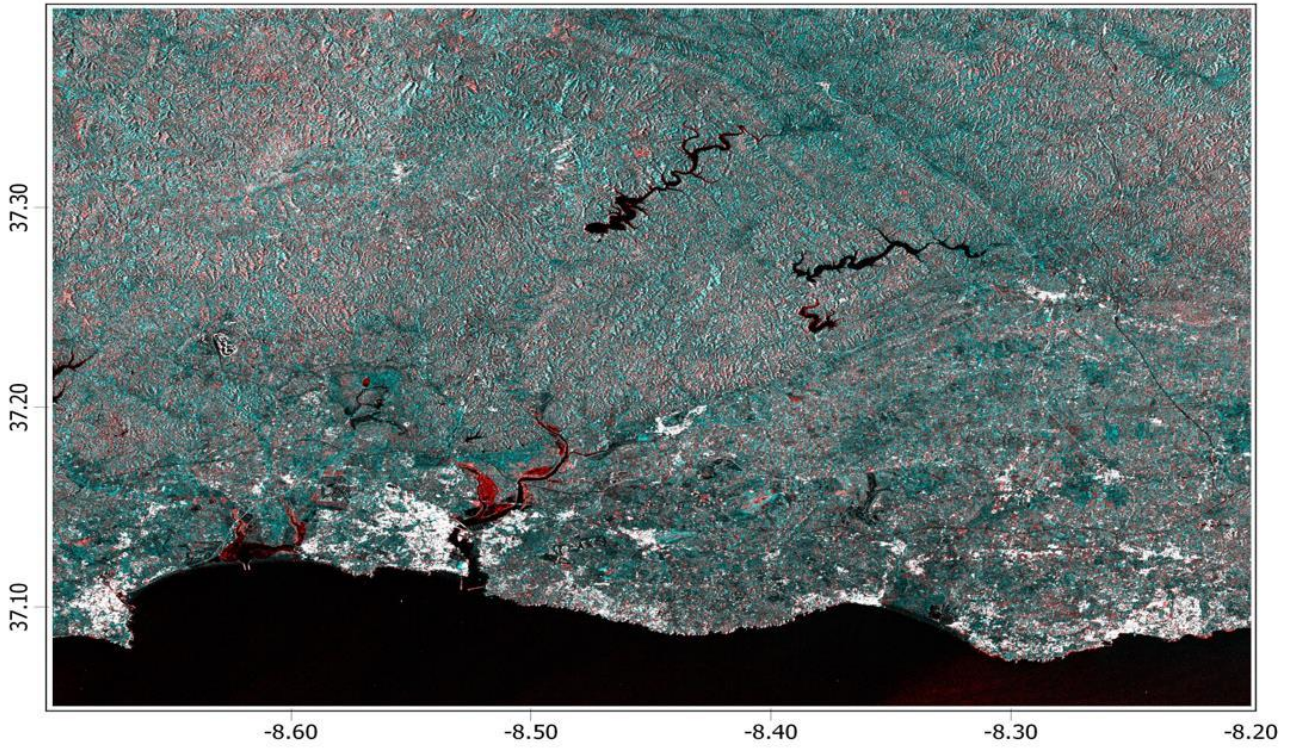


Figura 3.44 - VV-04-12-2017-06:35:15

VH

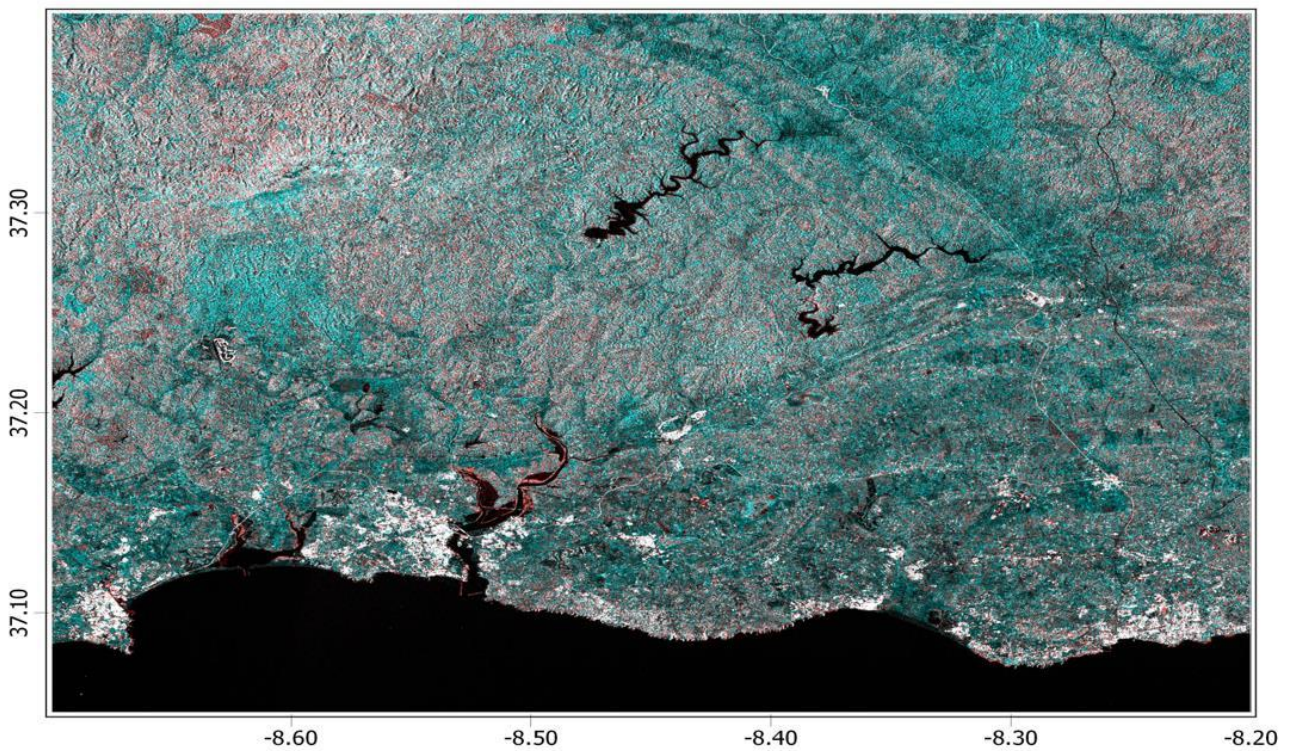


Figura 3.45 - VH-04-12-2017-06:35:15

Janeiro 2018

VV

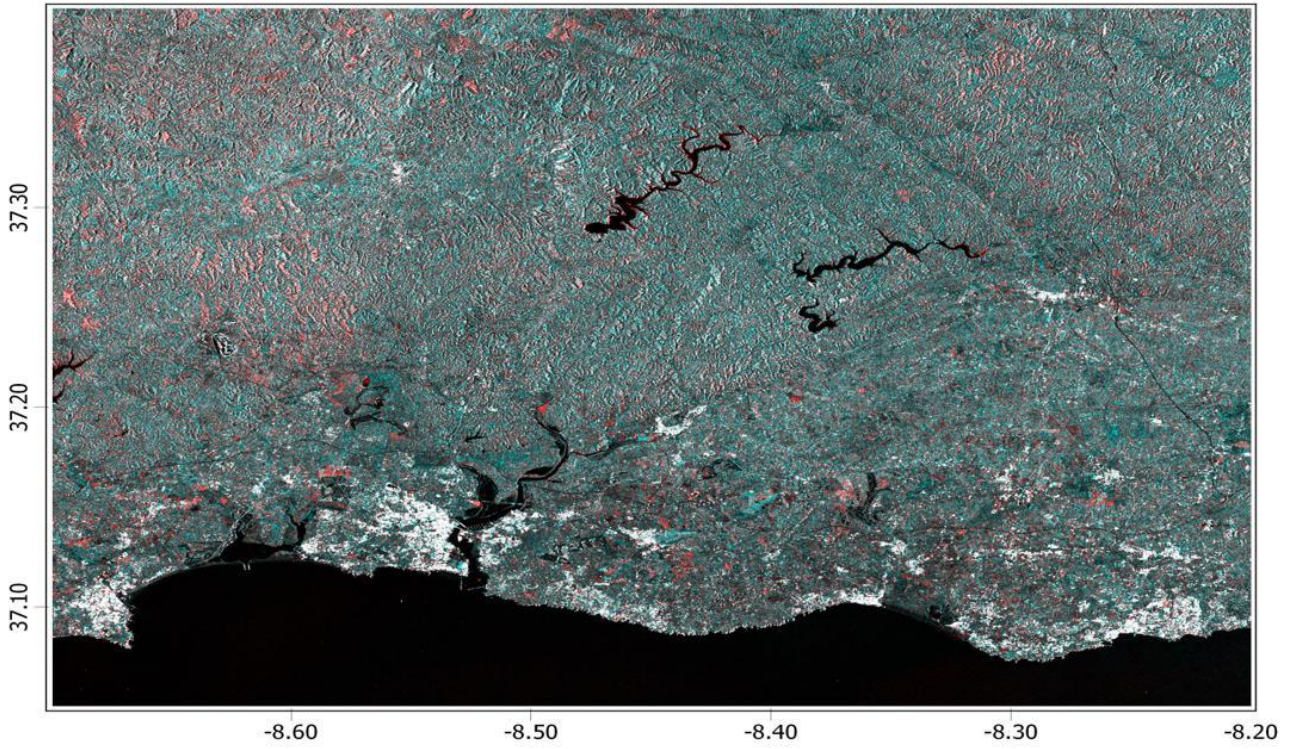


Figura 3.46 - VV-09-01-2018-06:35:13

VH

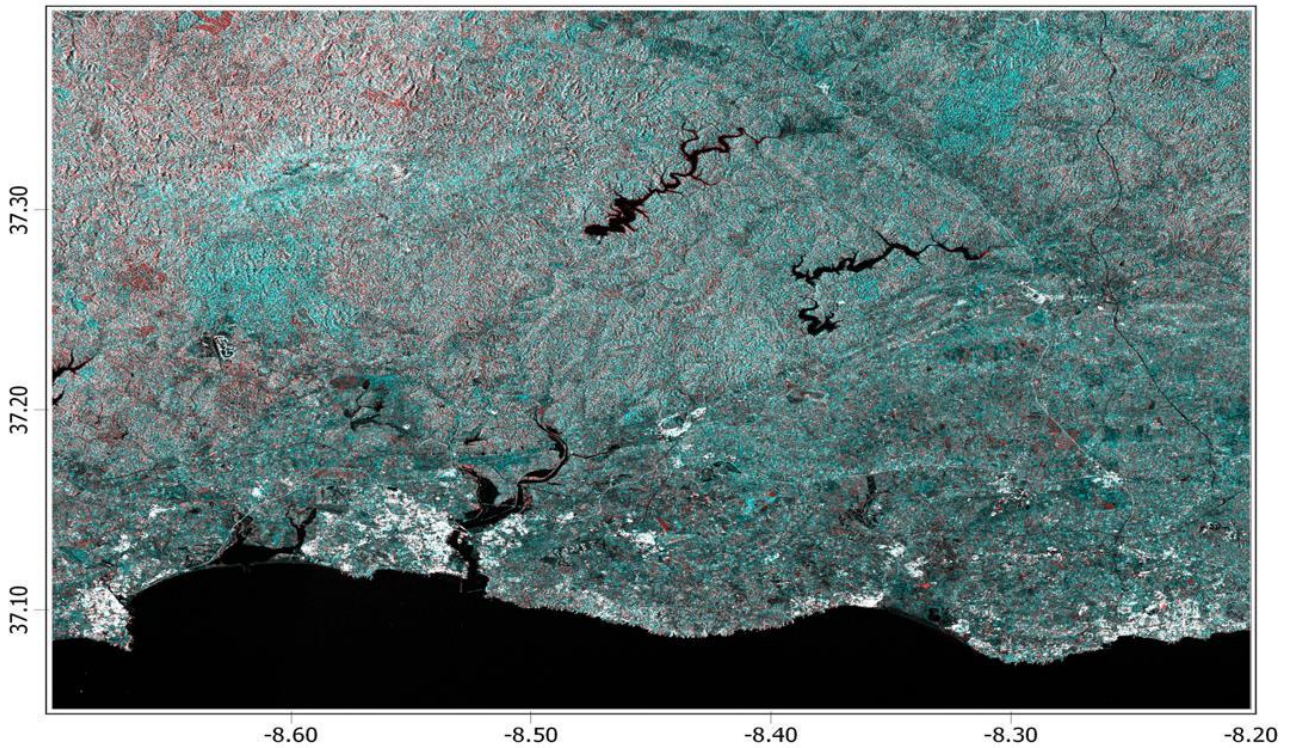


Figura 3.47 - VH-09-01-2018-06:35:13

Fevereiro 2018

VV

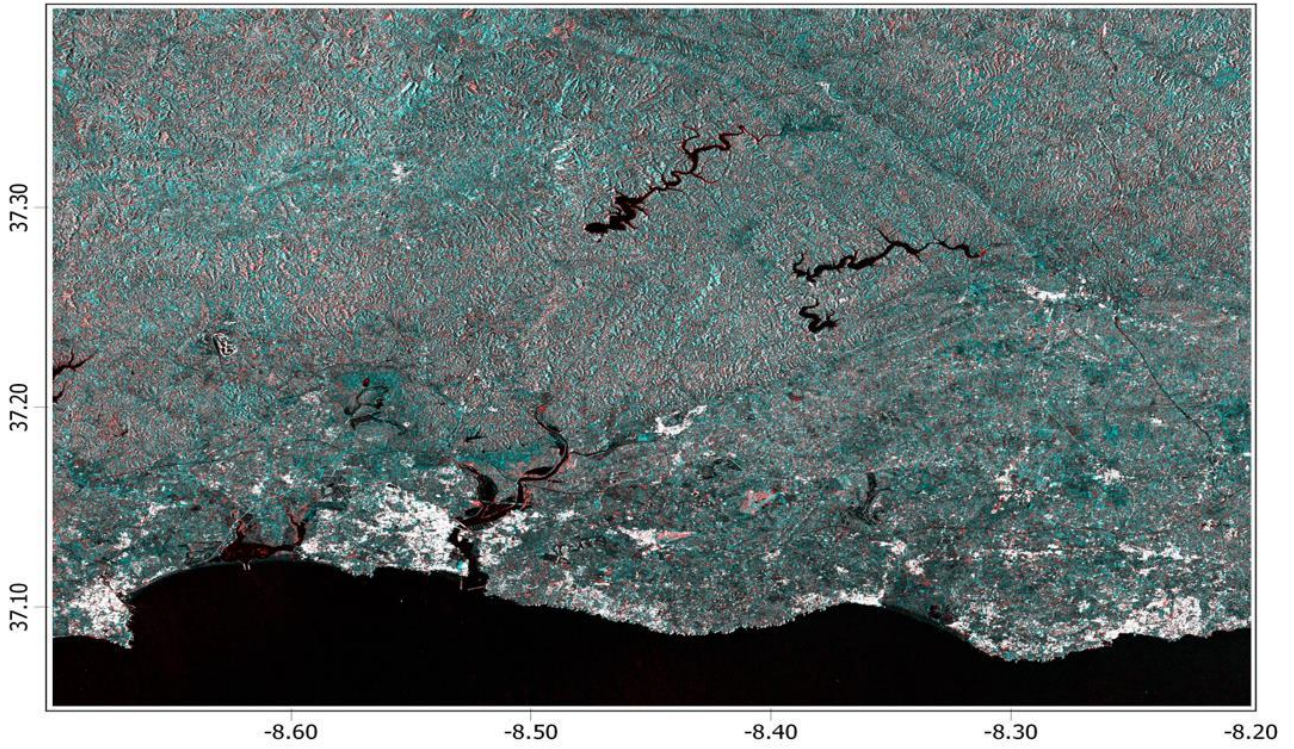


Figura 3.48 - VV-02-02-2018-06:35:13

VH

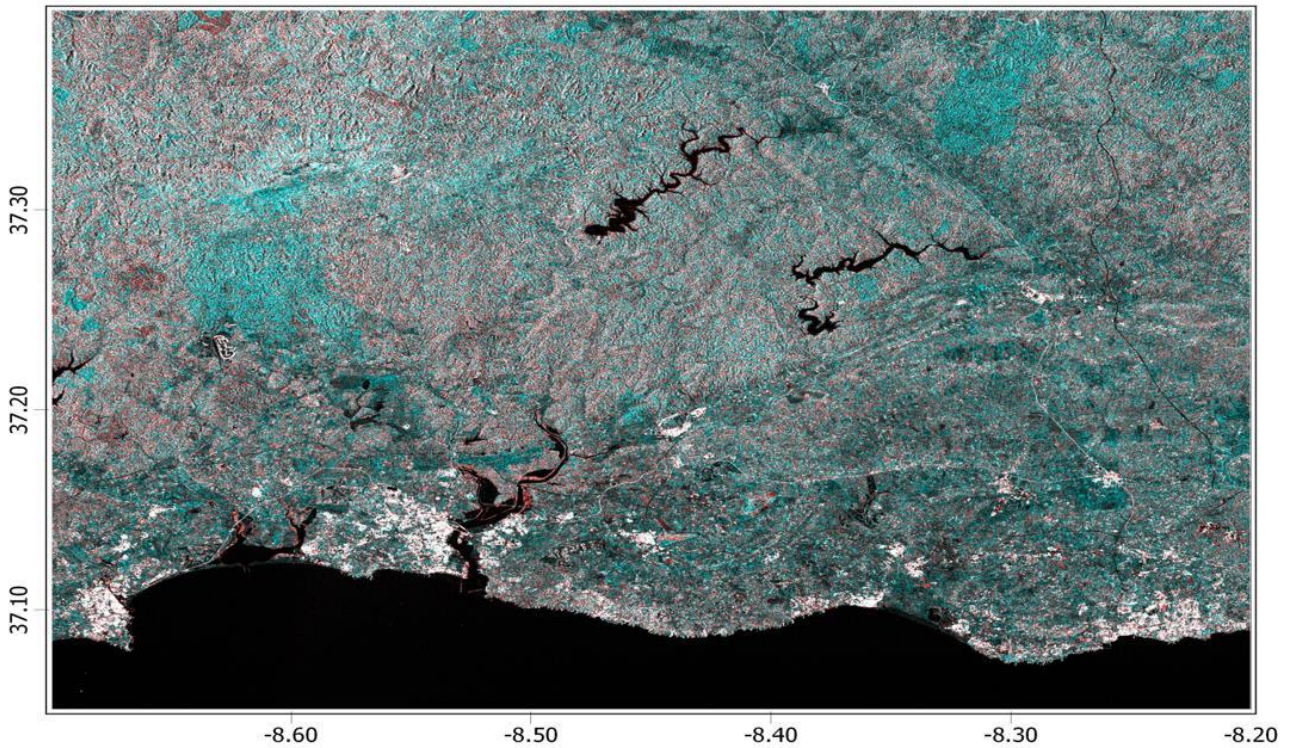


Figura 3.49 - VH-02-02-2018-06:35:13

### 3.1.3 Ano 2018

As imagens obtidas no período entre março de 2018 e fevereiro de 2019 são apresentadas em seguida nas figuras 3.50 a 3.73. A Tabela 3.3 resume as incidências detetadas neste período.

Ano	Período	Figuras nº	Análise
2018	março abril	3.50 3.51 3.52 3.53	No mês de março, é visível o alagamento das culturas de arroz. No mês de abril observa-se a falta de água nas culturas de arroz. Ambas polarizações, VV e VH, refletem estes fenómenos.
	maio junho	3.54 3.55 3.56 3.57	No mês de maio, na imagem VV, é visível a falta de água nas culturas de arroz. Em junho observa-se o alagamento das culturas de arroz, no entanto com algumas falhas. Nas imagens VV, são visíveis os efeitos da maré (maré baixa).
	julho agosto	3.58 3.59 3.60 3.61	No mês de julho, na imagem VV, é visível o efeito da maré (maré baixa). Apesar de estarem alagados, é visível a falta de água nalgumas zonas das culturas de arroz. Nas imagens VH, ainda é possível observar as áreas ardidas por causa dos incêndios de 2016. As imagens do mês de agosto foram adquiridas antes do grande incêndio de Monchique ocorrido no dia 3 de agosto.
	setembro outubro	3.62 3.63 3.64 3.65	No mês de setembro, na imagem VV, são visíveis os efeitos da descida da maré (maré baixa). Na imagem VH, é possível observar na totalidade as sequelas do grande incêndio de Monchique, com origem a 3 de agosto. Nas imagens VV, as sequelas do incêndio começam a ser visíveis gradualmente, ao longo dos meses.
	novembro dezembro	3.66 3.67 3.68 3.69	No mês de novembro, é visível o alagamento das culturas de arroz. No mês de dezembro existem zonas dos arrozais com falta de água. Ambas polarizações, VV e VH, refletem este fenómeno. Nas imagens VV, a área ardida só é visível decorridos 3 meses após o grande incêndio. As imagens VH continuam a mostrar a extensão total das áreas afetadas.
2019	janeiro fevereiro	3.70 3.71 3.72 3.73	Em ambos meses e em ambas imagens, é visível a falta de água nas culturas de arroz. Nas imagens VV começam a deixar de ser visíveis os efeitos do incêndio de Monchique de 03/08/2018, no entanto, as imagens VH continuam a mostrar a totalidade da área ardida. No mês de janeiro, na imagem VV, é visível o efeito da maré (maré baixa).

Tabela 3.3 - Análise entre março de 2018 e fevereiro de 2019

Fonte: Elaboração própria - dados provenientes do processamento SNAP

Março 2018

VV

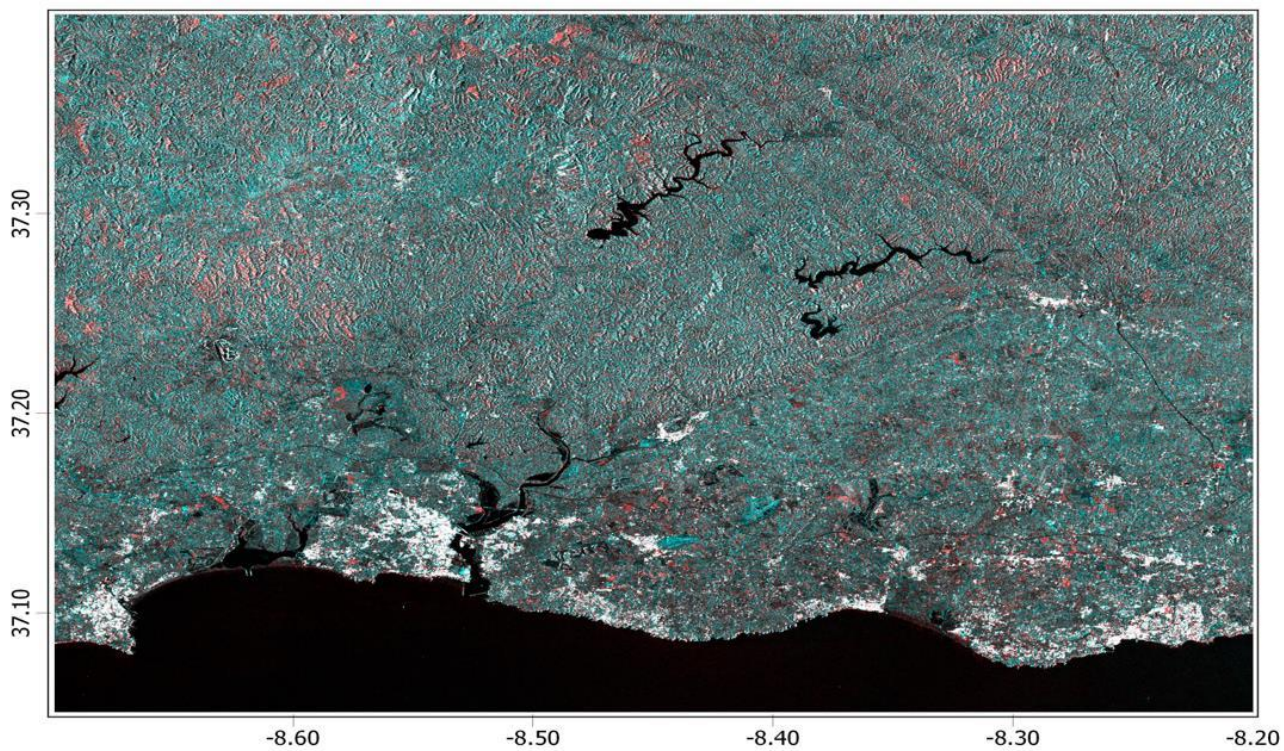


Figura 3.50 - VV-10-03-2018-06:35:12

VH

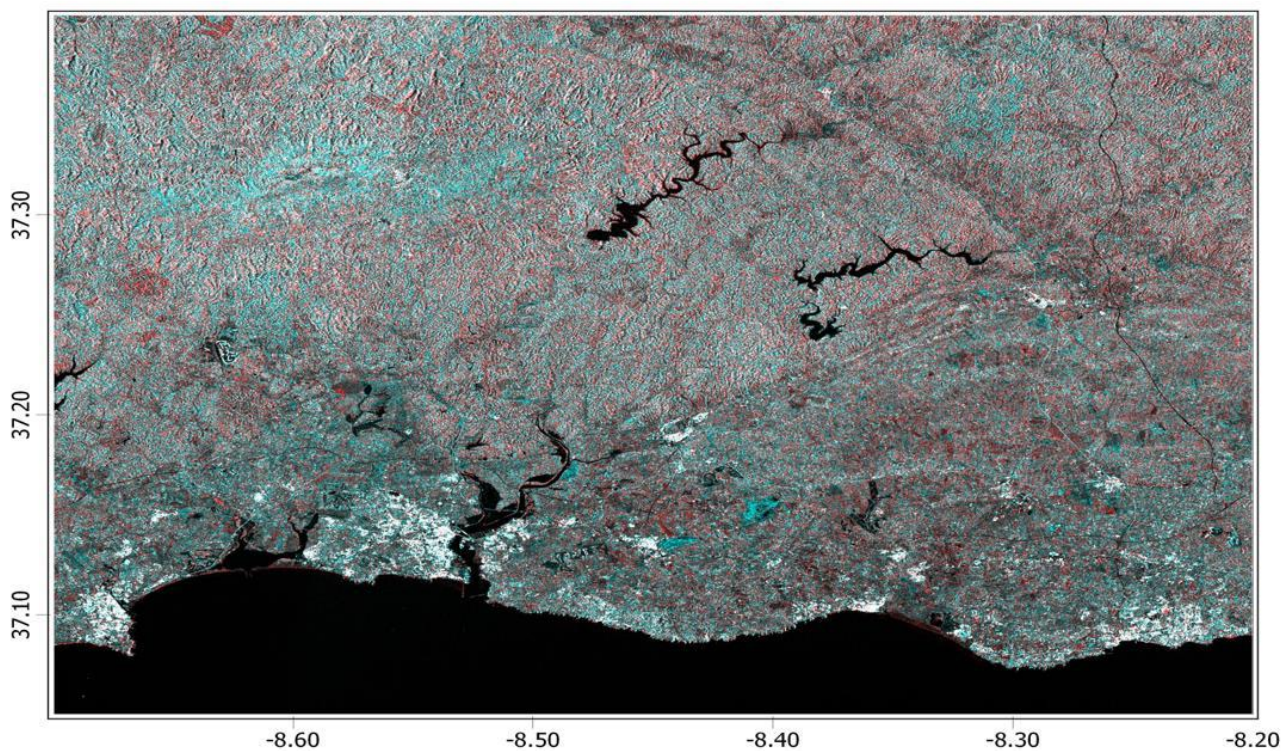


Figura 3.51 - VH-10-03-2018-06:35:12

Abril 2018

VV

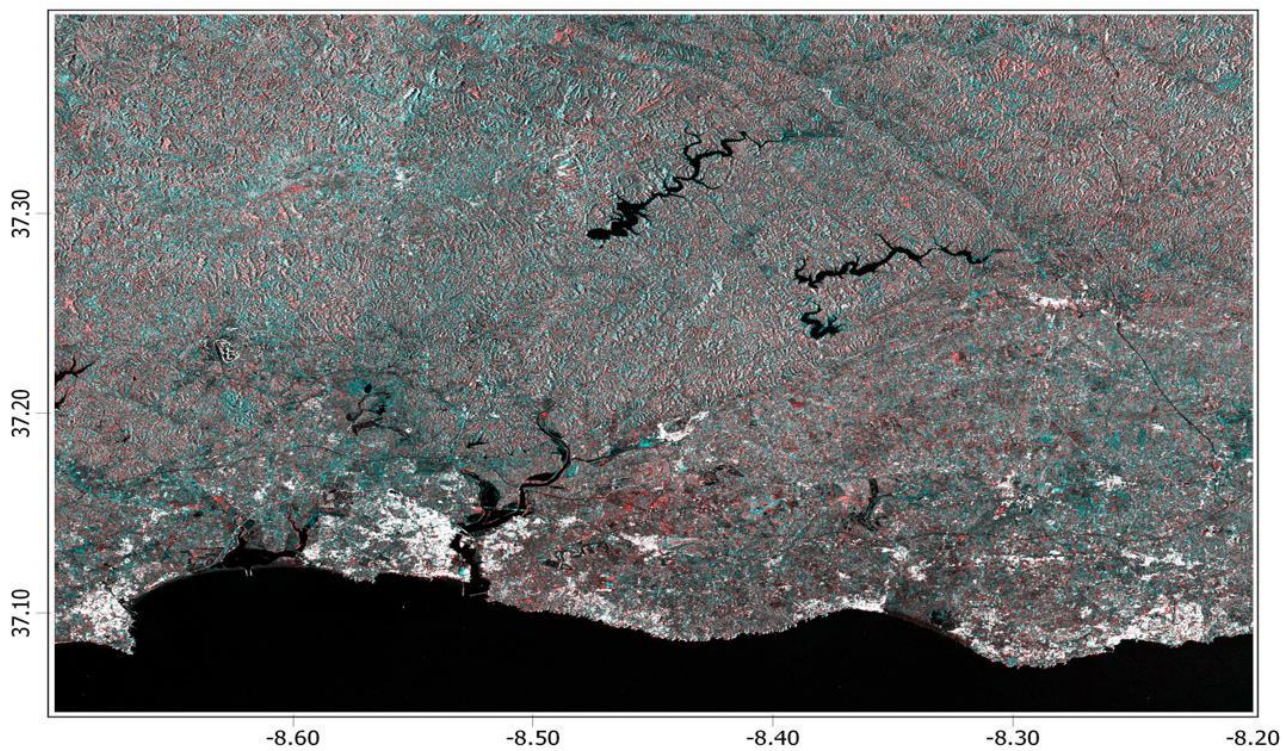


Figura 3.52 - VV-03-04-2018-06:35:13

VH

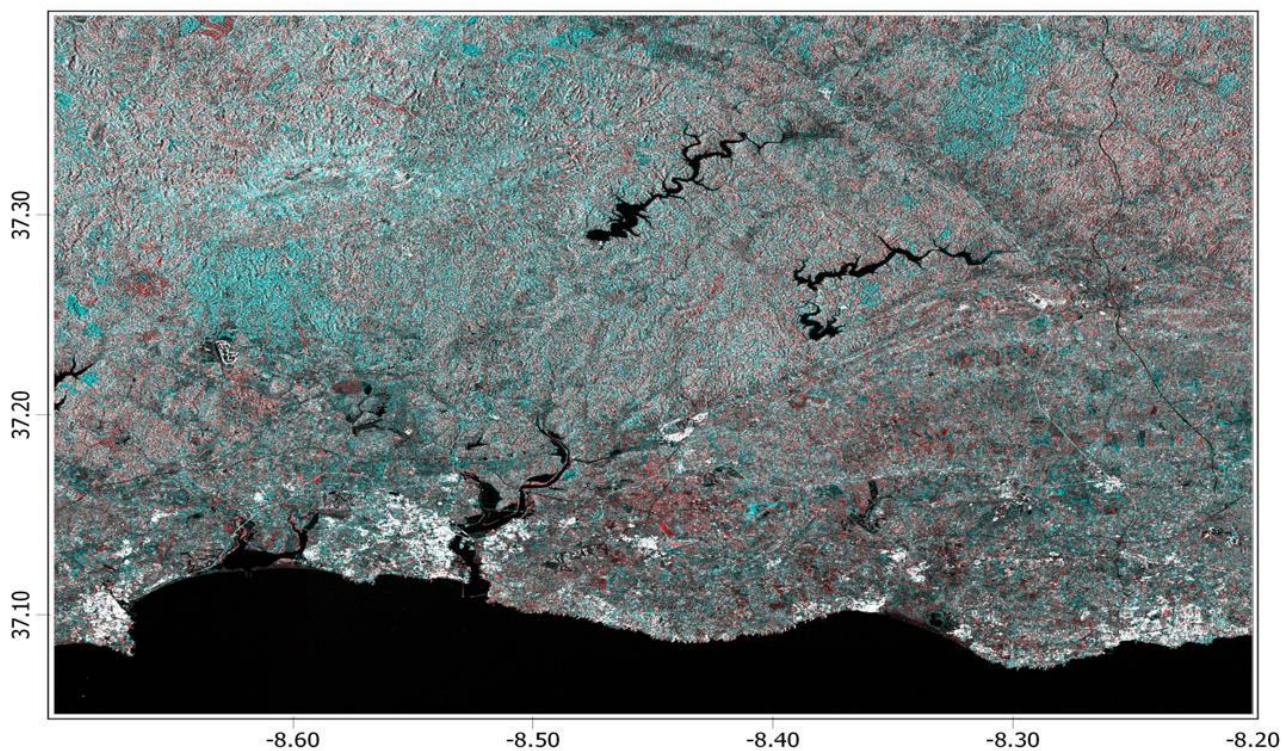


Figura 3.53 - VH-03-04-2018-06:35:13

Maio 2018

VV

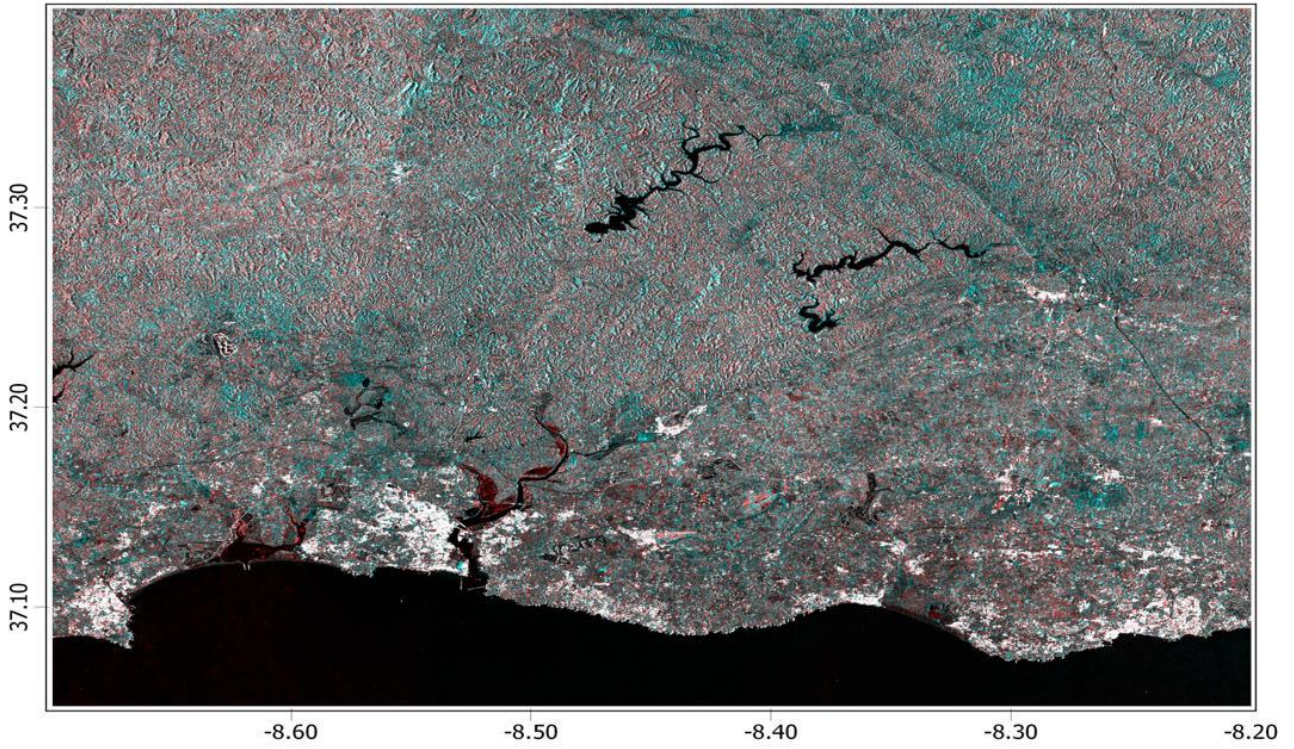


Figura 3.54 - VV-09-05-2018-06:35:14

VH

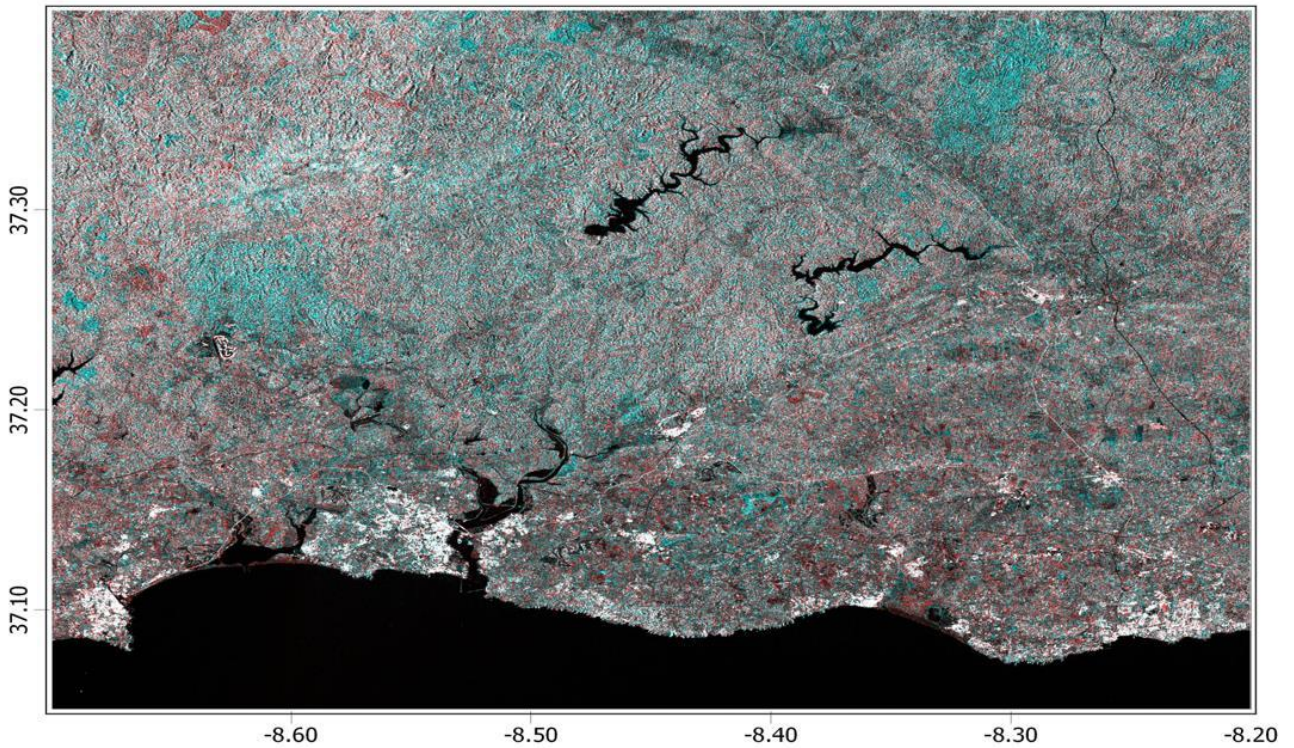


Figura 3.55 - VH-09-05-2018-06:35:14

Junho 2018

VV

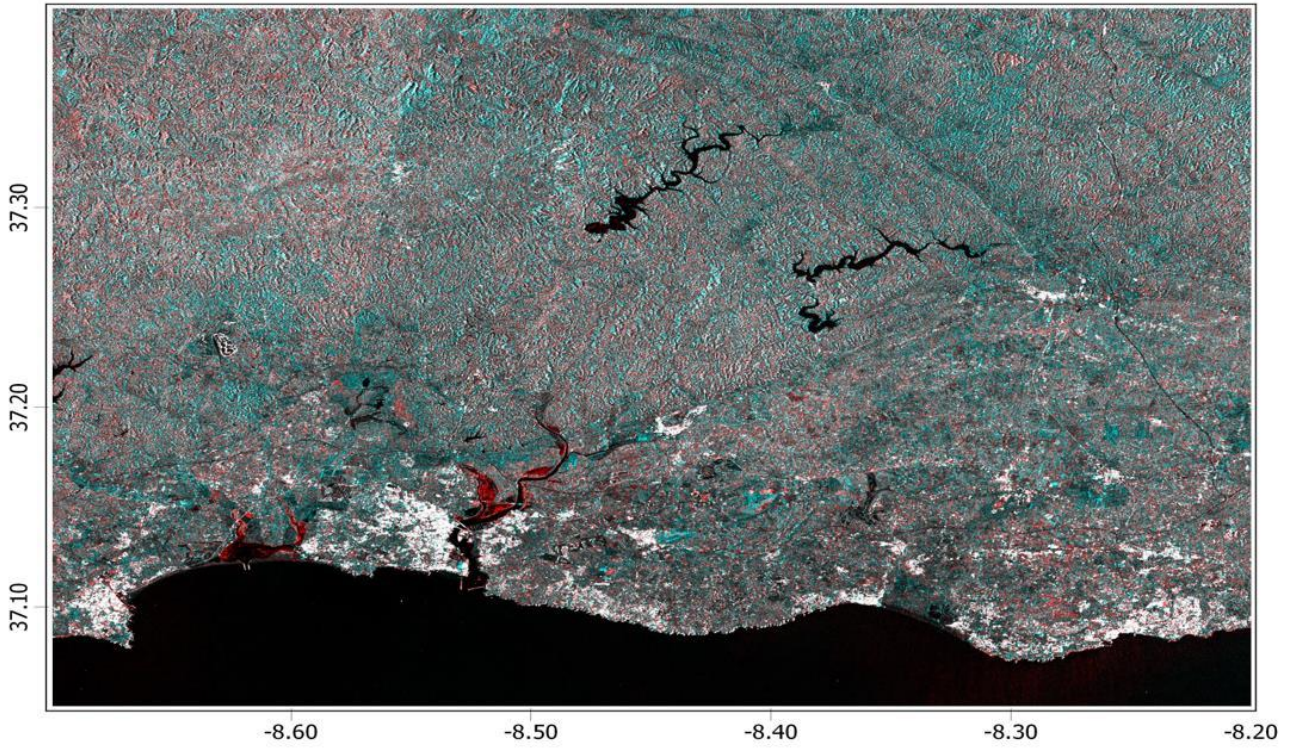


Figura 3.56 - VV-14-06-2018-06:35:17

VH

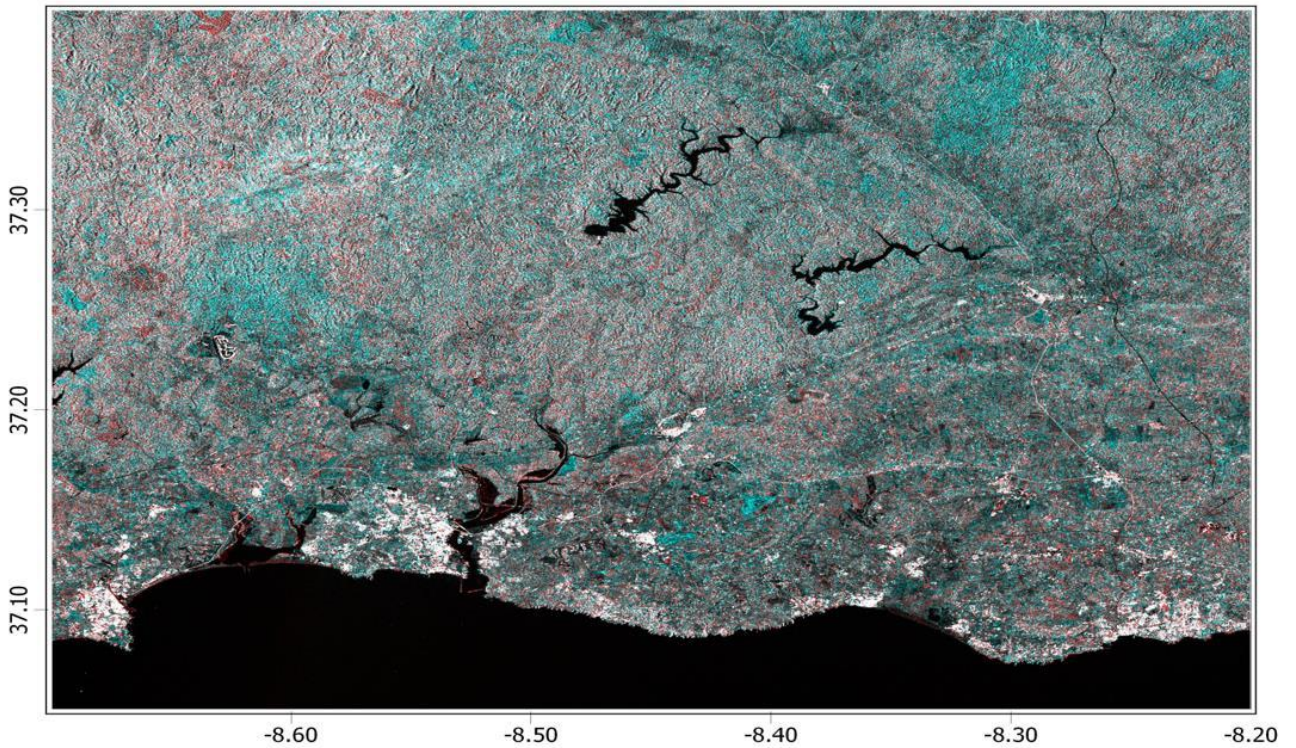


Figura 3.57 - VH-14-06-2018-06:35:17

Julho 2018

VV

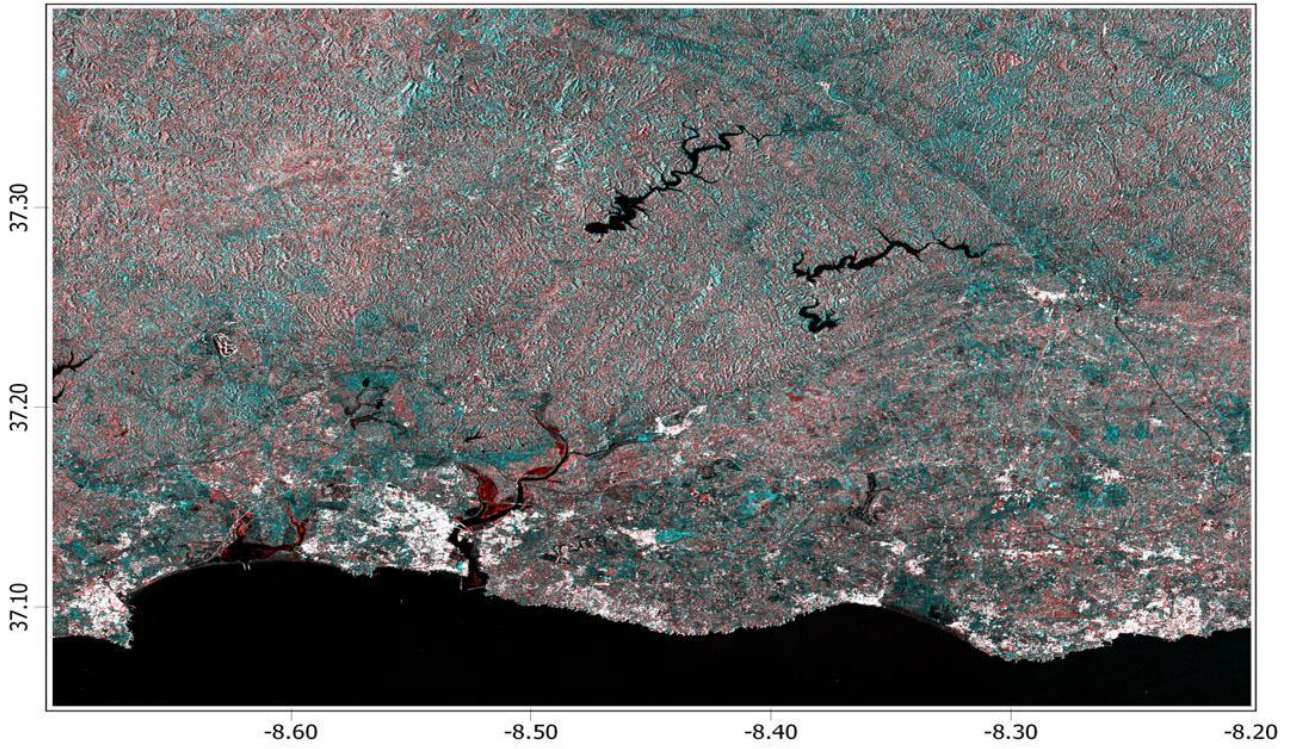


Figura 3.58 - VV-08-07-2018-06:35:18

VH

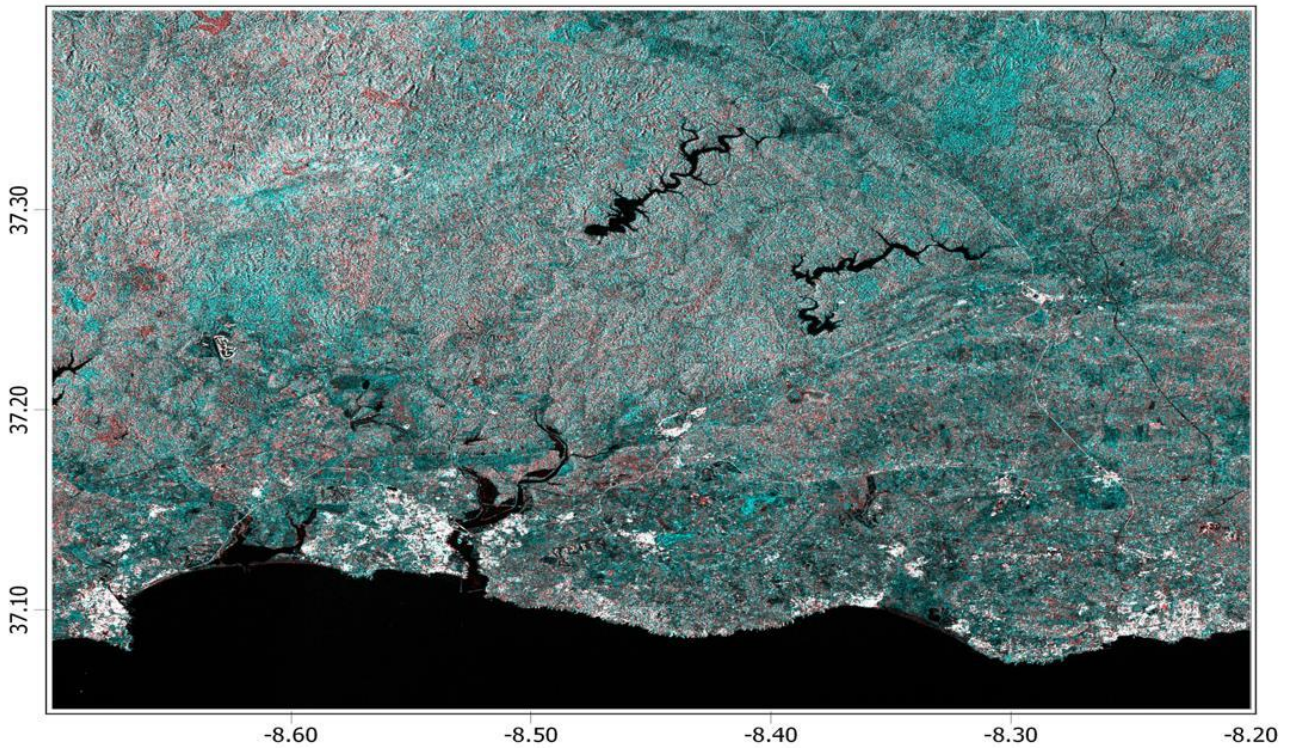


Figura 3.59 - VH-08-07-2018-06:35:18

Agosto 2018

VV

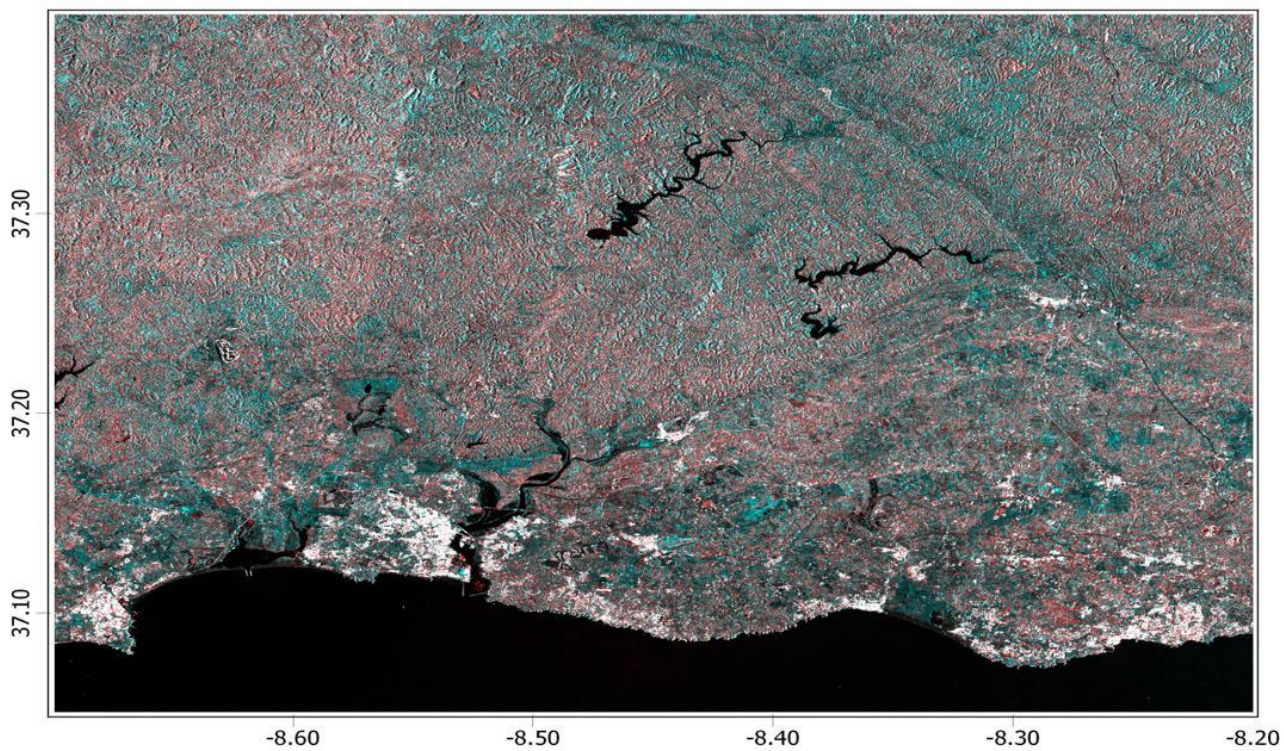


Figura 3.60 - VV-01-08-2018-06:35:19

VH

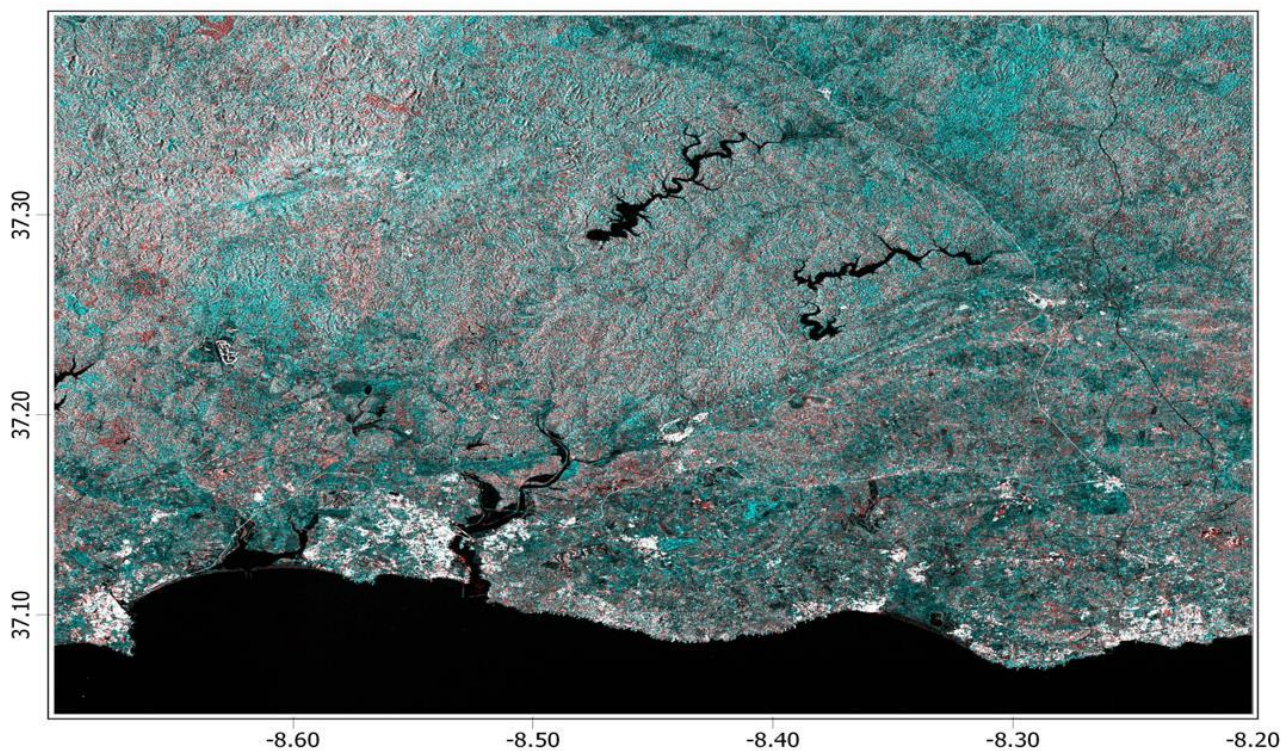


Figura 3.61 - VH-01-08-2018-06:35:19

Setembro 2018

VV

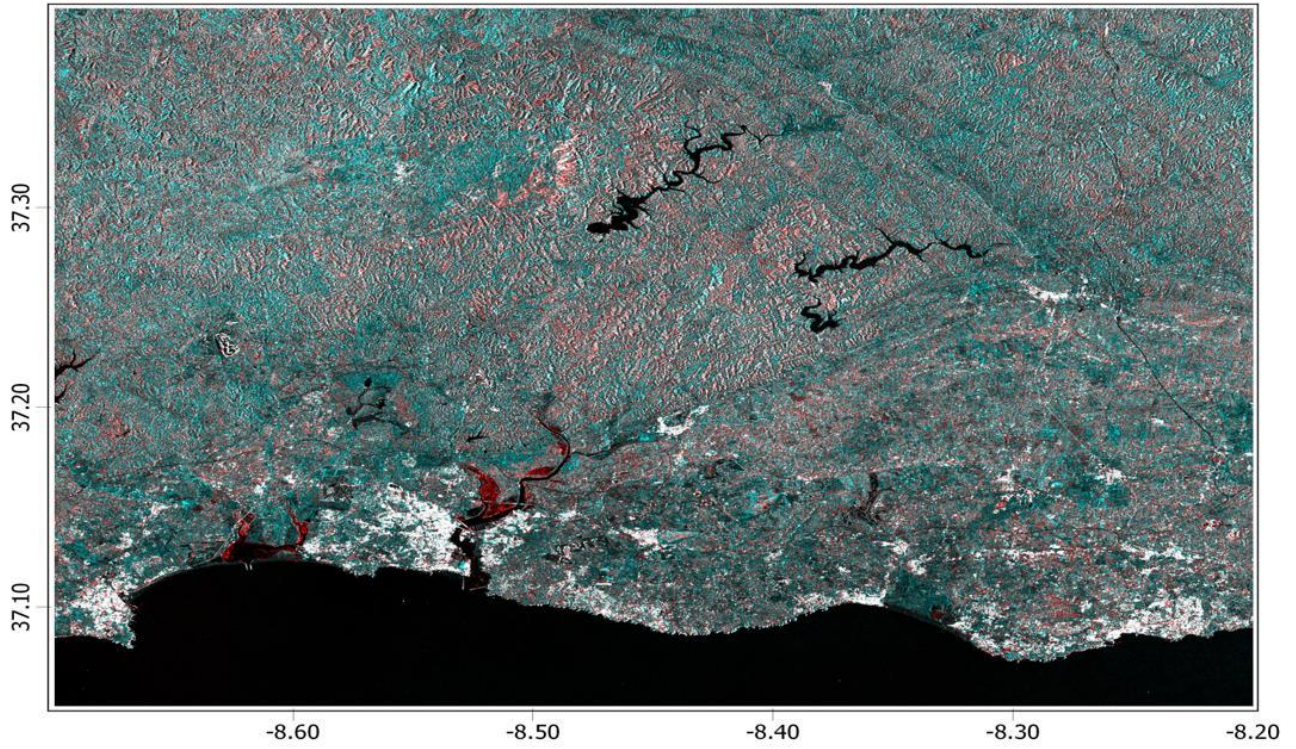


Figura 3.62 - VV-06-09-2018-06:35:22

VH

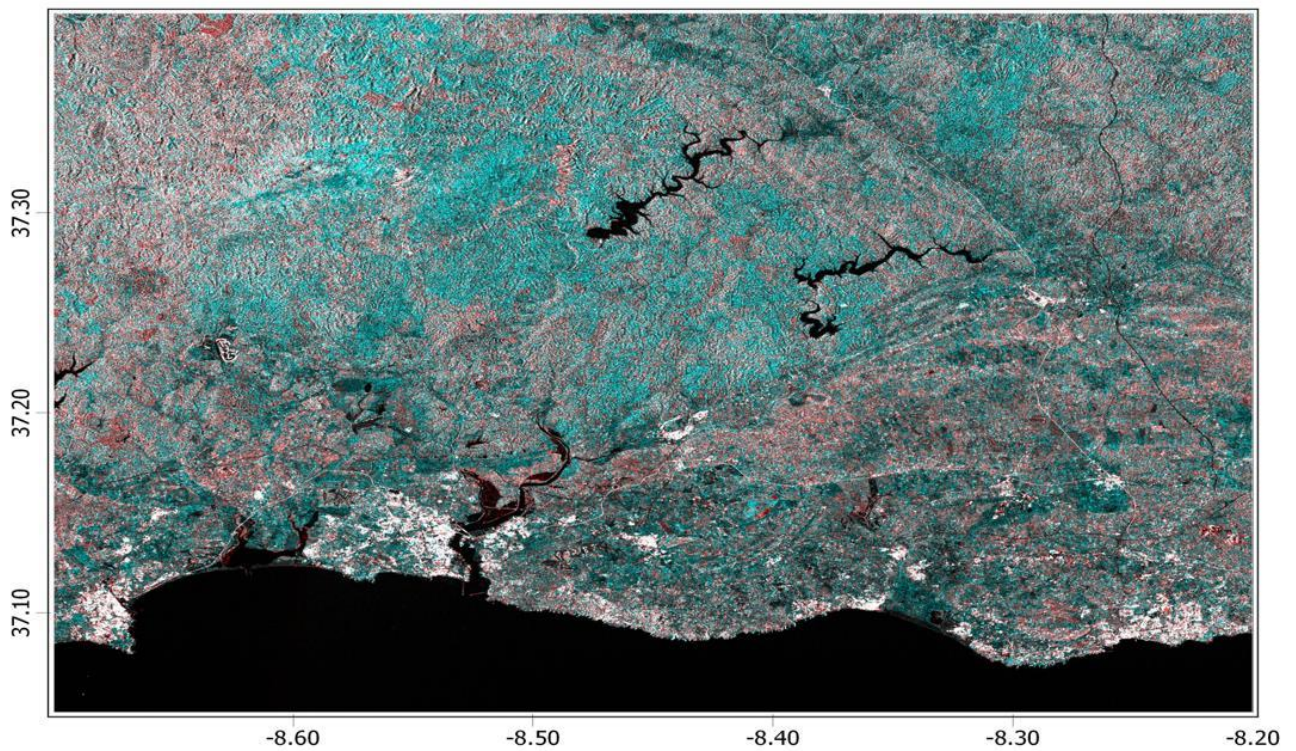


Figura 3.63 - VH-06-09-2018-06:35:22

Outubro 2018

VV

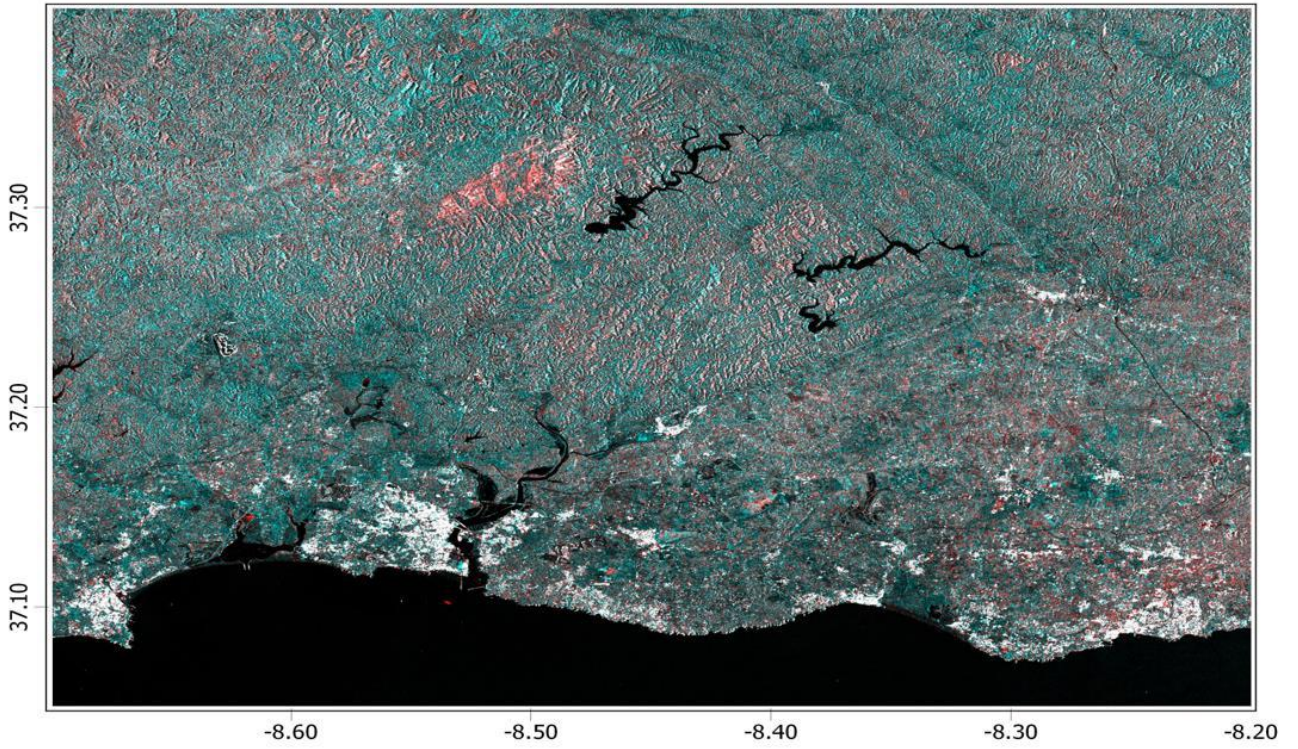


Figura 3.64 - VV-12-10-2018-06:35:22

VH

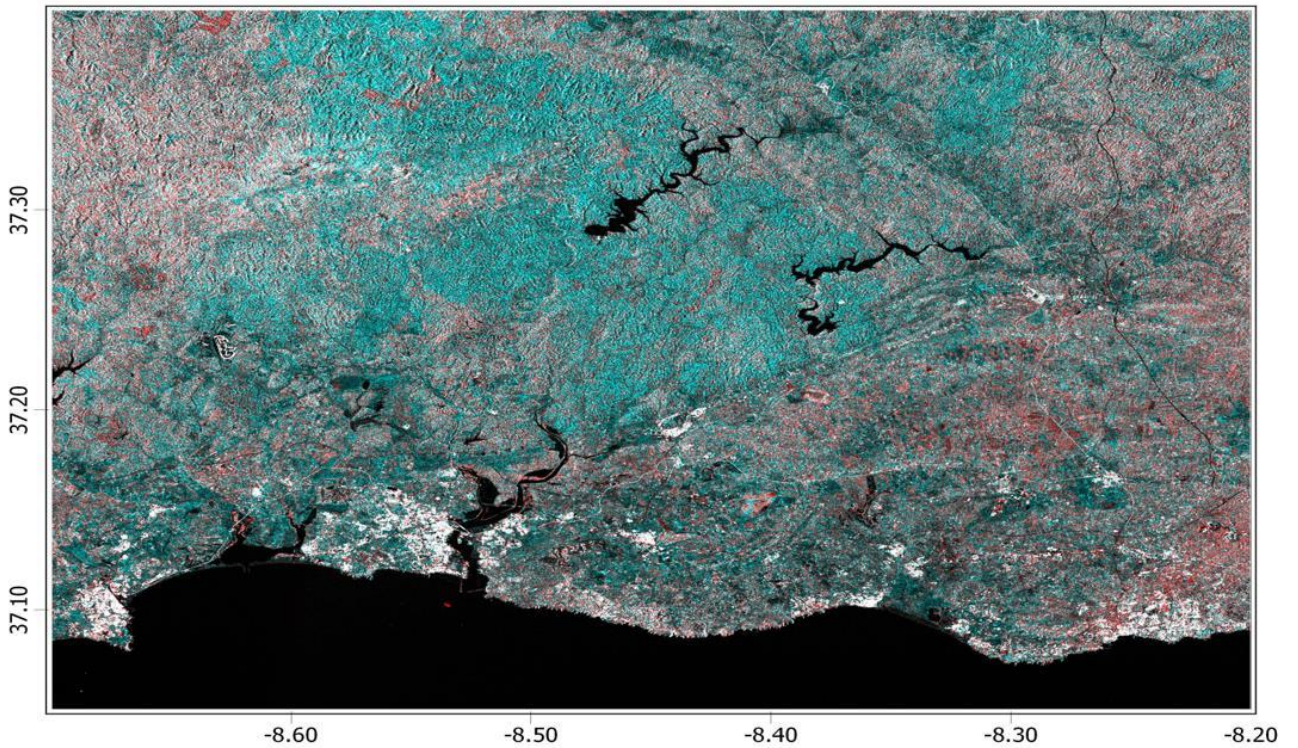


Figura 3.65 - VH-12-10-2018-06:35:22

Novembro 2018

VV

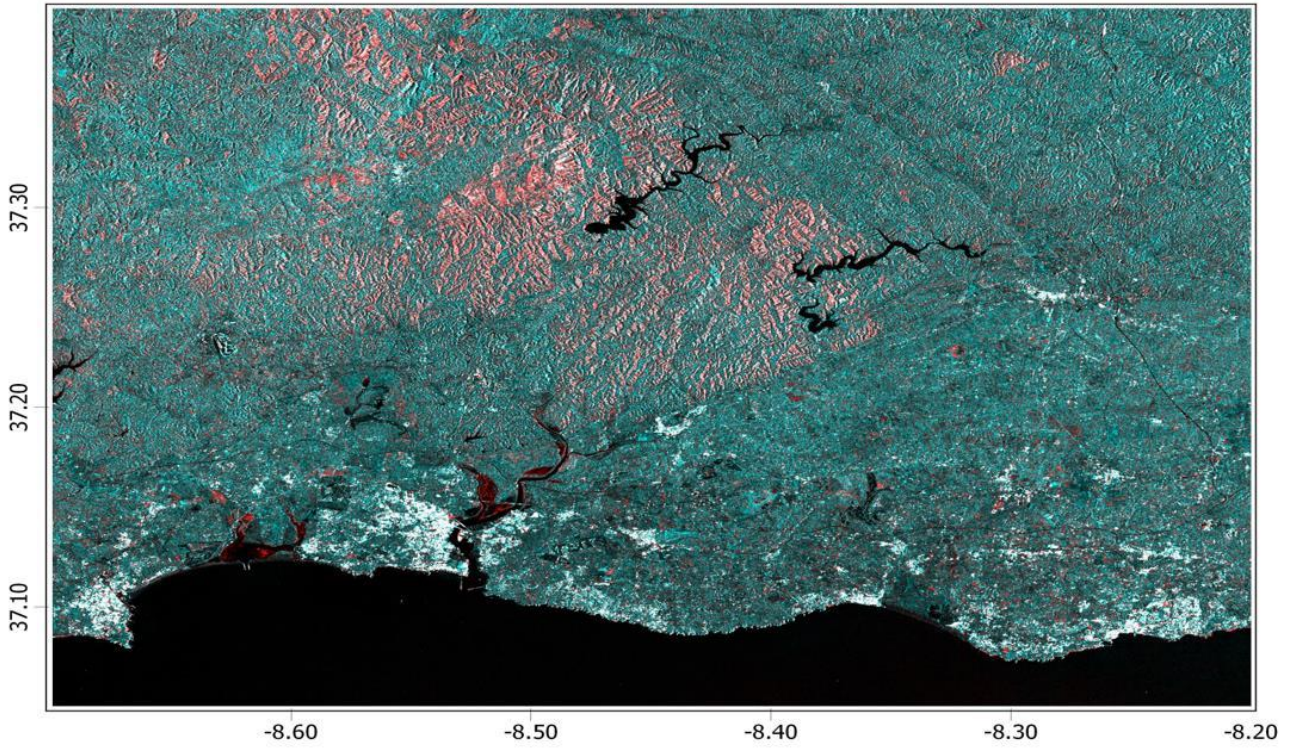


Figura 3.66 - VV-05-11-2018-06:35:22

VH

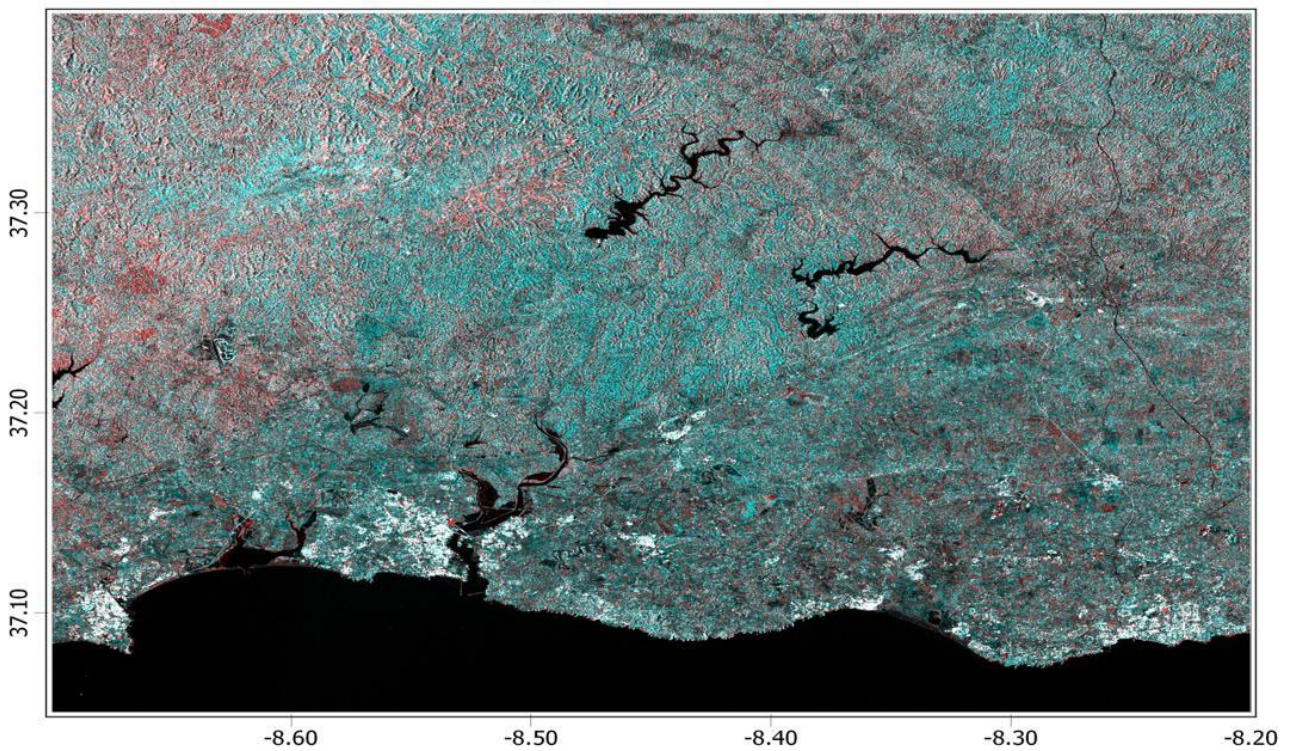


Figura 3.67 - VH-05-11-2018-06:35:22

Dezembro 2018

VV

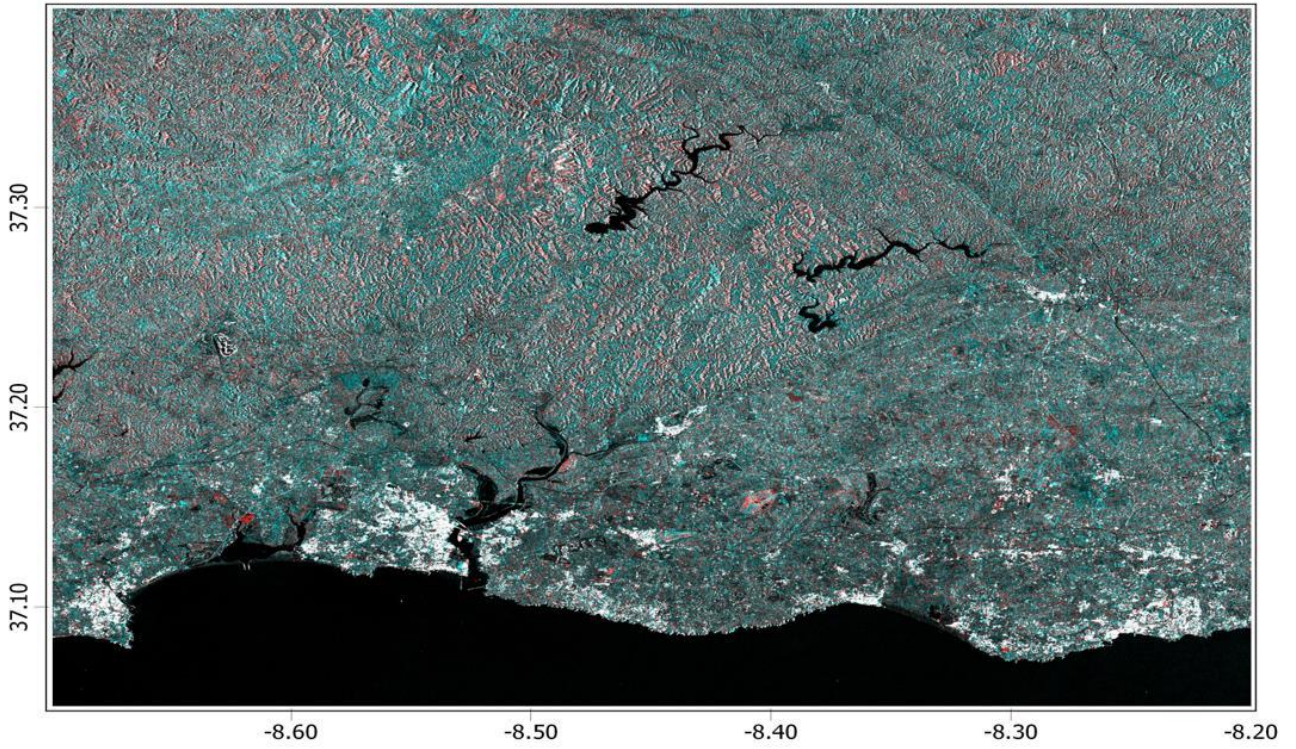


Figura 3.68 - VV-11-12-2018-06:35:21

VH

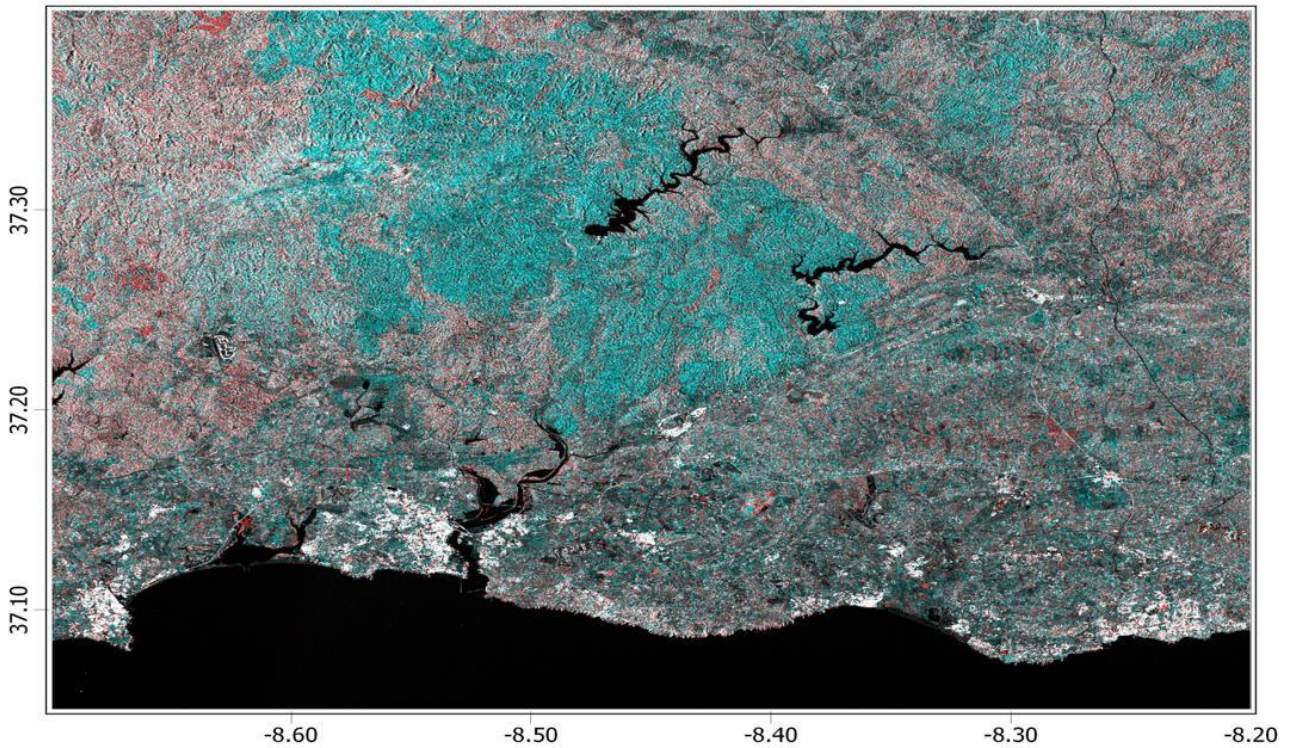


Figura 3.69 - VH-11-12-2018-06:35:21

Janeiro 2019

VV

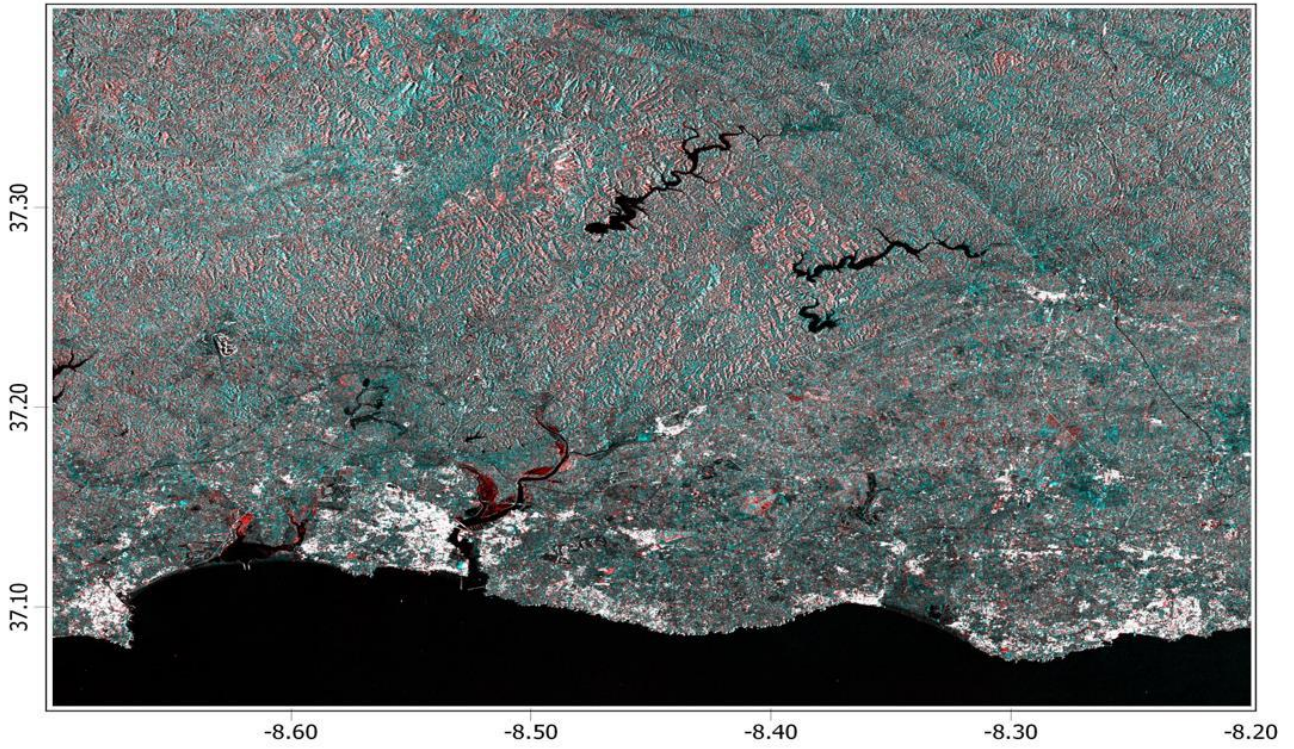


Figura 3.70 - VV-16-01-2019-06:35:20

VH

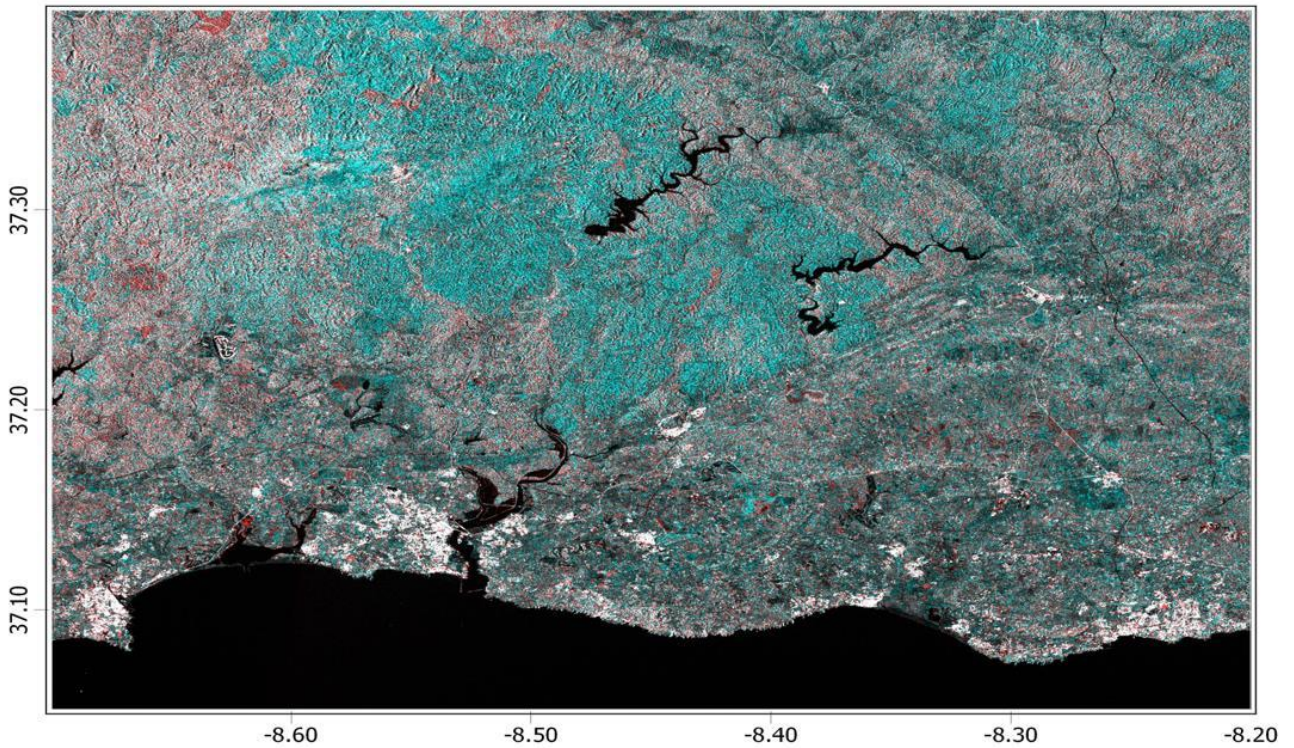


Figura 3.71 - VH-16-01-2019-06:35:20

Fevereiro 2019

VV

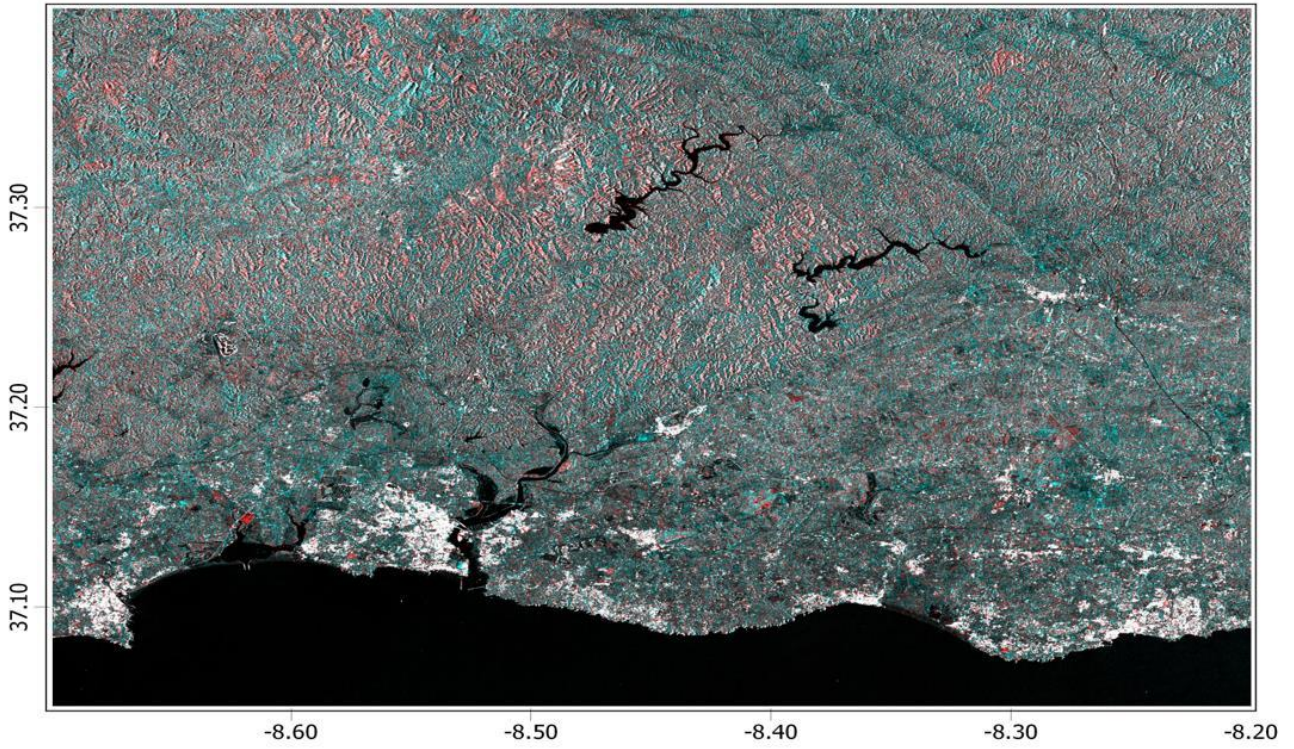


Figura 3.72 - VV-09-02-2019-06:35:19

VH

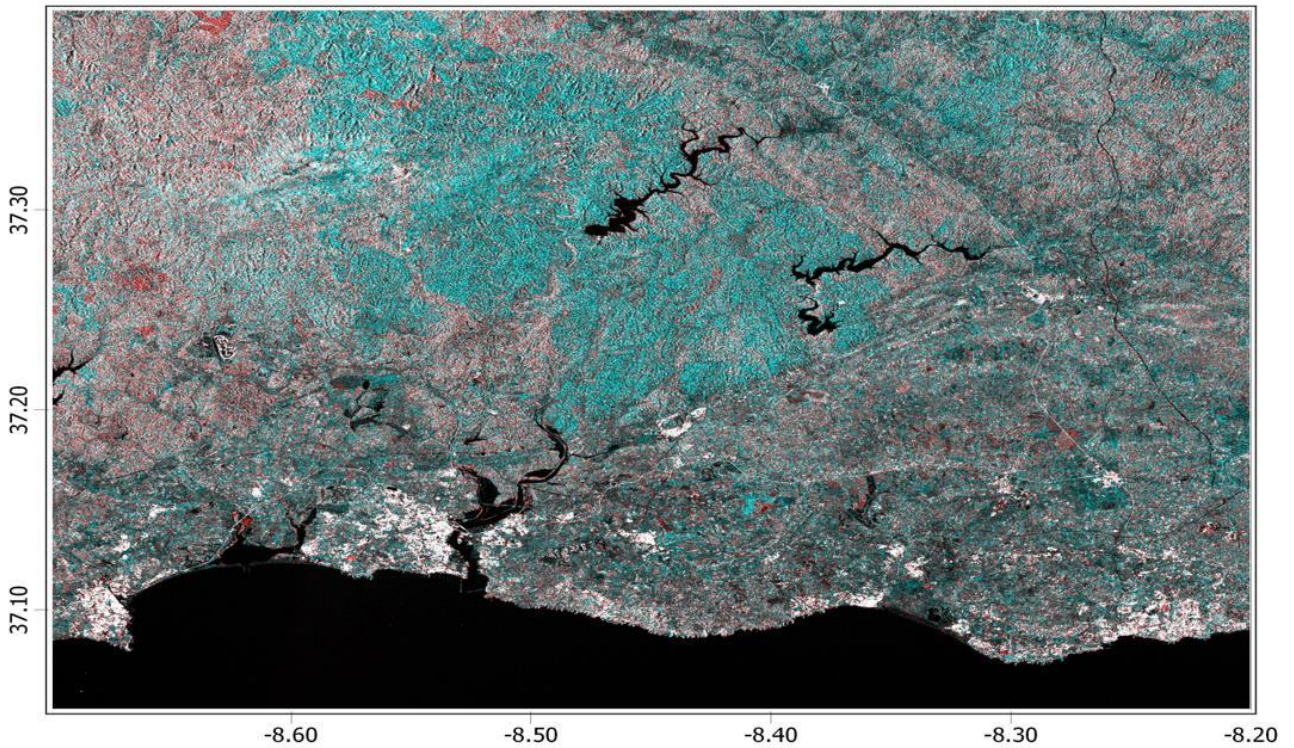


Figura 3.73 - VH-09-02-2019-06:35:19

## 4 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A seca é um fenómeno climático severo, que cria constrangimentos a várias escalas da sociedade. Por exemplo, sendo a agricultura o setor que mais consome o recurso hídrico, é o primeiro a sofrer com a falta de água.

Por ser um recurso inestimável, de grande importância ao nível económico, social e ambiental, assumindo uma importância ainda mais significativa nos momentos de escassez, é necessário garantir um uso eficiente da água por todos.

A humidade do solo é uma propriedade dinâmica, que é influenciada por um conjunto de fatores, como a precipitação, a temperatura, a textura do solo, o declive, o tipo e a densidade do coberto vegetal (Nunes, 2010). Para apreciar esta dinâmica, tomemos como exemplo os dados do boletim meteorológico para a agricultura, referente ao ano de 2017, no distrito de Faro. No mês de março, registou-se 92% de água no solo em relação à capacidade de água utilizável pelas plantas. No entanto, para o mês de outubro, o registo foi de apenas 1%.

Em solo agrícola, o nível de humidade ideal depende do cultivo. Por exemplo, o arroz cresce bem nas zonas húmidas, mas as culturas das terras altas como o trigo, mostarda, batata, leguminosas, etc. são sensíveis aos níveis excessivos de água e não conseguem sobreviver debaixo de água durante longos períodos (Earth Observing System, 2020).

Assim sendo, é um parâmetro fulcral a monitorizar, uma vez que pode permitir que a rega seja mais eficiente, ou seja, que a mesma seja efetuada em função da necessidade da produção agrícola, possibilitando uma eventual poupança do recurso hídrico.

Nesse âmbito, a tecnologia SAR promete ser uma ferramenta valiosa e com grande capacidade de aplicação, que poderá ser útil para o monitoramento, mitigação e prevenção de fenómenos de seca.

O presente trabalho teve como finalidade avaliar a sensibilidade do sistema SAR, em relação à água e a humidade. Para isso, analisou-se um conjunto de imagens SAR com dupla polarização (VH/VV), de modo a detetar a variação dos níveis de humidade relativa do solo, no período entre fevereiro 2016 e fevereiro 2019, tendo sido dado enfoque à prática dos agricultores do Concelho de Lagoa, no que respeita ao uso da água nas culturas

de arroz, observando também a suscetibilidade do sistema quanto à variação no nível de água das albufeiras, o efeito das marés e as situações de incêndios.

Previamente, há que esclarecer que uma imagem de radar é geralmente exibida como uma imagem em escala de cinza. A intensidade de cada pixel representa a proporção da micro-onda retro-refletida no solo, naquela área. Sendo que, quanto maior o brilho do pixel, mais áspera será a superfície do solo.

Interpretar uma imagem de radar requer de certo conhecimento ou familiaridade com o meio ambiente da zona em estudo.

As superfícies planas, como estradas pavimentadas ou corpos de água, normalmente aparecem como pixéis escuros devido a reflexão especular. As áreas urbanas apresentam pixéis brilhantes, devido a retro-reflexão-múltipla nos cantos das superfícies, causando que a maior parte da energia retorne ao sensor. A retro-reflexão-múltipla resulta na soma de retro-reflexões dentro do mesmo pixel, aumentando o brilho.

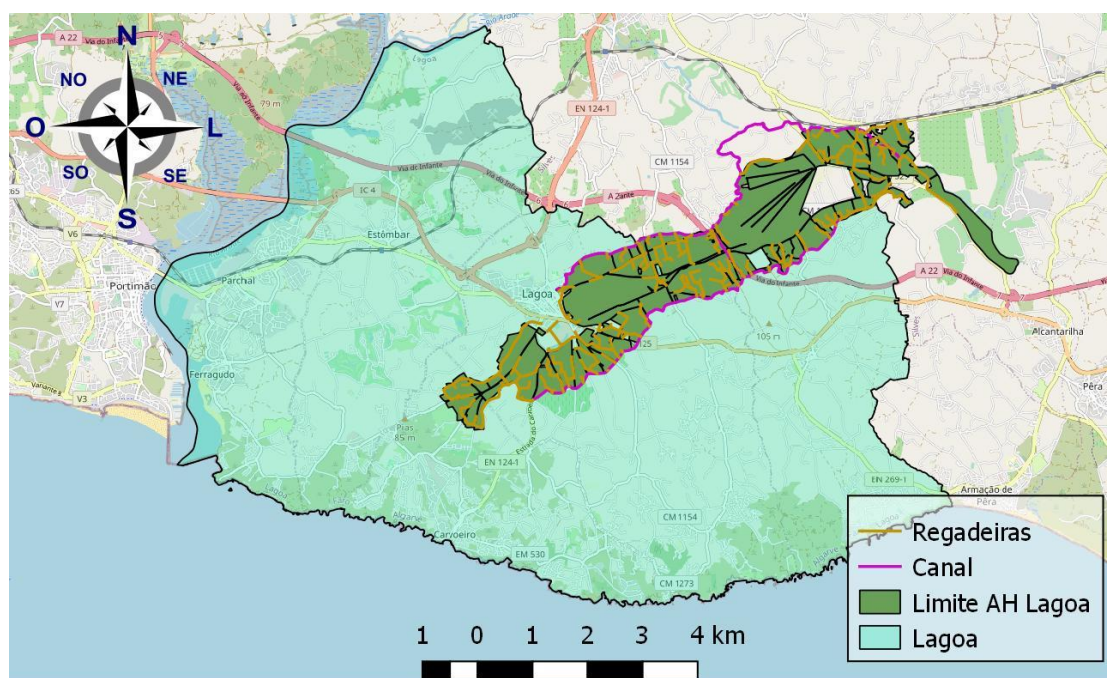
Por um lado, em árvores e solos com vegetação, devido a rugosidade média, o pixel pode variar de tom intermédio a moderadamente brilhante. A estrutura das plantas, isoladas ou em conjunto, influencia a retro-reflexão de cada tipo de plantas.

Por outro lado, em solos sem vegetação, o pixel pode variar de muito escuro a muito claro ou brilhante, consoante a rugosidade, além de que, quanto maior for o teor de humidade, maior será a intensidade do brilho.

As gotas de água isoladas (humidade) provocam um efeito semelhante à retro-reflexão-múltipla, aumentando o brilho do objeto base (solo, plantas, etc.). No entanto, os corpos de água como superfícies planas produzem reflexão especular. Isto é, solo húmido é mais brilhante que o solo seco, mas solo inundado é mais escuro que o solo seco, logo a humidade resulta vermelho, enquanto o inundado resulta azul. Ou seja, esta panóplia de circunstâncias torna complexa a avaliação da humidade do solo.

Por isso, uma vez interpretadas as imagens do projeto, os resultados foram testados e validados com informação do instituto português do mar e da atmosfera e do sistema nacional de informação de recursos hídricos, demonstrando a efetividade das imagens SAR em discriminar os fenómenos em estudo.

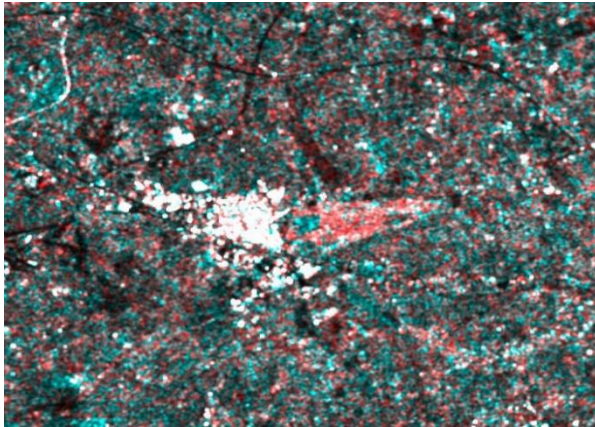
A utilização de perímetros de rega resulta vantajoso para os agricultores, com poupanças decorrentes da utilização conjunta das infraestruturas, propiciando um uso mais eficiente da água e da energia. Ao contrário do bloco de Silves, o bloco de Lagoa ainda utiliza o sistema antigo de valas a céu aberto. De momento estão a decorrer importantes obras de modernização estrutural, com o objetivo de implementar uma rede de transporte de água sob pressão, de modo a reduzir as perdas e tornar o sistema mais eficiente e amigo do ambiente.



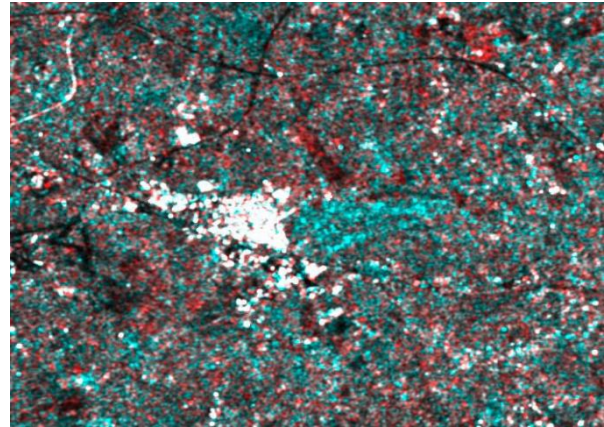
*Figura 4.1 - Bloco de Lagoa - Obra de modernização*

*Fonte: Elaboração própria, baseado em dados da Câmara Municipal de Lagoa*

No que toca a utilização dos campos de arroz, pudemos constatar que o comportamento dos agricultores é cíclico, com períodos de alagamento e períodos de secagem. Neste tipo de culturas, o ciclo costuma iniciar na primavera com a limpeza, preparação e alagamento dos campos e acaba no início do outono, com a ceifa do arroz (Pinto & Gaspar, 2009). Períodos de alagamento fora de época poderiam ser explicados por chuvas que transformam os campos em enormes espelhos de água.



*Figura 4.2 - Arrozal seco - 03/2017*

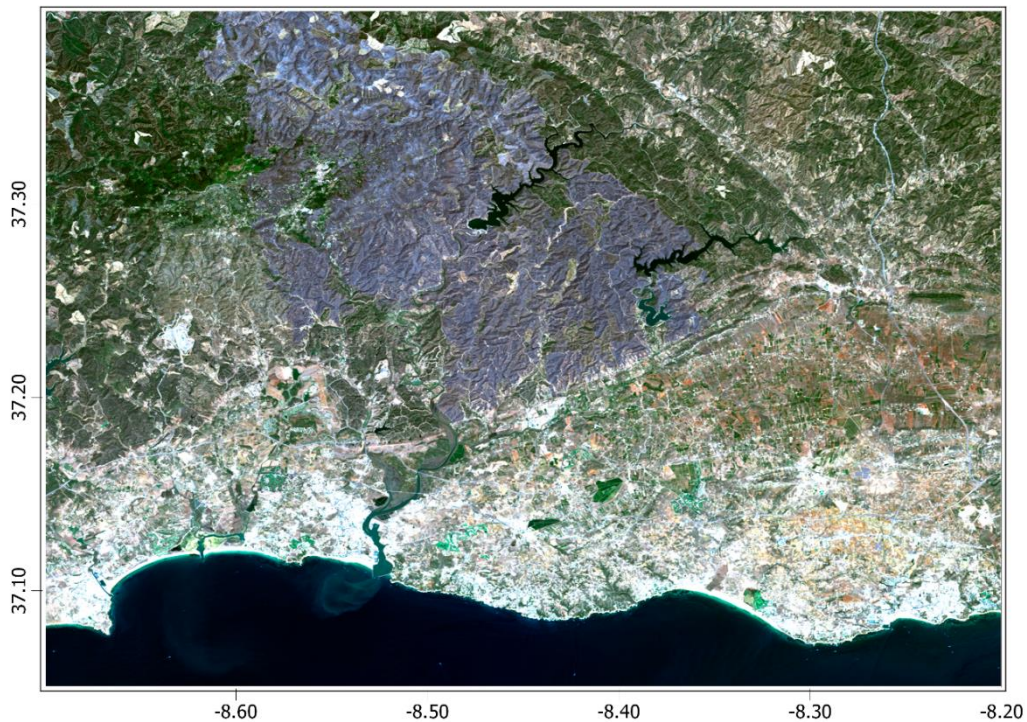


*Figura 4.3 - Arrozal alagado - 05/2017*

*Fonte: Elaboração própria – dados provenientes da National Aeronautics and Space Administration (NASA)*

### **Polarização paralela VV ou cruzada VH, qual é a melhor?**

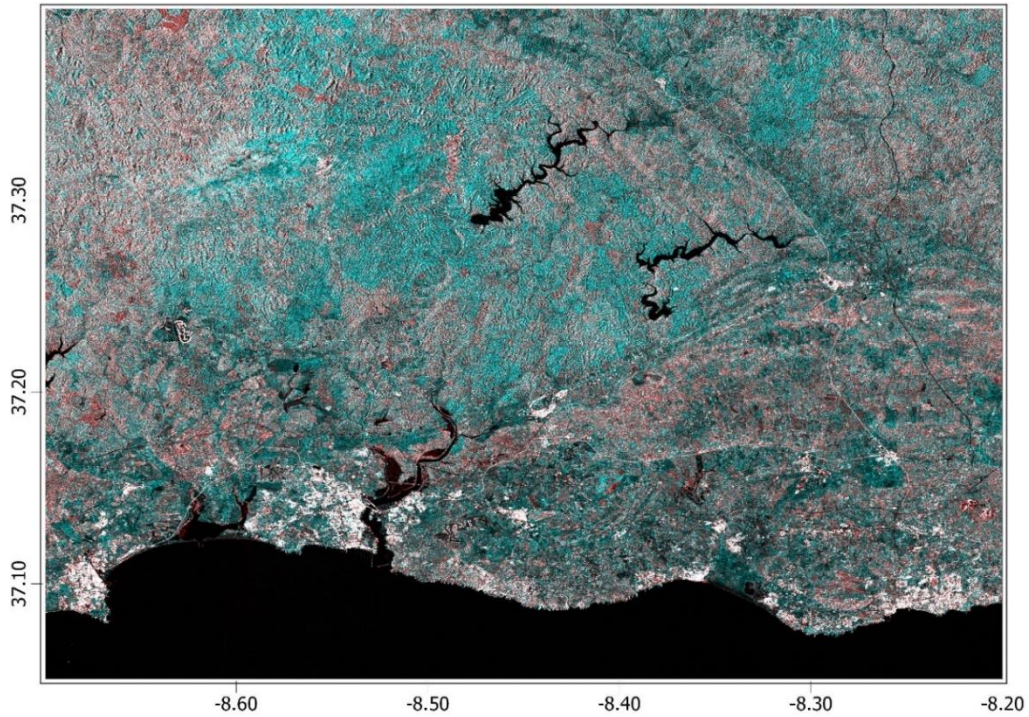
Depende do tipo de situação que queremos estudar. Para podermos comparar, tomaremos como exemplo o caso do grande incêndio de Monchique de 2018. O incêndio teve início por volta das 13 horas no dia 3 de agosto e foi dominado na manhã do dia 10 de agosto.



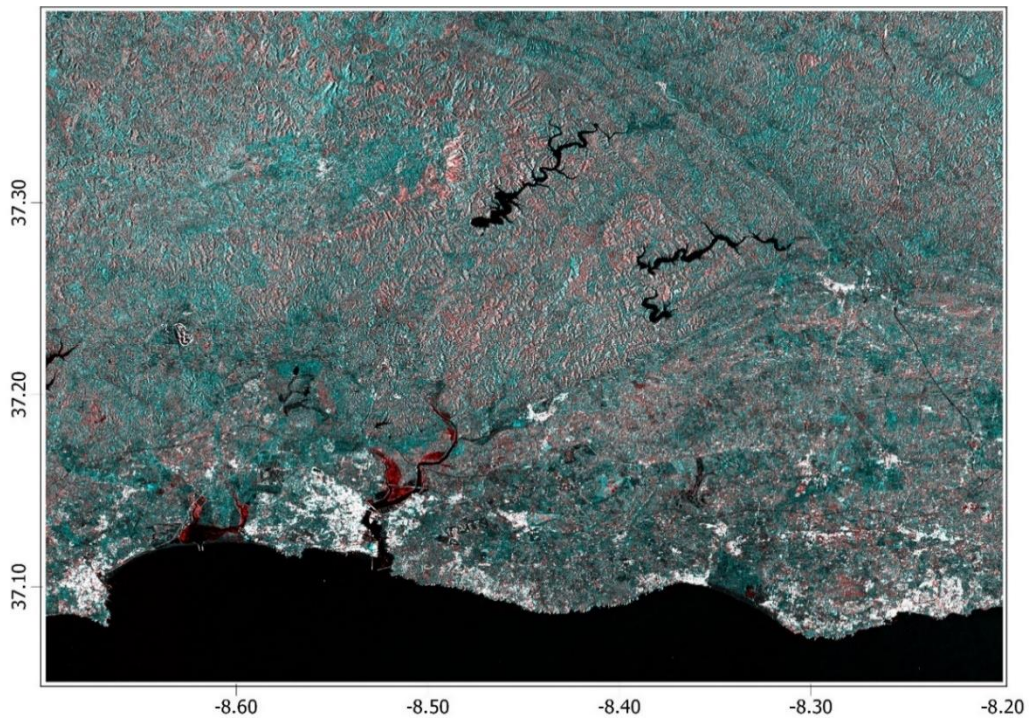
*Figura 4.4 - Incêndio de Monchique 03/2018*

*Fonte: Elaboração própria – dados provenientes do United States Geological Survey URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>*

Existe sinal imediato nas VH, mas não nas VV:

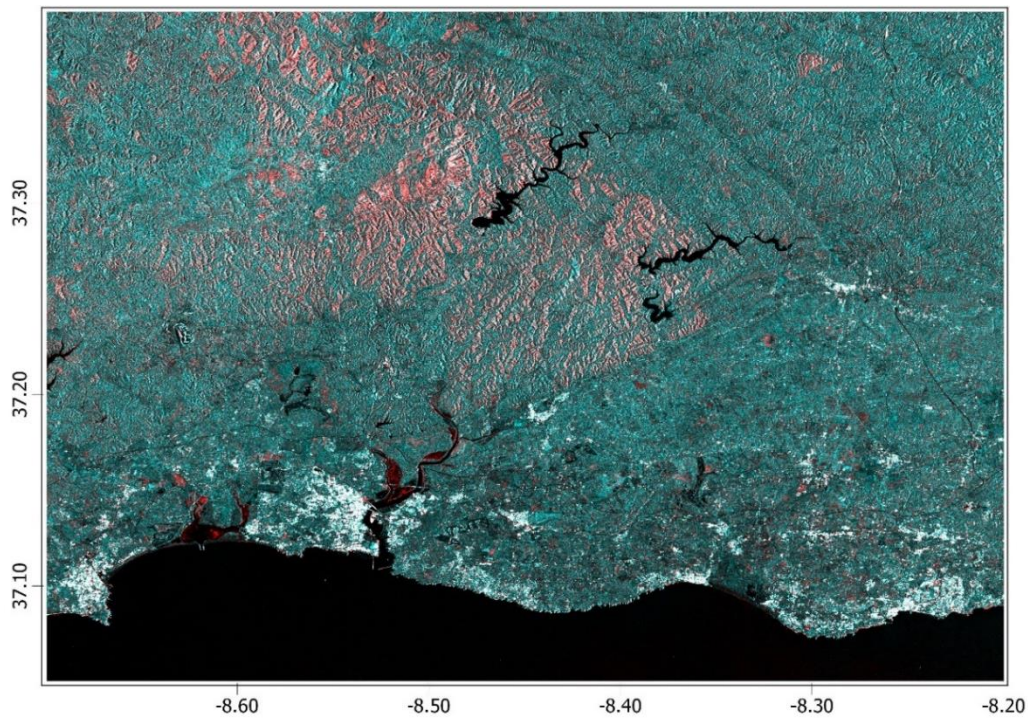


*Figura 4.5 - Setembro de 2018 - Polarização VH  
Fonte: Elaboração própria – dados provenientes da  
National Aeronautics and Space Administration (NASA)*



*Figura 4.6 - Setembro de 2018 - Polarização VV  
Fonte: Elaboração própria – dados provenientes da  
National Aeronautics and Space Administration (NASA)*

São precisos, pelo menos, 3 meses até as imagens VV mostrarem o sinal na totalidade:

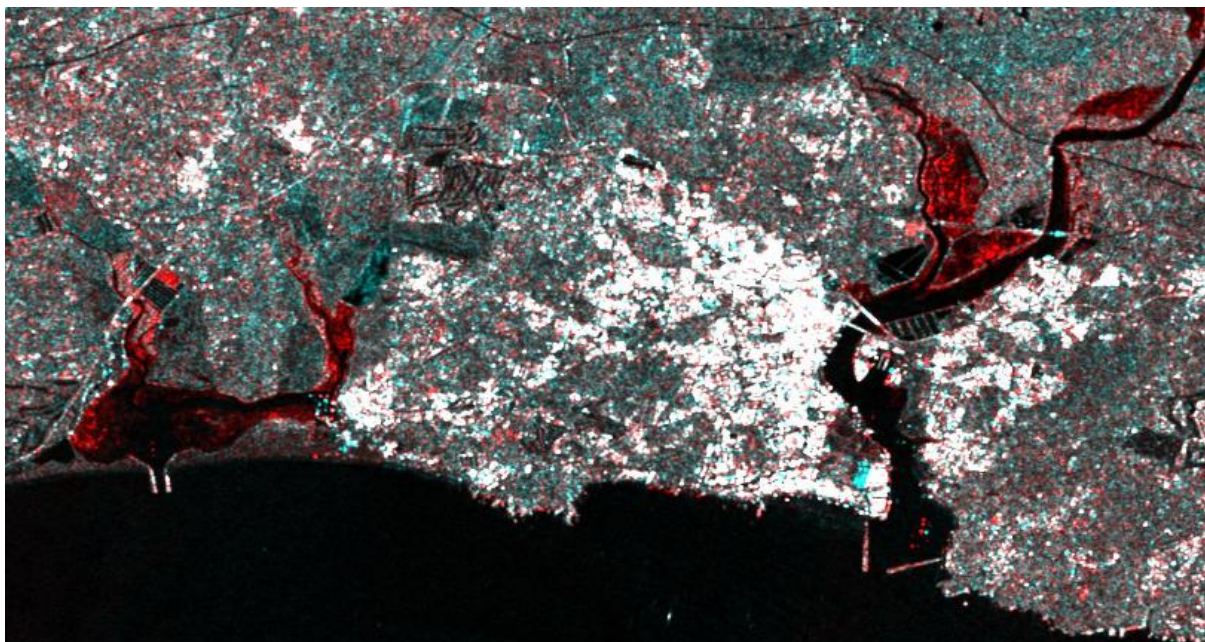


*Figura 4.7 - Novembro de 2018 - Polarização VV  
Fonte: Elaboração própria – dados provenientes da  
National Aeronautics and Space Administration (NASA)*

Provavelmente, a situação de solo sem vegetação leve a uma despolarização da onda na componente horizontal, o que torna as ondas VH mais adequadas para o mapeamento da rugosidade superficial do solo.

Os efeitos na humidade do solo dependem da gravidade do incendio. Após o incendio, geralmente, o solo fica mais húmido. Isto porque, com a queima das plantas, o efeito da evapotranspiração diminui, mantendo a água no sítio. No entanto, no caso de um incendio grave, o solo fica mais seco. O efeito do escoamento superficial supera o efeito da diminuição da evapotranspiração, deixando o solo mais seco (Atchley & M., 2018).

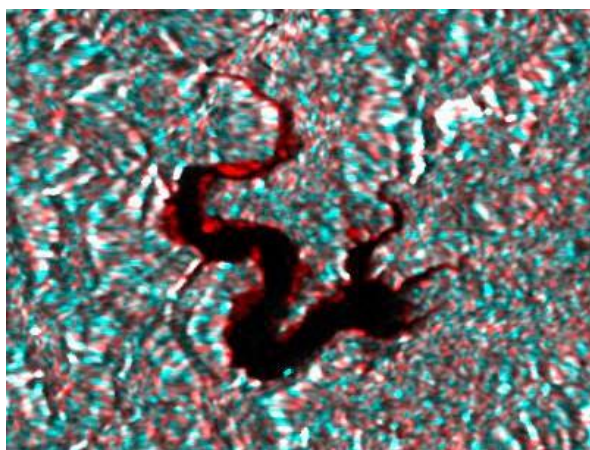
No caso das marés-baixas e das albufeiras, na presença de água vê-se o azul e na falta vê-se o vermelho, logo as VV são mais adequadas para o mapeamento da interação água-solo (áreas inundadas).



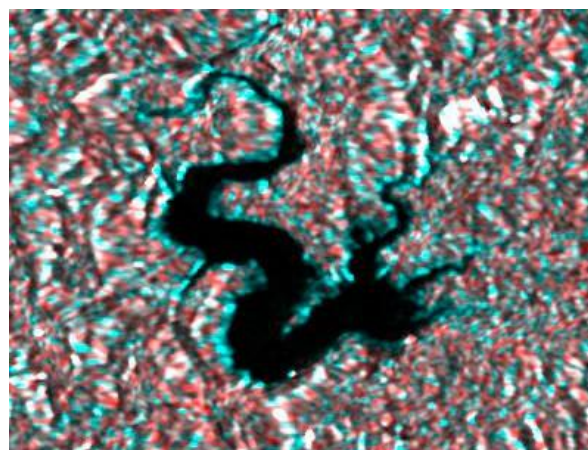
*Figura 4.8 - Efeito das marés*

*Fonte: Elaboração própria – dados provenientes da National Aeronautics and Space Administration (NASA)*

Por exemplo, a barragem do Arade, para o mês de novembro de 2017, contava com uma capacidade de 16.1%, pelo que podemos observar uma tonalidade vermelha, enquanto que, para o mês de abril de 2018, contava com uma capacidade de 81.9%, pelo que podemos observar a tonalidade azul.



*Figura 4.9 - Barragem do Arade - 11/2017*



*Figura 4.10 - Barragem do Arade - 04/2018*

*Fonte: Elaboração própria – dados provenientes da National Aeronautics and Space Administration (NASA)*

Concluindo, as retro-reflexões do RaDAR são altamente dependentes da rugosidade do solo, da vegetação e das propriedades dielétricas (teor de água) do solo e da vegetação, pelo que as imagens permitem a discriminação desses fatores, e por isso a sua utilização representa um alto potencial para a deteção da humidade no solo.

A principal vantagem da utilização de imagens RaDAR é a capacidade de adquirir imagens independentemente da presença de nuvens ou fumo, mas, no entanto, existe uma série de limitações a ter em consideração. Por exemplo, o processamento dos dados obtidos pelo SAR é complicado devido ao grande volume de informações correspondentes a cada imagem.

Assim, teria sido interessante realizar o reprocessamento das imagens para valores de calibração radiométrica sigma e beta, de modo a comparar e tirar conclusões.

Este projeto pode, de modo geral, contribuir para demonstrar que apesar da tecnologia SAR ser recente e haver pouca investigação sobre o assunto, ela promete resultados, pelo que vale a pena continuar a apostar nela, de modo a desenvolver e descobrir novas abordagens que possam ajudar a monitorizar e proteger os recursos do planeta.

Como possível continuação deste trabalho, com base nos conhecimentos e resultados adquiridos, poderia ser de interesse o desenvolvimento dum algoritmo para a estimativa real da humidade do solo, baseado na relação entre a retro-reflexão e o conteúdo de humidade. Para tal, seria necessário instalar uma bateria de sensores de humidade ao longo da zona de estudo, de modo a poder comparar e ajustar o modelo desenvolvido no algoritmo.

## 5 BIBLIOGRAFIA

- Agência Espacial Europeia. (2019). Obtido de Programa Copérnico: [https://www.esa.int/esl/ESA\\_in\\_your\\_country/Spain/El\\_programa\\_Copernico](https://www.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/El_programa_Copernico)
- Agência Portuguesa do Ambiente. (s.d.). *Agência Portuguesa do Ambiente*. Obtido de <http://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=860>
- Atchley, A. L., & M., A. K. (4 de 10 de 2018). *Simulating Surface and Subsurface Water Balance Changes Due to Burn Severity*. Obtido de *Vadose Zone Journal | Advancing Critical Zone Science*: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2136/vzj2018.05.0099>
- Babu, Y. M. (2015). *A new approach to radar image despeckling using undecimated wavelet transform based block matching 3d algorithm for classification applications*. Anantapuram: Jawaharlal Nehru Technological University. Obtido de <http://hdl.handle.net/10603/78785>
- Base. (14 de 09 de 2018). *Base, contratos públicos online*. Obtido de <http://www.base.gov.pt/Base/pt/Pesquisa/Contrato?a=4820648>
- Câmara Municipal do Porto. (2014). Obtido de O que é o PDM?: <http://www.cm-porto.pt/pdm/o-que-e-o-pdm>
- CAOP 2016. (s.d.). Obtido de Direção-Geral do Território: [http://www.dgterritorio.pt/ficheiros/cartografia/caop/caop\\_download/caop\\_2016\\_0/](http://www.dgterritorio.pt/ficheiros/cartografia/caop/caop_download/caop_2016_0/)
- Castro, J., & Silva, J. (05 de 07 de 2020). Obtido de Agricultura de Precisão: [http://agrinov.ajap.pt/images/diapositivos/Diapositivos\\_Agricultura\\_de\\_Precisao.pdf](http://agrinov.ajap.pt/images/diapositivos/Diapositivos_Agricultura_de_Precisao.pdf)
- Chin, L. S. (2001). *Interpreting SAR Images*. Obtido de Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing (CRISP): [https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/sar\\_int.htm](https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/sar_int.htm)
- Decreto-Lei nº 166/2008. (s.d.). Obtido de Diário da República, I Série A. Lisboa: <https://dre.pt/>

*Decreto-Lei n.º 199/2015.* (s.d.). Obtido de Diário da República, I Série A. Lisboa:  
<https://dre.pt/>

*Decreto-Lei n.º 46/2009.* (s.d.). Obtido de Diário da República, I Série A. Lisboa:  
<https://dre.pt/>

*Decreto-Lei n.º 80/2015.* (s.d.). Obtido de Diário da República, I Série A. Lisboa:  
<https://dre.pt/>

*Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve - regadios e outras infra-estruturas.* (2007). Lisboa. Obtido em 2019, de Regadios e outras Infra-estruturas.

*Earth Observing System.* (02 de 06 de 2020). Obtido de O controle de humidade do solo é um componente essencial da agricultura: <https://eos.com/pt/blog/umidade-do-solo/>

ECOMIND - Consultadoria Ambiental. (5 de 2009). *Marina de Ferragudo e porto de pesca de Ferragudo.* Obtido de Agência Portuguesa do Ambiente: <http://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA1816/RNT1816.pdf>

*El Agua en la Agricultura.* (2019). Obtido em 2019, de <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>

*El Programa Copérnico.* (2019). Obtido de [https://www.esa.int/esl/ESA\\_in\\_your\\_country/Spain/El\\_programa\\_Copernico](https://www.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/El_programa_Copernico)

*ESA - EDUSPACE PT.* (2019). Obtido de o que é a deteção remota?: [http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_PT/SEM9S365P1G\\_0.html](http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_PT/SEM9S365P1G_0.html)

*ESA - EDUSPACE PT.* (2019). Obtido de Radar de Abertura Sintética (SAR): [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_Global\\_PT/SEMF5D6UQH\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_PT/SEMF5D6UQH_0.html)

Fenareg. (15 de 11 de 2018). *XI Jornadas FENAREG - Encontro regadio 2018.* Obtido de Federação Nacional de Regantes de Portugal: [http://www.fenareg.pt/wp-content/uploads/Apresenta%C3%A7%C3%A3o\\_Estrategia-Regadio\\_15Nov.pdf](http://www.fenareg.pt/wp-content/uploads/Apresenta%C3%A7%C3%A3o_Estrategia-Regadio_15Nov.pdf)

Fornaro, G. (02 de 10 de 2019). *Tomographic SAR.* Obtido de <https://pdfs.semanticscholar.org/e9e8/65b8edca4b37ffa36d407e84f6f92faff6fc.pdf>

Helerbrock, R. (s.d.). *Espectro eletromagnético*. Obtido em 2019, de Brasil Escola:  
<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>

*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*. (2006). Obtido de Sensoriamento Remoto.

*Instituto Português do Mar e da Atmosfera*. (2016). Obtido de Boletim Climático Ano 2016:

<http://www.ipma.pt/pt/publicacoes/boletins.jsp?cmbDep=cli&cmbTema=pcl&cmbAno=2016&idDep=cli&idTema=pcl&curAno=2016>

*Instituto Português do Mar e da Atmosfera*. (2017). Obtido de Boletim Climático:

<http://www.ipma.pt/pt/publicacoes/boletins.jsp?cmbDep=cli&cmbTema=pcl&cmbAno=2017&idDep=cli&idTema=pcl&curAno=2017>

*Instituto Português do Mar e da Atmosfera*. (2018). Obtido de Boletim Climático:

<http://www.ipma.pt/pt/publicacoes/boletins.jsp?cmbDep=cli&cmbTema=pcl&cmbAno=2018&idDep=cli&idTema=pcl&curAno=2018>

*Instituto Português do Mar e da Atmosfera*. (2019). Obtido de Boletim Climático fevereiro:

[http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20190328/MaxJSjTBRLHftCNFqYhA/cli\\_20190201\\_20190228\\_pcl\\_mm\\_co\\_pt.pdf](http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20190328/MaxJSjTBRLHftCNFqYhA/cli_20190201_20190228_pcl_mm_co_pt.pdf)

*Instituto Português do Mar e da Atmosfera*. (2019). Obtido de Boletim Climático janeiro 2019:

[http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20190228/pZNsmIJcysQstzQdTruF/cli\\_20190101\\_20190131\\_pcl\\_mm\\_co\\_pt.pdf](http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20190228/pZNsmIJcysQstzQdTruF/cli_20190101_20190131_pcl_mm_co_pt.pdf)

*Intervenciones y tecnologías ambientalmente racionales (tar) para la adaptación al cambio climático del sector agropecuario de américa latina y el Caribe*. (2019).

Obtido de IDBBanco Interamericano de Desarrollo:  
[https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Intervenciones\\_y\\_tecnolog%C3%ADas\\_ambientalmente\\_racionales\\_TAR\\_para\\_la\\_adaptaci%C3%B3n\\_al\\_cambio\\_clim%C3%A1tico\\_del\\_sector\\_agropecuario\\_de\\_Am%C3%A9rica\\_Latina\\_y\\_el\\_Caribe\\_ALC\\_es.pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Intervenciones_y_tecnolog%C3%ADas_ambientalmente_racionales_TAR_para_la_adaptaci%C3%B3n_al_cambio_clim%C3%A1tico_del_sector_agropecuario_de_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_ALC_es.pdf)

Lima, R. (2014). *GSP Pesquisa*. Obtido de Por que existe a polarização do sinal do satélite?: <https://gps.pezquiza.com/satelite/por-que-existe-a-polarizacao-do-sinal-do-satelite/>

- Machado, R. P. (2004). *Universidade de São Paulo*. Obtido de Características das Imagens:  
[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/123405/mod\\_resource/content/1/Aula3\\_SR\\_RPPM%282013%29.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/123405/mod_resource/content/1/Aula3_SR_RPPM%282013%29.pdf)
- McNairn, H., & Jiao, X. (2019). *SAR for Mapping Soils and Crops*. Obtido de NAS:  
<https://www.nasa.gov/>
- Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., Krieger, G., & Hajnsek, I. (1 de 10 de 2019). *A tutorial on synthetic aperture radar*. Obtido de <https://elib.dlr.de/82313/1/SAR-Tutorial-March-2013.pdf>
- Morgado, F. (2008). *Impermeabilização de canais de rega a céu aberto*. Lisboa.
- Natural Resources Canada*. (01 de 10 de 2019). Obtido de Remote Sensing Tutorials:  
<https://www.nrcan.gc.ca/nrcan/about-us/10838>
- Nunes, A. (05 de 2010). *ANÁLISE COMPARATIVA DA HUMIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES*. Obtido de <https://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/adelia>
- Perez, A., & Olfindo, N. (15 de 01 de 2020). <http://ceos.org/>. Obtido de [http://ceos.org/document\\_management/SEO/DataCube/Laymans\\_SAR\\_Interpretation\\_Guide\\_2.0.pdf](http://ceos.org/document_management/SEO/DataCube/Laymans_SAR_Interpretation_Guide_2.0.pdf)
- Pinto, I., & Gaspar, S. (12 de 2009). *Cultivo do Arroz*. Obtido de Borda do Campo:  
<https://bordadocampo.com/arroz/cultivo-arroz/>
- Pombo, J. (06 de 2018). *Vantagens do Regadio Público. O caso da região Oeste*. Obtido de Voz do campo: <http://vozdocampo.pt/2018/11/13/vantagens-do-regadio-publico-o-caso-da-regiao-oeste/>
- Ramirez, X. (12 de 12 de 2017). *Los canales de regadío, las pérdidas de agua y las soluciones para el futuro*. Obtido de iagua: <https://www.iagua.es/blogs/xavيران-ramirez/canales-regadio-perdidas-agua-y-soluciones-futuro>
- Redagrícola. (11 de 2016). *Redagrícola Cero pérdidas por conducción*. Obtido de Redes de distribución presurizada para riego: <https://www.redagricola.com/cl/redes-distribucion-presurizada-riego-cero-perdidas-conduccion/>

*REGADIO E APROVEITAMENTOS HIDROAGRICOLAS.* (2019). Obtido de <https://www.dgadr.gov.pt/regadio>

*Resolução do Conselho de Ministros n.º 21/2014.* (s.d.). Obtido de Diário da República n.º 53/2014, Série I de 2014-03-17: <https://data.dre.pt/eli/resolconsmin/21/2014/03/17/p/dre/pt/html>

Rocha, D. (19 de 12 de 2014). *Sobreexplotación de recursos hídricos e impactos sobre aguas superficiales y subterráneas.* Obtido de Prezi: <https://prezi.com/fnt7xztwycgg/sobreexplotacion-de-recursos-hidricos-e-impactos-sobre-aguas/>

Salemi, L. F. (2009). *webartigos.* Obtido de RUGOSIDADE DO SOLO?

Santos, R. M., & Araújo, M. F. (2001). *História do concelho de Lagoa.*

sarmap. (5 de 2 de 2019). <http://www.sarmap.ch>. Obtido de SARMAP: <http://www.sarmap.ch/pdf/SAR-Guidebook.pdf>

*Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).* (2019). Obtido de Boletim Armazenamento Albufeiras: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.3>

*Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).* (2019). Obtido de Boletim de precipitação: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.3>

*União das Freguesias de Estômbar e Parchal.* (15 de 06 de 2015). Obtido de <http://festombarparchal.pt>

Varela, A. S., & Pires, B. F. (30 de 07 de 2015). *Obra de 8,4 milhões de euros dá novo fôlego à agricultura em Silves.* Obtido de Barlavento: <https://www.barlavento.pt/destaque/obra-de-84-milhoes-de-euros-da-novo-folego-a-agricultura-em-silves>