



UNIVERSIDADE D
COIMBRA



Tiago Daniel Antunes Cordeiro

FERRAMENTAS MULTIMÉDIA PARA A GESTÃO,
MONITORIZAÇÃO E DIVULGAÇÃO DO
PATRIMÓNIO ARQUEOLÓGICO

Relatório de Estágio do Mestrado em Arqueologia e Território, orientado pela Professora Doutora Maria da Conceição Lopes, apresentado ao Departamento de História, Estudos Europeus, Arqueologia e Artes da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.

Junho de 2019

FACULDADE DE LETRAS

FERRAMENTAS MULTIMÉDIA PARA A GESTÃO, MONITORIZAÇÃO E DIVULGAÇÃO DO PATRIMÓNIO ARQUEOLÓGICO

Ficha Técnica

Tipo de trabalho	Relatório de Estágio
Título	Ferramentas Multimédia para a Gestão, Monitorização e Divulgação do Património Arqueológico
Autor/a	Tiago Daniel Antunes Cordeiro
Orientadora	Maria da Conceição Lopes
Coorientador	Ricardo Daniel Figueiredo Cabral
Júri	Presidente: Doutora Helena Maria Gomes Catarino Vogais: 1. Doutora Maria da Conceição Lopes 2. Doutora Lara Beirão Amaral Bacelar Alves
Identificação do Curso	2º Ciclo em Arqueologia e Território
Área científica	Arqueologia
Especialidade/Ramo	Arqueogeografia
Data da defesa	26-07-2019
Classificação	19 valores



Agradecimentos

Aproximando-se uma grande meta na vida académica, um percurso longo, repleto de conquistas, mas também obstáculos e sacrifícios, é impossível não olhar para trás e agradecer a todos aqueles que, de uma forma ou outra, nos deram apoio no caminho percorrido.

À minha família, em especial aos meus pais Paulo e Marlene, por todo o amor e apoio incondicional, por me incentivarem sempre a superar os meus obstáculos e investirem em mim; ao meu irmão Samuel, pelo companheirismo e estímulo mental e musical; aos meus avós, por terem contribuído para o meu crescimento e educação; e ao meu tio David, por ter, desde cedo, despertado em mim a curiosidade pelo mundo da informática.

À Professora Doutora Maria da Conceição Lopes, que me encaminhou para este estágio e possibilitou a sua realização.

Aos Prof. Ricardo Cabral e Prof. Martino Correia, por me acolherem na THEIA e pelo incessante apoio que me deram.

Ao Steffan Davies, pela partilha dos conhecimentos na tecnologia SAR.

A todos os docentes com quem tive o privilégio de contactar e me marcaram no meu percurso enquanto estudante.

Aos meus amigos de Coimbra, por todos os bons momentos e fazerem parte de um importante capítulo da minha vida.

Aos meus amigos de Leiria, pelo espírito de irmandade e a certeza de que nunca nos separaremos.

À Vitória Pereira, pela paciência, carinho e aquele empurrão extra para chegar mais além.

Muito obrigado a todos!

Tiago Cordeiro

Ferramentas Multimédia para a Gestão, Monitorização e Divulgação do Património Arqueológico

RESUMO

Influenciada por uma sociedade em permanente evolução tecnológica, com o surgimento de novas ferramentas digitais a um ritmo galopante, a Arqueologia tem à sua disposição inúmeras soluções para, de igual forma, se manter atualizada e fazer chegar o conhecimento do Passado a um público cada vez maior.

O presente trabalho tem por objetivo a descrição das atividades levadas a cabo no período de estágio curricular frequentado na empresa THEIA, durante o qual foram testados diversos recursos digitais, aplicados a vários contextos de património arqueológico. Estas dividem-se, grosso modo, em três áreas principais. Para auxiliar a gestão do dito património, no sítio arqueológico de Tróia, foi construída uma base de dados em software SIG, sendo posteriormente facilitado o acesso a esta informação pela produção de uma plataforma de WebSIG. Seguidamente, a monitorização remota semanal de sítios arqueológicos em Beja, Serpa e Algarve, com recurso ao processamento de dados de satélite, com eventuais verificações no terreno, e respetiva emissão de relatório e alerta, tendo em conta a grande extensão do território, teve como objetivo reportar e/ou minimizar os danos causados a sítios arqueológicos por ação humana, de forma eficiente do ponto de vista do tempo e recursos expendidos. Por fim, foram realizados alguns testes com ferramentas de Realidade Aumentada, usando como exemplo a policromia original da Capela do Fundador do Mosteiro da Batalha, tratando-se de um recurso numa fase ainda incipiente de adoção para a Arqueologia, mas com um vasto potencial para a divulgação e dinamização do seu património.

Palavras-chave: SIG, WEBSIG, Monitorização Remota, Realidade Aumentada, Arqueologia

Multimedia Tools for the Management, Monitorization and Divulgation

ABSTRACT

Influenced by a society in permanent technological evolution, with the appearance of new digital tools at a rampant rate, the field of Archaeology has endless solutions to keep itself updated and extend the reach of the knowledge of the Past to an ever growing public.

The present work has the objective of reporting the activities executed during the master's degree internship, attended at the company THEIA, in which several digital resources were tested, in the context of multiple instances of archaeological patrimony. These are split, mainly, in three areas. To aid the management of said patrimony, on the archaeological site of Tróia, a database in GIS software was built and facilitated the access to this information, with the production of a WEBGIS platform. Secondly, by processing satellite data, a weekly-based remote monitorization of archaeological sites, emitting notifications and alerts when needed, together with punctual field verifications, was carried in Beja, Serpa and Algarve, with the intent of reporting or minimizing the damage inflicted on archaeological sites by human action, in a manner that is cost-effective on the viewpoint of the resources and time spent. Lastly, we performed tests with Augmented Reality tools, using as an example the original polychromy of the Founders Chapel in the Monastery of Batalha, which is regarded as a resource on an incipient phase of adoption, on the viewpoint of Archaeology, but with a vast potential for the diffusion and promotion of archaeological heritage.

Keywords: GIS, WEBGIS, Remote Monitorization, Augmented Reality, Archaeology

ÍNDICE

1. Entidade de Acolhimento	1
1.1 THEIA	1
1.2 Instituto Pedro Nunes	2
1.3 ESA BIC - PORTUGAL.....	3
2. Introdução	4
3. Construção de Base de Dados SIG e Desenvolvimento de Plataforma WEBSIG	5
3.1 Estado da arte.....	5
3.2 Caso de estudo – Tróia	6
3.3 Descrição das atividades realizadas	7
3.3.1 QGIS.....	7
3.3.2 WEBSIG.....	13
3.4 Discussão	15
4. Monitorização de sítios arqueológicos com dados de <i>Synthetic Aperture Radar</i>	16
4.1 Estado da arte.....	16
4.2 Caso de estudo - SENSEOS.....	17
4.3 Descrição das atividades realizadas	18
4.4 Discussão	28
5. Aplicações de Realidade Aumentada em Património	29
5.1 Estado da arte.....	29
5.2 Caso de Estudo - Capela do Fundador (Mosteiro da Batalha)	30
5.3 Descrição das atividades realizadas	31
5.4 Discussão	36
6. Conclusão	38
7. Fontes Consultadas	40

1. Entidade de Acolhimento

1.1 THEIA

A THEIA é uma empresa dedicada ao desenvolvimento de soluções digitais aplicadas ao património arqueológico, fazendo uso de tecnologia de ponta. Foi criada em meados do ano de 2017 por Martino Correia e Ricardo Cabral, ambos arqueólogos com ligação ao Centro de Estudos em Arqueologia Artes e Ciências do Património, sediado na Universidade de Coimbra. Encontra-se co-incubada no Instituto Pedro Nunes e no ESA BIC Portugal.

Os principais serviços que a entidade presta relacionam-se com a captura de dados, por via do levantamento por *Laser scan* ou fotogrametria, seguindo-se o seu processamento, “limpeza” e correção, com recurso a técnicas de modelação 3D, para ter como resultado final experiências de reconstituição virtual de estruturas, objetos e ambientes do Passado, com elevado nível de detalhe, que por sua vez podem ser transformados em visitas de realidade virtual. De igual modo, são oferecidos serviços de produção de bases de dados em Sistema de Informação Geográfico, complementados com a captura de ortofotografias com recurso a drone. Por fim, encontra-se em fase de desenvolvimento uma plataforma comercial que fornece dados, atualizados semanalmente, sobre alterações da superfície terrestre, que tem como objetivo monitorizar alterações potencialmente destrutivas na proximidade de sítios arqueológicos, e, se for caso, reportar eventos destrutivos de índole antrópica em contextos arqueológicos.

Ainda que a principal área de âmbito da empresa seja a Arqueologia e a digitalização do seu património, é de salientar que a alta versatilidade dos serviços que presta não excluem a sua aplicação a outras áreas, nomeadamente à Agricultura, Arquitetura, Engenharia Civil, Geologia, Infraestruturas Críticas, entre outras.

A natureza complexa dos dados a serem processados e a inerente necessidade de vastos recursos computacionais por parte dos programas utilizados para cumprimento das tarefas que nos foram delegadas ao longo do estágio implica o uso de equipamento informático de topo de gama, com alta capacidade de processamento. Desse modo, a *workstation* que nos foi atribuída é composta pelos seguintes componentes:

- Unidade de Processamento Central (CPU): AMD Ryzen Threadripper 1900X;
- Unidade de Processamento Gráfico (GPU): NVIDIA GeForce GTX 1080ti;
- Memória RAM: 64 GB DDR4;
- Armazenamento:

-
- 1x Samsung SSD 970 Pro 512GB
 - 1x Crucial MX500 SSD 1TB

Quanto aos *softwares* a que recorreremos, serão abordados atempadamente, divididos consoante a temática de cada capítulo.

1.2 Instituto Pedro Nunes

O Instituto Pedro Nunes (IPN) trata-se de uma entidade privada sem fins lucrativos, criada pela Universidade de Coimbra (UC) em 1991 cujo alvo principal é facilitar o contacto entre a Universidade e o mundo empresarial, de modo a estimular a inovação tecnológica e científica, contribuindo, dessa forma, para o crescimento da economia nacional.

Além de fomentar projetos de Investigação e Desenvolvimento, em consórcio com empresas externas, fornecendo consultadoria e o *know-how* dos vários laboratórios que lhe estão agregados, e de disponibilizar uma vasta gama de planos de formação, direcionados para a criação e gestão de Pequenas e Médias Empresas, a IPN-Incubadora, criada em 2002 pelo IPN em conjunto com a Universidade de Coimbra, proporciona valiosos apoios a *startups* em início de atividade, em áreas como marketing, gestão financeira, legal e contactos com possíveis parceiros, investidores, clientes e mercados, nacionais e internacionais, por via de uma larga rede de contactos, havendo possibilidade de também ceder instalações para funcionamento das empresas, a custo reduzido. Prioriza-se o acolhimento de iniciativas surgidas da UC ou com uma forte conexão ao mundo académico, pela inclusão de alunos e docentes nos projetos a desenvolver.

O ambiente criado pela Incubadora denota-se como propício a uma frutífera cooperação entre as empresas residentes, havendo lugar à circulação de ideias e partilha de conhecimento entre pares, o que auxilia o desenvolvimento das mesmas. Desta forma, tendo em conta o supracitado, a qualidade da assistência dada e o saudável ecossistema empresarial vigente traduz-se numa taxa de sobrevivência de 75% das *startups* incubadas no IPN.

1.3 ESA BIC - PORTUGAL

No ano de 2003 a Agência Espacial Europeia (ESA) iniciou o projeto *ESA Business Incubation Centers* (ESA BICs) para viabilizar possíveis ideias de empreendedores, de maneira a transformar conceitos de negócio, que façam uso de dados ou tecnologia espacial, aplicando-os a aplicações não espaciais de cariz industrial e comercial. Atualmente, continuam a ser colhidos os frutos desta iniciativa, com mais de trezentas *startups* incubadas nos vinte ESA BICs, que se encontram espalhados por mais de sessenta cidades em dezassete países europeus, havendo planos para novas expansões.

Desde 2014 o ESA BIC Portugal é hospedado e gerido pelo IPN, com ligação a polos em Lisboa e Porto, tendo a Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) como um dos seus principais parceiros.

Os ESA BIC promovem várias rondas de concursos anuais a financiamento, de vários milhares de euros, para a realização de testes de viabilidade ou de penetração de mercado. Dois dos principais programas de financiamento são o *Small ARTES Applications Permanent Open Call*, cujos fundos adjudicados podem ascender até 25.000€, cobrindo 50% do investimento do projeto, e o *Kick-start Activities*, cujos concursos, baseados em temas ou áreas decididas pela ESA, como por exemplo Mineração ou Inteligência Artificial, oferecem oportunidades de financiamento até 60.000€, podendo corresponder no máximo a 75% do investimento.

A THEIA participa no programa ESA BIC, por meio do projeto SENSEOS, sobre o qual nos debruçaremos com mais detalhe num posterior capítulo, com término a agosto de 2019.

2. Introdução

O presente escrito constitui o Relatório de Estágio referente às tarefas realizadas durante o Estágio Curricular frequentado na empresa THEIA, inserindo-se no âmbito do projeto de I&D denominado SENSEOS, aprovado pelo ESA BIC - Portugal. Tendo em conta as diferentes opções que são disponibilizadas aos alunos de 2º Ciclo para o trabalho de conclusão, favorecemos desde cedo a possibilidade de realizar um estágio curricular, visto que não só nos permitiria aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo da componente teórica da formação académica, mas também contactar com novos conceitos, expandir horizontes e obter novas competências, numa abordagem de forma prática, em ambiente profissional. É, na nossa opinião, uma opção que poderá facilitar a futura integração no mercado de trabalho. Por outro lado, tendo em conta a nossa apetência e facilidade para a utilização de ferramentas informáticas, os projetos e atividades que nos foram apresentados pareceram-nos bastante aliciantes e estimulantes, tendo sido bastante fácil tomar a decisão de aceitar prontamente o convite para estagiar na THEIA.

O estágio decorreu durante o ano letivo de 2018/2019, desde o dia 03 de Fevereiro a 19 de Junho de 2019, com o aval e acompanhamento da Professora Doutora Maria da Conceição Lopes e supervisão dos diretores da THEIA, Martino Correia e Ricardo Cabral.

Para cada capítulo do presente texto, será feito um enquadramento inicial do “estado da arte”, seguido da apresentação do caso de estudo e os desafios a enfrentar. Posteriormente, faremos um resumo dos procedimentos levados a cabo, descrevendo o fluxo de trabalho, finalizando com uma curta reflexão de forma a analisar os resultados e, se for caso disso, abordar os problemas que foram surgindo no decorrer do processo. De forma a melhor ilustrar a descrição das atividades, decidimos incluir algumas das imagens no corpo do texto.

Realçamos ainda que, de modo a “democratizar” os processos aqui descritos, todos os *softwares* e plataformas utilizados são *open source*, gratuitos, dão acesso a versões de teste ou alguma forma de utilização a custo zero. A única exceção é o alojamento da plataforma WEBSIG em servidor remoto, o seu custo é bastante reduzido.

3. Construção de Base de Dados SIG e Desenvolvimento de Plataforma WEBSIG

3.1 Estado da arte

Os primórdios dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser rastreados até ao Séc. XIX, muito antes do aparecimento do primeiro computador, visto que o principal conceito dos SIG se resume na representação de camadas diferentes de informação num mesmo mapa, de modo a efetuar análises espaciais, permitindo a partir de um estudo geográfico, extrair dados variados. O primeiro de dois exemplos que são geralmente apontados como pioneiros são os mapas do geógrafo francês Charles Picquet, publicados durante 1834, anexos ao “*Rapport sur la marche et les effets du choléra-morbus dans Paris et les communes rurales du département de la Seine*”, em que são apresentados dados referentes à mortalidade causada pela cólera, representando por meio da coloração em diferentes tons de um gradiente cinzento os surtos registados em cada *arrondissement*. O segundo, trata-se de uma análise espacial, datada de 1854, da autoria de um médico britânico, Dr. John Snow, que a partir de mapas com a informação da incidência de casos de cólera em Londres, defendeu que a propagação desta seria feita por contaminação da água, contrariando o postulado vigente até então, que admitia uma transmissão por meio aéreo. (Waters, 1998).

Do ponto de vista dos SIG como *software*, o seu desenvolvimento concetual terá começado ainda em meados dos anos 50 do século passado, surgindo o primeiro SIG completamente funcional em 1960, denominado *Canada Geographic System*. Após uma década em que os principais avanços foram dados especialmente em ambiente e financiamento estatal, com a popularização dos *Personal Computers*, a partir do início dos anos 80, em detrimento dos computadores de grande porte, que tinham um custo de aquisição e manutenção bastante elevado, o desenvolvimento dos SIG começa a virar-se para outra vertente, com o lançamento do primeiro SIG comercial por parte da Esri, o ARC/INFO, precursor da plataforma comercial chamada ARCGIS, a mais popular atualmente. Graças a este conjunto de fatores, o uso dos SIG tornou-se cada vez mais popular no meio científico (Waters, 2017).

Com a viragem do milénio, temos assistido a uma rápida evolução do panorama SIG, sendo imperativo destacar o aparecimento do projeto Quantum GIS (QGIS) (Link 1), visto ser o principal *software* utilizado neste capítulo. O QGIS começou a ser desenvolvido em 2002, tendo evoluído para as fases *alpha* e *beta* durante sete anos, culminando no lançamento da primeira versão completa em janeiro de 2009. Além da grande vantagem de ser uma solução gratuita, a

sua natureza *open source* permite que o seu código seja alterado por qualquer utilizador que assim o deseje, o que gera um espírito de entreatajuda na comunidade de usuários, quer pelo auxílio na correção de *bugs* e implementação de novas funções, quer pela participação no desenvolvimento da base do programa, como pela criação de módulos externos.

Nos últimos anos tem crescido a utilização de tecnologias de alojamento e processamento remoto, e, no caso dos SIG verifica-se o crescimento do uso de WEBSIG, não só para acesso remoto para qualquer utilizador de uma plataforma privada, mas também para a divulgação de informação. Existem diversas soluções comerciais, sendo uma das mais populares o ArcGIS Online. Um exemplo de um recurso gratuito, utilizado neste capítulo, trata-se do *OpenLayers* (Link 2). Afigura-se como uma biblioteca construída na linguagem de programação *JavaScript*, ou seja, é um conjunto de *scripts* pré-programados para uma série de funções, que entram em ação à medida que o código customizado pelo utilizador as chama, criando a partir dessa base, uma plataforma personalizada à medida das necessidades do projeto em que se inclui.

3.2 Caso de estudo – Tróia

O sítio arqueológico de Tróia, situa-se na margem esquerda do rio Sado, numa restinga de areia, com uma paisagem dominada pela ocorrência de dunas, localizando-se numa propriedade pertencente ao Grupo SONAE (Link 3). Este encontra-se classificado como Monumento Nacional desde 1910 e, desde 2017, integra a lista indicativa a património mundial da UNESCO (Link 4). Fundado durante o século I d.C., passando posteriormente por fases de expansão e abandono de algumas das oficinas, manteve a sua importância como um próspero complexo industrial até ao século V. (Pinto, *et al* 2016) Trata-se de um sítio de forte relevância para o estudo da produção industrial de molhos de peixe e salga de época romana, composto por, pelo menos, 25 unidades de produção, um núcleo residencial, termas e, mais tarde, uma basílica paleocristã. Segundo estudos que comparam a capacidade de produção conhecida com a de outros centros de produção, Tróia afigura-se como o maior centro de produção destas mercadorias piscícolas, não só por ter um número de cetárias superior ao dos restantes casos, mas também pela sua capacidade média de produção, mais elevada que noutros centros (Pinto, *et al* 2011).

Tendo em conta a mobilidade dos sedimentos arenosos, terá sofrido diversas alterações ao longo dos tempos, à semelhança do que acontece atualmente, sendo um sítio arqueológico

muito suscetível à erosão costeira, razão pela qual integra o projeto STORM (Link 5), co-financiado pelo programa europeu Horizonte 2020, cujo objetivo se sublima no desenvolvimento e uso de tecnologias inovadoras que permitam mitigar os danos causados pelas alterações climáticas ao património cultural. No âmbito desta iniciativa, a equipa do Tróia Resort entrou em contacto com a THEIA, solicitando a realização de um levantamento fotogramétrico do sítio com drone e a criação de uma base de dados SIG, de forma a reunir e atualizar os recursos existentes, e facilitar a gestão de zonas em risco de erosão. Esta última tarefa foi-nos atribuída.

Visto que o QGIS foi o *software* SIG utilizado noutros projetos anteriores da empresa, e que já detínhamos conhecimentos prévios do manuseio do mesmo, a escolha recaiu nesta opção. Por outro lado, fomos desafiados pelos nossos supervisores a encontrar forma de simplificar o acesso aos dados SIG, sem ser necessário saber utilizar nenhum destes *softwares*, ou seja, elaborar uma plataforma WEBSIG. Para a sua elaboração recomenda-se a obtenção de competências básicas nas linguagens informáticas *JavaScript*, HTML e CSS. A primeira é usada para a composição, num ambiente de desenvolvimento integrado, da base lógica de interação entre os componentes a inserir no WEBSIG e as funções do *OpenLayers*, a segunda para a interação entre a plataforma e o navegador de internet, possibilitando o acesso fora do ambiente em que o código foi gerado, e a última é utilizada para criar uma interface do utilizador.

3.3 Descrição das atividades realizadas

3.3.1 QGIS

O primeiro passo que tomado, visto que pensámos ser o modo mais correto de abordar a tarefa proposta, foi reunir um conjunto de dados geográficos do sítio em questão, de forma a criar uma base sobre a qual foram construídas todas as outras camadas da base de dados. Para tal, foram adicionadas duas camadas primárias, contendo dois mapas, um do repositório *Google Earth*, com as imagens de satélite ótico, e outro, do repositório *OpenStreetMap*, com informações de vias de circulação automóvel, tendo ambas servido de referência.

Seguidamente, inseriu-se um Modelo Digital Terrestre (MDT) que, não só nos apresenta dados de altimetria, como também permite o cálculo de outros parâmetros, por meio de algoritmos presentes no *software*, sendo um bom exemplo o desenho automático de curvas de nível. Testaram-se três opções principais de diferentes MDT, tendo sido inevitável efetuar uma

escolha sobre qual se adequaria melhor às necessidades do projeto. Em primeiro lugar, o MDT *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com 30 metros de resolução, ainda que fosse a opção de maior facilidade de acesso, revelou-se bastante inadequada, visto que a sua resolução era demasiadamente redutora, não sendo sensível à suave topografia presente na zona de Tróia, o que impossibilitaria os cálculos logarítmicos supracitados. A possibilidade seguinte trata-se de um MDT customizado, criado a partir da captação por drone das ortofotografias. Apresenta uma grande vantagem em relação ao SRTM-30m, que é a sua resolução, muito mais refinada, mas tem, de igual modo, uma grande inconveniência, que é a ausência do poder de penetração na vegetação que o radar tem, especialmente quando relativo às copas das árvores, o que faz com que esta seja, de forma geral, erroneamente identificada como parte da topografia, gerando assim um modelo pouco fidedigno. A melhor opção encontrada foi o MDT com resolução de 1m, gerado a partir de um levantamento LiDAR da zona costeira realizado em 2011 pela Direção Geral do Território (DGT). Este agrega as vantagens dos modelos anteriormente referidos, com as duas únicas desvantagens de ser necessário fazer uma requisição dos dados para a área pretendida e um pagamento de 4,41€ + IVA por cada 8GB de informação.

Após a seleção do MDT, procedeu-se à criação de camadas a partir desta, como foi referido anteriormente. A primeira, denominada *hillshade*, gerada por uma ferramenta com o mesmo nome, representa tal como o nome indica, uma forma visual da rugosidade do relevo, por via de um “sombreamento”, de acordo com a inclinação do solo. Sobrepondo a camada do MDT, com alguma transparência, à de *hillshade*, ilustra-se de forma mais coesa e de leitura fácil a topografia da região em questão. Para completar a questão topográfica, foram também elaboradas as curvas de nível do terreno, com um algoritmo de processamento do QGIS, denominado Isolinhas (Figura 1).

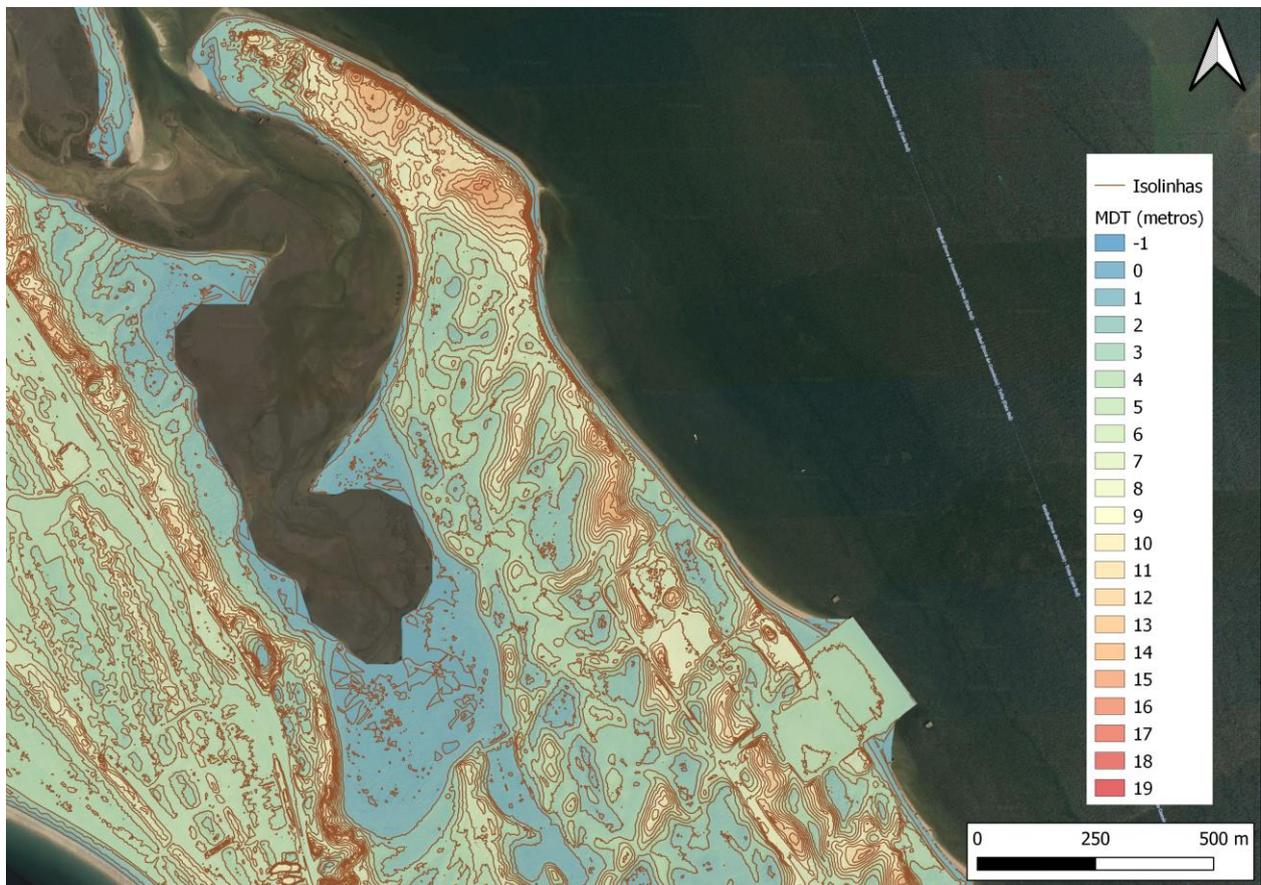


Figura 1 - Base Topográfica do SIG de Tróia

O passo seguinte correspondeu à introdução da ortofotografia em formato GeoTIFF, tendo sido exportada em três versões principais. As duas primeiras, com resolução de 5cm e de 10cm, tinham a dupla função de ilustrar o plano geral do sítio de Tróia, bem como efetuar um teste de stress ao desempenho do programa e a sua leitura destes ficheiros, cujo tamanho ascende a mais de 1GB. A versão que falta referir é composta pela divisão desta imagem geral em várias outras, de forma a que uma única imagem ocupe uma parte da área total, o que permite que tenham a resolução máxima que os dados capturados pelo drone, que corresponde a aproximadamente 2cm. Ambos os tipos de imagem, de macro resolução e de micro resolução, complementam-se, na medida em que uma permite uma vista geral, com uma taxa de atualização

rápida, se for necessário verificar diferentes partes do mapa rapidamente, enquanto que a outra facilita tarefas que requeiram uma maior minúcia, numa área delimitada. (Figura 2)



Figura 2 – Levantamento ortofotogramétrico do sítio de Tróia

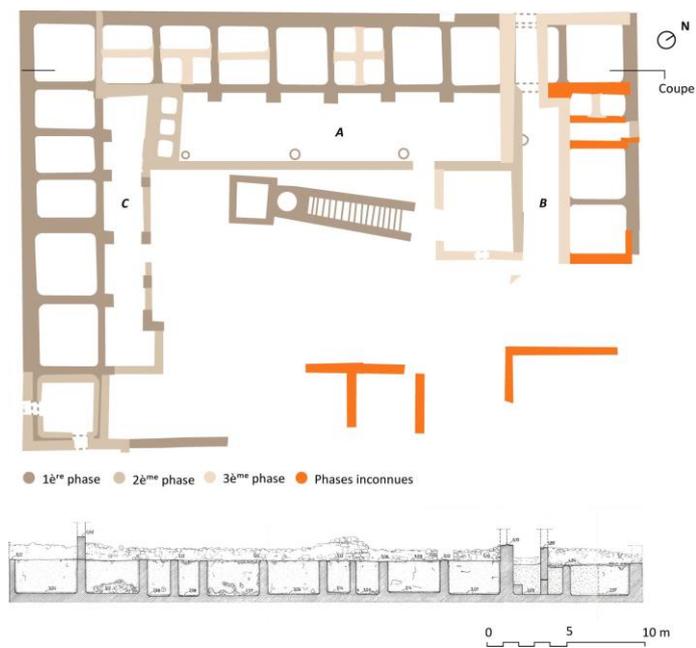


Figura 3 - Planta da Oficina de Salga 1 (Tróia Resort)

Numa destas tarefas minuciosas efetuou-se a georreferenciação das plantas dos 25 núcleos de oficinas de salga, cedidos pela equipa de arqueologia do Tróia Resort. Para tal, foi necessário recorrer a uma ferramenta denominada Georreferenciador GDAL, visto que as plantas não detinham coordenadas atribuídas e, sem elas, seriam inúteis para o projeto de QGIS. Com a dita ferramenta, foram fornecidos ao programa vários pontos equivalentes, resultando na geoprojeção da imagem (Figura 3 e 4). Nisto, foi também inserido um conjunto de 25 plantas de desenho vetorial, pertencentes ao antigo IPPAR, datadas de outubro de 2006. Ambos os conjuntos de dados, tiveram como função servir de referência (Figura 5).



Figura 4 - Planta da Oficina de Salga 1 georreferenciada (Tróia Resort)



Figura 5 - Planta vetorial da Oficina de Salga 1 (IPPAR)

A derradeira fase de trabalho no QGIS, consistiu na vetorização das estruturas arqueológicas, que resultou em dois conjuntos de camadas distintas. A primeira baseia-se nas plantas que georreferenciadas e na ortofotografia, e a segunda, nas plantas do IPPAR. Para tal, foram desenhados polígonos manualmente para representar graficamente as ditas estruturas. A decisão de produzir a informação, aparentemente em duplicado, prende-se na existência de um pequeno desvio entre a geolocalização das várias camadas de referência, o que numa vista afastada não é problemático, mas no caso da vetorização implica uma discrepância, em média, entre 20cm e 40cm. Por outro lado, optou-se por representar os dois conjuntos de camadas de formas distintas. O conjunto feito a partir das plantas georreferenciadas foi dividido em cinco camadas, três representando fases de ocupação distintas, nos casos em que as plantas continham essa informação (nominativamente simplificada em 1ª, 2ª e 3ª fase), uma quarta contendo o desenho das estruturas de fase incerta, e uma última com estruturas que se encontram nas plantas, mas não são visíveis na ortofotografia, quer por estarem cobertos por sedimentos, como por terem sido destruídos, por exemplo, pela ação marinha. De notar que ao tentar-se representar

esta camada o mais fielmente possível ao binómio planta/ortofotografia, o resultado final apresenta-se com polígonos ligeiramente irregulares no seu traçado, com os recortes observáveis. Por outro lado, foi decidido que o conjunto de camadas, criados com base nas plantas do IPPAR, seria mais simplificado e esquemático, apresentando polígonos mais sóbrios e regulares. Faz-se representar por apenas duas camadas, uma composta pelas estruturas observáveis na planta do IPPAR e na ortofotografia, e uma outra que aporta as estruturas não visíveis (Figura 6), pelas causas acima descritas.



Figura 6 – Exemplo de estruturas vetorizadas

3.3.2 WEBSIG

Concluída a base de dados do QGIS, a etapa seguinte centrou-se no desenvolvimento da dita plataforma WEBSIG (Figura 7), para o acesso rápido e fácil aos dados que foram preparados anteriormente. Com este objetivo, foi selecionado um conjunto de características base a integrar no código do WEBSIG (Anexo 1). De forma semelhante ao que realizado no ambiente de trabalho de QGIS, iniciou-se a renderização de um mapa base, com várias opções, por exemplo

um mapa simples com imagens de satélite, o mesmo mapa com etiquetas de informação de vias e povoamentos, como também um mapa esquemático dessa informação, sem topografia nem imagens da superfície terrestre.

O alojamento de ortofotografias desta dimensão apresentou desafios tecnológicos de resolução complexa. Visto que se tratam de conjuntos de ficheiros com grande peso no armazenamento, seria impossível o seu envio para o servidor remoto e a sua visualização, quer em computadores com *hardware* menos poderoso, como também em dispositivos móveis, por exemplo os *smartphones*, seria pouco viável, tendo em conta o imenso volume de dados que teriam de circular. Para contornar este obstáculo, recorreu-se à plataforma *Mapbox*, que transforma cada imagem num conjunto de “mosaicos” de diferentes resoluções consoante o seu nível de *zoom*, ou seja, em níveis mais afastados, aparece uma imagem geral com menor resolução, mas à medida que se foca sobre uma região cada vez mais pequena, a plataforma envia apenas os “mosaicos” que se visualizam, reduzindo desta forma o peso de processamento, bem como o fluxo de dados movido. Tem uma outra vantagem, além da simplicidade de processamento, que é o nível de acesso gratuito, tendo em conta que é uma plataforma paga, que permite até 50.000 visualizações mensais dos mapas por parte do utilizador do WEBSIG, o que é suficiente para as necessidades do projeto. Para facilitar a sua inclusão, camadas como o MDT e o *hillshade* foram igualmente alojados na *Mapbox*.

O passo seguinte passou pela inclusão das diferentes camadas vetoriais, desde as de informação topográfica, às de estruturas arqueológicas, exportadas do QGIS em formato GeoJSON, para maior compatibilidade com a biblioteca *OpenLayers*. Estando as camadas incorporadas, seguiu-se a inclusão de funções para interagir com estas, nomeadamente a possibilidade de ligar e desligar camadas, trocar a ordem de sobreposição

Por fim, incluiu-se ainda uma escala, com possibilidade de escolher o sistema de unidade, sendo alguns dos exemplos o sistema métrico, imperial e náutico, e finalmente, uma opção que captura o mapa e os seus elementos que se encontram visíveis na janela do WEBSIG no momento do clique, exportando-o para o dispositivo informático utilizado para o acesso à plataforma, em formato .PNG.



Figura 7 – Vista do WEBSIG

3.4 Discussão

Não obstante a complexidade do manejo do *software*, facilmente transponível por parte de utilizadores com afinidade prévia ao mundo da informática, estamos cientes do desafio que é a sua utilização por parte de utilizadores sem formação ou com pouco desembaraço tecnológico, que por vezes pode ser a diferença entre a rentabilização destas bases de dados para contextos arqueológicos e o abandono das mesmas. Por essa razão, havendo a possibilidade de criar plataformas WEBSIG com baixo custo, achamos pertinente o investimento de tempo e recursos neste tipo de soluções, não só para fomentar o acesso aos dados acumulados e facilitar a sua gestão no terreno por parte das entidades que têm essa responsabilidade, mas também para a sua inclusão na experiência turística, por exemplo em sítios com grande dispersão espacial como Tróia, com dados simplificados e adaptados especialmente para os visitantes.

Ainda que não estivéssemos familiarizados com o uso das linguagens de programação necessárias à elaboração do WEBSIG, com alguma perseverança, algumas leituras e, por vezes, esclarecimentos de dúvidas em fóruns de informática, como por exemplo o *Stackoverflow*, conseguimos transpor esse obstáculo, e superar o desafio.

A facilidade de alteração e incremento de recursos em ambas as plataformas, permite a inclusão futura de novas camadas, ou mesmo de novas ferramentas no WEBSIG, estando planeado, por exemplo, a inclusão de um algoritmo interativo de simulação da subida da água do mar será interessante para o caso de Tróia e o projeto STORM.

4. Monitorização de sítios arqueológicos com dados de *Synthetic Aperture Radar*

4.1 Estado da arte

O *Synthetic Aperture Radar* (SAR) trata-se de um tipo de tecnologia radar com a capacidade de criar imagens de objetos ou paisagens em 2 ou 3D. Baseia-se no varrimento da superfície alvo com microondas, que ao chocar com esta são refletidas e alteradas, conforme o tipo de superfície. Assim com base nas modificações de parâmetros de onda detetados, é possível reconhecer e mapear remotamente diferentes tipos de relevo, bem como monitorizar alterações submilimétricas que a sua altimetria sofra. (Chen, *et al* 2015) Uma das suas principais vantagens em relação a outros tipos de radar, no que toca à monitorização, é que o modo de receção por antena que usa, tendo em conta a distância que o satélite percorre na sua órbita, sobre a área alvo, permite que essa distância em receção contínua, por meio de um complexo processamento adicional, funcione como uma antena “sintética”, mesmo tendo uma antena física de tamanho bem mais reduzido, o que resulta numa melhor resolução dos seus dados, visto que esta resolução é diretamente proporcional às dimensões da antena (Chan e Koo, 2008). Por outro lado, em comparação aos sensores ópticos, não é afetado pelas condições meteorológicas, sendo possível a recolha de dados em qualquer altura do ano.

Inicialmente, o conceito de *Synthetic Aperture Radar* surge, sob o nome *Doppler Beam Sharpening*, num contexto militar, por mão de Carl A. Wiley, um matemático e engenheiro americano, no âmbito do desenvolvimento de melhorias em sistemas de mísseis guiados na empresa Goodyear Aircraft, especificamente o *Automatic Terrain Recognition And Navigation* (ATRAN), pela inclusão de antenas com dimensões mínimas nos mísseis balísticos. (Wiley, 1985). A sua aplicação em satélites surge em junho de 1978, com o lançamento do SEASAT da NASA, cujo objetivo era demonstrar as potencialidades dos instrumentos que continha, para observação dos oceanos. Infelizmente teve um período de operação curto, pouco mais de 3 meses. (Link 7).

Nos anos 90 verificam-se vários avanços nas técnicas, com várias ativações de novos satélites com sensores SAR, designadamente o ERS-1 e 2 (ESA), JERS-1 e o RADARSAT (Oliver e Quegan 2004). Na linha de satélites da ESA devemos realçar a linha evolucionária que nos traz aos Sentinel-1. Os primeiros, citados acima, ERS-1 e 2, lançados em 1991 e 1995, acabaram a sua missão em 2000 e 2011 (Link 8). Por muito que o ERS-2 tenha estado em atividade até 2011, a ESA colocou em órbita o Envisat em fevereiro de 2002, com sensores de nova geração. Inicialmente tinha um tempo de revisita de 35 dias, tendo sido encurtado em 2010,

para tentar aumentar o tempo de vida do satélite até que a nova geração fosse lançada. (Link 9) Tal não foi possível pois, em 2012, após uma avaria grave, a comunicação com o satélite foi perdida, sendo que só em 2014 estaria operacional o primeiro Sentinel-1. Volvidos dois anos, seria lançado o Sentinel-1B, em abril de 2016, sendo assim constituído o panorama de aquisição de dados vigente durante o nosso período de estágio. Cada um dos satélites tem um ciclo de revisita de 12 dias, mas visto que partilham o mesmo espaço orbital, a constelação dos dois satélites permite um tempo de revisita de 6 dias (Link 10).

Os primeiros exemplos de utilização de SAR no campo da Arqueologia datam do início dos anos 80, recorrendo aos dados recolhidos pelo SEASAT para detetar antigos canais de irrigação e zonas cultivadas pelos Maias, sistemas de drenagem no Saara e ainda uma antiga bacia hidrográfica, soterrada pelo deserto. Exemplos mais recentes, com o já referido Terra SAR-X, apresentam também muito bons resultados, por exemplo no caso do forte romano de Qreiyeh na Síria (Linck, *et al* 2013). Porém, estes vários sítios têm em comum algumas características, como a pouca profundidade a que os achados se encontram e a aridez das regiões em questão, o que facilita a penetração das microondas no solo.

Em regiões não áridas, como por exemplo Portugal, o uso de dados SAR para prospeção arqueológica remota é possível, mas a simples presença de vegetação no terreno pode impedir a penetração das ondas radar no solo. Por outro lado, tem um grande potencial para a monitorização de sítios arqueológicos, detetando alterações na sua superfície, de forma a mapear eventos destrutivos, tendo sido já demonstrada a viabilidade da tecnologia SAR para tal, nos casos das *villae* romanas de Pisões e Represas, fortemente afetadas por trabalhos agrícolas (Ap-Davies, 2018).

4.2 Caso de estudo - SENSEOS

O projeto SENSEOS, iniciado em setembro de 2017, tem como objetivo final a criação de um serviço de monitorização, com recurso à comparação das diferenças na amplitude de onda entre os dados recolhidos pelos satélites Sentinel-1 em duas datas diferentes. Esta metodologia denomina-se *Change Detection*. O período de 6 dias de revisita dos satélites, permite processar comparativamente a imagem mais recente e a da semana anterior, possibilitando assim efetuar a dita monitorização numa base semanal.

No seguimento do projeto SENSEOS, foram celebrados dois protocolos entre a THEIA e duas Direções Regionais da Cultura, nomeadamente do Alentejo e Algarve (DRCALEN e

DRCALG). Estes contemplam o acesso de ambas as DRC à informação de alterações por movimentação do solo, por um período de 6 meses, podendo fazer assim a confirmação dos dados no terreno, de forma a calibrar os resultados finais do processamento.

Neste âmbito, coube-nos a responsabilidade de realizar o processamento semanal dos dados de satélite, sendo o último passo a introdução dos produtos processados numa base de dados SIG, para se efetuar alguns passos de pós-processamento, detetando que sítios arqueológicos teriam sido afetados nos últimos 6 dias. Pretendeu-se, ainda, desenvolver mecanismos de automatização, de forma a acelerar todo o fluxo de trabalho, poupando assim tempo e recursos de processamento.

Para levar a cabo as tarefas que nos foram atribuídas, foi feito uso do *software open source* denominado SARPROZ, um programa de processamento de dados SAR em formato *Single Look Complex* (SLC), dotado de uma interface simples, o que permitiu aprender o seu modo de funcionamento de forma relativamente rápida. O segundo *software* utilizado, para o pós-processamento e identificação de sítios afetados por alterações, foi o QGIS, já previamente abordado no capítulo anterior, com mais detalhe. A escolha dos dados de Sentinel-1 reside na sua relação custo/benefício, sendo que o acesso aos dados é gratuito, visto que as análises foram efetuadas em áreas extensas, onde a sua resolução de 5m x 20m por pixel foi suficiente. Para estudos de maior precisão seria necessário o uso de dados com melhor resolução, na ordem dos centímetros, como os do Terra SAR-X (Link 11), mas o seu elevado custo de aquisição, por volta dos 5.000€ por imagem, torna essa opção inviável para o serviço em questão.

4.3 Descrição das atividades realizadas

Antes de qualquer outra ação neste processo, principiou-se a descarga das imagens radar das zonas a monitorizar. Para este fim, inicialmente, era utilizada a plataforma *Copernicus Open Access Hub* (Link 13), mas a sua velocidade de descarregamento relativamente baixa e as limitações ao número de descargas em simultâneo, levaram-nos a procurar outras opções. A melhor alternativa encontrada, e que rapidamente se tornou a escolha principal, foi o repositório ASF Vertex da NASA (Link 14), cujos servidores permitiram uma velocidade de descarregamento mais elevada, e de forma semiautomática, por via de um *script* em Python, sendo possível no futuro, a partir deste, automatizar de forma completa a descarga dos novos dados à medida que vão sendo publicados. O formato SLC, requerido pelo SARPROZ, expõe, por cada aquisição um *swath*, ou faixa, de 250km de terreno, dividida em 3 *subswaths*, ou sub-

faixas, ocupando em média 4GB de espaço antes da sua extração. Estas sub-faixas são a “unidade base” de processamento para o *software*, o que para o caso de Beja e Serpa implicou o descarregamento de uma imagem, tratamento e comparação de duas sub-faixas, por semana, com a da semana anterior, e, no caso do Algarve, duas imagens, mas uma sub-faixa em cada. Cada imagem de satélite é capturada em polarização dupla, sendo necessário repetir todo este processamento para cada polarização.

Concluído o descarregamento e extração das novas imagens, para a pasta SLC no diretório do SARPROZ, procedeu-se à sua comparação com as imagens da semana anterior.

No programa SARPROZ, inicia-se a primeira fase de processamento. Após a abertura do software, usou-se a opção *Select Dataset* (Figura 8) Na sua janela de escolhas (Figura 9) foi indicado o diretório correto, neste caso, onde está inserida a pasta SLC, e clicou-se na opção *SLC Data Import* para, tal como o nome indica, importar os dados e efetuar o processamento inicial. Esta opção abre uma nova janela com uma série de passos (Figura 10). O primeiro a tomar é *Get Contents*, depois, escolheu-se a polarização e o *subswath* a processar, e foram atribuídas as órbitas, automaticamente descarregadas pelo programa. Posto isto, foi selecionada a imagem *Master*, ou de referência, que deve ser a imagem da semana anterior, e ativou-se o parâmetro *Max Area*, para que as imagens sejam integralmente processadas. Os restantes passos do processamento inicial seguem-se com a ativação, pela ordem de *Master Extraction*, *Slave Extraction*, sendo que *Slave* é o nome dado à nova imagem, que será comparada com o *Master*, e, por fim, o Co-registo das duas imagens, que consiste num cálculo algorítmico, que tem por objetivo alinhar as duas imagens, de forma a que todos os pixéis de coordenadas partilhadas pelas duas imagens se encontrem sobrepostos.



Figura 8 – Interface Inicial do SARPROZ

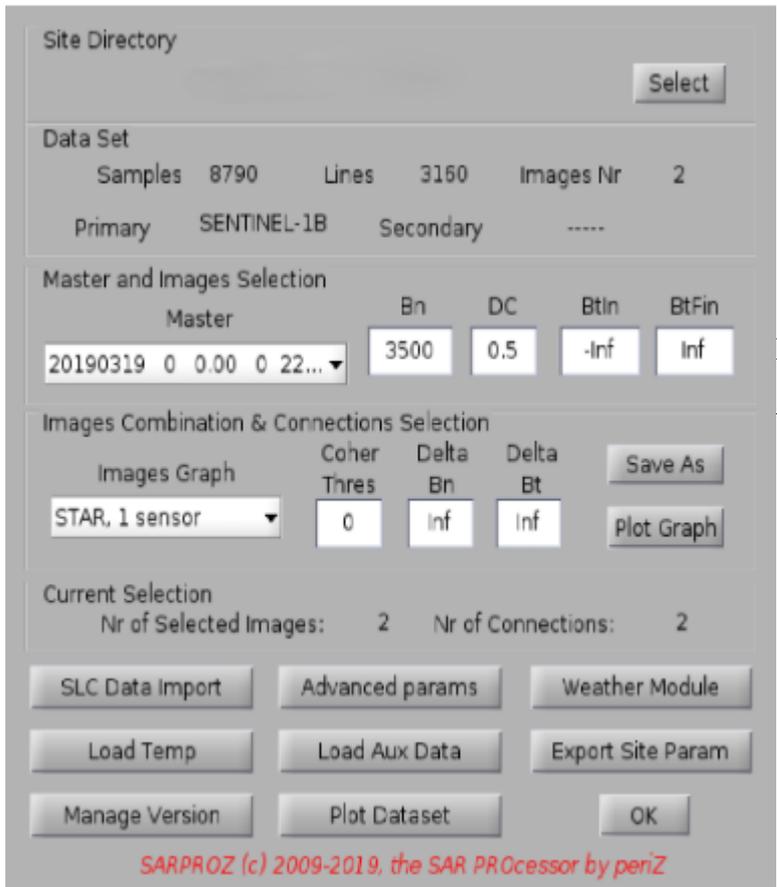


Figura 9 – Janela *Select Dataset*

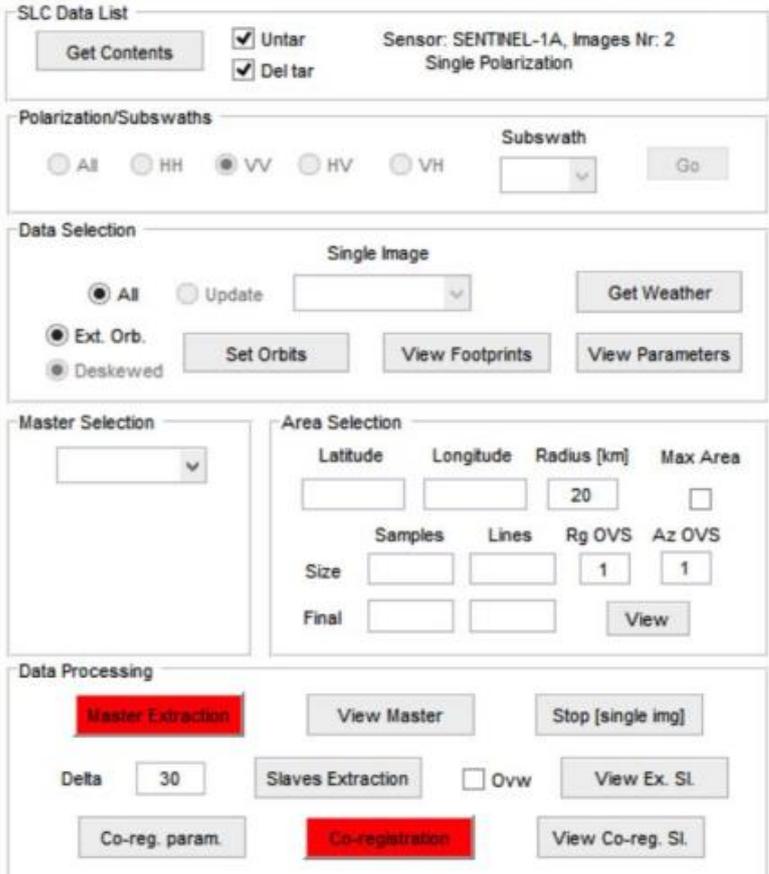


Figura 10 – Janela *SLC Data Import*

Concluído o pré-processamento, avança-se para o processamento propriamente dito. Para isso, fecharam-se as janelas do passo supramencionado, e na janela inicial, selecionou-se a opção *Site Processing*.

Nesta (Figura 11), em primeiro lugar, processou-se o *Reflectivity map and amplitude stability index* e *Mask for sparse points selection*, esta última com o parâmetro *Local Maxima*, indispensáveis para o *Change Detection*, visto que estes passos fornecem os dados básicos a calcular. Seguidamente, foram geograficamente os dados até aqui processados, usando a ferramenta *GCP Selection (Ground Control Point)* que seleciona pontos de referência para georreferenciar o resultado final, e a ferramenta *External DEM and synthetic amplitude in SAR coordinates*, que por sua vez faz uma correlação entre os dados e o Modelo Digital de Elevação externo.

Segue-se a última fase no SARPROZ, o processamento de *Change Detection* (Figura 12), que requer que lhe seja identificado, novamente, qual das imagens é *Master* ou *Slave*.

Como opções de processamento, primeiro em *Input Data* foi escolhida amplitude, e seguidamente em *Comparison* selecionou-se a diferença. Posteriormente foi ativado o parâmetro *Normalization*, que converte os valores de alteração de amplitude numa escala de 0 a 255, para facilitar a leitura dos dados no QGIS. No campo *Filter window* manteve-se o valor base e, por último, definiu-se o campo *Noise/Lower Threshold* com o valor 0.2, que aponta os valores a partir dos quais os dados devem ser considerados, removendo assim o possível ruído da captação da imagem.

Concluído este passo resta exportar os valores, com as opções de Ortoretificação, no modo de exportação, definir o valor de 1 para os campos de *Range* e *Azimuth*, e por último, o formato de ficheiro como GeoTIFF.



Figura 11 – Janela Site Processing

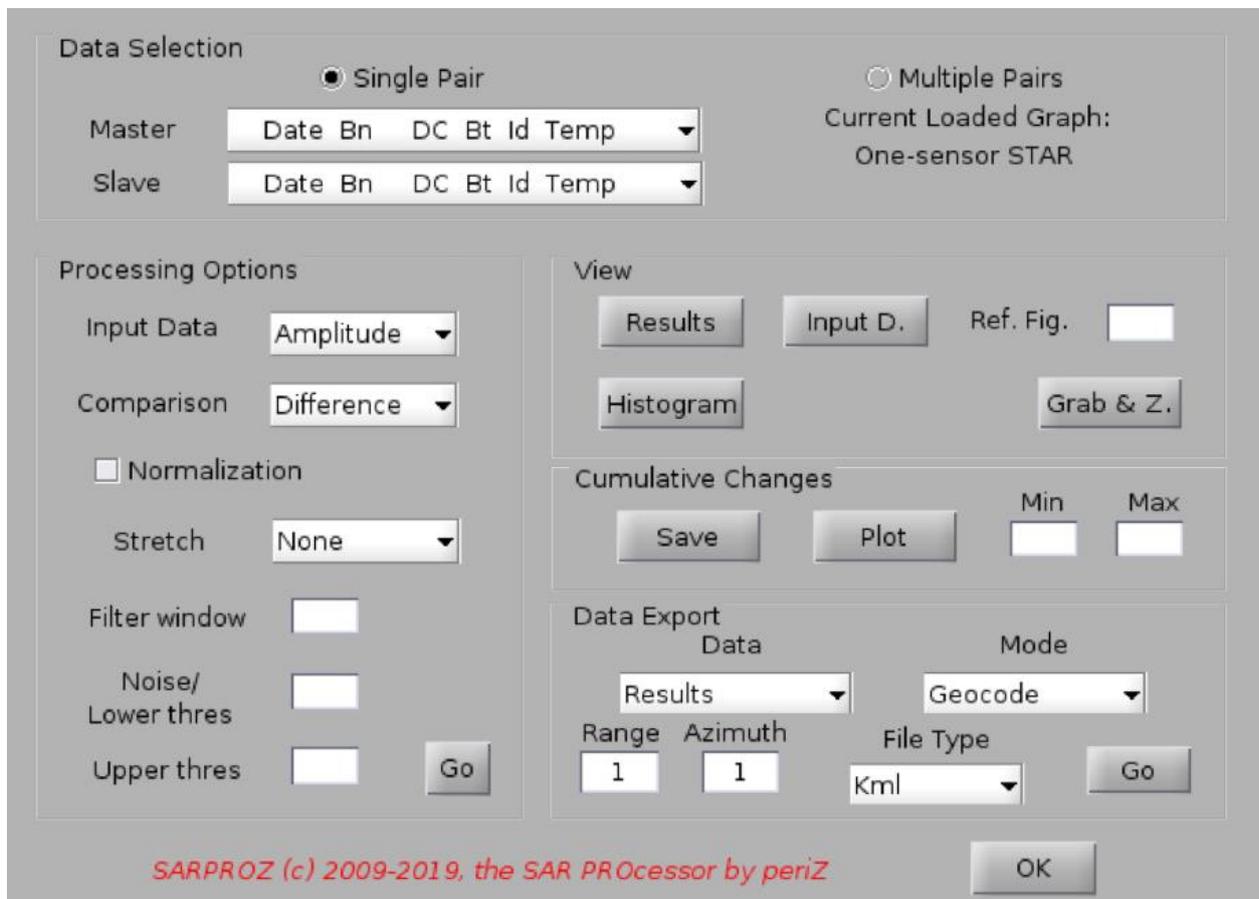


Figura 12 – Menu Change Detection

A imagem exportada foi seguidamente introduzida no QGIS, onde já tinha sido feito com antecedência uma base de dados, com os sítios arqueológicos a vigiar. Tendo em conta a natureza e extensão dos trabalhos agrícolas que têm vindo a ser levados a cabo no Alentejo, foi tomada a decisão de criar uma *layer* de *buffers* de proteção com 100m de diâmetro, detetando assim alterações próximas aos sítios arqueológicos, permitindo o lançamento de alertas.

A natureza pouco adaptável dos dados em GeoTIFF, sendo um formato raster, implica que a sua interação com as camadas já presentes na base de dados SIG seja limitada. Para contornar este problema seria imperativo converter estes dados raster para vetor. Uma vantagem do formato vetor é o seu reduzido espaço de armazenamento (algumas dezenas de MB) ao contrário do formato GeoTIFF, que é bastante mais pesado (cerca de 1 GB).

Tendo em mente o supracitado, foi desenhado no QGIS um módulo de processamento, que permite executar uma série de ferramentas, com ordem previamente definida, de forma automática. Este aporta dois passos simples, mas necessários a uma melhor interpretação dos dados. O primeiro consiste no uso da ferramenta *r.reclass* para reclassificar os valores normalizados do GeoTIFF, usando como referência uma tabela de intervalos de valores. Assim, os valores de 1 a 25 serão equivalentes à classe “Perda elevada de amplitude”, 26 a 127 à classe “Perda média de amplitude”, 128 a 230 à classe “Ganho médio de amplitude” e, por fim, 231 a 255 à classe “Ganho elevado de amplitude”. O último passo no pós-processamento é a ferramenta *r.to.vect* (*raster to vector*), que faz a conversão que acima referida.

Posto isto, nas primeiras vezes procedeu-se à monitorização dos sítios de forma manual, sendo verificado cada caso individualmente. Ainda que este processo não fosse demasiadamente moroso, para uma amostra composta por algumas dezenas de sítios, uma expansão futura do número de sítios tornaria esta metodologia inoportuna. Após a receção de uma camada atualizada, contendo a maioria dos sítios arqueológicos de Beja e Serpa, foi alargada a monitorização aos mais de 1300 sítios arqueológicos presentes na dita camada (Figura 13). Para tornar isto possível, fez-se uso de uma ferramenta no QGIS, com o nome “Selecionar pela localização”, que permite selecionar elementos de uma *layer*, consoante a relação espacial partilhada com outra.

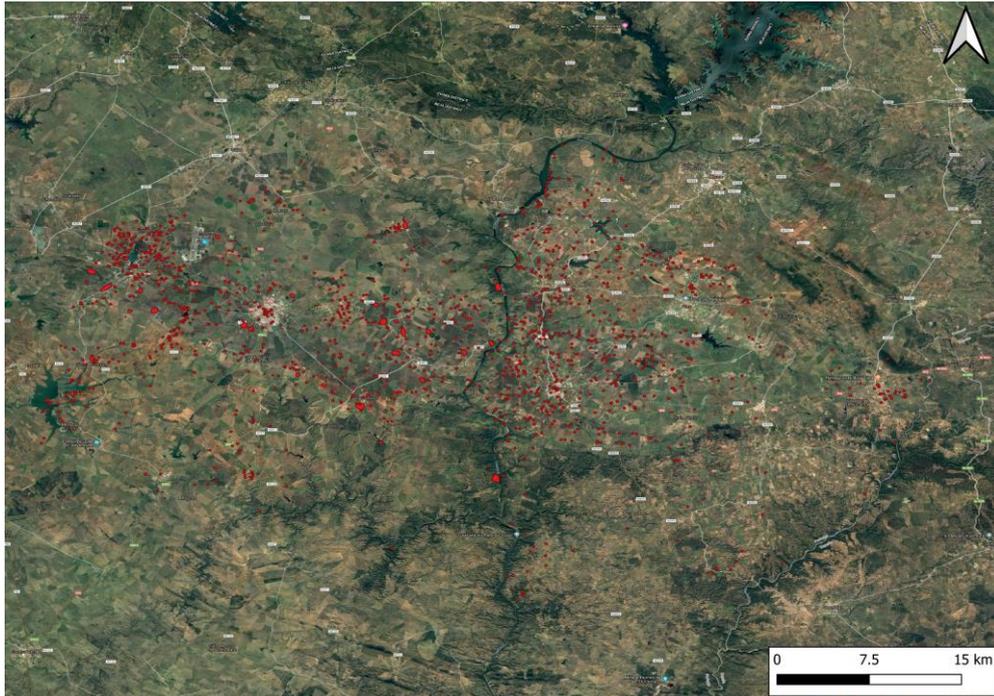


Figura 13 – Extensão monitorizada em Beja e Serpa

Assim, foram selecionados os elementos da camada de *buffer* dos sítios arqueológicos que fossem intersectados pelas camadas de alteração e guardou-se esta seleção numa nova camada, contendo apenas os sítios afetados. Procedeu-se ainda a uma triagem para filtrar os sítios realmente afetados por fortes alterações, eliminando assim os falsos positivos, e selecionando apenas aqueles onde se verificavam manchas de dimensões de extensão considerável e de classes referentes a perdas ou ganhos altos de amplitude.

Nesta reta final do fluxo de trabalho, foram elaborados relatórios primários, posteriormente enviados à colaboradora no terreno para que esta pudesse realizar observações *in situ*, fotografando e reportando de volta, para que por fim fosse possível enviar um parecer final às DRC. Este último, inicialmente, era realizado por meio do envio de tabelas com as alterações agregadas aos sítios (Anexo 2), mas ao expandir-se o número de locais a monitorizar, passou a ser feito por envio de um e-mail automático, facultando-se o acesso à camada de sítios afetados via WEBSIG.

Ainda que muitas vezes não se verificassem alterações nos sítios de contexto arqueológico, eram efetuadas vistorias a regiões afetadas, de modo a possibilitar a correlação dos dados de satélite com as ocorrências no terreno.

Porém, importa realçar 3 situações, em que foram detetados episódios possivelmente destrutivos em sítios arqueológicos ou nas suas imediações. Ao comparar-se a imagem de

satélite do dia 17 de março com a de 23 de março, foram notadas alterações junto ao sítio de Vale da Figueira, com o código nacional de sítio (CNS) nº 13323 (Figura 14). Durante a verificação no local, foram reportadas profundas alterações, causadas pelo uso de maquinaria pesada, havendo inclusive deslocamento de pedras e aglomerados rochosos, com vista a eventual instalação de campos agrícolas de cultura perene (Figura 15). Os dois exemplos seguintes registaram-se no período de verificação seguinte, entre 23 e 29 de março. Nos sítios da Herdade de Alfares e Moinho de Alfares, com os CNS 7103 e 33304, foram confirmadas mobilizações recentes com mais de 40cm de profundidade (Figura 16 e 17). Finalmente, no caso de Ourém 7 e Ourém 8, verificou-se a instalação relativamente recente de um olival super-intensivo, registando-se ainda mobilizações profundas na zona da ribeira (Figura 18 e 19).

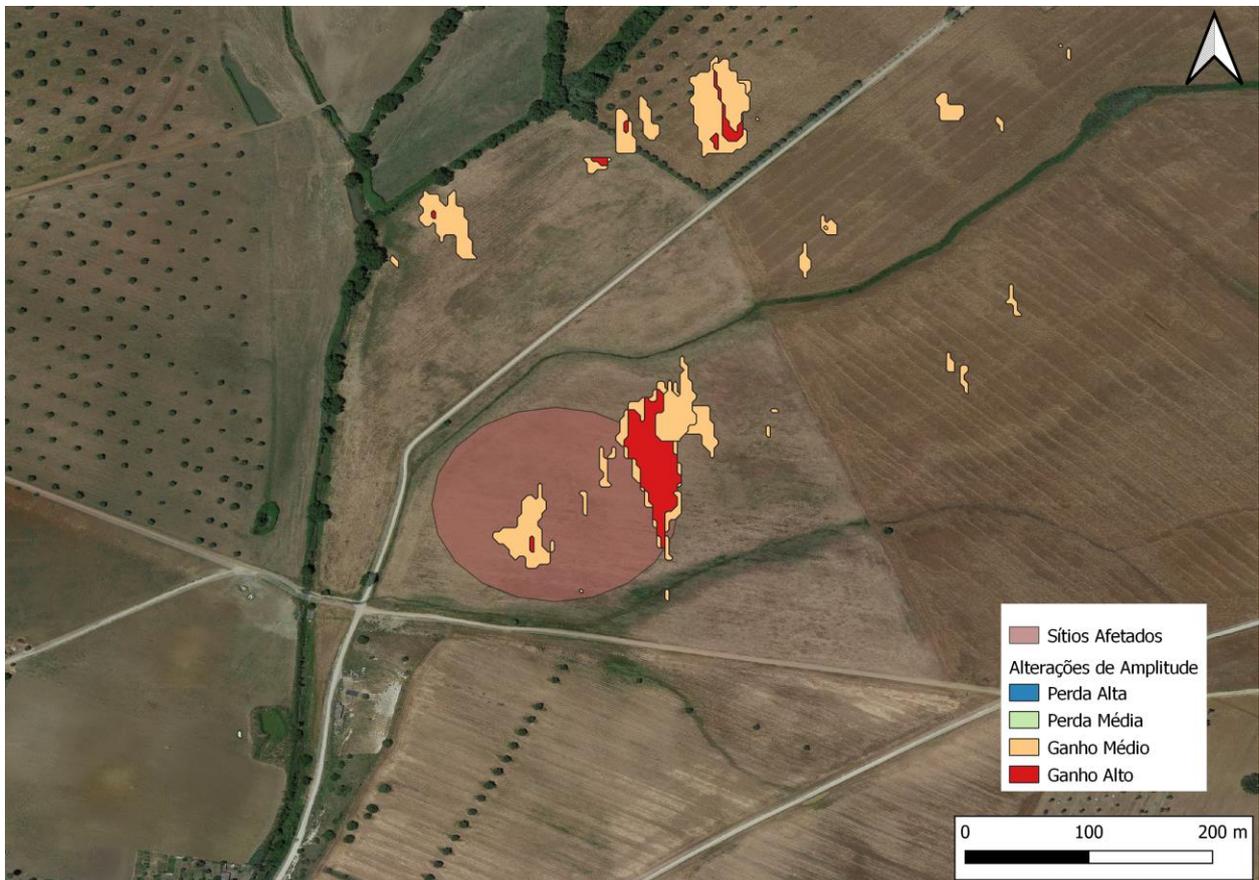


Figura 14 – Sítio de Vale da Figueira, alterações detetadas por satélite



Figura 15 – Sítio de Vale da Figueira, inspeção local

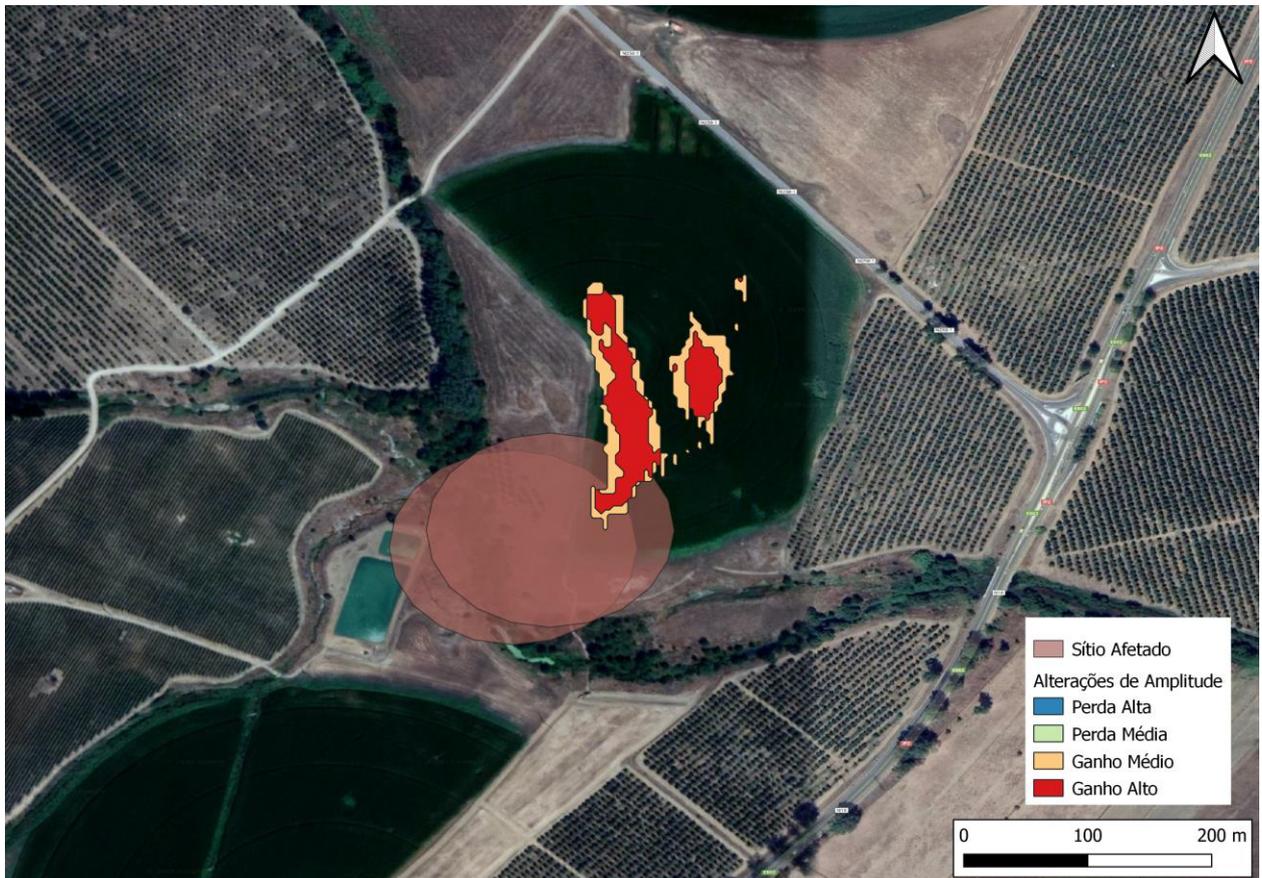


Figura 16 – Sítios da Herdade e Moinho de Alfares, alterações detetadas por satélite



Figura 17 – Sítio da Herdade de Alfares, inspeção local

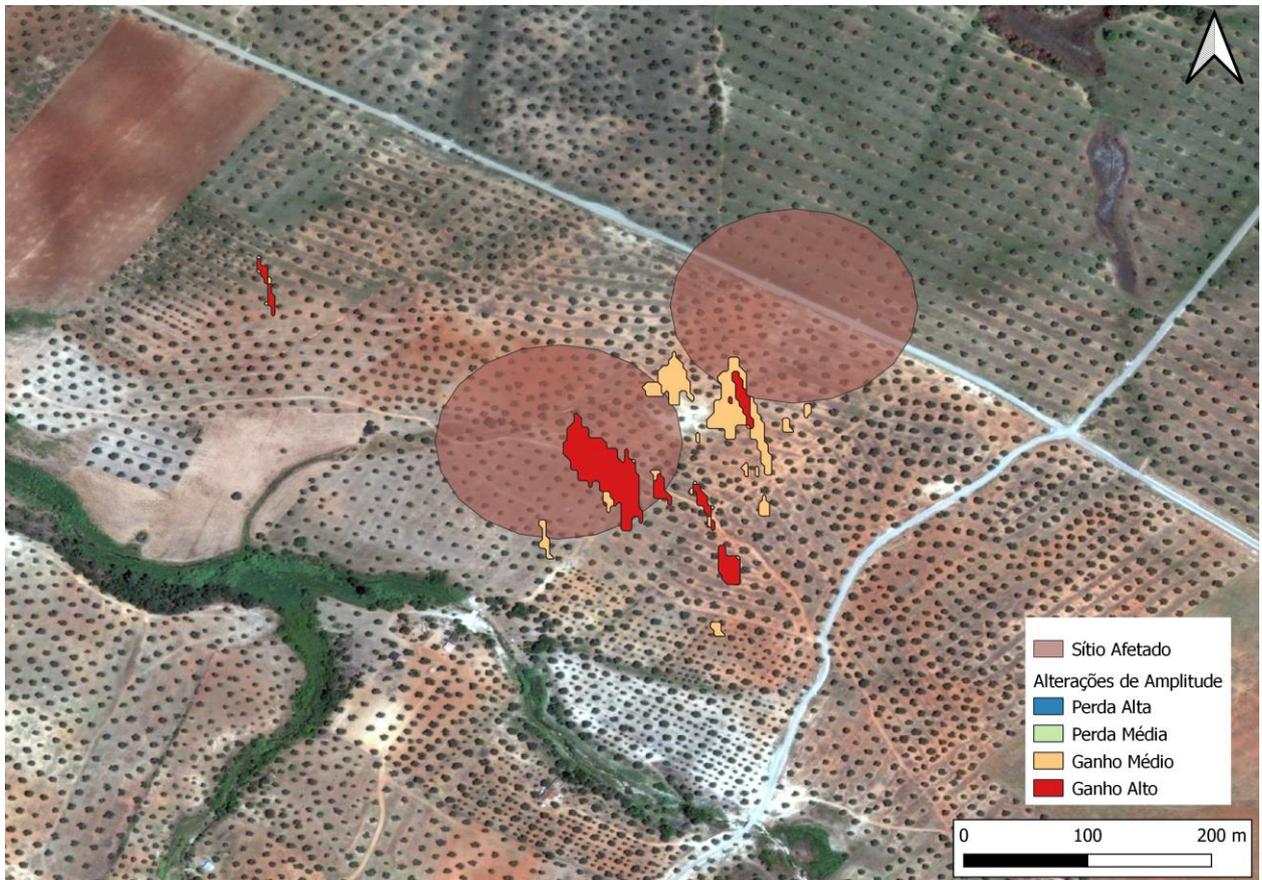


Figura 18 – Sítios de Ourém 7 e 8, alterações detetadas por satélite



Figura 19 – Vista geral sobre os sítios de Ourém 7 e 8, inspeção local

4.4 Discussão

No que toca ao campo da Arqueologia, a tecnologia SAR apresenta uma enorme potencialidade a vários níveis. No âmbito da prospeção remota, espera-se que a evolução dos sensores de radar permita, mais cedo ou mais tarde, uma penetração do solo mais potente e de forma mais fiável, mesmo em situações em que esteja presente vegetação.

Por outro lado, como se tentou demonstrar aqui, as capacidades dos dados gratuitos captados pela constelação Sentinel-1, são já suficientes para monitorizar à distância grandes números de sítios arqueológicos, dispersos numa região vasta. Tendo em conta o panorama nacional, ao nível do património e sua conservação, em que infelizmente os recursos financeiros e humanos alocados são parcos em relação às grandes extensões territoriais a vigiar, os dados de satélite atualmente permitem, de forma rápida e eficiente, inspecionar um distrito inteiro, sendo que no futuro, com a automatização de todo o processo, será possível até, monitorizar Portugal, à distância de um clique.

5. Aplicações de Realidade Aumentada em Património

5.1 Estado da arte

A Realidade Aumentada pode definir-se, conceitualmente, como “uma vista direta ou indireta, em tempo real, de um ambiente físico, no mundo real, cujos elementos são aumentados por “entradas de dados” sensoriais, como o som, dados gráficos ou de GPS” (Grier, *et al* 2012). O primeiro registo que encontrado da sua aplicação data do ano de 1968, no qual que Ivan Sutherland e Bob Sproull, um aluno seu, inventaram um dispositivo a que deram o nome de “Espada de Dâmocles”, um aparelho de visualização, colocado na cabeça, que permitia a observação de linhas e objetos geométricos, que se sobrepunham à “realidade física”, através das suas lentes (Sutherland, 1968). O termo Realidade Aumentada, porém, seria cunhado décadas mais tarde, no início dos anos 90 por um investigador da Boeing, Thomas P. Caudell, que em conjunto com David Mizell teorizou a aplicação desta tecnologia no sentido de reduzir custos e aumentar a eficiência nas operações de montagem e manutenção de aviões (Caudell e Mizell, 1992).

Nos últimos cinco anos, o desenvolvimento da tecnologia tem acelerado, havendo alguns marcos importantes, que não se poderia deixar de mencionar. Em primeiro lugar, é lançado em 2014 pela Google o dispositivo Google Glass, que se assemelhava a um par de óculos com um dispositivo de visualização com câmara integrada. Ainda que não tenha tido o sucesso esperado, muito por culpa do alto custo de aquisição dos equipamentos, cerca de 1.500€, o que o tornava inviável para o público em geral, tendo evoluído para uma solução estritamente direcionada para empresas, acabou por demonstrar as potencialidades da Realidade Aumentada (Link 15). Em 2016, beneficiando da comercialização de *smartphones* com *hardware* cada vez mais potente, o lançamento da aplicação Pokémon GO, um jogo que usa a Realidade Aumentada em conjunto com dados de GPS como base do seu funcionamento, lançou este tipo de técnica para a ribalta, popularizando-a na óptica do utilizador comum, que se tornou mais sensibilizado para este tipo de experiências.

No campo da Arqueologia, a Realidade Aumentada pode ser um recurso valioso no decorrer de uma escavação, tendo em conta o carácter destrutivo da atividade arqueológica, visto ser possível o seu uso como uma forma adicional de registo, de rápido acesso, bem como para a visualização de propostas de reconstituição tridimensional, enquadrado no terreno original, permitindo, quiçá, a formulação de correções nesses mesmos modelos, e, no que toca ao fator da

dinamização turística, providenciar uma representação visual rica do que teriam sido em tempos os edifícios, dos quais hoje restam apenas as ruínas, bem como o seu meio envolvente e até personagens virtuais, que poderão ser animadas para efetuar inúmeras ações, de modo a dar aos visitantes uma experiência mais imersiva.

O exemplo mais antigo encontrado do uso de Realidade Aumentada na Arqueologia trata-se da VITA: *Visual Interaction Tool for Archaeology*, apresentado em 2004, que mistura Realidade Virtual com Aumentada, também conhecida por sistema de realidade mista, que permite a visualização de modelos 3D, de captura fotogramétrica ou *laser scan*, de uma escavação fora desta, bem como a inclusão de dados como notas de campo, localização de objetos encontrados, desenho arqueológico, ou até mesmo dados de SIG. (Benko, et al 2004)

5.2 Caso de Estudo - Capela do Fundador (Mosteiro da Batalha)

O Mosteiro de Santa Maria da Vitória encontra-se implantado na vila da Batalha, no distrito de Leiria. A sua construção ter-se-á iniciado durante o final do século XIV a mando de D. João I, como meio de agradecer aos poderes divinos, o auxílio na batalha de Aljubarrota, em que os portugueses derrotaram os castelhanos (Gomes 1990), sendo concluído por volta de 1563. Um exemplar único, enquadrado no estilo do estilo gótico flamejante, encontra-se classificado como Monumento Nacional desde o início do século XX, integrando de igual modo a Lista do Património da Humanidade da UNESCO desde 1983 (Link 16), e mais recentemente, em 2007, foi um dos monumentos eleitos na seleção das “7 Maravilhas de Portugal”.

O projeto *Monumental Polychromy: revealing medieval colours at Batalha*, com o propósito residia na identificação das cores originais do interior do Mosteiro da Batalha com base na análise dos resquícios pigmentares presentes, apresenta-se como pioneiro neste campo, em Portugal, esperando ainda abrir as portas de futuras parcerias semelhantes, noutros monumentos (Link 17). No seu âmbito, a THEIA integrou o projeto com o objetivo de produzir modelos 3D de diversas áreas do monumento, para subsequente utilização em animações para vídeos informativos, bem como para o desenvolvimento de uma aplicação de Realidade Aumentada.

No seguimento desse pedido, fomos incumbidos de realizar um protótipo de uma experiência de Realidade Aumentada, tendo em vista uma possível integração futura numa aplicação móvel, para fins educativos, com o objetivo de melhor ilustrar a policromia original, de

forma facilmente acessível. Para tal foi necessária a utilização, como base, de um programa de motor de jogo, neste caso o Unity (Link 18), visto que é um dos motores de jogo usados mais frequentemente noutros trabalhos desenvolvidos pela empresa. No motor de jogo, para que seja possível a ativação de Realidade Aumentada, realizou-se a inclusão de um *software development kit* (SDK), que consiste num conjunto de ferramentas que facilitam o uso de uma plataforma, por parte de programadores externos, para a criação de aplicações.

O principal desafio que se nos apresentou consistiu na abstinência de utilizar marcadores ou outro tipo de ponto de referência que necessitassem de instalação, de uso mais frequente e também mais simples, de modo a evitar a perturbação dos elementos do monumento com colas ou furos. Por fim, para efetuar os testes foi utilizado o nosso *smartphone* pessoal, um Huawei Honor 5X de finais de 2015.

5.3 Descrição das atividades realizadas

A primeira tarefa centrou-se na escolha do SDK. Reduziu-se as hipóteses disponíveis a quatro, nomeadamente o ARKit, ARCore, Wikitude e Vuforia. O primeiro (Link 19) acabou por ser excluído imediatamente, pois apenas proporciona o desenvolvimento de aplicações para o sistema operativo iOS, deixando de fora uma grande fatia de possíveis utilizadores de *smartphones* com sistema Android, e ainda, o uso do SDK encontra-se restrito ao macOS, logo, impossível de o trabalhar na *workstation* que nos foi atribuída, cujo sistema operativo é o Windows. O seguinte, o ARCore (Link 20), afigurava-se como a opção mais versátil e livre de custos, permitindo exportar a mesma aplicação para Android e iOS sem ser necessário nenhum passo intermédio, mas a sua alta exigência em termos de *hardware*, com uma lista muito restrita de dispositivos compatíveis, inviabilizou a sua escolha. Os SDK da Wikitude (Link 21) e Vuforia (Link 22), que são pagos, mas fornecem versões de teste, têm também uma grande versatilidade, um pouco mais reduzida em comparação ao ARCore, mas têm uma grande vantagem, no que toca ao uso das “âncoras”, ou pontos de referência para a colocação das cenas de Realidade Aumentada. Ambas são capazes de reconhecer imagens e marcadores, mas diferem no reconhecimento de ambientes envolventes, como o interior de uma sala ou uma praça, e objetos de diversos tamanhos. Com o Wikitude, este tipo de reconhecimento baseia-se na geração de uma nuvem de pontos, muito simplificada, com informação de cor, por meio de recolha fotográfica do ambiente ou objeto a utilizar. Por outro lado, o Vuforia suporta o uso de

modelos 3D, virtuais, de objetos reais como referência, o que para o caso de estudo nos pareceu o mais adequado, visto que esses produtos já tinham sido gerados por *laser scan*, assegurando uma grande precisão.

Foi decidido, antes de se avançar para testes no Mosteiro, realizar algumas experiências preliminares nas imediações do IPN. Foram escolhidas como áreas de ensaio, para um teste de *stress* às capacidades do SDK, uma zona aberta ajardinada e uma ruína de um edifício habitacional, sendo desde logo esperadas algumas dificuldades, tendo em conta o carácter móvel e visualmente “ruidoso” da vegetação, configurando-se como uma má referência. Realizaram-se vários levantamentos das áreas em questão com o mesmo laser usado no Mosteiro da Batalha, Leica BLK 360, de modo a replicar o fluxo de trabalho. Seguidamente os modelos foram extraídos com o programa Autodesk ReCap, para serem tratados no Model Target Generator (MTG) do Vuforia (Link 23). Este converte o modelo 3D numa base de dados legível por parte do SDK, ou seja, “treina” o modelo de forma a que as suas características físicas sejam reconhecíveis, e permite selecionar uma ou múltiplas vistas iniciais, acompanhadas de um contorno da mesma, para facilitar o enquadramento da câmara do telemóvel num ângulo que auxilie o rastreamento do ambiente por parte da aplicação, de forma a exibir os conteúdos que foram programados. Deve notar-se ainda que é necessária alguma cautela nesta fase de preparação, visto que o programa define um limite de 400.000 polígonos ou 10 partes para o modelo 3D, podendo ser exigida uma “dizimação” do modelo em questão para que seja compatível, não esquecendo que quanto mais “dizimado” for, menos se assemelhará com o modelo real, e por consequência, menos fidedigno como referência, ao ponto de se tornar inviável, é então imperativo que para cada modelo se encontre um equilíbrio. Por outro lado, se o modelo for gerado por fotogrametria, as texturas devem ser removidas antes da sua inserção no MTG.

Após a recolha do modelo e sua transformação em base de dados, deve-se proceder à geração de uma chave de licença gratuita, para testes, no *site* do Vuforia. Posto isto, deve adicionar-se os ativos virtuais que desejamos expor na aplicação, ativar o suporte do *Vuforia augmented reality* nas Definições de *Player* e importar as os pacotes de dados requeridos pelo Vuforia, à medida que sejam requeridos. Seguidamente apaga-se na lista de hierarquia da cena do Unity, onde se encontram listados os componentes, a *Main Camera*, substituindo-a pelo componente *ARCamera*. Clicando nesta, no separador “Inspetor”, abre-se o menu de configuração com o botão *Open Vuforia Engine Configuration*, onde existe uma série de opções que se devem alterar, consoante as necessidades do projeto. Primeiramente introduziu-se a chave de licença, sem a qual a aplicação não irá funcionar. Depois, escolheu-se um de 3 modos

possíveis no “Modo de Câmera do Dispositivo”, tendo-se preferido manter o genérico, sendo as outras duas opções o aumento da qualidade em detrimento da performance, dando a última primazia à velocidade, a custo de uma qualidade inferior. Os parâmetros do número de objetos/imagens rastreados em simultâneo deve ser ajustado conforme o número de modelos de referência incluídos na aplicação. A última variável importante trata-se do Carregamento de Objetos Após Deteção, que guarda na memória RAM os dados acerca do modelo assim que são carregados, o que permite uma resincronização rápida em caso de o dispositivo perder de vista a referência. Porém, tem uma grande desvantagem no caso do uso de modelos muito grandes ou detalhados como referência, podendo haver uma ocupação de memória RAM excessiva, o que resulta em lentidão no dispositivo, ou na pior das hipóteses, a terminação da sessão da aplicação.

Terminada a configuração, ainda no separador de configuração, clicando na opção “Adicionar Base de Dados” foi inserida a base de dados previamente produzida no MTG. Passando esta fase, na lista hierárquica, adicionou-se o componente *ModelTarget*. Neste, ativa-se a *bounding box*, que não aparece na aplicação final, mas é um auxílio para um dos passos seguintes. Seguidamente foi definido qual dos modelos 3D da base de dados a usar como referência, selecionar o tipo de vista inicial ou mesmo removê-la, caso o contorno bloqueie em demasia a vista de câmara, para evitar incompatibilidades em aplicações com mais do que um único modelo de referência, ou simplesmente por uma questão de preferência. Posto isto, colocaram-se os objetos virtuais como *child*, do *ModelTarget*, criando assim a dependência entre ambos, e foi ajustado o seu posicionamento dentro da *bounding box*, de forma a que apareçam nos sítios corretos. Os objetos virtuais em questão, visto tratar-se de um pequeno teste, são figuras geométricas simples, com cores vivas, para que se destaquem bem do meio envolvente, de forma a distinguir ao máximo o real do virtual. Findados estes passos, restou fazer *build* da aplicação, após selecionar a opção de exportar no sistema operativo Android. Para evitar qualquer tipo de incompatibilidade, foram exportadas duas versões diferentes da aplicação, uma para cada área de levantamento laser.



Figura 20 – Teste de Realidade Aumentada em Campo Aberto



Figura 21 – Teste de Realidade Aumentada, usando um levantamento 3D como referência

Como se pode visualizar, o teste em campo aberto (Figura 20) não foi completamente fortuito, visto que a aplicação não conseguiu rastrear corretamente a área, justificando-se assim o deslocamento dos cubos, que deveriam estar em cima dos degraus. No exemplo da ruína (Figura 21), o resultado foi muito mais positivo, havendo um posicionamento exato. Do ponto de vista técnico, existiram algumas dificuldades a posicionar corretamente a câmera para o reconhecimento da área da ruína, por culpa da vegetação do terreno, bem como da inclinação

deste, mas assim que obtivemos um rastreamento correto, tornou-se mais fácil recuperá-lo, até a aplicação ser reiniciada, o que ocorreu algumas vezes depois de algum tempo de uso, visto que o *hardware* do telemóvel não permitia que este se estendesse muito.

Finalizados os testes primários, para compreender o modo de funcionamento do SDK, avançou-se com a elaboração do protótipo de aplicação para o caso de estudo. Tendo em conta o tamanho da Capela do Fundador, área escolhida para ser testada, e a conseqüente complexidade de formas nela contida, restringiu-se o rastreamento e exibição do modelo do túmulo de D. João I e D. Filipa de Lencastre, sendo que a textura deste último modelo se encontra com a policromia proposta pelos estudos realizados no âmbito do projeto *Monumental Polychromy*. Para tal, foi ainda necessário fazer uma “dizimação” extensiva do modelo, visto que o seu número de polígonos, cerca de 2 milhões, ultrapassava em grande medida o limite imposto pelo MTG. Após a inserção da base de dados visual no Unity, alteraram-se os parâmetros de configuração Vuforia, de forma a exportar duas versões diferentes. Na primeira, em jeito de “vai ou racha”, foram ativadas as opções de Modo de Câmera para otimização da qualidade e Carregamento de Objetos Após Detecção, sendo que o modelo de referência e o modelo a visualizar tinham ambos cerca de 350.000 polígonos e texturas em resolução 4K. A segunda versão, por sua vez, teria um requerimento de recursos mais baixo, tendo sido usado o Modo de Câmera para otimização do desempenho, modelos com cerca de 150.000 polígonos e texturas com resolução 2K.

Após exportação, foi feita uma deslocação ao Mosteiro da Batalha para efetuar os ditos testes *in situ*. A primeira, tal como suspeitado, revelou-se demasiado exigente para o *hardware* que disponível. A aplicação é iniciável, mas a taxa de atualização da câmara é bastante lenta e, assim que deteta o túmulo, definido como referência, a taxa de atualização desce ainda mais e a aplicação é interrompida pelo sistema operativo, por ter ficado sem recursos de processamento para alocar. A segunda, por outro lado, reportou uma superior taxa de atualização da câmara, sendo possível rastrear e observar a sobreposição do modelo virtual ao real, apresentando a Realidade Aumentada, com as hipotéticas cores originais do túmulo (Figura 22). Ainda assim, em ambas as versões foi notado um sobreaquecimento do dispositivo móvel, o que se explica pela alta exigência que as aplicações apresentam à sua Unidade de Processamento Central.



Figura 22 – Teste de Realidade Aumentada, modelo 3D do Túmulo Central como referência

5.4 Discussão

A tecnologia de Realidade Aumentada não é recente, mas como pudemos ver anteriormente, só nos últimos anos é que o seu uso tem vindo a aumentar. O periódico aparecimento de novos SDK, com características mais desenvolvidas, versáteis e otimizadas, irá fornecer novas ferramentas e possibilidades. Por outro lado, a evolução dos dispositivos móveis,

com uma crescente capacidade de processamento promovido pela inclusão de *hardware* cada vez mais potente, permitirá que as aplicações criadas tenham melhor desempenho e qualidade.

Relativamente à utilização dos *softwares*, ainda que não tivéssemos muita experiência no motor de jogo Unity, como a sua interface é bastante intuitiva e simples, tal acabou por não se revelar um grande obstáculo. Apesar de algumas dificuldades em entender o funcionamento das ferramentas do SDK Vuforia, as mesmas foram ultrapassadas com recurso à extensa documentação que é disponibilizada pela empresa que o desenvolve.

Na nossa opinião, o uso de Realidade Aumentada apresenta um enorme potencial para a Arqueologia, não só para a gestão em contexto de escavação, como exemplificado pelo projeto VITA, mas também, como se tentou demonstrar neste capítulo, para a divulgação do património. Sabe-se já de antemão, ainda que não tenha havido oportunidade para testar, que é possível utilizar conjuntos de coordenadas GPS como referência em vez de modelos 3D, o que é uma vantagem no caso de sítios arqueológicos com uma larga extensão, permitindo poupar recursos computacionais, que podem ser aplicados noutras valências virtuais, como a potencial inclusão de personagens animados nas reconstituições dos edifícios, de forma a criar uma experiência imersiva.

6. Conclusão

No decorrer do estágio, foi possível recorrer e aplicar diversos conhecimentos previamente adquiridos, tais como o manejo confortável de ferramentas informáticas.

Com efeito, as competências e experiência adquiridas, durante a licenciatura e mestrado, com principal destaque para disciplinas como a Informática Aplicada à Arqueologia, Arqueologia de Laboratório e SIG em Arqueologia, foram bastante úteis, visto que deram um avanço inicial em algumas das tarefas desenvolvidas.

O estágio curricular aqui relatado foi uma experiência muito enriquecedora em vários níveis. Em primeiro lugar, proporcionou-nos o primeiro contacto de trabalho em contexto empresarial, bastante diferente daquele com que convivemos aquando das escavações arqueológicas em que participámos enquanto alunos. Por outro lado, como já foi referido anteriormente, foi extremamente estimulante não só poder fazer parte do projeto SENSEOS, que a nosso ver poderá vir a providenciar um serviço valiosíssimo ao património arqueológico, mas também ter tido responsabilidades noutras atividades, com as quais foi possível adquirir novas valências e conhecimentos.

Noutra nota, o ambiente familiar que encontramos na THEIA foi propício ao nosso crescimento pessoal e profissional, nunca tendo faltado apoio e incentivo para que ultrapassássemos os obstáculos que iam surgindo. Assim, acreditamos que conseguimos atingir sempre os objetivos que nos foram propostos e que a frequência deste estágio será uma mais-valia importante na nossa inclusão no mercado de trabalho.

No âmbito da gestão do património arqueológico, verificou-se que de forma relativamente simples e com poucos recursos, foi possível montar uma base de dados SIG, associada a uma plataforma de WEBSIG, que detém a capacidade de agregar grandes volumes de informação geográfica, e facilitar o manuseamento destes dados ao utilizador final, reduzindo ao máximo os conhecimentos mínimos requeridos para o seu acesso. Futuramente seria interessante a criação de uma plataforma centralizada, à semelhança do Portal do Arqueólogo, onde fosse possível aceder a dados arqueológicos em SIG de todo o País, de modo a facilitar e acelerar investigações futuras.

Relativo às potencialidades da tecnologia SAR para a Arqueologia, como referido ao longo do presente escrito, deve realçar-se dois aspetos. Em primeiro lugar, a prospeção remota, superficialmente tratada neste texto, ainda que não seja fiável em todas as condições do ambiente associado ao sítio, não deixa de ser uma ferramenta útil, podendo vir a servir como ponto de partida na gestão inicial de trabalhos de escavação. Tem um futuro promissor, dependente

apenas da evolução dos sensores, da sua capacidade de penetração do solo e vegetação e resolução, e do preço de aquisição das imagens captadas. Por outro lado, como se tentou demonstrar, a monitorização periódica de sítios arqueológicos por satélite é possível, podendo vir a ser um grande auxílio na proteção do património arqueológico, em casos onde os recursos são escassos. Um outro possível exemplo de aplicação destas metodologias de SAR à monitorização do património seria o seu uso em zonas de guerra, no Médio Oriente, de forma a poder mapear os danos causados em sítios arqueológicos pelos conflitos, com a vantagem de não colocar vidas de investigadores em risco, e cobrir vastas regiões de forma eficiente.

Quanto às metodologias de Realidade Aumentada, verificam-se duas principais áreas de aplicação no campo da Arqueologia,. Em primeiro, a sua capacidade de integração de diversos tipos de dados em grandes volumes, dependendo do seu tipo e do *hardware* do *smartphone* em questão, possibilita o seu uso para o armazenamento e acesso de informações em contexto de escavação. Por outro lado, trata-se de uma ferramenta de grande potencial para a divulgação do património, permitindo um acesso facilitado a conteúdos didáticos, de forma a instruir um público leigo. O exemplo aqui exposto do protótipo da aplicação do Mosteiro da Batalha, poderá ser o ponto de partida para um projeto futuro, mais ambicioso, que aborde mais áreas do Mosteiro, providenciando uma experiência educativa imersiva. Tal encontrar-se-á apenas dependente dos recursos computacionais dos dispositivos móveis utilizados por cada visitante mas, tendo em conta os avanços que se verificam a cada ano que passa, serão possíveis aplicações cada vez mais complexas e ricas em conteúdos.

Ao longo do texto tentou-se sempre explicar tudo de forma mais clara e concisa possível, incluindo sempre os termos técnicos associados e a sua explicação, para que qualquer pessoa que tenha interesse em desenvolver atividades semelhantes às descritas o possa fazer, absorvendo de forma simples os conceitos aqui expostos, de forma a que estas metodologias sejam cada vez mais aplicadas na Arqueologia em Portugal, tendo em conta o seu enorme potencial.

7. Fontes Consultadas

- Ap-Davies, S. C. (2018). *Dados de satélite como ferramenta de deteção e monitorização de sítios arqueológicos*. Relatório de Estágio do Mestrado em Arqueologia e Território. Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.
- Benko, H., Ishak, E. W., & Feiner, S. (2004). VITA: Visual Interaction Tool for Archaeology. *3rd IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Arlington, VA, USA, 2-5 November 2004. Retrieved from https://www.academia.edu/2793622/VITA_visual_interaction_tool_for_archaeology
- Caudell, T. P., & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: na aplicação de heads-up display technology to manual manufacturing processes. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on Systems Sciences*. Kauai, HI, USA, 7-10 January 1992. pp. 659-669
- Chan, Y. K. & Koo, V. C. (2008) An introduction to synthetic aperture radar (SAR). In Kong, J. A. (Ed.), *Electromagnetic Waves: Progress In Electromagnetics Research B*, Vol. 2, Cambridge, Massachusetts, pp. 27-60;
- Chen, F., Lasaponara, R. & Masini, N. (2015). An overview of satellite synthetic aperture radar remote sensing in archaeology: From site detection to monitoring. *Journal of Cultural Heritage*, 23, 5–11;
- Gomes, S. A. (1990). O Mosteiro de Santa Maria da Vitória no século XV. *Subsídios para a História da Arte Portuguesa*, 33, Instituto de História da Arte, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra
- Grier, R. A. *et al.* (2012). Augmented Reality – Implications toward Virtual Reality, Human Perception and Performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. Boston, Massachusetts, USA, 22-26 October, 2012. pp 1351-1355;
- Linck, R. *et al.* (2013). Possibilities of Archaeological Prospection by High-resolution X-band Satellite Radar – a Case Study from Syria. *Archaeological Prospection*, Vol. 20, Issue 2, pp. 97-108;
- Oliver, C., Quegan, S. (2004). Understanding synthetic aperture radar images. SciTech Publishing, Inc., Raleigh.
- Pinto, I. V., Magalhães, A. P. & Brum, P. (2011). O Complexo Industrial de Tróia Desde os Tempos dos *Cornelii Bocchi*. In Cardoso, J. L. & Almagro-Gorbea, M. (Eds.), *Lucius Cornelius Bocchus. Escritor Lusitano da Idade de Prata da Literatura Latina*. Colóquio

Internacional de Tróia, 6-8 de Outubro de 2010. Academia Portuguesa da História. Real Academia de la Historia. Lisboa-Madrid, pp. 133-167;

- Pinto, I. V., Magalhães, A. P. & Brum, P. (2014) Ruínas Romanas de Tróia: a valorização de um património singular. *Musa: museus, arqueologia & outros patrimónios*, Vol.4, Setúbal, pp. 29-40;
- Pinto, I. V., Magalhães, A. P. & Brum, P. (2016) Tróia na Antiguidade Tardia. In Encarnação, J. D', Lopes, M. C. & Carvalho, P. C. (Coord.), *A Lusitânia entre Romanos e Bárbaros*, Coimbra-Mangualde, pp. 309-333;
- Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference*. Washington, D.C., 9-11 December 1968. pp. 757-764;
- Waters, N. (1998). Geographic Information Systems, *Encyclopedia of Library and Information Science*, 63, 98-125.
- Waters, N. M. (2017). History of GIS. In: Richardson, D., Castree, N., Goodchild, M. F., Kobayashi, A., Liu, W. and Marston, R. (Eds.), *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment, and Technology*. Wiley: New York.
- Wiley, C. A. (1985). Synthetic Aperture Radars: A Paradigm for Technology Evolution. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Volume: AES-21, Issue 3, pp 440-443;

Links

- Link 1 - QGIS <https://www.qgis.org/en/site/about/index.html>
- Link 2 – OpenLayers <https://openlayers.org/>
- Link 3 – Tróia Resort <http://www.troiareport.pt/ruinas-romanas-de-troia/>
- Link 4 – Candidatura UNESCO <http://whc.unesco.org/en/tentativelists/6223>
- Link 5 – Projeto STORM <http://www.storm-project.eu/pt/projecto/>
- Link 6 – Ficha no Portal do Arqueólogo do Complexo Industrial de Tróia <http://arqueologia.patrimoniocultural.pt/index.php?sid=sitios&subsid=47523>
- Link 7 - Especificações SEASAT <https://www.wmo-sat.info/oscar/satellites/view/394>
- Link 8 - Missão ERS <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-co-missions/ers>
- Link 9 - Missão Envisat <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-co-missions/envisat/mission-summary>

-
- Link 10 - Missão Sentinel-1 <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-1>
 - Link 11 - Missão TerraSAR-X <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/t/terrasar-x>
 - Link 12 – Esquema do tempo de revisita Sentinel-1 e explicação dos diferentes modos de *swath* <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/revisit-and-coverage>
 - Link 13 – Repositório *Copernicus Open Access Hub* <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
 - Link 14 - Repositório Vertex <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>
 - Link 15 - Referência ao preço do Google Glass <https://www.cnet.com/news/brin-google-glass-lands-for-consumers-in-2014/>
 - Link 16 – Mosteiro da Batalha, Lista do Património da Humanidade da UNESCO <http://whc.unesco.org/en/list/264>
 - Link 17 - Projeto *Monumental Polychromy: revealing medieval colours at Batalha* <https://monumentalpolychromybatalha.weebly.com/the-project.html>
 - Link 18 – Unity <https://unity.com/pt>
 - Link 19 – ARKit <https://developer.apple.com/augmented-reality/>
 - Link 20 – ARCore <https://developers.google.com/ar/>
 - Link 21 – Wikitude <https://www.wikitude.com/>
 - Link 22 – Vuforia <https://www.ptc.com/pt/products/augmented-reality>
 - Link 23 – Vuforia *Model Target Generator* <https://library.vuforia.com/content/vuforia-library/en/tools/model-target-generator.html>

ANEXOS

```

1  import 'ol/ol.css';
2  import {Map, View} from 'ol';
3  import GeoJSON from 'ol/format/GeoJSON.js';
4  import {Tile as TileLayer, Vector as VectorLayer} from 'ol/layer.js';
5  import BingMaps from 'ol/source/BingMaps';
6  import {fromLonLat} from 'ol/proj';
7  import {defaults as defaultControls, ScaleLine} from 'ol/control.js';
8
9
10 //Zoom inicial do mapa, centrado em Portugal continental
11 const portugalLonLat = [-8.2812992, 39.4771349];
12 const portugalWebMercator = fromLonLat(portugalLonLat);
13
14
15 //Estilos diferentes de mapa do Bing, há mais, como por exemplo, aerial com layers, etc
16 var bingStyles = [
17   'Aerial',
18   'RoadOnDemand',
19   'Road',
20   'AerialWithLabels',
21 ];
22
23 //Configuração do Bing Maps
24 var layers = []
25 var i, ii;
26 for(i = 0, ii = bingStyles.length; i < ii; ++i){
27   layers.push(new TileLayer({
28     visible: true,
29     preload: Infinity,
30     source: new BingMaps({
31       key: 'A12nieac-FG1FF9EVMS-Owfgqpa-jdHcN-3xIygIOjmx6OKHVMXZT61-VqjBSeq- ',
32       imagerySet: bingStyles[i],
33       maxZoom: 19
34     })
35   }));
36 }
37
38 //Parte da Escala do mapa
39 var scaleLineControl = new ScaleLine();
40
41
42
43 var map = new Map({
44   controls: defaultControls().extend([ //Cont. escala
45     scaleLineControl
46   ]),
47   layers: layers,
48   loadTilesWhileInteracting: true, //Melhora a user experience enquanto se faz drag/zoom, pode deixar o zoom com delays em telemóveis fracos/antigos
49   target: 'map',
50   view: new View({
51     center: portugalWebMercator,
52     zoom: 7
53   })
54 });
55
56 var select = document.getElementById('layer-select');
57 function onChangeLayer() {
58   var style = select.value;
59   for (var i = 0, ii = layers.length; i < ii; ++i) {
60     layers[i].setVisible(bingStyles[i] === style);
61   }
62 }
63 select.addEventListener('change', onChangeLayer);
64 onChangeLayer();
65
66 document.getElementById('export-png').addEventListener('click', function() {
67   map.once('rendercomplete', function(event) {
68     var canvas = event.context.canvas;
69     if (navigator.msSaveBlob) {

```

Anexo 1 – Parte do código fonte do WEBSIG

SENSEOS - MAPA DE RISCO SEMANAL

CLIENTE	DRC ALENTEJO	PERÍODO DE OBSERVAÇÃO	28/01/2019 - 03/02/2019
RESPONSÁVEL TÉCNICO	Tiago Cordeiro	DATA DE SUBMISSÃO	05/02/2019

OBSERVAÇÕES GERAIS	Não se verificaram alterações no período acima indicado em qualquer dos sítios.
--------------------	---

MAPA DE RISCO				
SÍTIOS	RISCO	COORDENADAS	ÁREA	OBSERVAÇÕES
Chacara 2	NORMAL	LAT: 38.147637 LON: -7.898942		
Cidade das Rosas 1	NORMAL	LAT: 37.946348 LON: -7.541836		
Cidade das Rosas 2	NORMAL	LAT: 37.9486 LON: -7.541818		
Cidade das Rosas 3	NORMAL	LAT: 37.94817 LON: -7.545804		
Monte das Cabeceiras 2	NORMAL	LAT: 37.947412 LON: -7.812133		
Monte das Cabeceiras 4	NORMAL	LAT: 37.95434 LON: -7.808553		
Monte do Pombal 1	NORMAL	LAT: 38.068457 LON: -8.095486		
Monte do Pombal 2	NORMAL	LAT: 38.070556 LON: -8.094117		
		LAT: 38.074589		

Anexo 2 – Exemplo de um relatório enviado à DRCALEN a 05/02/2019