

**Cátia Sofia Angelina Barradas**

# **Reconstituição 3D da zona da Campina de Cima**



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**

**Faculdade de Ciências e Tecnologia**

**Instituto Superior de Engenharia**

**2022**

**Cátia Sofia Angelina Barradas**

# **Reconstituição 3D da zona da Campina de Cima**

**Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Geomática**

**Sob a orientação de:**

**Professora Doutora Cristina Veiga-Pires  
Professor Doutor José Rodrigues**



**Faculdade de Ciências e Tecnologia e Instituto Superior de Engenharia**

**2022**

## **Declaração de Autoria:**

Tenho consciência que a cópia ou o plágio, além de poderem gerar responsabilidade civil, criminal e disciplinar, bem como reprovação ou a retirada do grau, constituem uma grave violação da ética acadêmica.

Desta forma, declaro por minha honra ser a autora deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

---

Cátia Barradas

Copyright © Cátia Barradas

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.

## **Dedicatória e Agradecimentos:**

Os meus primeiros agradecimentos vão para os meus orientadores, Professor Doutor José Rodrigues e Professora Doutora Cristina Veiga-Pires. A sua disponibilidade, paciência e incentivo foram a principal razão pela qual consegui levar este trabalho até ao final. Foram sem dúvida incansáveis.

Os meus segundos agradecimentos vão para a minha família, pelo apoio e ajuda. O Hélder além de ser pai e mãe todos os dias em que eu passei mais tempo ao computador do que com ele e os miúdos, também leu e releu este documento, sendo uma ajuda fundamental para a sua conclusão.

Quero também agradecer à TechSalt SA, a empresa para a qual trabalho, e que detém atualmente a concessão da Mina de Sal-Gema de Loulé. Quero agradecer ao Eng<sup>o</sup> Alexandre Andrade pelo fornecimento dos dados, ao Eng<sup>o</sup> Carlos Caxaria pelas facilidades fornecidas que me permitiram realizar este estudo e este trabalho. Agradecer também aos colegas de trabalho, atuais e antigos que me ouviram e me ajudaram na recolha de informação, som e imagem que enriqueceram este trabalho significativamente. Quero agradecer especialmente ao Paulo Serra, pelas estórias que partilhou e teve a amabilidade de gravar e à Câmara Municipal de Loulé pela cedência das cartografias de Loulé.

Quero ainda agradecer ao meu colega André Matos que me atura desde o início desta jornada e que esteve sempre disponível para as minhas crises existenciais.

Por último quero a agradecer à restante família que me apoiou e que não se queixou da minha ausência.

A todos o meu sincero obrigado!

## **Resumo:**

A mina de sal-gema de Loulé é um dos geossítios do aspirante a Geoparque Algarvensis. Um diapiro salino com 230 milhões de anos, encaixado no gesso a cerca de 100 metros abaixo da superfície, minerado desde meados dos anos 1960 é objeto de um StoryMap que conta a história de um local de relevante interesse geológico, com um passado industrial de referência nacional e um potencial geoturístico incontornável.

Este documento visa apresentar as várias fases de desenvolvimento e produção de um StoryMap sobre a mina de sal-gema de Loulé. Este geossítio é apresentado de forma simplificada, com imagem, áudio e vídeo, assim como mapas e ferramentas de visualização da própria plataforma ESRI (Environmental Systems Research Institute), que permitem criar um utensílio de interpretação, visualização e compreensão acessíveis a qualquer utilizador.

O trabalho passou por várias fases de diferente importância, onde destaca-se o tratamento dos dados geográficos disponíveis, com o objetivo de produzir mapas da mina e modelos a três dimensões dos contatos entre as estruturas geológicas e hidrogeológicas na região e o desenvolvimento de um ESRI StoryMap sobre o geossítio mina de sal-gema de Loulé, onde além dos componentes referidos acima tem como função contar a história e as estórias da mina.

Este trabalho permitiu demonstrar a versatilidade dos dados geográficos e do universo ESRI, assim como verificar que os StoryMaps são instrumentos potenciadores da divulgação científica de interpretação fácil e visual, podendo ser olhados como futuros utensílios para a interpretação de geossítios.

Palavras-chave: geossítio, geoparques, mina, storymaps, geologia, dados geográficos.

## **Abstract:**

The Loulé rock-salt mine is one of the geosites of the aspiring Geopark Algarvensis.

A 230 million year old saline diapir, embedded in gypsum about 100 meters below the surface, mined since the mid-1960s, is the subject of a storymap that tells the story of a place of relevant geological interest, with an industrial past of national reference and an unavoidable geotourism potential.

This document aims to present the various stages of development and production of a StoryMap about the Loulé rock-salt mine. This geosite is presented in a simplified way, with image, audios and videos, as well as maps and visualization tools from the ESRI (Environmental Systems Research Institute) platform itself, which allow the creation of an interpretation, visualization and understanding tool accessible to any user.

The work went through several phases of different importance, where the treatment of available geographic data stands out, with the objective of producing mine maps and three-dimensional models of the contacts between the geological and hydrogeological structures in the region and the development of an ArcGIS StoryMaps about Loulé rock-salt mine geosite, which in addition to containing the components mentioned above, it has the function of telling the history and stories of the mine.

This work made it possible to demonstrate the versatility of geographic data and the ESRI universe, as well as to verify that StoryMaps are instruments that enhance scientific dissemination of easy and visual interpretation and can be seen as future tools for the interpretation of geosites.

**Key words:** geosite, geopark, mine, storymaps, geology, geographic data.

# INDICE:

1.	Introdução e Enquadramento .....	1
2.	O Geossítio Mina de Sal-Gema de Loulé .....	4
2.1	Geoparques e Geossítios .....	4
2.2	Geologia da Bacia Algarvia e do Diapiro de Loulé.....	7
2.3	Geossítio Mina de Sal-Gema de Loulé.....	13
3.	Sistemas de Informação Geográfica e Aplicações .....	18
3.1	Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	18
3.2	Superfícies e a sua visualização a três dimensões .....	23
3.3	StoryMaps .....	27
4.	Metodologia e Dados .....	29
4.1	Recolha e Apresentação de Dados .....	29
4.2	Metodologia .....	35
4.3	Construção da narrativa .....	40
4.4	Recursos Multimédia.....	42
5.	Implementação StoryMap.....	43
6.	Análise e Discussão de Resultados .....	46
6.1	Sondagens geológicas e hidrogeológicas .....	46
6.2	Produção dos modelos a três dimensões .....	47
6.3	Utilização do ArcGIS StoryMaps.....	48
7.	Conclusões.....	50
	Referências Bibliográficas .....	53
	Anexo 1 – Listagem de Sondagens .....	56
	Anexo 2 – Registos das Sondagens TD1, TD2 e TD3 .....	57
	Anexo 3 – Secção de planta do nível 1 .....	61

# Índice de Figuras:

Figura 1: Mapa dos Geoparques Mundiais registados pela UNESCO em 2021 (fonte: WWW.UNESCO.ORG). .....	5
Figura 2: Logotipo do aspirante a Geoparque Algarvensis.....	5
Figura 3: Representação da orientação do movimento das placas tectónicas, focando atenção na placa Euroasiática e na sua influência sobre a zona que hoje conhecemos como Península Ibérica (fonte: Pedro Teixeira – O Diapiro de Loulé, Estudo Geofísico do Sal-gema da Mina Campina de Cima– Tese de Mestrado).....	7
Figura 4: Localização dos diapiros que constituem o Complexo Evaporítico da bacia Algarvia. (fonte: Pedro Teixeira – O Diapiro de Loulé, Estudo Geofísico do Sal-gema da Mina Campina de Cima – Tese de Mestrado (adaptado de Ramalho, 1988)). .....	8
Figura 5: Mapa Geológico simplificado da Bacia Algarvia (Fonte: Oliveira et al, 1992 (adaptado da folha sul da Carta Geológica de Portugal à escala 1/500 000)).....	9
Figura 6: Secção Geológica realizada na área do diapiro de Loulé com base na informação obtida a partir de afloramentos e poços de prospeção (fonte: Pedro Teixeira – O Diapiro de Loulé, Estudo Geofísico do Sal-gema da Mina Campina de Cima – Tese de Mestrado (adaptado de Aguiar (1964), em Davidson et at (2016))). .....	10
Figura 7: Trabalhos de montagem de tapetes para o transporte de minério. (Foto por Paulo Serra, antigo trabalhador da mina). .....	15
Figura 8: Os primeiros trabalhos com a roçadora, tiveram início em 1982, quando o Diretor Técnico era o Engº Faísca (Foto por Carlos Faísca antigo trabalhador da mina). .....	16
Figura 9: Representação de um local geográfico através de dados raster. (fonte: <a href="https://desktop.arcgis.com">https://desktop.arcgis.com</a> ). .....	23
Figura 10: Facas triangulares de um TIN (fonte: <a href="https://desktop.arcgis.com">https://desktop.arcgis.com</a> ). .....	24
Figura 11: Exemplo de um TIN, no caso da secção da carta militar onde se enquadra a mina de sal-gema (606) obtida no software ArcMap. ....	25
Figura 12: Exemplo de um modelo vazio, pronto para edição de um ESRI StoryMap (fonte: <a href="https://storymaps.arcgis.com">https://storymaps.arcgis.com</a> ).....	28
Figura 13: Mapa de localização das sondagens geológicas listadas na tabela 1. ....	30
Figura 14: Layout da mina de sal-gema de Loulé (fonte: Tech Salt SA). ....	33
Figura 15: Mapa com as digitalizações dos edifícios de referência, obtido no ArcMap. ....	34
Figura 16: IDW do sal-gema e do gesso na área ocupada pela mina de sal-gema de Loulé, obtido no ArcMap. ....	35
Figura 17: Visualização final com as superfícies de contato entre as estruturas geológicas e hidrogeológicas a três dimensões, assim como a mina de sal-gema de Loulé e o ortofotomapa da superfície (imagem produzida no software ArcScene). .....	36
Figura 18: Estrutura em fishnet a 2D e estrutura em fishnet a 3D após a aplicação do buffer. ....	37
Figura 19: Do lado esquerdo imagem do ortofotomapa com área ocupada pela exploração minera. Do lado direito a imagem apresenta o detalhe dos edifícios de referência (obtido no Arcscene). ....	38
Figura 20: Registo fotográfico dos antigos mineiros (fotografia fornecida por Carlos Faísca). ....	41
Figura 21: Apresentação dos capítulos do ESRI StoryMap "A Mina de sal-gema - Uma história com 230 milhões de anos". .....	43
Figura 22: QR code do lugar na internet do ESRI StoryMap. ....	49

## **Índice de Tabelas:**

**Tabela 1:** Listagem das sondagens geológicas utilizadas.....29

**Tabela 2:** Listagem das sondagens de captação de água utilizadas.....31

# 1. Introdução e Enquadramento

Os geoparques podem ser motores de desenvolvimento de locais economicamente importantes no passado, mas que na atualidade enfrentam desafios associados à modernidade, no que diz respeito à fixação de pessoas, oportunidades de trabalho e desenvolvimento tecnológico. Locais de natureza mais rural onde o isolamento e desertificação da área mais interior de uma região contrasta com o sobrepovoamento e exagero turístico das áreas costeiras, promovendo um isolamento e separação evidente muitas vezes dentro de um mesmo concelho (Ramsay, 2017). Os geoparques permitem estimular o desenvolvimento local em regiões mais isoladas e com menos oportunidades de trabalho, valorizando os recursos disponíveis, identificando locais de interesse geológico e industrial, assim como costumes e tradições associados, motivando a visita de locais normalmente excluídos dos circuitos de turismo tradicionais. A mina de sal-gema de Loulé, é um bom exemplo de um local de interesse geológico e industrial que normalmente não era possível de visitar livremente, onde apesar de manter a laboração, tem hoje, um nível de atividade muito inferior ao vivido no passado. É reconhecidamente um local de elevado interesse geológico com evidências da tectónica regional, permitindo-lhe a classificação de geossítio do aspirante a Geoparque Algarvensis.

A escolha da mina de sal-gema de Loulé como o geossítio alvo desta dissertação surge de forma natural pois faço parte deste projeto desde 2005 e o mestrado em Geomática ter possibilitado a obtenção de conhecimentos e de ferramentas necessárias para contar a história de um espaço polivalente e de elevado interesse geológico. Com o início dos trabalhos de uma candidatura para a implementação de um geoparque da UNESCO nos concelhos de Loulé, Albufeira e Silves, surgiu a oportunidade de desenvolver um processo narrativo de um local normalmente inacessível, abordando a sua história, geologia e estrutura, com recurso a mapas, plantas e ferramentas de georreferenciação, tendo como objetivo final produzir um instrumento de divulgação científica atrativo ao público não especializado, interativo e capaz de traduzir um relação tridimensional entre a estrutura mineira e a cidade de Loulé.

Na mina de sal-gema de Loulé, explora-se uma estrutura intrusiva, conhecida por diapiro, onde uma rocha menos densa e mais plástica, neste caso o sal-gema envolto por gesso, ambas rochas evaporíticas, preenche um anticlinal de rocha encaixante, no caso o calcário.

A apresentação de informação geológica no geral, é levada atualmente a cabo, recorrendo a plataformas online de utilização comum na área dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Estes sistemas recentes, com ferramentas inovadoras, permitem transformar simples mapas em ferramentas de trabalho, de transmissão de conhecimento à comunidade. Nos últimos tempos verificou-se um salto tecnológico nesta temática, no entanto, durante muitos anos, desde o seu aparecimento, foram pouco utilizados, por razões fundamentalmente associadas à tradição da impressão e aos preços e desempenho dos equipamentos e software necessários para o seu processamento (Duarte, 2018). A situação atual é bastante diferente, já que o preço de equipamentos e software baixou substancialmente, o desempenho ampliou a capacidade de processamento e a literacia tecnológica aumentou significativamente dentro da comunidade, potenciando assim o interesse por este tipo de sistemas. A era digital está totalmente instalada e ferramentas como o Google Earth ou os StoryMaps, vieram permitir a visualização e análise simplificada de estruturas complexas nas áreas científicas mais variadas, com recurso a mapas, imagens e vídeos, tornando a ciência acessível a todos e o cientista o narrador desta história. Nesta área, boa parte das ferramentas disponíveis surgem sobre o cunho da ESRI, mas cada vez mais é possível encontrar softwares livres onde trabalha-se com a mesma precisão e qualidade que a ESRI disponibiliza e na maioria das vezes com ligações estreitas com plataforma mais “*user friendly*” e bastante mais conhecidas do público em geral como o Google Earth. Atualmente Lucas Setijadji (Setijadji, 2003) é uma referência nesta área e já compilou boa parte da informação disponível na área da aplicação do SIG às Geociências, de forma a facilitar o acesso a toda a informação e ferramentas necessárias para a análise geoespacial com aplicação à geologia.

Os dois primeiros capítulos deste documento, abordam a pesquisa bibliográfica especificamente na área da geologia, hidrogeologia e ferramentas geoespaciais disponíveis, que permitiram avançar para a produção de um ArcGIS StoryMaps como a melhor solução para a narrativa que se pretendia contar.

Nos capítulos seguintes, os capítulos três e quatro, é apresentado todo o processo de aquisição, tratamento e modelação de dados que culminaram com a produção do ArcGIS StoryMaps. São discriminadas as análises realizadas, as decisões tomadas no que diz respeito aos dados utilizados e os processos de tratamento e modelação utilizados durante o processo. São desenvolvidos os processos dentro do software utilizado com a identificação dos passos mais relevantes e apresentação dos resultados antes e depois da modelação tridimensional.

O capítulo cinco é totalmente dedicado à criação, desenvolvimento e produção de um ArcGIS StoryMaps, sequenciando os processos e identificando os diferentes conteúdos e recursos utilizados.

Os últimos dois capítulos, seis e sete, retratam a análise do processo criativo, assim como os métodos utilizados e uma reflexão crítica, tanto das ferramentas utilizadas, como do produto final, permitindo concluir a viabilidade do ArcGIS StoryMaps produzido assim como das melhorias possíveis e da sua aplicabilidade futura.

A criação de StoryMaps permite a visualização de mapas e informação científica de forma simplificada e interativa, neste caso de fenómenos geológicos e locais de interesse visitáveis, pela comunidade não especialista, como ocorrerá no aspirante a Geoparque Algarvensis, podendo esta ser uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento do modelo interpretativo dos restantes geossítos, tendo a possibilidade de ser replicada e aplicada a todos os locais que se classifiquem como válidos para uma narrativa científica simplificada mas apelativa aos visitantes.

## 2. O Geossítio Mina de Sal-Gema de Loulé

### 2.1 Geoparques e Geossítios

Os Geoparques Mundiais da Unesco são áreas únicas onde locais e paisagens de relevância geológica internacional são geridos numa conceção holística de proteção, educação e desenvolvimento sustentável. Um geoparque é um conceito de desenvolvimento territorial que inclui todas as áreas relevantes de uma área inicialmente valorizada pelo seu património geológico (Rodrigues, *et al*, 2020).

Normalmente este reconhecimento promove a preservação, valorização e desenvolvimento sustentável destes locais, aliando a investigação científica da geodiversidade, à valorização das tradições, ritos e hábitos, tornando-se possível conservar, preservar, educar e desenvolver regiões normalmente mais isoladas, com menos relevância económica no país.

Na segunda metade dos anos 1990 surgem as primeiras referências à possibilidade da criação de geoparques na Europa. Durante uma conferência sobre proteção do património geológico, as preocupações acerca da pressão turística que surgiram numa determinada região, levaram à identificação de territórios relevantes geologicamente e à sua proteção, e promoção para fins científicos, educacionais e culturais associando a estes projetos a exploração turística (Zouros, 2004). Em 2001, partindo da já constituída “*European Geopark Network*”, onde estão estabelecidos os critérios, princípios e características de funcionamento de um geoparque mundial, a UNESCO apresenta o conceito de geoparque em 2001 (Briggs, 2021). Desta forma, fora da Europa, outros países começam a usar as diretivas da UNESCO para identificar e transformar territórios relevantes em geoparques, onde é evidente o impacto positivo da sua implementação. A China é um bom exemplo, de como zonas rurais tornaram-se mais atrativas em termos turísticos e por consequência mais competitivas em termos económicos, ao recorrerem à valorização de territórios, criando geoparques. (Xun, 2003)

Um geoparque baseia-se na comunidade e na sua identidade cultural para promover a educação, geoconservação e desenvolvimento sustentável de uma região, de uma forma até então nunca utilizada. Um conceito que colocou no dicionário comum a geoconservação, os geoprodutos, a geodiversidade, o “*geofood*” e o geoturismo e que permitiu a regiões mais remotas, isoladas e muitas vezes esquecidas dos territórios um reconhecimento público e uma visibilidade dificilmente atingida sem esta ferramenta. (Rodrigues, 2020)

O conceito de geoparque foi facilmente aceite e com base em dados de 2021, no mundo, existem 169 geoparques registados em 44 países, como é possível identificar na Figura 1 (Unesco.org).



**Figura 1:** Mapa dos Geoparques Mundiais registados pela UNESCO em 2021 (fonte: WWW.UNESCO.ORG).

Em 2019 a Comissão Nacional da UNESCO reconheceu oficialmente o aspirante a Geoparque Algarvensis (Figura 2) e desde então tem-se vindo a trabalhar, na promoção, valorização e dinamização de um território com vasto património natural e cultural, com o intuito final da geoconservação e desenvolvimento socioeconómico sustentável, de um algarve normalmente desconhecido do frenesim turístico.



**Figura 2:** Logotipo do aspirante a Geoparque Algarvensis.

As estrelas de um geoparque são os geossítios, locais de elevado interesse geológico, paleontológico ou mineiro. Estes locais acabam por ser os principais responsáveis pela valorização inicial do território, os que permitem aspirar a uma integração da parcela do território como geoparque.

O aspirante a Geoparque Algarvensis apresenta até ao momento dez geossítios, com interesse geológico, paleontológico e mineiro.

Os vários geossítios do aspirante a Geoparque Algarvensis permitem contar a história geológica de um território rico onde são identificados geossítios de relevância internacional, regional e local. O conceito do Geoparque Algarvensis surge associado à descoberta de uma espécie de anfíbio pré-histórico único de mundo, o *Metoposaurus algarvensis*. Um geoparque necessita de ter no seu território, pelo menos um geossítio de relevância internacional e um geossítio de relevância nacional, sendo neste caso um exemplo, a mina de sal-gema de Loulé.

## 2.2 Geologia da Bacia Algarvia e do Diapiro de Loulé

A Bacia Algarvia ou Bacia do Algarve, define-se como uma bacia sedimentar com orientação Este-Oeste, onde depositaram-se desde o período Triássico, cerca de 4000m de sedimentos (Manuppella *et al*, 1992), acomodando os terrenos mesocenozóicos no sul do país, que estendem-se desde o cabo de São Vicente até ao rio Guadiana, atingindo a região espanhola de Ayamonte, numa extensão de cerca de 140km, penetrando no interior da região ao longo de terrenos de idade Carbonífera da Zona Sul Portuguesa (Terrinha *et al*, 2013). Localiza-se no extremo sudoeste da Placa Euroasiática, enquadrada na Península Ibérica, identificada na Figura 3 a amarelo. Aquando da formação da Península Ibérica, durante o Mesozóico, esta região foi considerada uma microplaca, a Ibéria, por apresentar movimento relativamente independente, controlado pelas placas continentais de fronteira, a Euroasiática e a Africana (Terrinha, 1989). A formação da Bacia Algarvia é contemporânea de outras bacias vizinhas, no Norte de África e mesmo na Península Ibérica como é o caso da Bacia Lusitana que apresenta bastantes similaridades geotectónicas com a Bacia Algarvia (Terrinha, 1989).

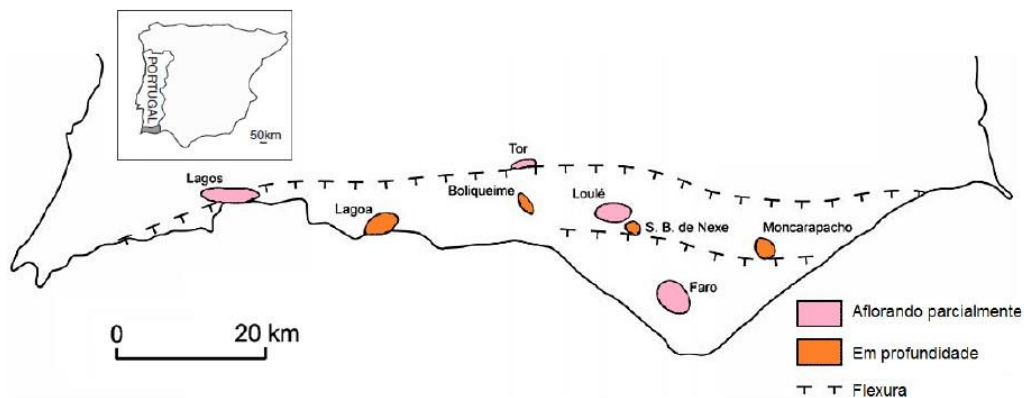


**Figura 3:** Representação da orientação do movimento das placas tectónicas, focando atenção na placa Euroasiática e na sua influência sobre a zona que hoje conhecemos como Península Ibérica (fonte: Pedro Teixeira – O Diapiro de Loulé, Estudo Geofísico do Sal-gema da Mina Campina de Cima– Tese de Mestrado).

Segundo Terrinha *et al.* (1998) a Bacia do Algarve insere-se no contexto geodinâmico da evolução dos Oceanos Atlântico e Tétis Ocidental, onde hoje é possível identificar o Mar Mediterrâneo, e a evolução da Margem Continental Sul e Sudoeste Portuguesas.

Durante o período que decorreu entre o Triássico, há cerca de 230 milhões de anos e o Cretácico, há cerca de 100 milhões de anos, ocorreu uma fase distensiva na qual verificou-se a fragmentação do supercontinente Pangeia, provocada por atividade tectónica. Esta fragmentação, gerou a separação do supercontinente nas placas continentais que identificamos hoje como Africana e Euroasiática, identificáveis na Figura 3 e as Placas Americanas.

Durante o período Jurássico Inferior, há cerca de 200 milhões de anos, o processo de fragmentação da Pangeia gerou estiramentos da crosta terrestre, responsáveis pela ocorrência de fraturas com orientação Este-Oeste, provocando a ascensão de magma da qual é possível encontrar, ainda hoje evidências, ao longo de todo o território da Bacia Algarvia, na forma de rochas magmáticas (Teixeira, 2017). Durante este processo ocorre paralelamente um afundamento de algumas áreas da Bacia Algarvia, provocando a entrada de água salgada que acabou por evaporar, dadas as condições climáticas na altura, associadas à localização mais equatorial da região, permitindo a precipitação de grandes quantidades de sal e gesso. Numa época posterior, durante o Jurássico Médio, há cerca de 170 milhões de anos, dá-se a migração das massas de sal previamente formadas, que pelo facto de serem estruturas plásticas, ascendem tendencialmente à superfície através de zonas fraturadas, quando sujeitas a pressão associada à atividade tectónica. Estas estruturas, os diapiros, são muito comuns na Bacia Algarvia e constituem o Complexo Evaporítico da Bacia Algarvia (Ramalho, 1988), como é possível verificar através da Figura 4.



**Figura 4:** Localização dos diapiros que constituem o Complexo Evaporítico da bacia Algarvia. (fonte: Pedro Teixeira – O Diapiro de Loulé, Estudo Geofísico do Sal-gema da Mina Campina de Cima – Tese de Mestrado (adaptado de Ramalho, 1988)).

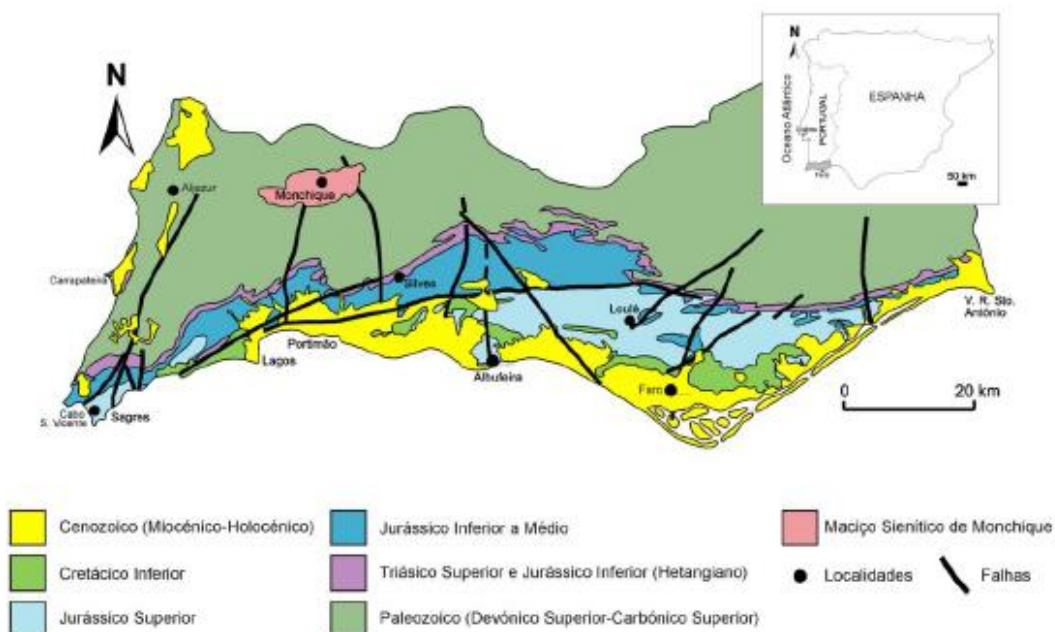
Durante o Cretácico Superior, há cerca de 93 milhões de anos, mais precisamente no fim do Cenomaniano, ocorreu a inversão tectónica responsável pelo término do regime de bacia sujeita a um regime distensivo transformando-se num regime convergente, alteração que provocou a mudança de trajetória no deslocamento da placa Africana em relação à Euroasiática, gerando movimentos de colisão e subducção entre ambas (Terrinha *et al.*, 2006). Durante este mesmo

período verifica-se também a ocorrência do maciço magmático de Monchique, na zona oeste dos terrenos, com mais de 500 milhões de anos, de idade Paleozoica (Teixeira, 2017). Durante o período Cretácico verifica-se ainda a ocorrência de três fases de avanço e recuo do nível do mar, onde ocorrem intercalações entre erosão continental e deposição marinha (Ramalho, 1988).

Segundo Teixeira, (2017) quase todo o Cretácico Superior e todo o Paleogénico, entre os 65 milhões de anos e os 25 milhões de anos, estão em falta nos registos geológicos da região.

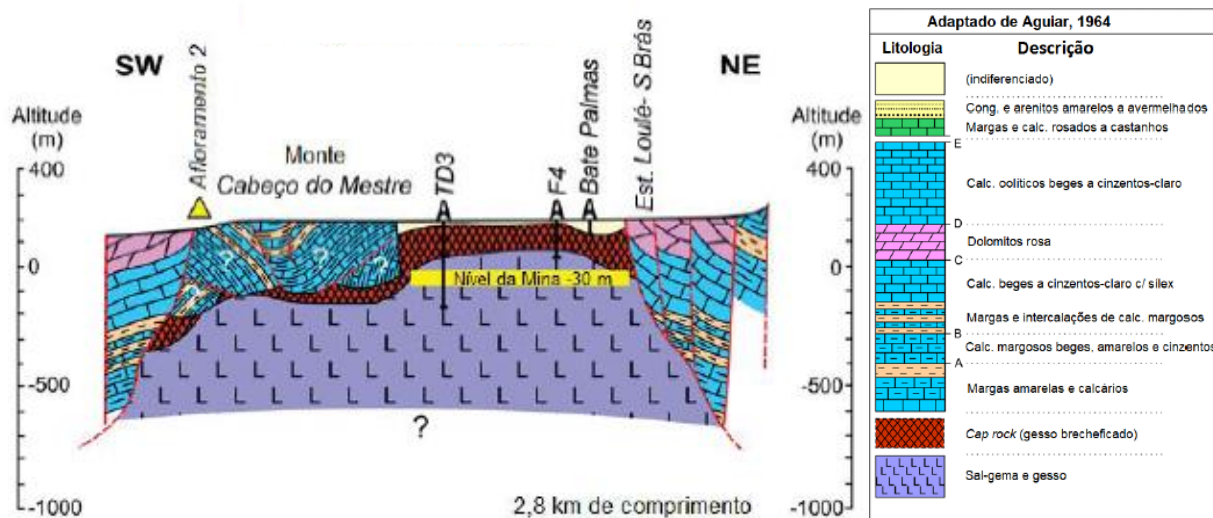
A colisão entre placas continentais Africana e Euroasiática que fizeram-se sentir na Bacia Algarvia, deixaram marcas da atividade compressiva desde o fim do Cretácico até ao Mioceno. Estes efeitos associados à compressão Alpina, pertencente à Orogenia Alpina, fez-se sentir maioritariamente durante o Oligoceno e o Mioceno, e marcaram internamente as estruturas da bacia algarvia, onde se registam cavalgamentos Norte-Sul. Segundo Terrinha, *et al* (1998), a compressão N-S que se fez sentir nesta altura criou um conjunto de falhas com a direção NE-SW e NW-SE assim como dobramentos com vergência para sul que consequentemente levou à formação de blocos no interior da Bacia Algarvia, como se pode identificar na Figura 5, onde é apresentado um mapa geológico da Bacia Algarvia na atualidade mostrando os diferentes terrenos e as principais falhas mencionados anteriormente.

Segundo Terrinha, *et al* (1998), de uma forma geral, toda a Bacia Algarvia é atualmente um monoclinal com duas flexuras ou dobras principais, com orientação Este-Oeste, como é possível identificar na Figura 5.



**Figura 5:** Mapa Geológico simplificado da Bacia Algarvia (Fonte: Oliveira et al, 1992 (adaptado da folha sul da Carta Geológica de Portugal à escala 1/500 000)).

Os estudos detalhados da tectónica do diapíro de Loulé, identificado na Figura 4, levados a cabo por Terrinha, *et al* (1990) assumem que o início da ascensão deste, deverá ter ocorrido entre o Jurássico Médio, há cerca de 170 milhões de anos e o Cretácico Superior, há cerca de 100 milhões de anos. Sabendo que no final do Cretácico, há 66 milhões de anos, os calcários de Faro, tinha uma espessura estimada de 1400 metros, segundo Manupella (1988), julga-se que terá sido este facto o responsável pela ascensão do diapíro, visto o sal-gema ser muito menos denso que o calcário. Atualmente o diapíro de Loulé, de idade Hetangiana, com cerca de 200 milhões de anos, está encaixado entre as sequências de calcários e dolomitos do Jurássico, com cobertura de sedimentos do Plio-Holocénico e um *caprock* constituído por gesso e anidrite, estrutura impermeável que impede a dissolução do domo salino, pela passagem da água dos aquíferos alojados nos calcários. Estima-se que este *caprock* tenha resultado exatamente de uma dissolução inicial da estrutura salina e envolve o topo e os flancos do diapíro, como é possível identificar na Figura 6.



**Figura 6:** Secção Geológica realizada na área do diapíro de Loulé com base na informação obtida a partir de afloramentos e poços de prospeção (fonte: Pedro Teixeira – O Diapíro de Loulé, Estudo Geofísico do Sal-gema da Mina Campina de Cima – Tese de Mestrado (adaptado de Aguiar (1964), em Davidson et al (2016))).

Em termos hidrogeológicos (Terrinha, 2006), o Aquífero Querença-Silves é o aquífero mais importante na região de Loulé, onde as formações geológicas dominantes em termos hidrogeológicos, são os Calcários de Alte (Formação de Picavessa) do Jurássico Inferior, os Calcários e Dolomitos de Almádena do Jurássico médio, os Calcários de S. Romão, da Jordana e do Cerro da Cabeça, do Jurássico Superior, é de referir que estes últimos são bioconstruídos.

Há ainda referências aos Dolomitos e Calcários Dolomíticos de Santa Bárbara de Nexe do Jurássico superior, assim como os Calcários do Escarpão e com *Anchispirocyclus lusitanica*, da mesma idade.

Os Calcários de Alte (Formação Picavessa) iniciam-se com uma brecha dolomítica seguida por maciços cristalinos de dolomitos e calcários dolomíticos. É de referir que nestas estruturas também ocorrem fenómenos de desdolomitização, associados provavelmente a fenómenos de meteorização. (Manuppella, 1992).

A esta formação sobrepõem-se os Calcários e Dolomitos de Almádena, que são constituídos por cerca de 75 metros de dolomitos cristalinos branco-rosados e cerca de 50 metros de calcários oolíticos, biotérmicos e dolomíticos atribuídos ao Aaleniano-Bajociano (Rocha, 1976).

Os Calcários de S. Romão apresentam-se como um espesso bloco carbonatado com cerca de 400 metros de idade Oxfordiana a Kimeridgiana e de onde destacam-se os calcários oolíticos. (Manuppella, 1992).

Os Calcários de Jordana, apresentam nódulos de Silex e são de idade Kimeridgiana, apresentam-se compactos e um pouco argilosos, são normalmente cinzentos, em tons escuros, com bastantes silicificações. Segundo Manuppella (1992), apresentam espessura variável, mas podem atingir espessuras próximas dos 100 metros.

Os Calcários do Cerro da Cabeça, são bioconstruídos, do período Kimeridgiano, e apresentam-se em bancadas de calcários compactos, cinzentos a rosados com algumas passagens de brechas. Apresentam uma espessura que pode variar entre os 30 e os 70 metros.

Os Calcários dolomíticos de Santa Bárbara de Nexe, são essencialmente bancadas espessas de dolomitos e calcários dolomíticos de cor rosada, associados aos Calcários Bioconstruídos do Cerro da Cabeça, do Kimeridgiano.

Os Calcários do Escarpão caracterizam-se pela alternância de calcários compactos, calcários argilosos, calcários nodulares e margas e por vezes com ocorrência de fósseis *Anchispirocyclus lusitanica*, (Manuppella, 1992).

O sistema aquífero Querença – Silves divide-se em dois domínios de características diferentes: a norte da flexura de Algibre aflora uma grande extensão de rochas do Jurássico inferior, em monoclinal inclinado para Sul e ao longo da flexura de Algibre, apresenta-se uma faixa de terrenos do Jurássico superior a oriente e médio a ocidente, com bastante fracturação. É ainda possível definir nesta estrutura várias dobras de eixos ENE-WSW a ESSE-WNW (Terrinha, 1998).

São visíveis, segundo Manuppella (1992) um conjunto de falhas em geral orientadas ENE-WSW, com maior expressão no bloco do Jurássico inferior. A fracturação NW-SE expressa-se

essencialmente pela falha S. Marcos da Serra – Quarteira que atravessa o sistema aquífero diagonalmente e um conjunto de falhas que atravessa o Jurássico superior a sudeste de Paderne. Segundo Manuppella (1992) e Terrinha (1998) a falha de Algibre é um cavalgamento em que o Jurássico inferior se sobrepõe ao Jurássico superior.

O sistema aquífero estende-se por uma área de 318 km<sup>2</sup> com direção E-W, entre Estômbar e Querença, apresentando-se limitado a Norte pelos Grés de Silves e a Sul pelos calcários margosos e margas do Caloviano-Oxfordiano-Kimeridgiano (Andrade, 1989). É um sistema aquífero cársico confinado. Como consequência da estrutura tectónica das formações referidas o sistema aquífero divide-se em subunidades que apresentam comportamento hidráulico distinto. Exemplos deste facto são, a Fonte Grande em Alte, a Fonte de Salir e a da Benémola, que representam as nascentes mais importantes do Algarve Central.

É ainda de referir que este sistema apresenta uma produtividade bastante elevada, com caudais de exploração na ordem dos 12,1 L/s em média.

Na localização concreta do diapiro de Loulé, o aquífero de influência enquadra-se no sistema de aquíferos indiferenciados, que enquadram-se geologicamente nos mesmo aspetos do aquífero Querença-Silves mas são massas de água de pequena dimensão geralmente menos produtivas, não tendo assim a relevância do referido Querença-Silves, o recurso de água subterrâneo do concelho de Loulé.

### 2.3 Geossítio Mina de Sal-Gema de Loulé

O cloro não existe isolado na natureza, no entanto é um elemento abundante na forma molecular, em conjunto com outros elementos. São conhecidos 380 minerais com cloro, no entanto a única matéria-prima que permite a sua extração de forma economicamente viável é a halite, também conhecida por cloreto de sódio.

As minas de sal-gema são um dos locais mais comuns para a exploração de halite e a indústria do cloro é a principal consumidora de sal-gema. Submetendo uma salmoura de sal-gema a um processo de eletrólise é possível isolar o cloro que depois é utilizado nas mais diversas funções, como na produção de PVC ou vinil, mas também na purificação de água, em solventes ou até mesmo na produção de pasta de papel. Há ainda compostos de cloro que são utilizados em centenas de medicamentos, o que demonstra o valor e importância que o cloro têm nas nossas vidas (Moura, 2020).

Os jazigos minerais ricos em sal-gema ou halite, são designados de evaporitos e são constituídos por sais que originam-se por precipitação de água superficial ou superficial saturada (Warren, 2006), através de processos hidrogeológicos resultantes da evaporação sob a ação do sol, já abordados anteriormente. O sal-gema pode constituir camadas sedimentares, domos salinos ou diapiros.

Na mina Campina de Cima explora-se, desde 1964, um diapiro salino que estende-se por baixo da cidade de Loulé. Esta exploração deve a sua existência à ocorrência de um período de seca ocorrido no final dos anos 50, que levaram os donos do terreno, onde se enquadra a atual concessão mineira, a procurar água a maiores profundidades, afundando os poços existentes.

Na época, os terrenos de cobertura eram ocupados por uma grande quinta agrícola que necessitava de água para manter a sua produção agrícola e pecuária. A ocorrência de água salgada nas colunas dos equipamentos de sondagem levantou a possibilidade da ocorrência de sal-gema. Após um conjunto de sondagens geológicas, essa possibilidade foi comprovada e foi feito um pedido de autorização para a exploração do recurso geológico sal-gema, por dois industriais locais.

O sal-gema do diapiro de Loulé, é maioritariamente halite (NaCl), sendo um sal-gema com uma pureza média de 93,5% com pequenas oscilações até aos 95%. É uma rocha normalmente de cor rosada e a sua coloração depende da quantidade de impurezas presentes que variam normalmente entre silvite (KCl), carnalite ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$ ), anidrite ( $\text{CaSO}_4$ ), gesso e argila. Este tipo de sal-gema é normalmente utilizado na indústria química, indústria alimentar animal e na segurança rodoviária durante o inverno.

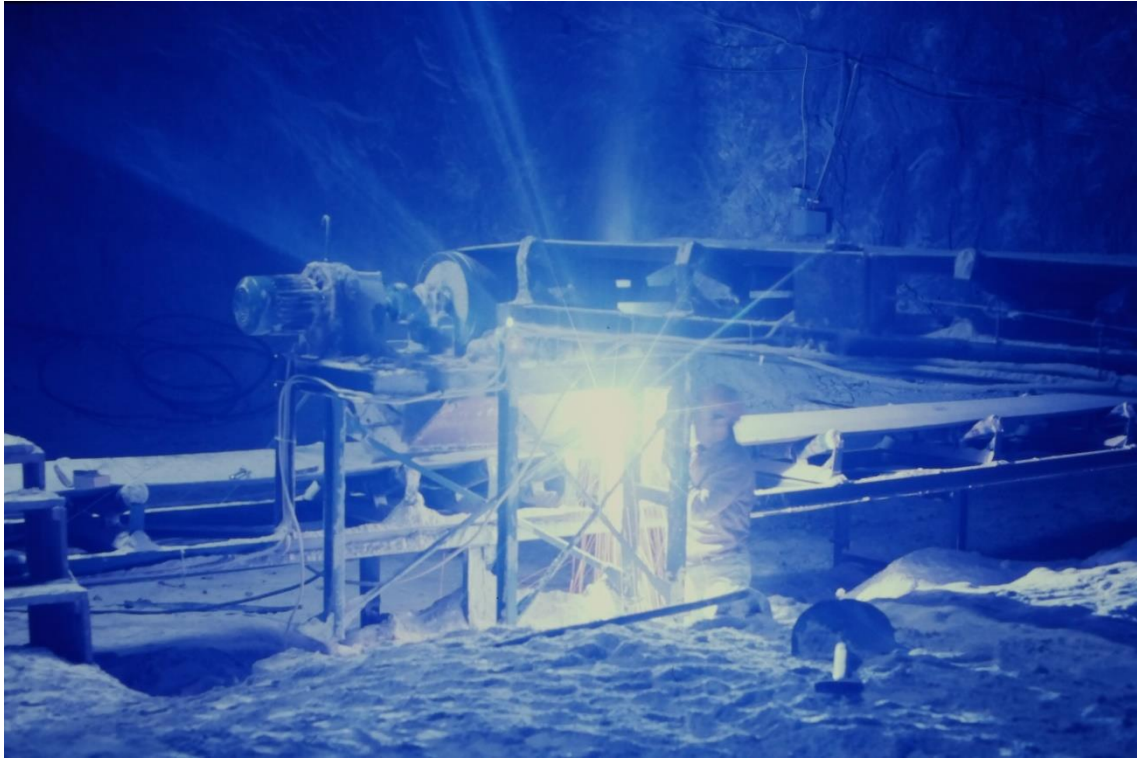
A possibilidade da venda do sal-gema para a indústria química, foi o que despoletou o interesse dos dois industriais locais, que rapidamente estabeleceram contactos com uma fábrica de produtos químicos, situada no Lavradio, na região de Lisboa, pertencendo na altura ao Grupo José de Mello.

Os trabalhos de exploração iniciaram-se a 7 de janeiro de 1964, com a execução de dois poços, com duas equipas a trabalhar em simultâneo.

Só em meados de 1967 os dois industriais conseguiram que a concessão lhes fosse atribuída, tendo todos os trabalhos realizados até então sido considerados trabalhos de prospeção, preparação e traçagem. Os trabalhos de prospeção consistem no reconhecimento geológico e na pesquisa da jazida mineral, onde é ainda avaliado o potencial de exploração do recurso geológico, neste caso, o sal-gema. Os trabalhos de preparação passam pelo projeto de desenvolvimento e o plano de exploração, terminando com os trabalhos de traçagem que apresentam um plano inicial de exploração, definindo áreas a explorar e método de exploração, definindo técnicas a utilizar e previsão de avanços de exploração.

A mina arrancou a sua exploração, com recurso a explosivos, como todas as minas em atividade em Portugal, na época. No entanto talvez por ter iniciado a sua atividade numa fase mais moderna da exploração mineira, acabou por ser pioneira na utilização de novas técnicas em termos de desmonte, recorrendo a um explosivo civil pouco utilizado na altura, de nome ANFO (Ammonium Nitrate/Fuel Oil), uma mistura simples e barata de nitrato de amónio, um fertilizante de utilização comum e gasóleo. O ANFO revelou-se bastante eficaz no desmonte de sal-gema com taxas de eficácia elevada e facilidade no manuseamento e armazenagem.

No que se refere ao transporte, também em Loulé se optou pela não utilização do comum transporte por carril, tendo sido a primeira mina no país a colocar veículos a diesel no interior de uma instalação subterrânea, para tal necessitou de equipar os seus camiões com um sistema catalítico, novidade que só surgiu nos carros de uso comum, nos Estados Unidos em 1975, mas que só se tornou obrigatória em Portugal e na maioria dos países da Europa em 1992. Ainda dentro da temática do transporte de minério, mais tarde, a mina equipou-se com sistemas de transporte interno por tapete rolante (Figura 7) que complementam o já referido transporte por veículos a diesel, apresentando assim um sistema misto de transporte do minério por camião, entre equipamentos de desmonte e de processamento e transporte mecânico por tapete rolante entre equipamentos de processamento, nomeadamente, crivos e moinhos.



**Figura 7:** Trabalhos de montagem de tapetes para o transporte de minério. (Foto por Paulo Serra, antigo trabalhador da mina – entre 1980 e 1985).

Os equipamentos de transporte instalados em ambos os poços foram mais uma inovação aplicada na mina. Nos anos 60, do século XX, o sistema de guiamentos utilizado em todas as minas portuguesas, consistia numa estrutura rígida e fixa, de guiamento tipo carril vertical. Em Loulé, após a observação de vários sistemas, optou-se pelo utilizado em algumas minas inglesas, um sistema de guiamentos flexíveis, ou seja, cabos fixos no cavalete e no fundo do poço e com um sistema de tambor elétrico, com enrolamento simultâneo em contrapeso (comunicação pessoal, 2021).

A última inovação da mina foi a introdução de roçadoras de ataque pontual, tendo iniciado a sua atividade pela primeira vez, em 1982. A Figura 8 é um registo de um dos primeiros trabalhos desenvolvidos com recurso à roçadora, com a coordenação do Eng<sup>o</sup> Manuel Faísca, diretor técnico da altura. A introdução deste tipo de equipamentos permitiu o abandono completo dos explosivos, como método de desmonte, em 1989.



Figura 8: Os primeiros trabalhos com a roçadora, tiveram início em 1982, quando o Diretor Técnico era o Eng<sup>o</sup> Faísca (Fotografia de Carlos Faísca antigo trabalhador da mina).

Desde 1989, até à atualidade, toda a exploração foi desenvolvida com recurso a roçadoras de ataque pontual, passando por períodos em que a produção triplicou em comparação com a exploração por explosivos. Este avanço tecnológico permitiu uma reestruturação das equipas de trabalho mineiro, mas permitiu também uma melhoria das condições de trabalho e da segurança da atividade mineira. A mina de sal-gema de Loulé desde sempre tirou partido do facto de o sal-gema ser um minério limpo em termos de exploração, para desenvolver uma relação mais próxima entre a atividade mineira e a comunidade. Atualmente, essas inovações representam também a possibilidade de uma mina ainda em atividade poder ser referenciada como geossítio e visitada sem limitações.

O sal-gema da mina de Loulé, até 2005, foi vendido em exclusivo para a indústria química, mas após um interregno de cerca de dois anos, passou a ser colocado no mercado das rações animais e no mercado da segurança rodoviária, nos períodos de inverno, para acelerar o processo de degelo.

O diapiro de Loulé enquadra-se numa área dominada hidrogeologicamente por aquíferos indiferenciados, não estando assim sobre a influência do sistema aquífero Querença – Silves, mas sim de um sistema de aquíferos indiferenciados, que são normalmente pouco profundos, pouco extensos e pouco produtivos, na sua maioria alojados em calcários argilosos e margas e que não são normalmente alvo de muita investigação, nem muita exploração, o que veio-se a comprovar

durante a execução deste trabalho, com a pouca informação disponível acerca da hidrogeologia da área alvo.

## 3. Sistemas de Informação Geográfica e Aplicações

### 3.1 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permite a visualização, a análise e a interpretação de dados, de forma a interpretar relações, padrões e tendências entre os mesmos<sup>1</sup>.

As ciências de informação geográfica são uma área de estudo que tem vindo a ganhar relevo (Matos, 2001). Originando-se a partir da ciência da geografia, os SIG permitem tratar diversos tipos de dados, analisando a sua localização espacial e organizando em camadas a informação, que permite a visualização das relações entre estes dados através de mapas. Estes sistemas e a sua aplicação evoluíram em resposta às necessidades colocadas pela medição e delimitação de território, pela navegação e pela representação do conhecimento espacial em geral, no entanto hoje é aplicável em quase todas as áreas.

Os SIG permitem assim, revelar conhecimentos profundos sobre os dados em análise, nas áreas da cartografia, posicionamento, sistemas de informação e computação gráfica que permitem a incorporação de conceitos e a resolução de problemas específicos dos domínios anteriormente referidos através da modelação geográfica. A generalidade dos fenómenos, das questões que surgem no dia-a-dia são na realidade georreferenciáveis, mostrando assim que os SIG têm um campo de aplicação vastíssimo. Um SIG pode ser entendido como um sistema complexo constituído por hardware, software, informação espacial, procedimentos informáticos e recursos humanos, sistema este que proporciona uma mais fácil análise, gestão ou representação de uma grande variedade de fenómenos (Matos, 2001).

A representação cartográfica evoluiu em resposta às carências criadas pela necessidade de medição e delimitação do território. O mais antigo vestígio de um mapa data de 3800 a.C., na forma de uma placa de argila mesopotâmica representando montanhas, cursos de água entre outros objetos passíveis de representação cartográfica (e.g. Hodgkiss, 1981).

A evolução dos SIG tornou-se mais evidente na década de 60, sendo o *Canada Geographical Information System* (CGIS) considerado o precursor dos SIG, no entanto, nesta década, considerada a precursora destes sistemas, o *Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spacial Analysis* (HLCG) foi o responsável pelo desenvolvimento dos sistemas *raster* e dos sistemas vetoriais, ambos bases fundamentais dos SIG, numa época em que o equipamento

---

<sup>1</sup> <https://www.esri-portugal.pt/pt-pt/o-que-sao-os-sig/overview>

informático disponível não era de todo adequado para o processamento de dados geográficos, levando a que não houvesse uma óbvia utilidade e massificação destes sistemas. (Matos, 2001) Nos anos 70 surgem vários grupos de desenvolvimento de software SIG, que derivaram da equipa inicial do HLCCG, onde destaca-se o *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) que foi bastante bem-sucedido, sendo na atualidade uma das maiores referências nos SIG, no entanto só na década de 90, o hardware disponível se tornou adequado e acessível para o processamento de dados com informação geográfica (Matos, 2001).

Atualmente a popularidade dos dados geográficos e suas potencialidades é bastante elevada, levando ao aparecimento de uma grande variedade de softwares livres ou licenciados, que permitem o tratamento destes dados, para fins profissionais ou recreativos. A expansão dos SIG beneficiou ainda, da evolução no que diz respeito à aquisição de informação, nomeadamente com os programas de deteção remota baseados em plataformas orbitais, como o LANDSAT (Land Remote-Sensing Satellite System), em 1972 ou o massivamente utilizado GPS (Global Positioning System), em 1985. (Matos, 2001) Mais recentemente, em 2014, a União Europeia criou o programa Copernicus, um programa implementado em conjunto com a Agência Espacial Europeia (ESA) e os Estados Membros da União Europeia. Um programa que pretende observar e monitorizar a Terra, no meio oceânico, terrestre e atmosférico, permitindo ainda obter informação relativa às alterações climáticas, à segurança e aos desastres naturais (Caetano, *et al*, 2015).

O Copernicus é servido por um conjunto de satélites dedicados, os Sentinel e por contribuições de satélites comerciais e públicos. Os satélites Sentinel foram concebidos especialmente para o programa Copernicus e recolhem dados comparáveis e pesquisáveis que permitem um acompanhamento das seis áreas definidas como alvo principal do programa Atualmente o programa Copernicus permite a utilização dos dados disponíveis já tratados pelo utilizador final, podendo esta informação ser utilizada em áreas tão distintas como a gestão da água a nível urbano, como o controlo de fronteiras ou até mesmo o turismo. Em 2030 o programa espera atingir uma constelação de 20 satélites em órbita dedicados a recolher informação para os utilizadores do programa Copernicus<sup>2</sup>.

Independentemente da natureza e origem da informação espacial, a sua análise, gestão e representação permite o apoio à decisão nos mais variados domínios, desde os mais óbvios, como o planeamento e ordenamento do território, a gestão de recursos naturais, ou a análise de riscos

---

<sup>2</sup> <https://www.copernicus.eu/pt-pt/acerca-do-copernicus/o-copernicus-em-resumo>

e exploração de recursos naturais. Mas também nos menos óbvios como estudos de mercado, exploração imobiliária e análises de risco para seguradoras<sup>3</sup>.

A informação disponível para uma avaliação com recurso a sistemas de informação geográfica implica sempre a atribuição de coordenadas a pontos, independentemente da sua representação geográfica, para tal atribuição, é necessária a utilização e definição de sistemas de coordenadas, que podem ser astronómicos, cartesianos, elipsoidais e cartográficos. A definição do sistema de coordenadas é o primeiro passo numa análise de dados com recurso aos sistemas de informação geográfica.

Um sistema de coordenadas permite definir a posição no espaço dos pontos em estudo, fazendo uso de valores ou coordenadas para representar a localização geográfica de cada ponto. No entanto, o elevado número de projeções cartográficas possíveis em todo o mundo, gerou uma grande variedade de sistemas de coordenadas, que podem ser representados através de elipsoides de referência, *datums* de referência e projeções.

Os sistemas de coordenadas utilizados para a georreferenciação, podem classificar-se em quatro classes fundamentais, sendo elas, astronómicas, cartesianas tridimensionais, elipsoidais e cartográficas (Matos, 2001).

Os referenciais astronómicos, baseiam a posição aparente na esfera celeste, enquanto os sistemas de coordenadas cartesianos tridimensionais baseiam-se em sistemas de eixos com origem próxima do centro de massa da Terra e com um dos eixos orientado segundo o eixo de rotação da Terra, sendo desta forma a posição de um ponto definida por três coordenadas, X, Y e Z. Recorrendo a uma superfície elipsoidal, posicionada em função de um sistema de coordenadas cartesiano tridimensional, é definido um sistema de coordenadas geodésicas ou elipsoidais, onde são definidas a latitude, relativa ao plano equatorial do elipsoide, a longitude, relativa a um meridiano convencional e a altitude elipsoidal, medida segundo a normal ao elipsoide. É importante referir que a utilização de um elipsoide como superfície de referência obriga a definir a sua dimensão e posição, definindo assim um *datum* geodésico (Matos, 2001).

Segundo Matos, (2001) o *datum* geodésico mais antigo em Portugal Continental, data do século XIX, definido a partir de observações realizadas no observatório astronómico situado no Castelo de S. Jorge em Lisboa. Este *datum* é conhecido como o *datum*. O *datum* 73 surge posteriormente posicionado na Melriça, próximo de Vila de Rei, no centro do país.

---

<sup>3</sup> <https://www.esri-portugal.pt/>

O *datum* Lisboa foi utilizado na definição dos sistemas de coordenadas, designadamente o sistema Hayford-Gauss-Lisboa, utilizado como elipsoide de referência, o elipsoide de Hayford e a projeção cartográfica Gauss-Kruger, também conhecida por Mercator Transversa. Este sistema utilizou como origem das suas coordenadas retangulares um ponto central localizado na proximidade de povoação de Melriça. Para a cartografia militar, foi utilizado um sistema derivado deste, o sistema Hayford-Gauss-militar, onde foi considerada uma translação do ponto central de +200km e +300km, com o objetivo de colocar todo o território continental com coordenadas positivas.

Com a definição do *datum* 73, o sistema de coordenadas adotado continuou a usar o mesmo elipsoide e a mesma projeção cartográfica para a cartografia oficial, no entanto, devido à alteração do *datum*, cada ponto apresenta coordenadas distintas, sendo necessário recorrer a transformações de coordenadas sempre que, num SIG se pretendam utilizar dados cartográficos referenciados nos dois sistemas.

Atualmente a cartografia nacional baseia-se no *datum* europeu ETRS89 (*European Terrestrial Reference System* 1989). Este sistema de coordenadas, ETRS89 PT-TM06, utiliza o elipsoide GRS80 (*Geodetic Reference System* 1980) e a projeção transversa de Mercator (TM), utilizando como origem das coordenadas cartesianas o ponto central Melriça, tendo como referência, os parâmetros fixados em 2006<sup>4</sup>.

Relativamente ao sistema de referência de altitudes, no continente é utilizado o *datum* altimétrico Cascais Helmert (1938), estando a marca de referência da rede de nivelamento geométrico localizada junto ao Marégrafo de Cascais (Silva, *et al*, 2016).

Os SIG são também utilizados na representação geológica da superfície terrestre assim como na modelação das estruturas geológicas subterrâneas. Devido ao aumento da pressão ambiental no que diz respeito às explorações geológicas torna-se cada vez mais atrativa a utilização destas ferramentas na divulgação da informação sobre o subsolo (Pan et al., 2020). Desta forma, tendo como motor principal a exploração dos recursos geológicos disponíveis, a demanda de novas tecnologias nesta área também vem influenciar as evoluções nos SIG, que atualmente já permitem análises detalhadas de estruturas que normalmente não estão acessíveis facilmente. (He *et al.*, 2020)

Recentemente têm surgido vários softwares para este tipo de processos, na maioria baseados em SIG, para a produção de modelos geológicos a duas e três dimensões, como é o caso do *GemPy*,

---

<sup>4</sup> <https://www.dgterritorio.gov.pt/geodesia/sistemas-referencia/portugal-continental/PT-TM06-ETRS89?language=en>

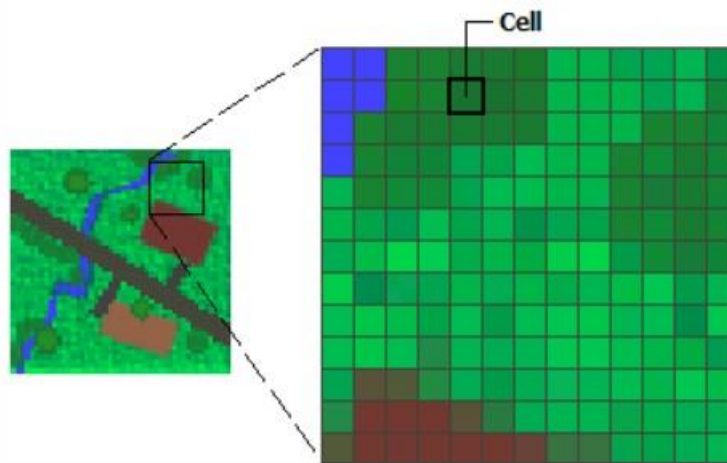
uma ferramenta de utilização livre que permite gerar modelos geológicos a três dimensões, através de linguagem Python, evidenciando falhas geológicas, dobras e descontinuidades, ou do *Geoscene3D* que também permite a modelação geológica, com a visualização de dados geológicos, ou o *Rockware*, um software mais vasto, que abrange a área da modelação 3D, mas também os SIG e a modelação de aquíferos. Entre os softwares mais comuns no âmbito dos SIG, o QGIS é um software livre e com bastante potencial, assim como o Grass GIS, ambos dedicados à georreferenciação de produção de mapas. No entanto por questões práticas associadas à familiaridade na utilização e ao potencial e versatilidade das ferramentas disponíveis, optou-se por utilizar o software ArcGIS, da ESRI, para desenvolver o trabalho de modelação de superfícies de contato entre estruturas geológicas na área da mina de sal-gema de Loulé, assim como apresentar o resultado final dessa modelação, através de um storymap, utilizando a plataforma ArcGIS StoryMap.

O ArcGIS designa um conjunto de aplicações utilizadas no mapeamento e análise de dados dos sistemas de informação geográfica, que permitem a criação, gerenciamento, partilha e análise de dados espaciais. O ArcGIS inclui aplicações como o ArcMap, ArcScene e ArcGlobe e várias extensões como o Spatial Analyst, 3D Analyst, Geostatistical Analyst, entre outras. É um software comercial, de aplicação global que permitiu desenvolver um modelo das superfícies de contanto entre as estruturas geológicas e hidrogeológicas na área de influência da mina de sal-gema de Loulé, assim como desenvolver uma ferramenta digital de comunicação de uma narrativa, o ArcGIS StoryMaps, que através de mapas, textos, ilustrações, fotografias e multimédia, permite mostrar ao público, a geologia, hidrogeologia e a história de um local normalmente inacessível.

A aplicação ArcMap permite a criação de mapas, realização de operações de análise geoespacial, geoprocessamento e gestão de dados geográficos. A aplicação ArcScene permite a visualização dos mapas criados no ArcMap a três dimensões. O ArcGlobe permite também a visualização a três dimensões, mas enquadradas na superfície de um globo. Para este trabalho utilizaram-se, principalmente o ArcMap, o ArcScene e o ArcGIS SoryMaps.

### 3.2 Superfícies e a sua visualização a três dimensões

Num sistema de informação geográfica, a representação de superfícies pode ser feita em formato raster ou em formatos vetoriais. Os dados raster<sup>5</sup> são compostos por linhas horizontais e colunas verticais de pixéis ou células, onde cada pixel representa um local geográfico, em que o valor do pixel representa a característica desse local, como é possível verificar na Figura 9. As estruturas raster são especialmente utilizados quando se pretende expor informação contínua (superfícies), no entanto são também amplamente utilizadas em outras situações. A informação guardada em formato raster, pode representar dados discretos temáticos, como informação sobre o uso do solo, ou tipos de solo em determinada região, podendo também servir para representar dados relativos a temperatura, altitude ou até mesmo imagens de satélite (Davis, 2001).



**Figura 9:** Representação de um local geográfico através de dados raster. (fonte: <https://desktop.arcgis.com>).

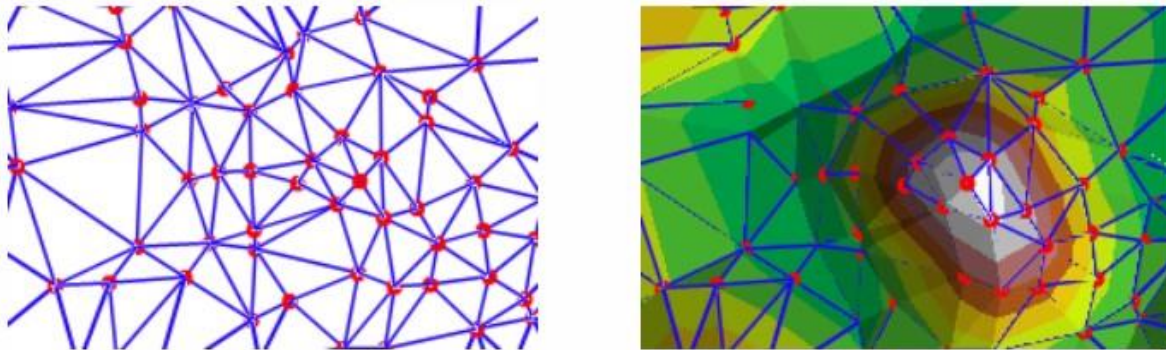
Os dados vetoriais são representados usando a geometria, constituída por um ou mais vértices. Um vértice descreve uma posição no espaço, utilizando X, Y e Z, se tal informação existir, sendo o Z a referência à altura ou à profundidade do vértice em questão. Os dados vetoriais podem associar-se a pontos ou linhas e permitem representar qualquer elemento do mundo real em ambiente SIG, são pontos, de coordenadas definidas. Estes pontos podem gerar linhas, quando sequenciados, permitindo a criação de um mapa de linhas (Matos, 2001).

Desta forma os dados vetoriais são conjuntos de pontos, linhas, polígonos, representando mapas analógicos enquanto os dados raster são estruturas em rede ou malha que possibilitam a representação de dados temáticos (Davis, 2001).

<sup>5</sup> [https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/training\\_manual/index.html](https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/training_manual/index.html)

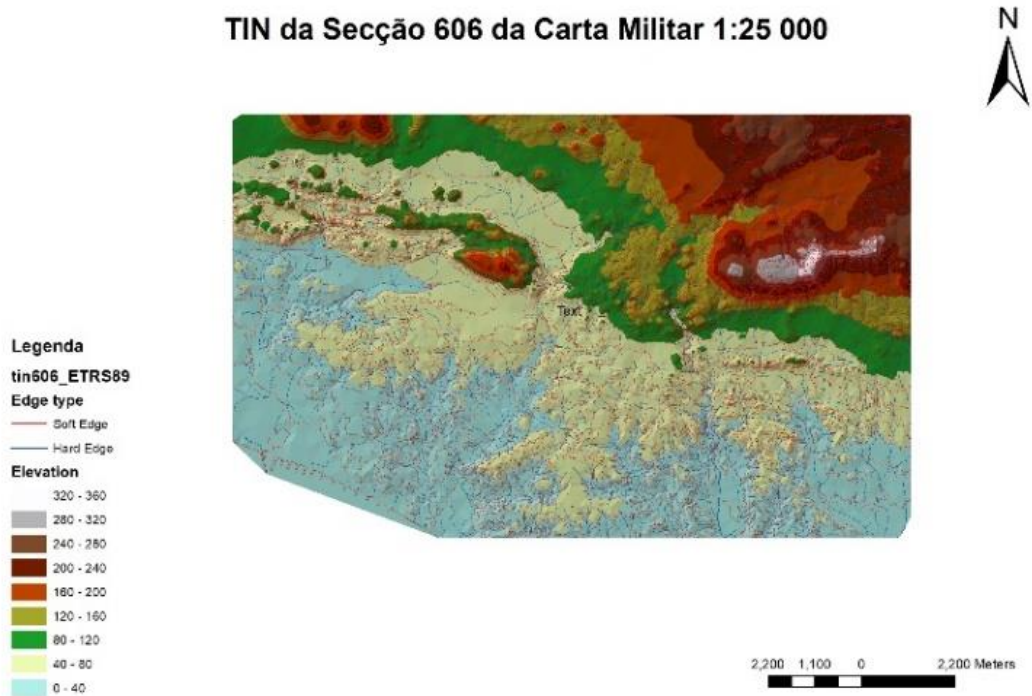
As redes irregulares trianguladas ou TIN (Triangular Irregular Network) são superfícies com origem em dados vetoriais, constituídas por face triangulares contínuas, de triângulos adjacentes sem sobreposição.

Para representar as estruturas geológicas na área da mina de sal-gema de Loulé recorreu-se a estruturas de redes irregulares (TIN), onde as superfícies são constituídas por triângulos com o valor dos vértices corresponde ao Z ou cota e os restantes pontos do triângulo interpolados, como é possível ver na Figura 10.



**Figura 10:** Faces triangulares de um TIN (fonte: <https://desktop.arcgis.com>).

A triangulação entre pontos de altitude conhecida, sejam eles, pontos cotados, pontos de curvas de nível ou isolinhas, permitem a construção de uma superfície triangulada, como pode ver-se no exemplo apresentado na Figura 11, onde se apresenta um mapa hipsométrico em sobreposição com curvas de nível. Esta estrutura de triangulação constitui a base da construção de um modelo digital de terreno (MDT), ou seja, um conjunto de dados numéricos que, para uma dada área, permita associar a qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico, uma altitude (Matos, 2001).



**Figura 11:** Mapa hipsométrico em sobreposição com curvas de nível, criado a partir de um modelo digital do terreno usando a estrutura TIN, no caso da secção da carta militar onde se enquadra a mina de sal-gema (606) obtida no software ArcMap.

No processo de tratamento de dados relativos à área da mina de sal-gema de Loulé, após a produção de TIN's, para as várias estruturas geológicas em análise, estes foram transformados em rasters, por um processo de geoprocessamento, dentro das ferramentas do software ESRI utilizado, o ArcMap.

Os rasters têm a facilidade de permitir interpolações que possibilitam a produção de visualizações a três dimensões.

Dado um conjunto de pontos cotados, a criação de uma estrutura raster, com informação do modelo digital de superfície é efetuada em duas etapas. Na primeira, a cada célula é atribuído um valor a partir dos pontos cotados em sobreposição. Na segunda etapa, atribuição é efetuada por interpolação. As interpolações podem ser desenvolvidas através de funções interpoladoras. Os métodos de interpolação podem-se classificar em locais ou globais, destes constituem exemplos os interpoladores baseados em proximidade, do tipo “vizinho mais próximo” (Natural Neighbour) e “distância inversa” (Inverse Distance Weight ou IDW). Os interpoladores globais são geralmente pouco sensíveis a variações locais, produzindo “superfícies de tendência” mais indicadas para o estudo de fenómenos globais (Matos, 2001).

Além dos interpoladores já atrás referidos, o método de Kriging é também muito utilizado em geoestatística, baseando-se num modelo matemático de regressão para aproximar ou interpolar dados.

Neste trabalho optou-se por interpoladores locais, IDW. Esta decisão baseou-se essencialmente em pesquisa bibliográfica, onde foram encontradas evidências de melhores resultados para o tratamento de dados geológicos, com o IDW, mas também pelas experiências desenvolvidas no decorrer do trabalho, que vieram a demonstrar que com o IDW os resultados de visualização a três dimensões eram significativamente melhores. Apesar de terem sido feitas algumas tentativas com as outras opções, verificou-se que os obtidos durante a investigação inicial não apresentavam evidências para não utilizar este método pelo que se avançou para esta opção, como válida para este tipo de projeto.

Dado um conjunto de pontos de altitude conhecida, a altitude de cada célula é estimada pelo método IDW, depende da cota de cada ponto conhecido e de um correspondente peso de  $w$ . O valor dos pesos é função do inverso da distância,  $d$ , de cada ponto ao centro da célula e de uma potência,  $d$ , constante, calculados segundo a fórmula seguinte:

$$w_i = \frac{1}{d^p}$$

onde  $d$  representa a distância da célula ao ponto de coordenadas  $(x_i, y_i)$  da amostra e  $p$  um expoente (do peso), no caso foi utilizado o expoente de valor 2.

Deste modo, a superfície gerada pelo interpolador depende da entrada, conjunto dos pontos, e do valor de  $p$ .

As superfícies obtidas por interpolação (IDW) podem depois ser carregados noutra software ESRI, o ArcScene, uma aplicação que permite a visualização da matriz concluída a três dimensões, sendo possível sobrepor várias camadas ou *layers* de dados num ambiente 3D, possibilitando assim a visualização dos contactos entre as várias estruturas geológicas, desenvolvidas a duas dimensões no ArcMap.

### 3.3 StoryMaps

Um StoryMap é um recurso digital criado com o objetivo de compilar informação relevante sobre um determinado tema através de uma narrativa atrativa de fácil visualização, tornando-se um recurso independente. Para tal recorre-se a mapas, textos, fotos e vídeo e oferece normalmente funcionalidades atrativas como janelas pop-up, o deslizar de conteúdos ou linhas temporais que tornam a experiência de utilização atrativa e a transmissão de conteúdo mais assertiva ([www.esri.com](http://www.esri.com)). É um recurso de informação totalmente funcional que permite uma leitura não linear e uma interação com o mapa.

O conceito de StoryMap não é exclusivo da ESRI, havendo referência a este recurso no ano de 2005, num artigo científico de Jeff Patton (<https://www.cursospm3.com.br/blog/o-que-e-user-story-mapping/>), um produtor de software que dedicou-se à área da gestão de produto, onde aborda a necessidade de proporcionar uma melhor comunicação visual contextualizada no seu objetivo. Enumerando um conjunto de atividades recorrendo a uma linha do tempo ou resumindo informação em pequenas narrativas, recorrendo ao vídeo e/ou ao áudio foi-lhe possível transmitir informação de forma eficaz e eficiente, minimizando dúvidas e questões que normalmente surgem na leitura de um documento escrito. O StoryMap permite ainda a priorização da informação que pretende-se divulgar, mostrando todas as temáticas a abordar e a sua importância, sem desvendar toda a informação de uma só vez, dando relevância aos tópicos mais importantes. O StoryMap saltou do mercado da publicidade e gestão do produto para um universo mais vasto, onde é utilizado como ferramenta de transmissão de informação, divulgação científica e promoção de locais de interesse como é o caso deste trabalho em concreto. Existem vários softwares online dedicados a esta forma de comunicar, mais ou menos editáveis, mais ou menos complexos e com uma grande diversidade de ferramentas de edição e composição.

A *AVION*<sup>6</sup> e a *CRAFT*<sup>7</sup> são dois softwares proprietários, disponibilizados com períodos de teste gratuito que permitem explorar as possibilidades e ferramentas disponíveis antes de avançar para a aquisição de uma licença. Apresentam a possibilidade de editar texto e gráficos e permitem a introdução de imagem e vídeo. São ambos softwares mais direcionados para a área de gestão de produto e têm como objetivo a organização da informação de forma apelativa, com uma narrativa mais direcionada para o produto e o cliente.

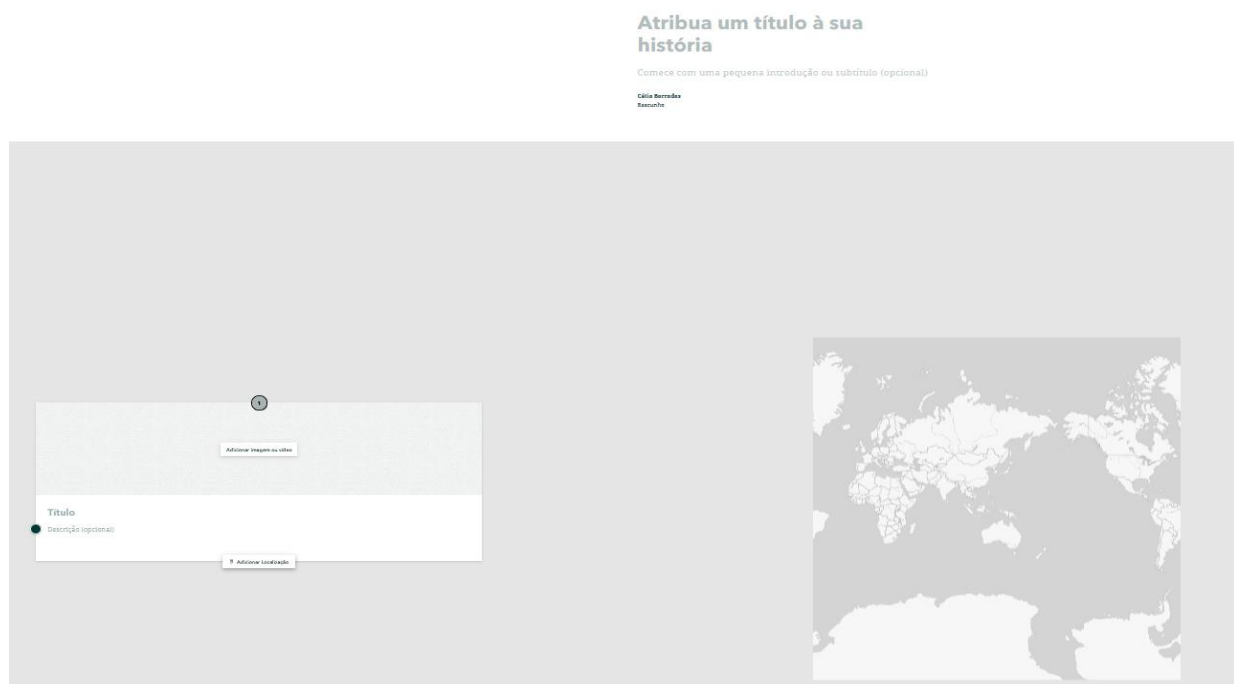
---

<sup>6</sup> <https://www.avion.io/>

<sup>7</sup> <https://craft.io/>

O *KINGHTLAB*<sup>8</sup> é um software gratuito, que utiliza mapas e imagem para a construção da narrativa, apresenta-se mais direcionado para divulgar locais ou eventos e aproxima-se bastante do que pretendia-se fazer neste trabalho. No entanto, o ESRI StoryMap acabou por ser o software mais atrativo para expor a narrativa pretendida. Apesar de ser um software licenciado, pago, faz parte do universo ESRI, onde todo o trabalho foi desenvolvido. Além de apresentar-se como mais versátil e editável que os softwares referidos anteriormente, o ArcGIS StoryMaps permite utilizar os mapas desenvolvidos nas outras aplicações ESRI, transformando-os em plataformas de exploração de informação. A mais-valia do ArcGIS StoryMaps é a interatividade que torna um mapa, num motor de busca de informação sobre o local. Desta forma a preferência pelo software ESRI justifica-se pelo seu potencial de edição, pela variedade de ferramentas disponíveis, mas sobretudo pelo seu potencial de utilização em geomática, onde os mapas são o tema central e podem ser utilizados para expor a narrativa de um local, evento ou facto.

A utilização de StoryMaps, exige alguns conhecimentos de edição de vídeo e de imagem, no entanto o ArcGIS StoryMaps tem modelos pré-definidos, como é exemplo a imagem da Figura 12, que podem ser utilizados como base, facilitando o trabalho de produção, onde os modelos, acabam por permitir a criação de um guião base que serve de estrutura ao projeto.



**Figura 12:** Exemplo de um modelo vazio, pronto para edição de um ESRI StoryMap, onde é possível editar o título da história, o mapa que pretende-se apresentar e em baixo do lado esquerdo o título do mapa e uma breve descrição do mesmo. (fonte:<https://storymaps.arcgis.com>).

<sup>8</sup> <https://storymap.knightlab.com/>

## 4. Metodologia e Dados

### 4.1 Recolha e Apresentação de Dados

O conjunto de trinta e oito sondagens geológicas e seus respetivos registos e um conjunto de dez sondagens de captação de água, foram o ponto de partida para este estudo.

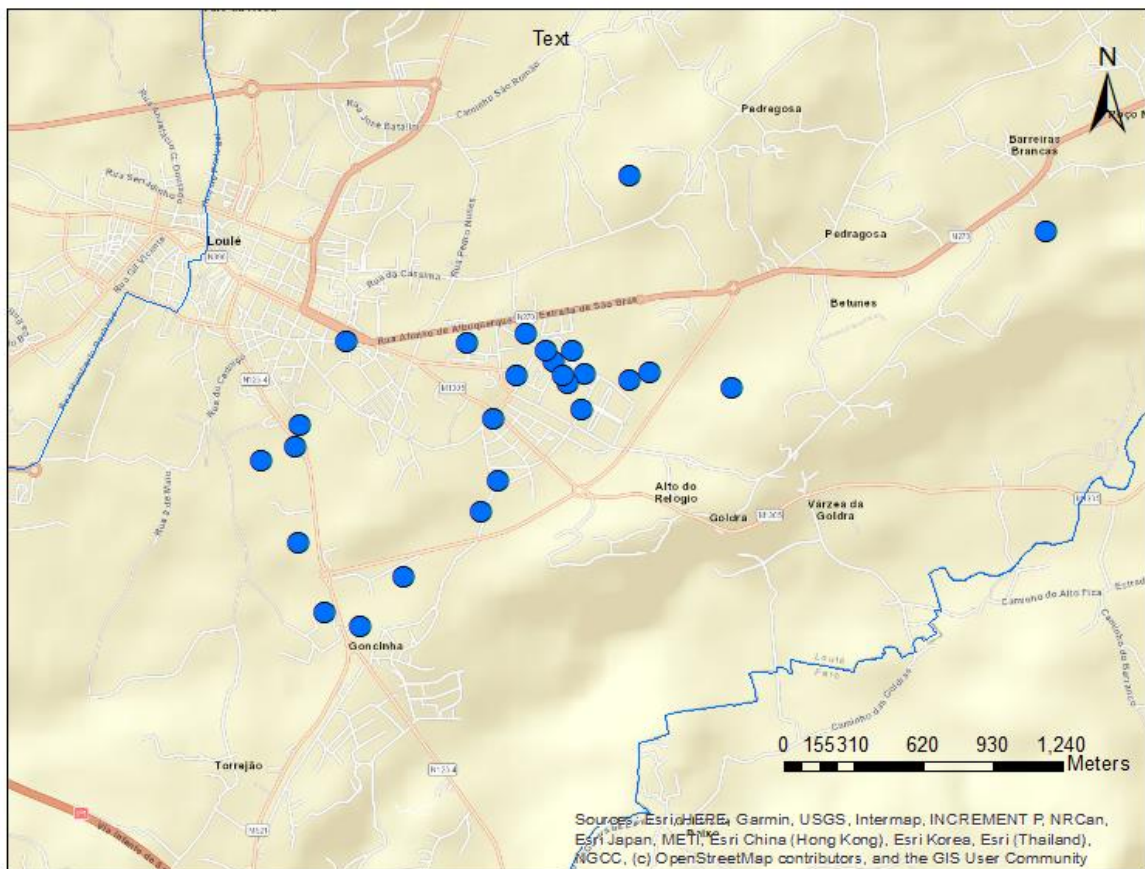
A informação acerca das sondagens geológicas foi cedida pela empresa que atualmente detém a concessão mineira da mina de sal-gema de Loulé, a Tech Salt SA. Segundo a concessionária, as sondagens foram realizadas no período que antecedeu a exploração, entre 1962 e 1964, e foram da responsabilidade de várias empresas, não tendo na sua maioria o registo desta informação. A três sondagem com a informação mais completa, onde foi possível encontrar a estratigrafia de cada sondagem, estão identificadas como TD1, TD2 e TD3, visíveis na listagem da Tabela 1. São sondagens geológicas levadas a cabo pela Empresa Teixeira Duarte Lda e os registos originais estão disponíveis no Anexo 2. Este conjunto de sondagens permite uma melhor interpretação do diapiro de Loulé, já que fornece informação detalhada até aos 432 metros de profundidade.

**Tabela 1:** Listagem das sondagens geológicas utilizadas.

Fornecedor dos dados	ID	Coordenadas			Prof (m)	Espessura atravessada (m)			Profundidade dos contactos (m)	
		M (+)	P (-)	Z		Calcários	Gesso	Sal-Gema	Calcário Gesso	Gesso Sal-Gema
TechSalt SA	F1	11,443.75	281,223.50	199.83	51.00	> 51.00			< 148.83	
TechSalt SA	F3	11,640.00	280,340.00	200.36	86.00	6.00	> 80.00		194.36	
TechSalt SA	F4	11,387.24	281,123.53	200.06	154.00	16.00	109.00	29.00	184.00	75.00
TechSalt SA	F13'	11,302.69	281,171.87	197.35	234.60	42.70	85.10	106.80	154.65	69.50
TechSalt SA	F22	10,175.00	281,450.00	163.60	115.00	17.00	> 98.00		146.60	
TechSalt SA	F23	10,000.00	281,612.00	150.04	26.00	16.00	> 10.00		134.00	
TechSalt SA	F35	10,377.70	281,081.14	179.59	151.00	35.00	66.00	40.00	144.59	78.59
TechSalt SA	F36	10,285.67	282,290.80	134.10	109.00	31.00	> 60.00		103.10	
TechSalt SA	F41	11,178.30	281,047.40	197.16	127.00	16.00	111.00		181.16	70.16
TechSalt SA	T.D1	10,631.48	282,126.94	167.49	432.00	18.00	186.00	228.00	149.49	> 36.51
TechSalt SA	T.D2	10,976.87	281,837.12	182.26	410.00	33.00	114.00	263.00	149.26	35.26
TechSalt SA	T.D3	11,033.00	-281,426.46	191.15	367.00	32.00	120.00	215.00	159.15	39.15
TechSalt SA	SA1	13,500.00	280,590.00	240.00	62.00	32.00	30.00		208.00	
TechSalt SA	E-13	11,363.96	281,267.61	197.04	234.64	96.04	86.00	52.60	101.00	15.00
TechSalt SA	CD7	11,342.03	281,232.64	197.08	235.22	85.08	87.00	63.14	112.00	25.00
TechSalt SA	CE3	11,140.00	281,230.00	197.00		25.00	100.00	> 102.00	172.00	72.00

A Tabela 1 apresenta a listagem de sondagens geológicas utilizadas, que pode ser visualizada no formato original no Anexo 1, no entanto é de referir que à lista original foram acrescentados

alguns dados relativos a sondagens mais recentes, fornecidos pela empresa concessionária. Esta tabela resume a informação relativa à localização das sondagens, com coordenadas planimétricas e cotas, assim como a sua profundidade e litologias atravessadas durante a sondagem. A primeira coluna apresenta o fornecedor da informação, seguida pelo ID da sondagem, ou seja, o código de identificação atribuído a cada sondagem e que permite diferenciar a informação de cada sondagem. As três colunas identificadas como coordenadas, fornecem a localização geográfica de cada sondagem, incluindo a cota, permitindo criar uma malha de distribuição que facilita a análise da informação, como é possível identificar na Figura 13.



**Figura 13:** Mapa de localização das sondagens geológicas, identificadas com círculos azuis, no sistema de coordenadas ETRS89 PT-TM06, listadas na tabela 1.

A Tabela 1 apresenta ainda a profundidade atingida por cada sondagem, as espessuras das unidades litológicas e as profundidades dos contactos entre as várias litologias.

Apesar de se ter iniciado o trabalho com trinta e oito sondagens geológicas, as superfícies de contacto apresentadas como produto final deste trabalho, foram construídas com base na informação promovida por apenas dezasseis sondagens, visto que a maioria não tinha a informação necessária, nomeadamente a profundidade das diferentes litologias ou a informação

completa relativa à localização geográfica, não sendo possível georreferenciar os dados disponíveis. As sondagens mais profundas demonstraram ser as mais ricas em informação, apresentando-se completas em termos de georreferenciação e também no que diz respeito à profundidade e contacto entre litologias, sendo estas as utilizadas como referência para o desenvolvimento das superfícies que posteriormente foram visualizadas em três dimensões. A listagem foi assim atualizada, tendo sido excluídas todas as sondagens geológicas que não cumpriam os dois requisitos fundamentais em termos de informação disponibilizada, a localização geográfica e a profundidade dos contactos entre as litologias. A listagem atualizada e utilizada é apresentada na Tabela 1.

Os dados relativos à hidrogeologia são apresentados na Tabela 2, e além da informação relativa à sua localização apenas fornecem a profundidade do aquífero.

**Tabela 2:** Listagem de sondagens de captação de água utilizadas.

Fornecedor dos dados	ID	Coordenadas			Prof. (m)	Profundidade do aquífero (m)	
		M (+)	P (-)	Z		Topo	Base
SNIRH	1088	19,119.00	211,231.00	198.40	20.00	178.40	91.40
SNIRH	127	19,130.00	211,210.00	198.40	25.00	173.40	60.40
SNIRH	135	19,300.00	211,200.00	198.50	22.00	176.50	140.30
TechSalt SA	P1	18,778.13	211,116.37	195.02	34.00	160.22	149.92
TechSalt SA	P2	18,874.13	211,382.12	200.34	34.00	165.54	151.14

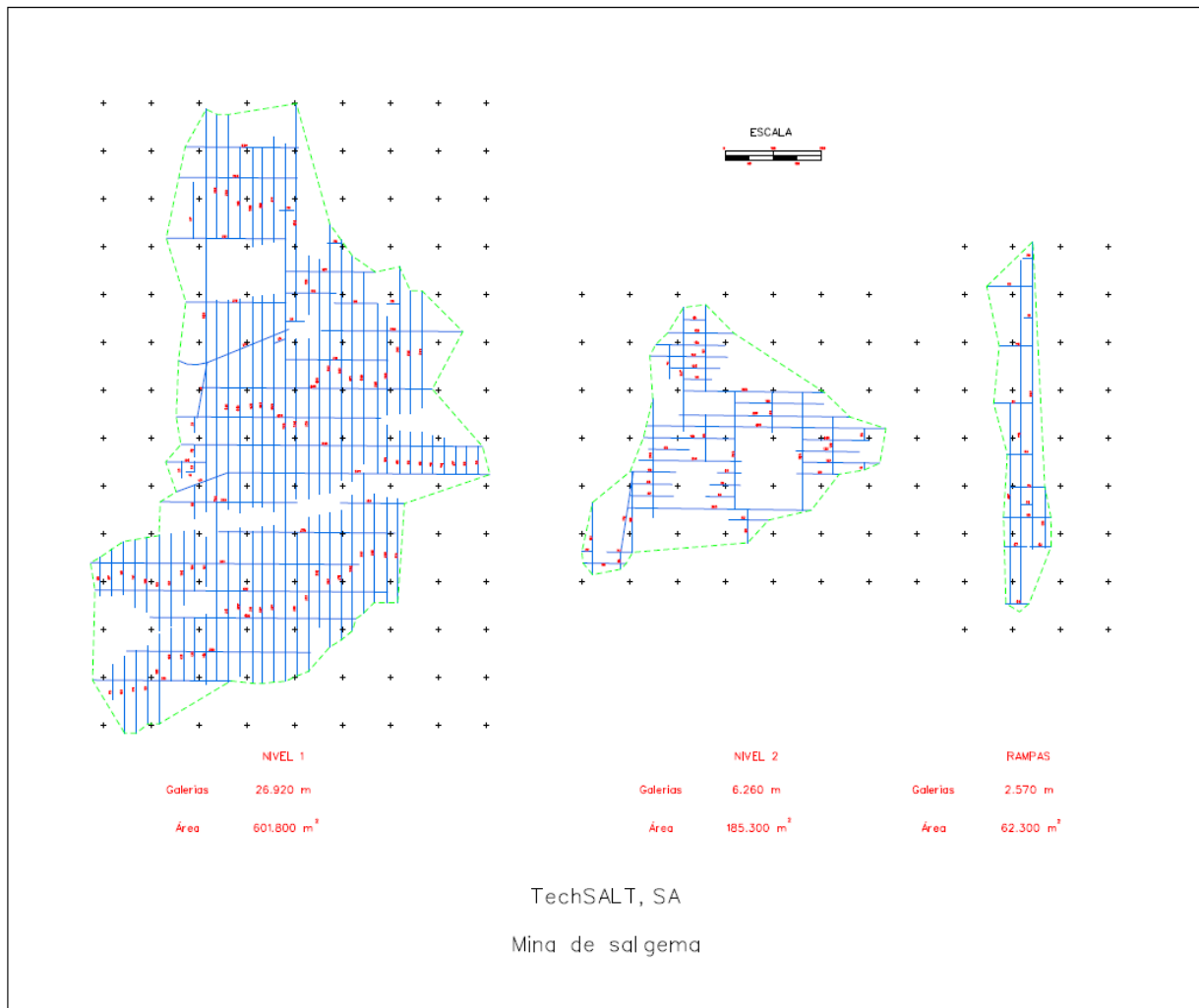
Tal como na Tabela 1, a Tabela 2, fornece a informação relativa ao fornecedor dos dados, na primeira coluna, o ID que permite diferenciar a informação sobre as várias sondagens disponíveis, na segunda coluna, apresentando-se seguidamente a informação relativa à localização geográfica, a profundidade do aquífero, assim como a cota relativo ao topo e base do aquífero, informação que permite estimar a sua espessura em profundidade.

Neste campo a informação disponível não foi muita, o que dificultou o desenvolvimento de uma superfície que representasse o mais fielmente possível o aquífero, a sua localização, a sua profundidade e a sua extensão. O resultado obtido foi o mais próximo da realidade, tendo em conta a informação disponível. Inicialmente foi feito um levantamento de dados relativos a sondagens de captação de água, na página internet da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), na divisão de Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), no entanto na sua maioria, a informação disponibilizada para cada sondagem de captação de água, é insuficiente, não apresentando dados relativos à geologia ou até mesmo relativa a hidrogeologia, disponibilizando muitas vezes apenas os dados georreferenciados e o caudal estimado para a

captação. Tendo em consideração a parca informação disponível, foi feito um contacto à Câmara Municipal de Loulé, na tentativa de obter mais informação, no entanto todos dados cedidos corresponderam a áreas fora da influência da mina de sal-gema de Loulé, não sendo interessantes para o estudo em questão. Os dados mais relevantes relativos à localização e profundidade dos aquíferos devem ser consistentes com a informação relativa às litologias estudadas. Desta forma optou-se por reduzir a lista inicial de dez sondagens de captação de água à lista apresentada na Tabela 2, onde apenas cinco sondagens são consideradas, visto serem as únicas que estão na influência, em termos de localização geográfica, das litologias associadas à mina de sal-gema de Loulé.

A maioria dos dados fornecidos por ambas as entidades foram apresentadas no sistema de coordenadas Hayford-Gauss-Lisboa, no entanto de forma a uniformizar a informação, a facilitar a criação de superfícies e a enquadrá-las com a estrutura da cidade de Loulé, achou-se conveniente proceder à transformação de todos os dados relativos à georreferenciação para o sistema de coordenadas ETRS-89 PT-TM06.

Além da informação relativa à geologia e à hidrogeologia, para poder desenvolver um modelo a três dimensões da zona de influência da mina de sal-gema de Loulé, foi também necessário o acesso aos dados topográficos da estrutura mineira. De forma representar os dois níveis de exploração e os poços de acesso à mina foi necessário aceder às plantas topográficas. Este acesso foi mais uma vez promovido pela empresa detentora da concessão mineira, Tech Salt SA. A Figura 14 permite visualizar a dimensão da exploração, no entanto no Anexo 3 é apresentado um exemplo das plantas utilizadas para produzir as superfícies a duas dimensões, representativas da estrutura mineira.



**Figura 14:** Planta da mina de sal-gema de Loulé (fonte: Tech Salt SA).

Numa fase final deste trabalho, um dos objetivos foi localizar os contactos geológicos, o aquífero e a mina de sal-gema na cidade de Loulé. Estas estruturas estendem-se por baixo da cidade de Loulé e o seu enquadramento e visualização são fundamentais para este estudo. Para tal foi necessário recorrer a um ortofotomapa, um mapa elaborado através de fotografias aéreas, que permitiu concretizar a visualização e localização das estruturas geológicas, assim como a mina, na cidade de Loulé. Este ortofotomapa foi cedido pela Câmara Municipal de Loulé, numa colaboração com o Aspirante a Geoparque Algarvensis. Este ortofotomapa permitiu a digitalização de alguns edifícios mais icónicos na cidade. Ao localizar estes edifícios no mapa, pretende-se melhorar a visualização da localização das estruturas geológicas e da mina, para o utilizador. A digitalização dos edifícios foi realizada recorrendo mais uma vez ao software ArcMap, através das ferramentas de desenho e transformando posteriormente em *shapfiles*, apresentadas na Figura 15.

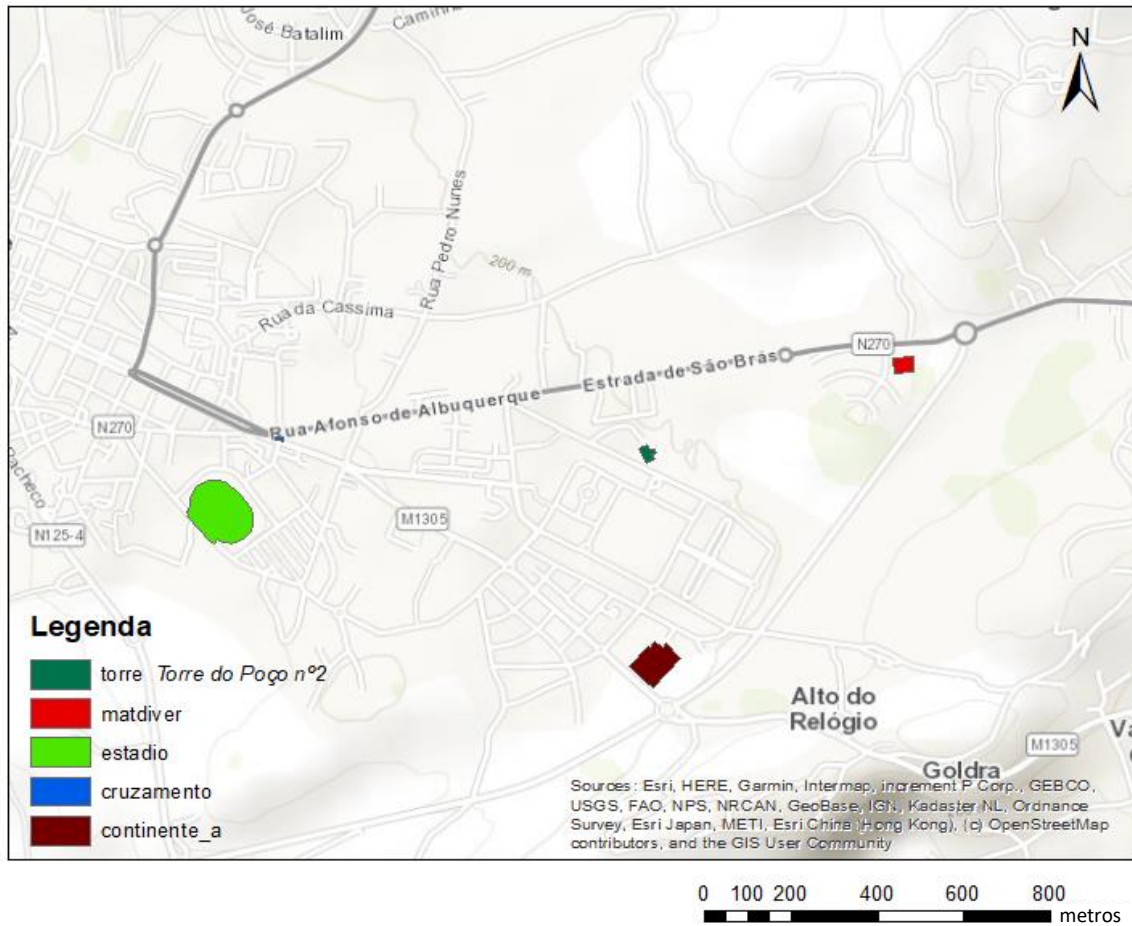


Figura 15: Mapa com as digitalizações dos edifícios de referência, obtido no ArcMap.

## 4.2 Metodologia

O processo de tratamento dos dados relativos às sondagens geológicas e hidrogeológicas, começou com a transformação do sistema de coordenadas, para o sistema ETRS89 PT-TM06, um processo simples, executado no ArcMap, na extensão “Data Management”. A ferramenta “Projections” permite transformar coordenadas sem alterar os dados base.

Partindo de um conjunto de dados geológicos, hidrogeológicos e topográficos todos no sistema de coordenadas ETRS-89 PT-TM06, após a transformação de coordenadas, iniciou-se o processo de construção das superfícies correspondentes às três litologias em estudo, o calcário, o gesso, o sal-gema e o aquífero. Estas superfícies, as *shapfiles*, são depois transformadas em redes irregulares triangulares, TIN, usando a extensão “3D Analyst” do ArcMap.

Para produzir o formato que permitirá a visualização a três dimensões, é necessário transformar o TIN obtido em raster, através na extensão “3D Analyst” novamente, a conversão das quatro TIN *shapfiles* em rasters é realizada, mantendo o sistema de coordenadas e assegurando a introdução do valor referente a Z para que as estruturas possam ser representadas em profundidade no futuro. É de referir que apesar de ser recomendado, devido à reduzida dimensão dos dados, não foi possível efetuar testes para estimação de erros, em nenhum dos conjuntos de dados.

Os rasters obtidos são finalmente utilizados para construir as interpolações através do algoritmo IDW, recorrendo mais uma vez à ferramenta “3D Analyst” do software ArcMap. O resultado deste algoritmo para as litologias do gesso e do sal-gema é apresentado na Figura 16.

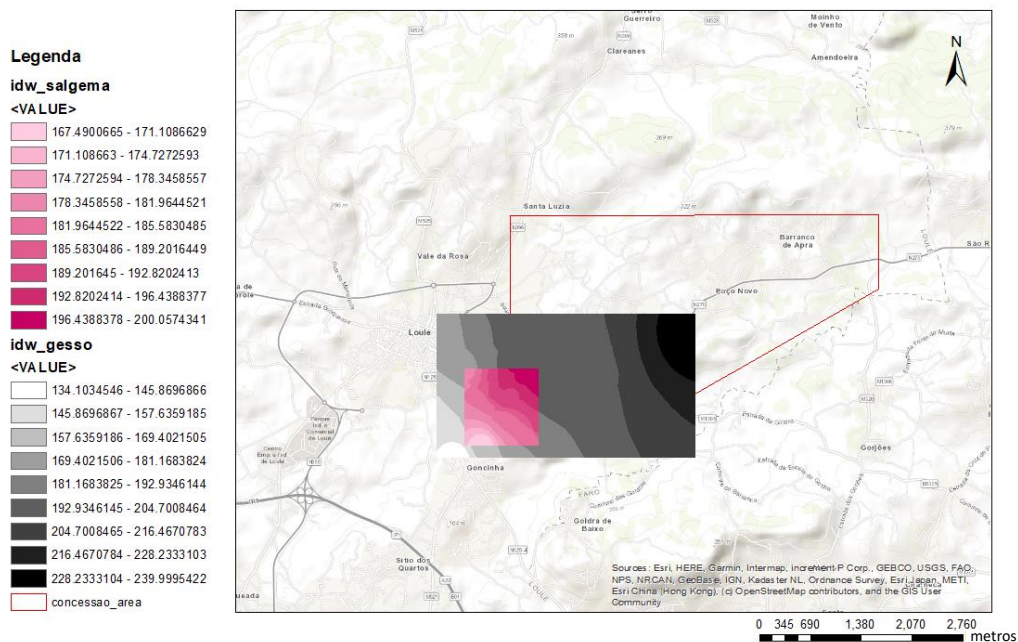
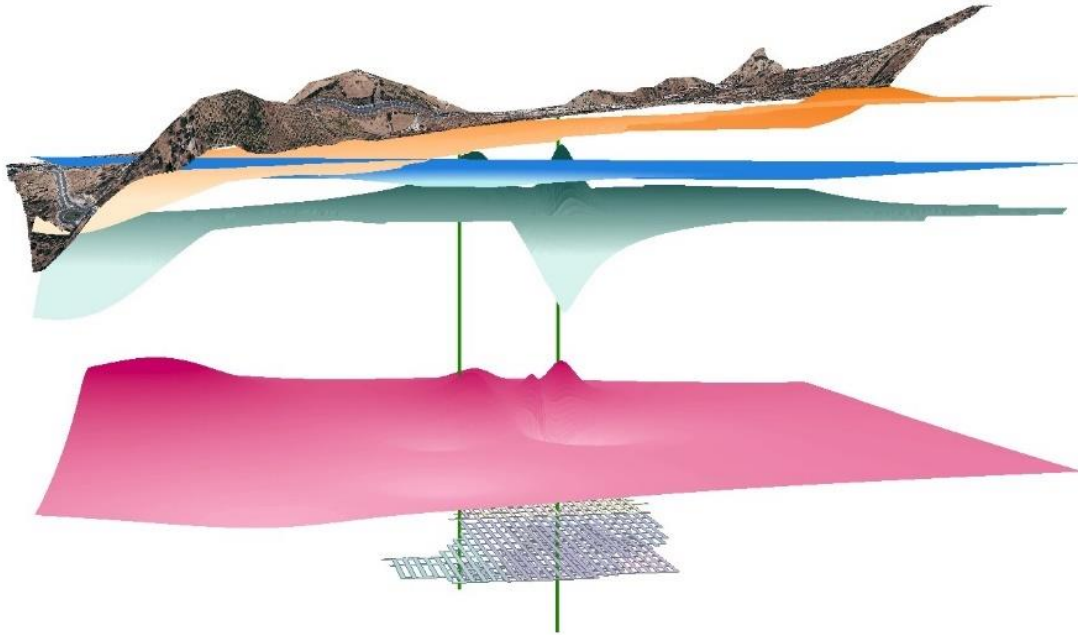


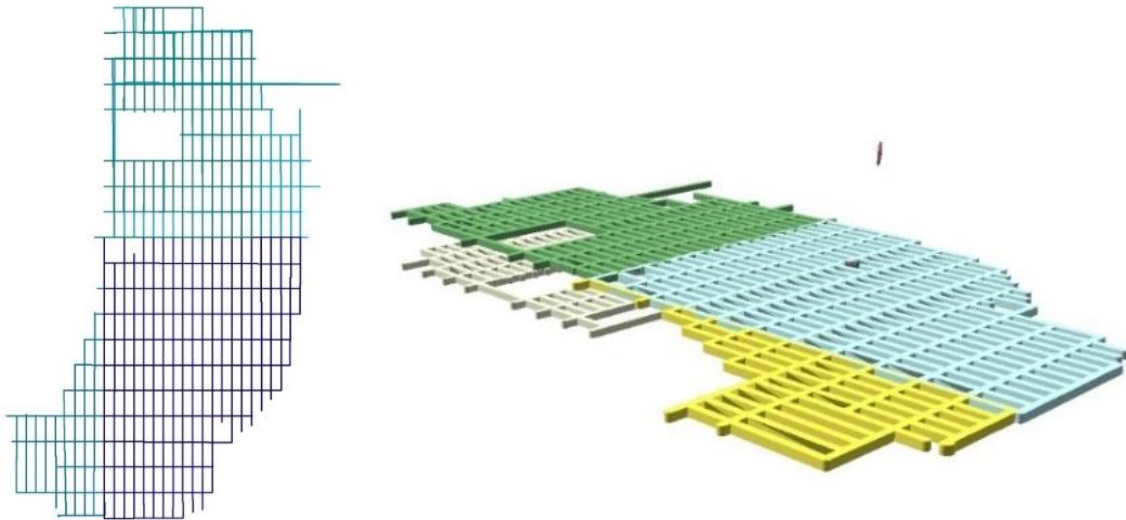
Figura 16: Representação do IDW do sal-gema (escala de rosa) e do gesso (escala de cinza) na área ocupada pela mina de sal-gema de Loulé, obtido no ArcMap.

A visualização a três dimensões destas superfícies permite ao utilizador ter a perceção da localização e espessura das várias litologias, em termos do seu posicionamento à superfície topográfica, assim como em relação às galerias exploradas pela mina de sal-gema de Loulé, como é possível verificar na Figura 17.



**Figura 17:** Visualização final com as superfícies de contato entre as estruturas geológicas e hidrogeológicas a três dimensões, assim como a mina de sal-gema de Loulé e o ortofotomapa da superfície. Na imagem é possível identificar a laranja as ocorrências de calcários, a cinzento esverdeado o gesso e a rosa o sal-gema, a azul é ainda possível identificar a extensão do aquífero. (imagem produzida no software ArcScene).

A representação das galerias mineiras foi produzida a partir da cartografia a duas dimensões, dos alinhamentos dos eixos das galerias, recorrendo à caixa de ferramentas “Data Management”, uma vez mais no software ArcMap, a ferramenta “create fishnet” permite desenhar uma malha baseada nos alinhamentos das galerias, tendo em conta a sua georreferenciação. Com a malha de galerias totalmente desenvolvida a duas dimensões é possível, recorrendo ao software ArcScene, visualizar esta estrutura a três dimensões, recorrendo a um *buffer 3D*. Esta ferramenta, permite criar regiões em torno de um ponto ou linha, com uma determinada distância, permitindo uma perceção de volume, como se pode ver na Figura 18.

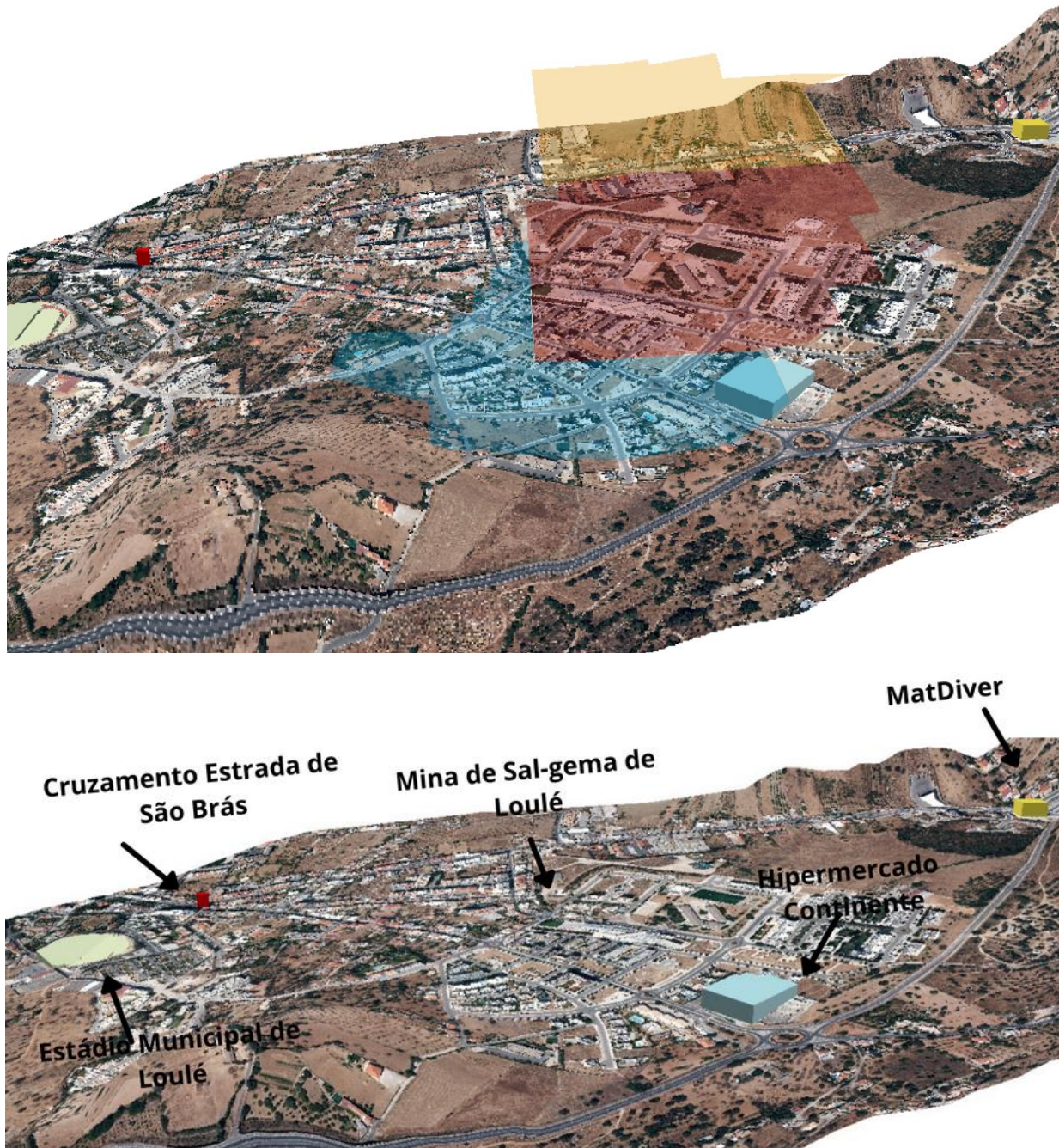


**Figura 18:** Estrutura em fishnet a 2D e estrutura em fishnet a 3D após a aplicação do buffer. Na estrutura tridimensional é possível identificar as três fases distintas da exploração no piso n°1, a azul a fase inicial, a verde a segunda fase do processo e a amarelo a última fase de exploração. É ainda possível identificar a creme numa camada inferior a exploração do piso n°2.

Todo o trabalho de visualização a três dimensões apresentado no final, no story map, é trabalhado no software ArcScene, onde a visualização de todas estas superfícies criadas é melhorada em termos de volume e representatividade. Recorrendo às propriedades das *shapefiles*, onde mexendo com os parâmetros *Base Height* e *Extrude* é possível, ver em profundidade e dar volume à superfície, melhorando assim a forma como são visualizadas as estruturas alvo do estudo. A vista em três dimensões, no ArcScene depende na sua maioria de duas propriedades a definição e a origem dos valores de elevação. Ao definir o atributo ou constante de elevação em *Base Heights*, ou seja, definindo a origem dos valores de elevação é possível aumentar a capacidade de visualização do utilizador, neste tipo de estruturas. Da mesma forma definir o valor ou expressão na propriedade *Extrude*, e adicioná-lo ao já definido *Base Heights* permite uma melhoria significativa na visualização de estruturas a três dimensões. O *Extrude* permite alongar a estrutura visualizada tendo como base os dados de elevação introduzidos.

No que toca à localização e extensão da mina de sal-gema em relação à cidade de Loulé, foram desenvolvidas superfícies dos edifícios mais representativos na área de influência da mina, como já referido. Usando as mesmas técnicas de ajuste das definições no *Base Height* e no *Extrude*, os edifícios ganham relevo e tornam-se referência para a localização da área ocupada pela mina de sal-gema. A Figura 19 ilustra a área de exploração ocupada atualmente pela mina de sal-gema, onde as três zonas sombreadas a cores diferentes, nomeadamente amarelo, vermelho e azul, representam três fases independentes de exploração, a vermelho, a exploração inicial, com recurso a explosivos, seguidamente a amarelo, a fase inicial de exploração com recurso a

roçadoras e finalmente a azul a época mais recente da exploração, ainda com roçadora, mas numa fase mais moderna, com recurso a novos métodos de processamento granulométrico.



**Figura 19:** Do lado esquerdo imagem do ortofotomapa com área ocupada pela exploração mineira. Do lado direito a imagem apresenta o detalhe dos edifícios de referência (obtido no Arcscene).

Na Figura 19 do lado direito é possível identificar com mais detalhe os diferentes edifícios utilizados como referência para facilitar o enquadramento da mina na cidade de Loulé.

O software ArcScene permite ainda a realização de voos a altitudes pré-definidas, o que consiste em obter a visualização da estrutura a partir de uma altitude escolhida pelo utilizador, que depois

pode ser alterada e ajustada consoante o objetivo do voo. Esta ferramenta permite “voar” por cima do modelo tridimensional desenvolvido e até “mergulhar” nele, acedendo aos contactos entre as várias estruturas geológicas e às galerias da mina de sal-gema. Esta ferramenta permitiu produzir posteriormente um vídeo utilizado no StoryMap, que permite a visualização destas estruturas em profundidade.

### 4.3 Construção da narrativa

A utilização de um StoryMap como ferramenta de transmissão e divulgação de um geossítio implica a construção de uma narrativa que permita a fácil compreensão da temática, mas também desperte a curiosidade e interesse do utilizador.

O StoryMap foi produzido com o objetivo de divulgar a mina de sal-gema de Loulé como geossítio, contar a sua história, explicar a sua geologia e hidrogeologia, demonstrar a sua utilização enquadrá-lo e localizá-lo na cidade de Loulé e por último, enquadrá-lo no aspirante a Geoparque Algarvensis, dando a conhecer a importância deste tipo de organizações e o seu potencial turístico e científico.

O aspirante a Geoparque Algarvensis tem dez Geossítios identificados, reconhecidos e visitáveis, o que o torna um alvo para a utilização de ferramentas de divulgação. O StoryMap apresenta potencial na divulgação deste tipo de locais, quando direcionado a um público generalista não especialista, utilizando as ferramentas multimédia como forma de transmissão de conhecimento e utilizando os mapas como forma de enquadramento e visualização. Para desenvolver um produto deste género foi necessário criar um guião, onde foram planeadas as temáticas a abordar, a estrutura e os recursos utilizados.

Para produzir o StoryMap, começou-se por fazer um levantamento da informação disponível acerca dos primeiros anos da mina, informação relativa aos métodos de exploração, equipas de trabalho, licenças de concessão e utilização do recurso mineral.

Com a ajuda de antigos colegas recolheram-se também testemunhos de como era o trabalho nesta mina no passado.

O ArcGIS StoryMaps sobre a mina de sal-gema de Loulé estende-se por seis capítulos, partindo da mina de sal-gema generalizando depois para o aspirante a geoparque.

A narrativa inicia-se por uma apresentação da Mina de Sal-gema de Loulé, onde é desenvolvida uma apresentação da mina, da sua organização e da entidade gestora.

A História da Mina é contada seguidamente com recurso a uma linha cronológica.

Em seguida recorrendo a uma ferramenta própria do ArcGIS StoryMaps, a apresentação de dispositivos, que utilizam som e imagem, contam-se as histórias da mina, de uma época em que a atividade mineira era muito diferente de hoje, como se pode ver na Figura 20, pela voz de um dos antigos mineiros.



**Figura 20:** Registo fotográfico dos antigos mineiros (fotografia fornecida por Carlos Faísca, 1982).

A geologia da mina é apresentada no separador seguinte recorrendo mais uma vez à imagem e ao vídeo, mas também às superfícies a três dimensões desenvolvidas no ArcScene.

O enquadramento e localização da mina na cidade de Loulé, faz-se mais uma vez através das estruturas desenvolvidas no ArcScene, onde utilizando a ferramenta de voo deste software, que permite visualizar a estrutura tridimensional a uma altitude pré-definida que pode ser ajustada e alterada para promover a sensação de voo, onde é possível mergulhar por duzentos e trinta metros, primeiro nível de exploração, desde a superfície topográfica até ao interior da terra, onde estão instaladas as galerias de exploração da mina de sal-gema.

O StoryMap finaliza com o enquadramento da mina de sal-gema como Geossítio do aspirante a Geoparque Algarvensis, onde é apresentado em vídeo a mina e o potencial da sua visita.

#### 4.4 Recursos Multimédia

Durante o processo de criação do StoryMap uma das principais atividades além da organização dos vários temas a abordar e o desenvolvimento de conteúdos escritos para o desenvolvimento da narrativa que se pretendia explorar, consistiu na edição de vídeo e imagem. No entanto primariamente procedeu-se a uma recolha documental, de fotografias, testemunhos, mapas e registos técnicos, utilizados posteriormente para construir e documentar a narrativa.

Após alguma pesquisa e experiência com softwares menos “*user friendly*” optou-se por usar o Vegas Pro, um software proprietário, mas com ferramentas fáceis de utilizar para leigos em edição de vídeo. Não foi feita uma extensa pesquisa sobre o assunto, tendo apenas testado alguns softwares disponíveis online, na sua maioria, livres ou com testagem gratuita. Para a edição de imagem optou-se pela plataforma Canva, que é de utilização gratuita e com a qual já estava familiarizada. Desta forma a escolha destes dois recursos recaiu principalmente na facilidade de utilização e familiaridade pré-existente com o software.

O Vegas Pro permite o corte e a retirada do áudio de um ficheiro de vídeo. Permite também juntar áudio a um vídeo já existente, o que facilitou a edição no formato e tamanho pretendido, assim como retirar áudio que não se adequava ao propósito do vídeo. Recorrendo ao software de conversão “texto para discurso” Wideo, em conjunto com o Vegas Pro foi ainda possível utilizar as gravações dos voos obtidos no ArcScene para a criação de pequenos “*teasers*” com descrição onde é possível “viajar pelas” várias estruturas geológicas em profundidade.

Para a produção do ArcGIS StoryMaps, foram produzidos documentos em vários formatos, nomeadamente, textos curtos e explicativos em formato “.txt”, vídeos sobre a mina e vídeos produzidos a partir dos voos realizados no software ArcScene, ambos em formato “.mp4”. Os testemunhos foram gravados em “.mp3”, após a produção de um guião, onde as pequenas histórias são estruturadas e organizadas para corresponderem às imagens que as acompanham. Todos os ficheiros de imagem estão em formato “.jpeg” e resultam da recolha de fotografias de antigos colegas, de digitalizações de documentos ou de imagens recolhidas online. Houve ainda algum material fotográfico recolhido propositadamente para esta dissertação.

A narração dos testemunhos foi feita por uma única pessoa, um antigo colega e antigo trabalhador da mina de sal-gema, o Paulo Serra, que aceitou contar os eventos mais importantes vivenciados durante os trinta anos de trabalho na mina de sal-gema de Loulé.

## 5. Implementação StoryMap

O storymap criado e desenvolvido neste trabalho de dissertação pode ser visualizado a partir do seguinte endereço na internet:

<https://storymaps.arcgis.com/stories/dcf03c268b9f489b93a808718c0cdd52>

Para a implementação do StoryMap da mina de sal-gema de Loulé foi utilizado o software ArcGIS StoryMap da ESRI, com esta solução o StoryMap é disponibilizado online, acessível a todos através da internet. De entre todas as ferramentas disponíveis no universo ESRI, sem dúvida que o StoryMap é o que permite uma melhor visualização do conjunto da informação obtida, apresentando-se como uma excelente ferramenta de promoção, visualização e divulgação científica.

Os StoryMaps utilizando a imagem e vídeo, os mapas e modelos produzidos, como ferramenta para explorar a narrativa de um local, permitem transmitir informação relevante e muitas vezes complexa de forma mais visual e descomplicada. Este ArcGIS StoryMaps está dividido em seis capítulos (Figura 21), onde se conta a história industrial da mina, as estórias associadas a uma local fora do comum, a sua história geológica e recorrendo a dados geográficos, conta também, que debaixo de uma área considerável da cidade de Loulé, existe uma mina em atividade que pode ser visitada e que foi classificada como um dos geossítios do aspirante a Geoparque Algarvensis.



**Figura 21:** Cópia do ecrã de início do ArcGIS StoryMap "A Mina de sal-gema - Uma história com 230 milhões de anos", onde se podem ver seis capítulos do storymap.

- Mina de Sal-Gema de Loulé

O primeiro capítulo apresenta e localiza a mina, a infraestrutura e os intervenientes na exploração.

O texto é complementado por duas imagens que permitem dar a conhecer os dois únicos acessos, o Poço nº1 e o Poço nº2, que funcionam também como meio de transporte de pessoas, equipamentos e minério.

- História da Mina

O segundo capítulo conta a história da mina, desde a descoberta do recurso geológico sal-gema, ao interesse de dois investidores pela exploração e arranque da atividade. Aborda-se ainda as evoluções tecnológicas em termos de métodos de exploração e as diferentes empresas concessionárias que mantiveram a mina em atividade até à atualidade. Mais uma vez os textos são acompanhados de imagens ilustrativas da informação disponibilizada. Este capítulo é apresentado recorrendo a uma “timeline” ou régua temporal que permite destacar os marcos temporais mais relevantes.

- Estórias da mina

As estórias da mina são contadas por um antigo trabalhador. Recorrendo a uma apresentação de diapositivos, onde o destaque é dado à imagem, acompanhada de um pequeno texto que corresponde ao excerto do relato que está a acompanhar o diapositivo.

Estes relatos foram gravados por um ex-colega, que trabalhou na mina durante trinta anos e acabou por conhecer as várias fases de atividade por que ela passou.

Um conjunto de cinco diapositivos acompanhados de um áudio específico para cada diapositivo contam estórias dos tempos mais remotos e dos momentos mais marcantes da atividade mineira.

- Geologia da Mina

Para este capítulo foi feita uma abordagem inicial mais direcionada para a geologia geral, detalhando depois o aparecimento e extinção do mar de Tethys, onde dois vídeos acompanhados por pequenos textos explicam sucintamente a origem do sal-gema.

De forma a ilustrar as três litologias abordadas neste trabalho é utilizada uma galeria de imagens onde são apresentados os calcários, o gesso e o sal-gema, no geral e depois mais detalhadamente. As fotografias são mais uma vez acompanhadas de pequenos textos explicativos de cada litologia.

Ainda dentro deste capítulo é feita uma abordagem à hidrogeologia e ao enquadramento do aquífero na área da mina, assim como as três litologias de referência, com recurso a um dos vídeos obtidos através do software ArcScene.

- Mergulho de 230 metros

Neste capítulo, utilizando novamente a apresentação de diapositivos, que permite a utilização de áudio, é apresentado com descrição áudio, o modelo tridimensional produzido no ArcScene, onde a exploração mineira é localizada na cidade, através do ortofotomapa. É possível visualizar as galerias em profundidade e a dimensão da exploração enquadrada na cidade.

Complementado por pequenos textos é também apresentado um mapa interativo, com quatro pontos de interesse, onde é possível associar a um local no interior da mina, a seu ponto correspondente à superfície.

- Geossítio e Geoparque

O último capítulo faz uma abordagem ao enquadramento do Geossítio Mina de sal-gema de Loulé no aspirante a Geoparque Algarvensis, e enquadra também o último, dentro do universo dos Geoparques Unesco. Recorrendo mais uma vez a um mapa interativo, são apresentados todos os geoparques portugueses, com as respetivas ligações para o local na internet.

O StoryMap termina com o geossítio mina de sal-gema de Loulé, onde recorrendo a um mapa, podemos identificar o percurso de visita e recorrendo a um vídeo, é possível “viajar” até ao interior da mina e fazer virtualmente a visita, deste espaço único em Portugal.

Há ainda um conjunto de vídeos referentes a ocorrências na comunicação social, na sua maioria reportagens de divulgação deste destino geoturístico.

## 6. Análise e Discussão de Resultados

### 6.1 Sondagens geológicas e hidrogeológicas

A Tabela 1, resume os dados utilizados para iniciar todo o processo construção das estruturas geológicas e hidrogeológicas mais representativas da área envolvente à mina de sal-gema de Loulé, no entanto, apesar de existirem dados relativos a trinta e oito sondagens geológicas, verificou-se que após uma primeira análise, os dados disponíveis eram em menor quantidade do que inicialmente se esperava.

A maioria das sondagens não estão completas, no que diz respeito à profundidade em que se encontram as várias estruturas geológicas, o que levou a que apenas fosse possível utilizar a informação de dezasseis das trinta e oito referências disponíveis.

No que aos dados hidrogeológicos diz respeito, a informação disponível é ainda menor, sendo a estrutura do mesmo construída com base em apenas cinco sondagens, com base nos dados das sondagens de captação de água fornecidos pelo SNIRH e à pouca informação disponível nas sondagens da mina de sal-gema de Loulé. No banco de dados disponibilizado pelo SNIRH a informação é bastante parca, faltando na maioria das vezes os dados geológicos ou até mesmo a profundidade do aquífero. No entanto esta informação deve ser fornecida à Agência Portuguesa do Ambiente, entidade gestora do SNIRH, aquando do pedido de licenciamento de um furo de captação de água, não se entendendo assim a ausência de informação disponibilizada no banco de dados.

Esta limitação no que se refere à quantidade de informação disponível levou a que a representação das estruturas geológicas e hidrogeológicas referidas tenha sido mais limitada, tendo em conta que quanto maior é a quantidade de dados utilizados para produzir os *rasters* mais próxima da realidade será a sua representação.

Apesar de, no objetivo final, esta limitação não seja inibidora de uma boa capacidade de visualização, reconhece-se a falta de precisão na modelação a três dimensões deste tipo de estruturas o que dificultou um pouco a forma de apresentar a informação pretendida.

O fator que se destacou como mais relevante no desenvolvimento deste trabalho foi a necessidade de aceder a informação geológica mais completa, revelando-se essencial, para uma investigação futura a recolha de informação mais detalhada em termos geológicos e hidrogeológicos. A publicação de Terrinha *et al.* (2006) apresenta um extenso estudo sobre a Bacia Algarvia em geral e a região do diapiro de Loulé em particular e é evidenciada a falta de informação geológica suficiente para completar, na totalidade, a estratigrafia da região. No entanto financeiramente não

é facilmente aceite a realização de novas campanhas de prospeção geológica, desta forma, mais uma vez as ferramentas atuais associadas ao sistemas de informação geográfica, através da análise e tratamento de imagens de satélite ou obtidas através de drone são uma possibilidade de aprofundar a investigação nesta área sem recorrer a novas campanhas de prospeção que normalmente só ocorrem aquando da existência de interesses económicos, como novas jazidas com interesse para a exploração mineira.

### 6.2. Produção dos modelos a três dimensões

O processo de modelação desenvolveu-se por fases, onde se tentou, da melhor forma possível, representar o contato entre as estruturas geológicas e hidrogeológicas características da área alvo de estudo. A escolha da ferramenta de interpolação, IDW, onde se consegue interpolar um *raster* usando o peso da distância inversa, comprovou, após algumas tentativas, com outras ferramentas de análise espacial, apresentar uma melhor visualização dos resultados pretendidos. No entanto, como já foi referido, o facto de existir pouca informação à disposição também não facilitou a representação das várias camadas geológicas a três dimensões. Deveria ter registado os resultados com outros métodos de interpolação, no entanto, como não o fiz, não posso demonstrar as mais valias do interpolador IDW, apenas garantir que foi o método que permitiu melhores resultados, como já tinha sido concluído durante a pesquisa bibliográfica inicial, onde Liu *et al.* (2021) concluí que a ferramenta de interpolação IDW é mais estável e mais precisa para o tipo de dados utilizados.

Mais do que uma vez foi necessário recorrer à versatilidade das ferramentas de visualização disponíveis no ArcScene, trabalhando especialmente com a altitude e com o *extrude*, para que o modelo se tornasse o mais fiel a uma interpretação real. Equilibrar as várias camadas a três dimensões para permitir o seu enquadramento com o ortofotomapa foi das tarefas mais importantes neste processo e também aquela que gerou mais preocupação. Olhando para o objetivo inicial do trabalho, esta era a imagem mais importante a passar. A capacidade de mostrar com uma imagem ou vídeo a localização de uma estrutura geológica complexa que se estende por baixo de uma área relevante de uma cidade acaba por ser a forma mais simples e elucidativa de comunicar ciência na área da geologia.

Com este objetivo em mente, grande parte do trabalho desenvolvido no ArcMap e no ArcScene envolveu a melhoria da apresentação destas estruturas e o seu enquadramento com o ortofotomapa da superfície alvo de estudo. Para tal, recorrendo ao ArcScene foram planeados e gravados “voos” que permitiram uma abordagem generalista de visualização.

De forma a facilitar a visualização foram também digitalizados edifícios relevantes, utilizados como pontos de referência, mais uma vez, com o objetivo de facilitar visualização e enquadramento da mina na cidade de Loulé. No entanto apesar de o resultado final ser bastante satisfatório, as inovações e atualizações da plataforma ESRI geram alguma frustração pessoal, quando praticamente no final do trabalho verificamos o surgimento de softwares como SURE para ArcGIS que permitem a construção da superfície, com uma realidade fotográfica, através de mechas 3D, modelos digitais de superfície e ortofotomosaicos, que permitiriam melhorar a capacidade de visualização dos percursos percorridos no interior da mina, em relação à superfície.

### 6.3 Utilização do ArcGIS StoryMaps

A utilização do ArcGIS StoryMaps como ferramenta de divulgação científica revelou-se bastante vantajosa, permitindo uma abordagem generalista, mas onde são focados os pontos que poderão despertar maior interesse ao interlocutor, utilizando instrumentos visuais apelativos e envolventes que aguçam o interesse por um local desconhecido, mas que também transmitem conhecimento e informação, normalmente não acessível. A tentativa de permitir ao utilizador/visitante “espreitar” o que está disponível, de forma a despertar a vontade de visitar um espaço até hoje incógnito para a maioria da população foi sem dúvida bem-sucedida e permitiu antever a possibilidade de replicação deste tipo de ferramenta em locais semelhantes, como outros geossítios ou outros locais de interesse geológico.

A construção do ArcGIS StoryMaps iniciou-se com base num guião, um documento previamente produzido com o intuito de escalonar as diferentes temáticas a abordar e desenhar a narrativa que se pretendeu contar.

O desenvolvimento do StoryMap e de todo o conceito de divulgação científica associado, vem dar resposta à dificuldade de criar processos de interpretação dos Geossítios, versáteis, de fácil entendimento e acesso que possam ser replicados sem grandes dificuldades e permitam o acesso à informação necessária para compreender um local de interesse geológico e o seu enquadramento geológico e cultural, a sua cartografia, assim como a sua importância científica e social, tal como Duarte (2018) refere na sua publicação.

A principal limitação desta ferramenta prende-se pela edição. A versatilidade dos recursos do ArcGIS StoryMaps é um pouco limitada, apesar da ESRI estar constantemente a atualizar e a melhorar as ferramentas disponíveis, gostaria de ter tido mais liberdade na edição dos vários campos, nomeadamente em termos de tamanho de letra, estrutura e aspeto gráfico.

Outro fator relevante a ter em conta futuramente, na produção deste tipo de ferramenta científica, é o tamanho dos vídeos. A plataforma não aceita vídeos muito grandes e como se pretende criar uma ferramenta que possa ser acedida em qualquer tipo de dispositivo, incluindo dispositivos móveis, é importante ter em atenção a dimensão dos vídeos utilizados, já que estes são sempre condicionados pela velocidade da internet e da capacidade do dispositivo de visualização. Tendo em conta estes fatores, todos os vídeos foram encurtados e adaptados às melhores condições de visualização.

Este ArcGIS StoryMaps pretende dar a conhecer a mina de sal-gema de Loulé, numa abordagem histórica, científica e como local de interesse turístico, e esse objetivo foi atingido, tendo sido criado um instrumento que permite uma visita virtual, uma pré-visitação que tem por objetivo despertar a curiosidade, o suficiente, para se tornar numa vista interativa in situ, permitindo desta forma, por se encontrar numa plataforma online, a promoção do geossítio em Portugal e no estrangeiro, podendo ser acedida a partir de casa quando ainda não foi realizada a visita ao local, ou no próprio telefone, já nas imediações do geossítio. Para tornar esta ferramenta ainda mais versátil e acessível sugere-se a colocação do *QR code* (Figura 22) que pode ser divulgado nas plataformas online oficiais, nos folhetos promocionais ou até mesmo à entrada do geossítio. É de referir que por enquanto o ArcGIS StoryMap se encontra na plataforma ESRI da Universidade do Algarve, logo não está acessível livremente, no entanto é objetivo futuro a publicação do StoryMap numa plataforma aberta, de livre acesso.



**Figura 22:** QR code do sitio de internet do ArcGIS StoryMap.

## 7. Conclusões

Todo o processo de realização deste trabalho partiu de um conjunto de informação pertencente à empresa detentora da concessão da mina de sal-gema de Loulé, maioritariamente sondagens geológicas, no entanto verificou-se que a informação disponível acerca da hidrogeologia era escassa o que levou a uma pesquisa mais detalhada de dados relativos a sondagens de captação de água, no sítio da internet do SNIRH. As sondagens geológicas, pertencentes à empresa concessionária foram realizadas ao longo do tempo, mas numa época em que nem toda a informação foi registada, visto o principal objetivo das sondagens ser a verificação da presença de sal-gema e a sua extensão. No que se refere às sondagens de captação de água, verificou-se também um registo pouco detalhado das estruturas geológicas envolvidas. Desta forma a quantidade de informação disponível acabou por ditar o formato de apresentação das estruturas geológicas e hidrológicas, sendo importante referir que na produção de um *raster*, ou seja, na produção de uma matriz de células ou pixéis em formato de malha, onde cada uma delas contém informação relativa à temática em estudo, quanto maior for a quantidade de informação disponível mais completa será a malha apresentada e mais próxima da realidade será a representação gerada. Neste caso a maior dificuldade foi, após a produção das interpolações, modelar as estruturas da forma mais real possível, tarefa que é tanto mais simples e precisa quanto maior for a quantidade de informação disponível. É essencial em futuros trabalhos garantir uma boa pesquisa e levantamento de informação disponível sobre o local que se pretende representar a três dimensões, ou como já sugerido, o desenvolvimento de ferramentas de análise dentro dos sistemas de informação geográfica, nomeadamente recorrendo a imagens por satélite ou por drone, que facilitariam a identificação da geologia de superfície. O aprofundamento do potencial deste tipo de análise e tratamento neste tipo de imagens representa um potencial de investigação futura. Desta forma, verifica-se a necessidade de reforçar, perante as entidades responsáveis pela execução de estudos geológicos e hidrogeológicos, o registo correto e detalhado dos dados obtidos. Este alerta aplica-se a todas as entidades que recolhem dados, visto ser fundamental para qualquer tipo de análise futura, a coerência e consistência da informação disponível. No caso das sondagens de captação de água, a informação disponibilizada pelo SNIRH é muito pouco detalhada, no entanto, durante o processo de autorização e licenciamento de um furo de captação de água, é produzido um relatório extenso onde um os seus constituintes é o log da sondagem de captação de água, onde são registadas as profundidades das estruturas geológicas, assim como o nível do aquífero. Com base na informação disponibilizada no local da internet da APA, verifica-

se que esta informação é obrigatória, logo seria de esperar que os registos do SNIRH fossem bastante mais completos.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho foi também possível identificar inovações nas ferramentas ESRI que, em futuros trabalhos nesta área da representação e modelação de estruturas geológicas, poderão vir a ser muito úteis e permitiram melhorias significativas. A plataforma ESRI trabalha constantemente na atualização das suas ferramentas e capacidades, o que permite muitas vezes saltos tecnológicos em diversos âmbitos. Na geologia e hidrogeologia, esta plataforma continua a inovar e apresenta promissoras ferramentas para permitir, melhorar e facilitar a interpretação da geologia do nosso planeta. Após a conclusão do ESRI StoryMap verifiquei várias inovações, que permitiram melhorar a visualização da informação disponibilizada.

A curiosidade de querer entender o que se estende para lá do que conhecemos é um dos grandes motores do desenvolvimento, mas também é responsável pelo impulso de viajar e descobrir novos locais. Os geoparques, permitem na maioria das vezes, a satisfação dessa curiosidade, acabando por ser responsáveis por aprendizagens em áreas diversas e muitas vezes bastante distintas da formação do visitante. Neste sentido e olhando para os geoparques como estruturas dinâmicas, responsáveis pela divulgação e transmissão de conhecimento e ciência em sintonia com a natureza, a cultura e a identidade das regiões onde são implementados, é importante encontrar as plataformas mais adequadas para os desvendar.

Ao longo de todo o processo de desenvolvimento do ArcGIS StoryMaps para a mina de sal-gema de Loulé, o objetivo foi sempre que o StoryMap permitisse a qualquer utilizador apreender de forma simples o que é o sal-gema, a que profundidade estão os calcários ou o aquífero que alimenta a cidade, porque é que esse aquífero não dissolve o diapiro, que estima-se estender dos cem metros até aos oitocentos metros de profundidade, ou até mesmo, como se organiza e que área da cidade ocupa a mina. Para tal foi possível testar várias ferramentas do universo ESRI, mas fundamentalmente, foi possível verificar a sua versatilidade neste tipo de projeto.

Ao contrário da opinião comum, os softwares de geoprocessamento não são só aplicáveis às áreas comuns da engenharia, gestão e planeamento, e apresentam-se também como essenciais na visualização de estruturas geológicas, locais de visitação menos acessíveis, como grutas e minas e planeamento de percursos turísticos.

Neste sentido, este trabalho apresenta o ArcGIS StoryMaps, como uma ferramenta relevante para a interpretação de geossítios, com um potencial enorme de aplicação no aspirante a Geoparque Algarvensis, onde a maioria dos geossítios se apresenta em regiões menos acessíveis. O desenvolvimento desta ferramenta, permitindo a interpretação dos locais de interesse geológico,

recorrendo a modelação e visualização a três dimensões das várias estruturas, através dos softwares já referidos, é sem dúvida uma forma inovadora de comunicar ciência a todos os visitantes, quer localmente quer através dos recursos online existentes e que poderá ser replicada nesta área de atuação com bastante sucesso.

## Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, C.** - Hidrogeologia do Algarve Central, Lisboa: Universidade de Lisboa, 1985. Dissertação de Mestrado.
- BRIGGS, Alan, DOWLING, Ross, NEWSOME, David** – Geoparks – learning from Australia. Journal of Tourism Futures, 2021, Emerald Publishing Limited.
- DUARTE, Rubén** - União das freguesias de Pedroso e Seixezelo: roteiro das freguesias e storymaps de apoio à divulgação e gestão do território. Porto: Universidade do Porto, 2018. Dissertação de Mestrado.
- CAETANO, Mário, CRISÓGONO Paulo, SANTOS José, BARBEIRO Andreia, SILVA Marisa, PATRÍCIO Paulo, ANJOS Bruno, SILVA Marco** - IPSentinel: Desenvolvimento de uma plataforma colaborativa para a disseminação de informação geoespacial em Portugal. Ordem dos Engenheiros -VIII CNCN - Conferência Nacional de Cartografia e Geodasia (2015).
- DAVIS, Bruce E.** - GIS: A Visual Approach, 2001, 2º Edição - Cengage Learning.
- DUARTE, Rúben**, União de Freguesias de Pedroso e Seixezelo: roteiro de freguesias e storymaps de apoio à divulgação e gestão do território. Porto: Universidade do Porto, 2018, Dissertação de Mestrado.
- HE, Hanhan, HE, Jing, XIAO, Jingze, ZHOU, Yuanxin, LIU, Yv, LI, Chao** - 3D geological modeling and engineering properties of shallow superficial deposits: A case study in Beijing, China. Tunnelling and Underground Space Technology. . ISSN 08867798. 100: July 2019 (2020).
- KUNA, Jakub; KOWALSKI, Łukasz** - Exploring a non-existent city via historical GIS system by the example of the Jewish district ‘Podzamcze’ in Lublin (Poland). Journal of Cultural Heritage. . ISSN 12962074. 46:(2020).
- LIU, Z. YAN, T.** – Comparison of spatial interpolation methods based on ArcGIS. Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 2021
- MACIEL, Elsa** - Divulgar ciência para diferentes públicos Uma experiência no projeto STOL - Science Through Our Lives. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2014. Relatório de Estágio.
- MANUPPELLA, G.** - Litoestratigrafia e tectónica da Bacia Algarvia, Lisboa: Revista Geonovas, 10. 1988.p 67-71.
- MATOS, João Luís de** – Fundamentos de Informação Geográfica, 2001, 3ª Edição – LIDEL.
- MOTA, António** – Recursos Geológicos dos Elementos – 2020 – Palimage.

- PAN, Dongdong**, XU, Zhenhao, LU, Xinming, ZHOU, Longquan, LI, Haiyan. - 3D scene and geological modeling using integrated multi-source spatial data: Methodology, challenges, and suggestions. *Tunnelling and Underground Space Technology*. . ISSN 08867798. 100:April (2020).
- RAMSAY, Tony** - Fforest Fawr Geopark—a UNESCO Global Geopark distinguished by its geological, industrial and cultural heritage. *Proceedings of the Geologists’ Association*. . ISSN 00167878. 128:3 (2017).
- RODRIGUES, Joana**, CARVALHO, Carlos N., RAMOS, Mário, RAMOS, Raquel - Geoproducts – Innovative development strategies in UNESCO Geoparks: Concept, implementation methodology, and case studies from Naturtejo Global Geopark, Portugal. *International Journal of Geoheritage and Parks*. . ISSN 25774441. (2020).
- SETIJADJI, Lucas D.**, ZOLNAI, Andrew - Core GIS Activities for Geosciences. *Subsurface Modeling with GIS*. (2003).
- SILVA, Ana Nobre**, LIRA, Cristina, TABORDA, Rui, DIAS, Elisabete, CATALÃO, João, AMORIM, Alexandra - SOPHIA - Sistemas de Informação Geográfica: Análise Espacial: DGRM - Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos, 2016.
- TEIXEIRA, Pedro** - O diapiro de Loulé, estudo geofísico do sal-gema da mina Campina de Cima. Porto: Universidade do Porto, 2017. Dissertação de Mestrado.
- TERRINHA, P. et al.** - A Bacia do Algarve: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*. Évora: Universidade de Évora, 2006. p. 247-316.

#### REFERÊNCIAS ONLINE:

- [1] “ESRI Portugal” online: <https://www.esri-portugal.pt/pt-pt/o-que-sao-os-sig/overview> (consultado entre junho de 2021 e março de 2022).
- [2] “Programa Copernicus” online: <https://www.copernicus.eu/pt-pt/acerca-do-copernicus/o-copernicus-em-resumo> (consultado entre junho de 2021 e março de 2022).
- [3] “ESRI Portugal” online: <https://www.esri-portugal.pt/> (consultado entre junho de 2021 e março de 2022).
- [4] “Sistemas de Referência” online: <https://www.dgterritorio.gov.pt/geodesia/sistemas-referencia/portugal-continental/PT-TM06-ETRS89?language=en> (consultado entre março de 2021 e março de 2022).
- [5] “Manual de QGIS” online: [https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/training\\_manual/index.html](https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/training_manual/index.html)

(consultado entre março de 2021 e março de 2022).

[6] “Avion” online: <https://www.avion.io/>

(consultado entre março de 2021 e março de 2022).

[7] “Craft” online: <https://craft.io/>

(consultado entre março de 2021 e março de 2022).

[8] “Knightlab Story Map” online: <https://storymap.knightlab.com/>

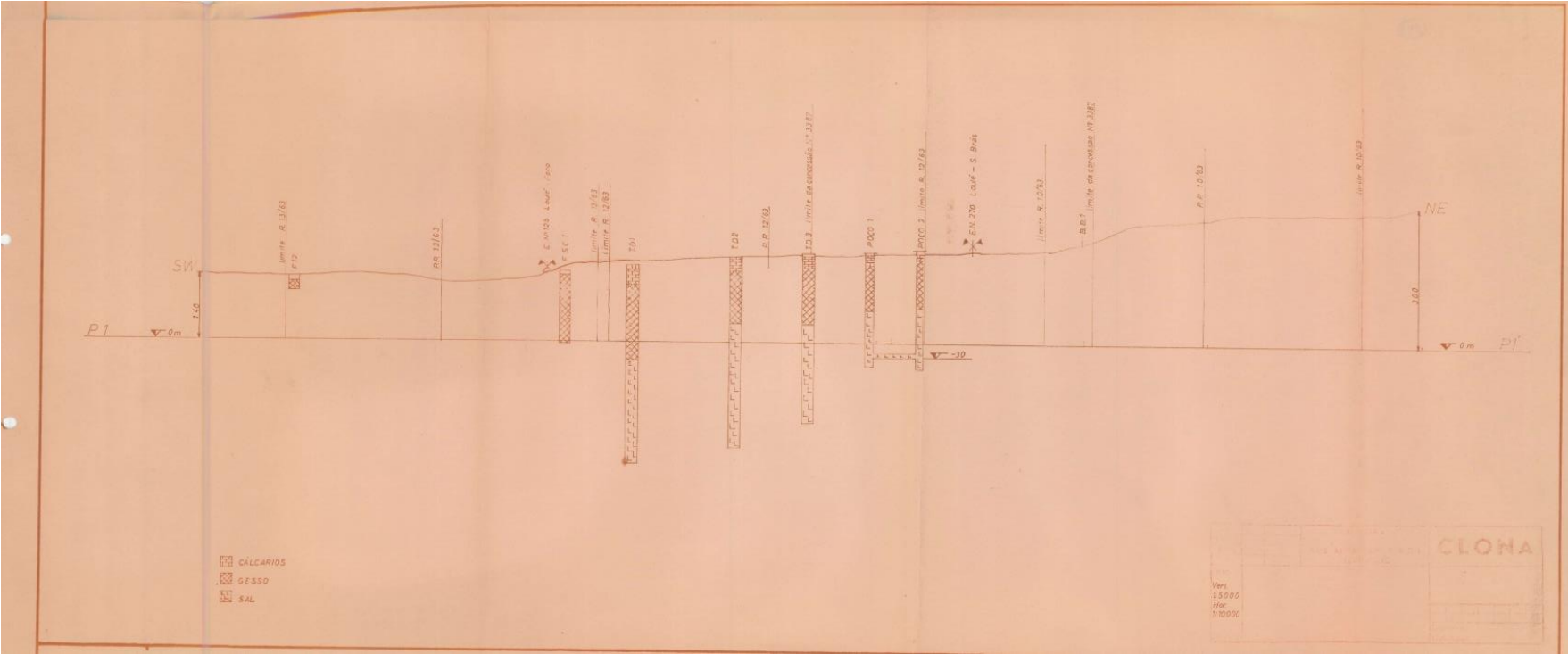
(consultado entre março de 2021 e março de 2022).

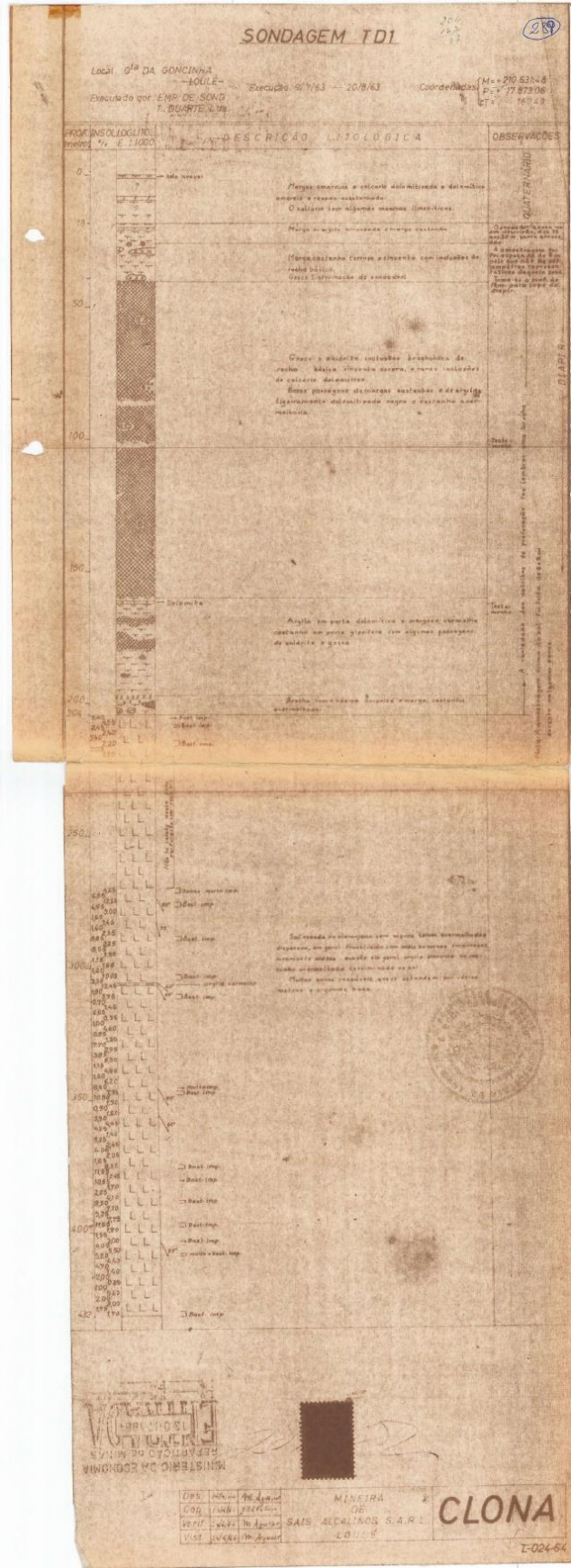
## Anexo 1 – Listagem de Sondagens

302

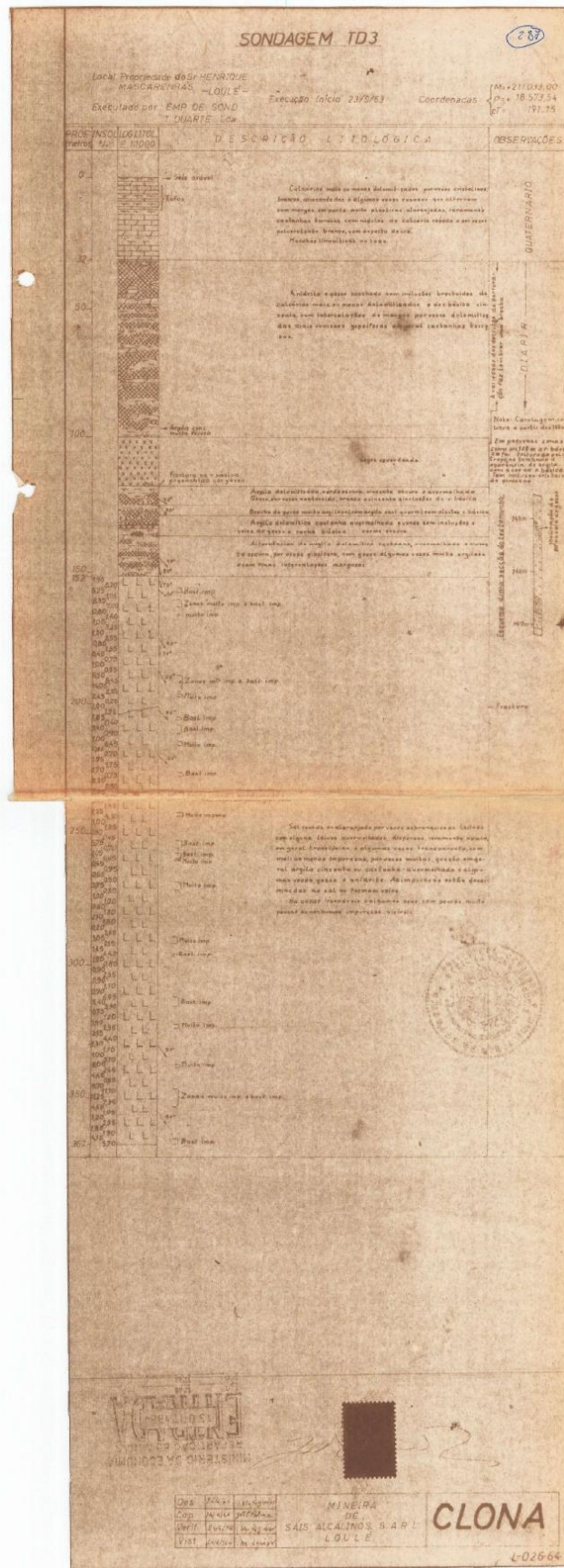
SONDAGENS	COTAS DO TERRENO	COTAS DO TOPO DO DIAPIR	COTAS DO TOPO DO SAL	ESPESSURA DO GESSO	PROFUNDIDADE DE SOND.
F 3	195	194	-	-	
F 4	197	183 14	72 125	121	06s P-2
F 22	163,6	146	-	-	
F 23	150	144	-	-	
F 30	193	183	-	-	
F 31	198,1	110	-	-	Caixa de falha
F 32	197,80	164	80	84	(+164) 338
F 33	197	134 ?	-	-	63 (+134)
F 35 ?	179,6	145	79	66	
F 41	197,16	181 16	70 127	111	437,5 (-240,4)
FG 1	184	157	-	-	
FG 2	184	160	-	-	
FX	147 -	120 = 27	-	-	
TD 1 v	167,5	150 = 17,5	- 36	114	186 168
TD 2 v	182,3	149 = 33,3	35	114	
TD 3 v	191,1	159 = 32,1	39	120	
NORA	197	168	-	-	
F 13 v	197	154	70	84	178,45 (+18,55)
E 13	197	101	15	86	234,64 (-37,6)
CD 7	197	112	25	87	235,22 (-38,2)
CE3	197	172 25	72 125	100 97	377,8
UC 81	+10				
UC 82	+10				20 182 1607 35

# Anexo 2 – Registos das Sondagens TD1, TD2 e TD3









# Anexo 3 – Secção de planta do nível 1

