

Análise de aplicações para o desenvolvimento de gémeos digitais: o estudo de caso do Porto de Sines

Versão Final Após Defesa

Carlos Manuel da Costa Pimentel

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Sistemas de Informação Geográfica

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Pedro Gabriel de Faria Lapa Barbosa de Almeida

Co-orientadora: Prof. Doutora Maria Teresa Folga Batista

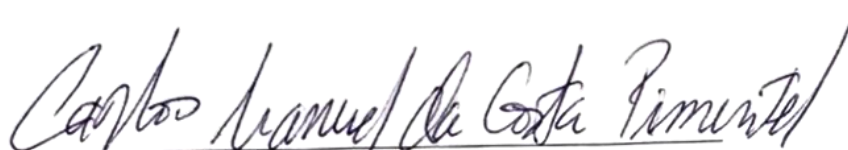
Maio de 2025

Declaração de Integridade

Eu, Carlos Manuel da Costa Pimentel, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M12843 do curso de Mestrado em **Sistemas de Informação Geográfica da Faculdade de Engenharia**, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 01 /05 /2025



Carlos Manuel da Costa Pimentel

Dedicatória

Dedico esta Dissertação à minha querida esposa Valéria Pimentel, sem a qual não a teria concluído. Aos meus irmãos, especialmente ao Délcio por sempre incentivar-me a ir além. Aos meus pais por terem-me transmitido os valores que levo para a vida. E a minha filha Edjane Pimentel.

Agradecimentos

Não teria sido possível alcançar esse objetivo e concluir com sucesso esse trabalho de investigação, sem os docentes da UBI, e sem o apoio da Universidade de Évora, os meus amigos e familiares que acompanharam esse processo e que contribuíram para a sua realização pelo que estou grato.

Em primeiro lugar agradeço ao Prof. Doutor Pedro G. Almeida, como docente e orientador a sua disponibilidade para fazer uma análise crítica e construtiva do texto bem como as suas sugestões sobre como direcionar a pesquisa revelaram-se fundamentais para a conclusão desse projeto. E agradeço também a Prof. Doutora Maria Teresa Batista, por fornecer orientações e indicações claras sobre os objetivos a atingir, e também por propor uma visão realista do projeto, além de tirar tempo útil para definir as linhas mestras da investigação desenvolvida, indo além da conceção teórica e seguindo uma visão pragmática e adaptada ao contexto de aplicação dos resultados obtidos.

Em segundo lugar agradeço a Administração do Porto de Sines, por auxiliar em vários aspetos necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

Também agradeço a minha esposa Valéria Pimentel, que me incentivou a concluir esse projeto, a minha colega Ana Cristóvão que sempre mostrou uma vontade de aprender e partilhar conhecimentos, aos meus colegas do curso de mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, aos meus pais pela educação e formação que me ajudaram a obter.

Resumo

Esta dissertação aborda a componente de visualização geográfica e os requisitos técnicos para a criação de um gémeo digital do Porto de Sines. Desde a conceitualização e origem do termo gémeo digital e áreas interrelacionadas bem como as possíveis aplicações dos gémeos digitais na indústria. Enquanto, focou-se na análise dos benefícios da utilização dessa ferramenta nos Portos marítimos. Explorou-se aqui tanto os requisitos para a visualização geográfica, as tecnologias envolvidas e como elas podem melhorar a eficiência e a segurança do porto. Usaram-se várias ferramentas para criação de visualizações geográficas apelativas e para melhorar o nosso conhecimento da área de estudo como: “Google Earth Pro”, “Google Earth Studio”, “Arcgis pro”, incluindo uma aplicação de página única interativa em 3D com o mapa do Porto de Sines em destaque. Apresenta-se também um protótipo de gémeo digital estático, criado com a ferramenta “BlenderGIS” o qual permite uma aproximação maior a realização dos objetivos propostos. Analisou-se também a integração com ferramentas e metodologia da indústria 4.0, como a internet das coisas e armazenamento e computação na nuvem. A análise dos requisitos concentrou-se nas funcionalidades, tipos de dados e perfil dos utilizadores. Por fim fez-se uma lista de possíveis materiais e tecnologias bem como metodologia para criação efetiva do gémeo digital.

Palavras-chave

Gémeo Digital, Sistemas de Informação Geográfica, SIG, Visualização Geográfica.

Abstract

This dissertation addresses the geographic visualization component and the technical requirements for creating a digital twin of the Port of Sines. From the conceptualization and origin of the term digital twin and interrelated areas as well as the possible applications of “digital twins” in industry. Meanwhile, it focused on analyzing the benefits of using this tool in seaports. Here we explored both the requirements for geographic visualization, the technologies involved and how they can improve the efficiency and security of the port. Various tools were used to create appealing geographic visualizations and to improve our knowledge of the study area such as: Google Earth Pro, Google Earth Studio, ArcGIS pro, including an interactive 3D single page application with the map of the Port of Sines highlighted. A static digital twin prototype is also presented, created with the BlenderGIS tool, which allows a closer approach to achieving the proposed objectives. Integration with industry 4.0 tools and methodology was also analyzed, such as the internet of things and cloud storage and computing. Requirements analysis focused on functionalities, types of data and user profile. Finally, a list of possible materials and technologies was made, as well as a methodology for effectively creating the digital twin.

Keywords

Digital Twin, Geographic Information Systems, GIS, Geographic Visualization.

Índice

Dedicatória	5
Agradecimentos.....	7
Resumo.....	9
Abstract	11
Índice.....	13
Lista de Figuras.....	16
Lista de Tabelas.....	19
Lista de Acrónimos	21
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.1.1. Objetivo Geral.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos.....	3
1.2. Caraterização da área de estudo.....	4
1.3. Estrutura da dissertação.....	7
Capítulo 2 - Estado da Arte.....	9
2.1. Componente de visualização geográfica.....	9
2.1.2. Métodos e Técnicas de Mapeamento de Operações em Portos Inteligentes	9
2.1.2.1. Mapeamento com “LiDAR”	9
2.1.2.2. Mapeamento com Imagens de Satélite “RAS”	10

2.2. Evolução do conceito de gémeo digital	12
2.3. Gémeos digitais em portos marítimos	13
2.4. A Indústria 4.0 e as Revoluções Industriais	15
2.5. Características dos Gémeos Digitais	16
2.6. Desafios e Benefícios dos Gémeos Digitais na Indústria Marítima: Um Caminho para Portos Sustentáveis	18
2.7. Hipótese do fluxo de operação do Porto de Sines Com Rastreamento em Blockchain	19
Capítulo 3 – Metodologia	21
3.1. Revisão bibliográfica	21
3.2. Recolha de dados.....	22
3.3. Análise de dados.....	22
3.3.1. Visualização Geográfica do Porto de Sines.....	23
3.3.1.1. Animação 3D com ArcGIS Pro.....	23
3.3.1.2. Animação 3D com “Google Earth Pro” versão 7.3.6.9796 (64-bit).....	30
3.3.1.3. Animação 3D com “Google Earth Studio”	32
3.3.1.4. Modelo digital do Porto de Sines Com Blender	37
3.3.1.5. Visualização “Web” Interativa do Porto de Sines	44
3.4. Integração das Metodologias	46
3.5. Validação dos resultados.....	46
Capítulo 4 - Resultados	48
4.1. Requisitos Para Criar Um gémeo Digital.....	48
4.2.1.1. Requisitos Para Criar Um gémeo Digital no “Unity” 3D	49

4.2.1.2. Proposta de materiais e métodos para criação do Gémeo Digital do Porto de Sines.....	50
Lista de Materiais	51
4.2.1.3. “Softwares” para Criar o Gémeo Digital	53
4.2.1.4. Comparação dos resultados obtidos com as diferentes ferramentas de visualização geográfica e mapeamento	55
4.3. Benefício da rastreabilidade do “blockchain” na criação do gémeo digital do Porto de Sines	63
4.5. Discussões	65
4.5.2. Limitações metodológicas.....	65
4.5.3. Conclusão da estratégia metodológica.....	66
Capítulo 5 - Conclusão e Trabalho Futuro	68
5.1. Contribuições do Estudo	69
5.2. Trabalho Futuro	69
REFERÊNCIAS	71
Apêndice A.....	77
A.1 Requisitos de hardware para o ArcGIS Pro	77
Glossário	80

Lista de Figuras

Figura 1 - Mapa de Localização do Porto de Sines. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2	5
Figura 2 - Mapa da Infraestrutura do Porto de Sines. Fonte: Editado pelo autor a partir dos dados fornecidos pela Administração do Porto de Sines usando o “ArcGIS Pro” versão 3.26	
Figura 3 - Criar projeto no ArcGIS Pro. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2.....	25
Figura 4 - Conectar pasta dos dados no ArcGIS. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2.	26
Figura 5 - Converter visualização para Cena Local. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2	26
Figura 6 - Carregar o “shapefile” dos dados no ArcGIS. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2. “Shapefile” fornecido pela GADM e disponível no sítio web “forest gis”	27
Figura 7 - Ativar a camada base de elevação, para visualizar as feições em 3D. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2. Shapefile fornecido pela GADM e disponível no sítio web forest gis	27
Figura 8 - Representação em 3D do Porto de Sines. Fonte: Criado pelo autor com base no “shapefile” produzido pela AGDM e disponibilizado no site forest gis.....	28
Figura 9 - Criar animação por adicionar “keyframes”. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2. Shapefile fornecido pela GADM e disponível no sítio web forest gis	28
Figura 10 - Fluxograma para criar animação 3D no ArcGIS Pro. Fonte: criado pelo autor através da plataforma web “draw.io”	29
Figura 11 - Painel do Google Earth Pro Para Criar Visualização 3D. Fonte: Criado pelo autor através do Google Earth Pro versão 7.3.6.9796	30

Figura 12 - Parâmetros usados no Google Earth Pro Para Criar Visualização Geográfica. Fonte: Criado pelo autor através do Google Earth Pro versão 7.3.6.9796	31
Figura 13 - Salvar visualização 3D gerada no Google Earth Pro com Alta Resolução. Fonte: Criado pelo autor através do Google Earth Pro versão 7.3.6.9796	31
Figura 14 - Iniciar Projeto No Google Earth Studio. Fonte: Criado pelo autor através do Google Earth Studio	33
Figura 15 - Definir parâmetros no Google Earth Studio. Fonte: Criado pelo autor através do Google Earth Studio	33
Figura 16 - Renderizar o resultado final do Google Earth Studio. Fonte: Criado pelo autor através do Google Earth Studio	34
Figura 17 - Fluxograma para criar visualização através do “Google earth studio” com alguns valores padrão. Fonte: Criado pelo autor através da plataforma web “draw.io”	36
Figura 18 - Tela inicial do Blender. Fonte: Criado pelo autor utilizando o Blender versão 4.2.	38
Figura 19 – Raster do Porto de Sines Adicionado ao Blender. Fonte: Criado pelo autor utilizando o Blender versão 4.2.	40
Figura 20 - Dados OSM adicionados ao Blender. Fonte: Criado pelo autor utilizando o Blender versão 4.2.	40
Figura 21 - Selecionar a camada de Edifícios do OSM. Fonte: Criado pelo autor utilizando o Blender versão 4.2	41
Figura 22 - Alterar os dados de Elevação com base no DEM. Fonte: Criado pelo autor utilizando o Blender versão 4.2	43
Figura 23 - Resultado final obtido 3D do Porto de Sines no Blender. Fonte: Criado pelo autor utilizando o Blender versão 4.2	43

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Funcionalidades QGIS	23
Tabela 2 - Comparação entre ArcGIS Pro, Google Earth Pro e Google Earth Studio	55
Tabela 3 - Funcionalidades Software Simio LLC	56
Tabela 4 - Funcionalidades do Tecnomatix.....	57
Tabela 5 - Funcionalidades do SAP Leonardo Internet of Things	57
Tabela 6 - Funcionalidades do “Unity” Enterprise.....	58
Tabela 7 – Funcionalidades do PortSim.....	58
Tabela 8 - Funcionalidades do Azure Digital Twins.....	58
Tabela 9 - Informações sobre o MySQL	59
Tabela 10 - Informações sobre o ERD PLUS.....	59
Tabela 11 - Funcionalidades do Ansys	60
Tabela 12 - Funcionalidades do Jira.....	60
Tabela 13 - Funcionalidades do Git	61
Tabela 14 - Informações sobre o MS SQL Server	61
Tabela 15 - Informações sobre o PostgreSQL.....	62
Tabela 16 - Informações sobre o MySQL.....	62
17 - Informações sobre o ERD PLUS.....	63

Lista de Acrónimos

Abreviação	Significado
acatech	Academia Nacional de Ciência e Engenharia da Alemanha
AGVs	Veículos Autônomos ou Guiados Automaticamente
API	Application Programming Interface (Interface de Programação de Aplicações)
AR	Augmented Reality (Realidade Aumentada)
BIM	Building Information Modeling (Modelação de Informação da Construção)
CCTV	Closed-Circuit Television
CPU	Central Processing Unit (Unidade Central de Processamento)
CRS	Coordinate Reference System (Sistema de Referência de Coordenadas)
DNV	“Det Norske Veritas” (DNV), anteriormente DNV GL, é uma sociedade de registo e classificação credenciada internacionalmente com sede em Høvik, Noruega.
EPSG	European Petroleum Survey Group (Autoridade de códigos para CRS)
ERD	Entity-Relationship Diagram (Diagrama Entidade-Relacionamento)
GADM	Global Administrative Areas Database (Base de dados de Áreas Administrativas Globais)
GD	Gémeo Digital
GDs	Gémeos Digitais
GPS	Global Positioning System
GPU	Graphics Processing Unit (Unidade de Processamento Gráfico)
HD	High Definition (Alta Definição)
HTML5	HyperText Markup Language, versão 5
IA	Inteligência Artificial
IBM	International Business Machines

IoT	Internet das Coisas
KML	Keyhole Markup Language
LiDAR	Light Detection and Ranging
LTS	Long-Term Support (Suporte de Longo Prazo)
MDE	Modelo Digital de Elevação
ML	Machine Learning (Aprendizagem de Máquina)
MPK	Map Package (Pacote de Mapa ArcGIS)
NASA	Agência Aeroespacial dos Estados Unidos
OSM	OpenStreetMap
POIs	Pontos de Interesse
PSA	PSA Singapura (Operador Portuário - Significado inferido do contexto)
RAM	Random Access Memory (Memória de Acesso Aleatório)
RAS	Radar de Abertura Sintética
RFID	Identificação por Radiofrequência
RNCs	Redes Neurais Convolucionais
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SQL	Structured Query Language
SSD	Solid State Drive (Unidade de Estado Sólido)
UBI	Universidade da Beira Interior
VBA	Visual Basic for Applications
VR	Virtual Reality (Realidade Virtual)
Wi-Fi	Wireless Fidelity (Padrão de rede sem fios)

Capítulo 1 – Introdução

1.1. Enquadramento

O termo gémeo digital não é amplamente conhecido. Portanto, é essencial entender a sua origem e definição para avaliar a sua importância e aplicações práticas. Embora vários trabalhos indiquem diferentes origens do termo gémeo digital, um dos mais difundidos pelos investigadores é que este conceito foi proposto por Shafto et al. (2010), e inicialmente se referia a cópias virtuais inteligentes de equipamentos pertencentes à Agência Aeroespacial dos Estados Unidos, NASA. Na época, os Gémeos Digitais, “GDs”. Eram baseados em modelos computacionais capazes de avaliar e recomendar mudanças nos sistemas físicos para otimizá-los (Shafto et al., 2010). No entanto, ao considerar os avanços tecnológicos da última década, nota-se que o conceito “GD” sofreu diversas alterações e evoluções desde que foi proposto (Lv & Fersman, 2022).

Este termo, porém, não existe dissociado de outras expressões e problemáticas próprias do desenvolvimento científico e técnico alcançado nos últimos anos, motivo pelo qual antes de apresentar um conceito mais abrangente sobre os gémeos digitais, achou-se relevante enquadrar conceitos e ideias interligadas, tais como: a 4.^a revolução industrial, ou indústria 4.0 da qual faz parte a Internet das Coisas (“IoT”), modelos de aprendizagem máquina, isto é, inteligência artificial e aspetos correlacionados.

De acordo com Angelakis et al. (2016) a Internet das Coisas (“IoT”) tem recebido ultimamente atenção significativa devido a inúmeras melhorias potenciais que pode trazer para a vida quotidiana, por simplificar muitas das atividades diárias. Isto é evidente principalmente nos domínios de edifícios inteligentes, saúde inteligente e cidades inteligentes. Especialmente na cidade inteligente, os benefícios para os cidadãos, a sociedade e a economia em grande escala, transformaram a “IoT” numa grande tendência, e muitos municípios tentam construir as suas estratégias de desenvolvimento da cidade em torno disso. É claro que um primeiro ponto é construir uma infraestrutura “IoT” que pode ser bastante cara. As cidades têm, assim, de desenvolver aplicativos que serão executados sobre essa infraestrutura e atenderão as necessidades dos cidadãos. Esta última parte é muito importante para motivar os cidadãos a “aceitar” e adotar as tecnologias “IoT”.

Há ainda muito para se desenvolver e pesquisar sobre essa temática, e a sua aplicação específica a Portos.

Contudo, tendo-se em conta algumas bases já bem estabelecidas na última década com projetos e casos de uso destas técnicas que não apenas servem como um ponto de partida, como também permitirão emular aquilo que já foi planeado, desenvolvido e testado por outros autores reduzindo o tempo e esforços para alcance dos objetivos propostos (Grieves & Vickers, 2016).

Os autores Negri et al. (2017), sugerem o desenvolvimento de trabalhos para investigar e demonstrar a ampla gama de aplicações e benefícios onde os “GD” poderiam expressar o seu potencial.

Por sua vez Danielsen-Haces et al. (2018), propõem um conceito e enquadramento de gémeo digital, que inclui a vertente de portos marítimos.

As aplicações dos “GD” na indústria são bastante diversificadas. No caso de um porto, os navios e outros veículos que nele operam são uma parte fundamental das operações diárias, e é vital avaliar como a circulação, organização das cargas e trajetos nos respetivos terminais pode ser melhorada ou otimizada através da implementação de um “GD”. Por isso, o trabalho de Danielsen-Haces et al. (2018), que se foca no desenvolvimento de uma cópia virtual de navios, no caso o sistema “Revolt”, é um caso de uso prático bastante útil.

À medida que o mundo fica cada vez mais conectado e a tecnologia consegue recolher e armazenar quantidades crescentes de dados, surge a possibilidade de produzir simulações de veículos incrivelmente detalhadas. Estas simulações não são baseadas inteiramente em modelos físicos de princípio, mas também na agregação de abundantes dados obtidos pelos sensores dos veículos e combiná-los com os modelos existentes para descrever uma imagem mais clara do sistema. Essas simulações devem estar continuamente conectadas ao veículo físico e imitar, em tempo real, todos os aspetos do veículo físico. Eles são, portanto, apelidados “gémeos digitais”. Além disso, esses gémeos digitais vivem em ambientes simulados e virtuais que também pretendem emular condições reais para o(s) veículo(s) (Danielsen-Haces et al., 2018).

De acordo com Neves et al. (2010), foi realizada uma aplicação ao Porto de Sines (Portugal) de uma nova metodologia de avaliação do risco para a navegação portuária utilizando o Sistema de Informação Geográfica Guiomar.

Uma das principais preocupações para engenheiros navais e portuários é a segurança dos navios durante a navegação em portos. Nesse contexto, o sistema Guiomar, um sistema integrado de modelação numérica desenvolvido em linguagem de programação “VBA” num Sistema de Informação Geográfica (SIG), desempenha um papel importante. Naquela época

foi desenvolvido um módulo que gerava mapas de risco automaticamente. Utilizando dados de uma boia-ondógrafo e modelos de propagação de ondas, o sistema Guiomar conseguiu definir o regime de agitação marítima no porto. O teste dessa nova funcionalidade demonstrou a capacidade do sistema em realizar estudos interativos e amigáveis, fornecendo uma ferramenta valiosa para as autoridades portuárias nos seus estudos de segurança (Neves et al., 2010).

Nota-se, portanto, o interesse cada vez maior e o proveito que as ferramentas tecnológicas podem trazer para a gestão das operações portuárias e logísticas do Porto de Sines. Um gémeo digital, é um meio útil para mapear e simular um conjunto de hipóteses e circunstâncias reais, seja na fase de desenvolvimento de um produto como para a manutenção e otimização da sua utilização.

Porém, pela natureza das ferramentas a integrar para se obter um “GD” completo e funcional, tais como sensores “IoT”, placas eletrónicas, Arduíno e tantas outras coisas como conhecimento em linguagens de programação e para o caso específico do porto de Sines, requer certamente conhecimentos aprofundados de ciência e análise geoespacial, pois serão necessárias imagens georreferenciadas e técnicas de deteção remota, na fase de execução deste projeto.

Dada a grande importância do Porto de Sines na região ibérica e os consideráveis benefícios potenciais da criação de um gémeo digital para as suas operações, existe uma forte motivação para este trabalho. Assim, procurou-se analisar, dentre as soluções existentes, as aplicações tecnológicas mais apropriadas que podem servir de base ao desenvolvimento deste produto virtual.

1.1.1. Objetivo Geral

Esta pesquisa visa explorar e detalhar a componente de visualização geográfica no Porto de Sines, e fornecer especificações técnicas para a construção efetiva do gémeo digital do Porto.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Explorar os requisitos para a visualização geográfica do gémeo digital do Porto de Sines.
- Descrever as tecnologias e ferramentas que podem ser utilizadas para a visualização geográfica do Porto de Sines e sua integração na criação do gémeo digital.

- Discutir como a visualização geográfica do Porto de Sines pode ser utilizada para levar a cabo a criação do seu gémeo digital o qual poderá melhorar a eficiência e a segurança do porto.

1.2. Caraterização da área de estudo

O Porto de Sines, localizado a 37°57'N e 08°53'W, é uma das principais entradas comerciais e económicas da Península Ibérica, considerando-se um porto de extrema importância geográfica e estratégica para Portugal e Espanha (Figura 1 e Figura 2), (Neves et al., 2010).

O Porto de Sines é um porto de águas profundas (> 30 metros), e o principal porto na fachada ibero-atlântica, tendo entrado em operação em 1978 (Carvalho, 2005, citado por Batista et al., 2015).

As suas características geográficas têm contribuído para a sua consolidação como ativo estratégico nacional, sendo, por um lado, a principal porta de abastecimento energético do país (petróleo e derivados, carvão e gás natural) e, por outro, posiciona-se já como um importante Porto de carga geral/contentorizada com elevado potencial de crescimento, para ser uma referência ibérica, europeia e mundial (Moutinho et al., 2012 citado por Batista et al., 2015).

Em 2014, decorrente do Decreto-Lei n.º 44/2014, de 20 de março, a área de jurisdição da Administração do Porto de Sines S.A., foi alargada aos portos do Algarve, Faro e Portimão, alterando a sua designação para Administração dos Portos de Sines e do Algarve, SA.

Este Porto é líder nacional na quantidade de mercadorias movimentadas e apresenta condições naturais ímpares na costa portuguesa para acolher todos os tipos de navios. Dotado de modernos terminais especializados, pode movimentar os diferentes tipos de mercadorias, está aberto ao mar e conta com excelentes acessibilidades marítimas sem constrangimentos (Administração dos Portos de Sines e do Algarve, 2024).

O Porto de Sines e a sua Zona Industrial e Logística de retaguarda, com mais de 2.000ha, são já uma plataforma logística de âmbito internacional com capacidade para receber os grandes atores dos setores marítimo-portuário, industrial e logístico (Administração dos Portos de Sines e do Algarve, 2024).

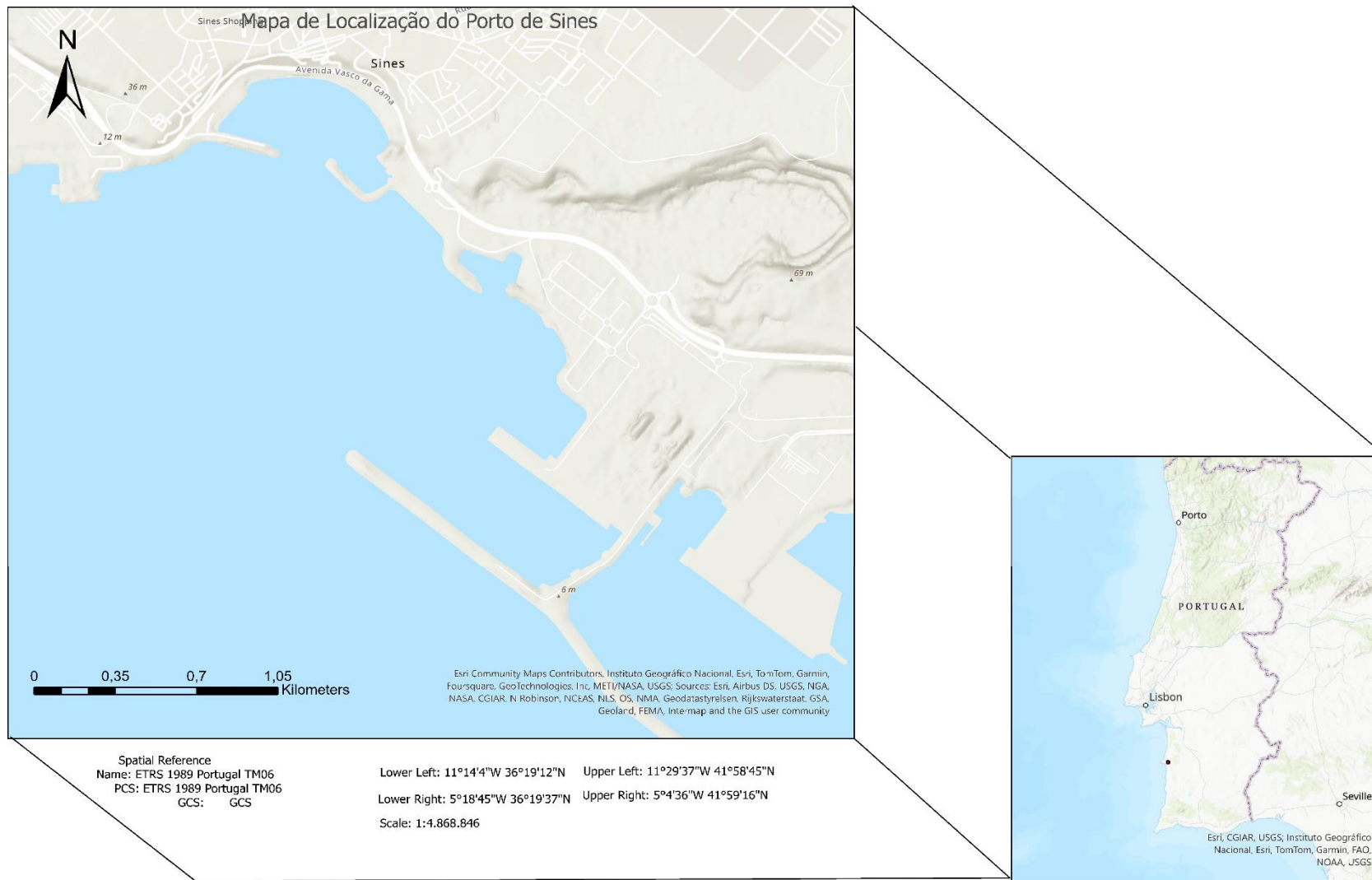


Figura 1 - Mapa de Localização do Porto de Sines. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2

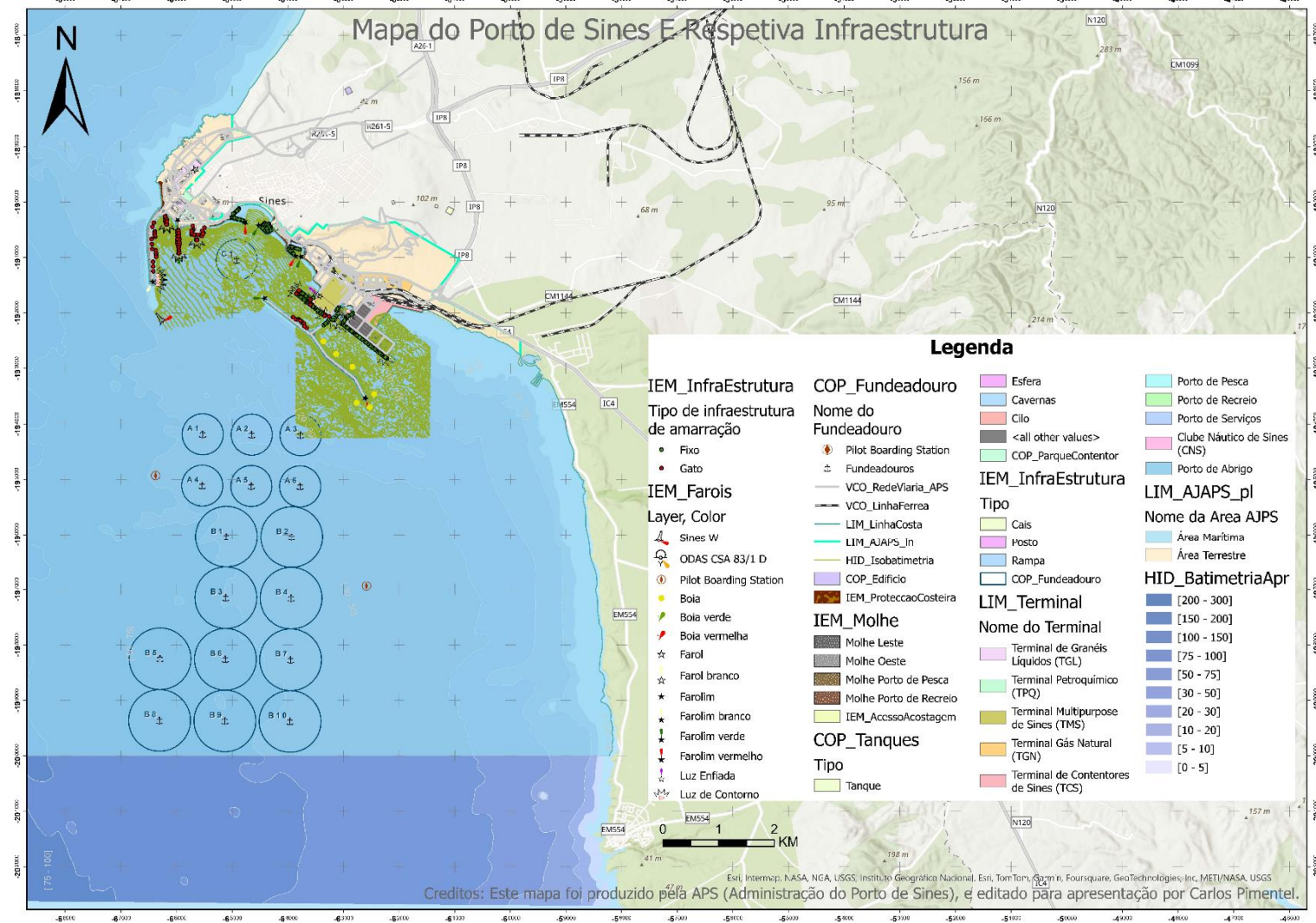


Figura 2 - Mapa da Infraestrutura do Porto de Sines. Fonte: Editado pelo autor a partir dos dados fornecidos pela Administração do Porto de Sines usando o “ArcGIS Pro” versão 3.2

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação é composta por cinco partes e inclui anexos que exemplificam o trabalho realizado.

No primeiro capítulo apresenta-se o foco da pesquisa, define-se o tema e os objetivos a alcançar. Aborda-se também as características da área de estudo.

O segundo capítulo debruça-se sobre a revisão do estado da arte, os avanços nas pesquisas científicas envolvendo gémeos digitais, a evolução do conceito a sua interligação com o desenvolvimento da indústria 4.0 e a internet das coisas, os benefícios da utilização dos “blockchain” na criação de gémeos digitais e a sua aplicação em portos e operações marítimas.

A terceira parte trata da metodologia empregue para obtenção dos resultados propostos começando pela revisão bibliográfica e análise da bibliometria para determinar os estudos relevantes a incluir ou não, bem como os diversos experimentos realizados e a comparação das diversas ferramentas apresentadas.

A quarta parte são os resultados alcançados com o trabalho de pesquisa desenvolvido.

A quinta parte apresenta as conclusões trabalhos futuros.

Capítulo 2 - Estado da Arte

Compreender o contexto atual de uma área de investigação é essencial para fundamentar novas abordagens e garantir a originalidade do trabalho desenvolvido.

2.1. Componente de visualização geográfica

A visualização de dados geográficos consiste no uso de “interfaces” interativas (Card et al., 2009 citado por De Lucia & Saibel, 2016), de modo a representar, com mínima entropia visual, um conjunto de dados para um utilizador final (Córdoba & Alatríste, 2012 citado por De Lucia & Saibel, 2016). Ou seja, a visualização de dados é caracterizada por integrar diversos aspetos, tais como: transformar dados brutos em informações relevantes, buscar ter o mínimo de perda de dados e chegar aos utilizadores que interagem, transformam e interpretam essas informações.

2.1.2. Métodos e Técnicas de Mapeamento de Operações em Portos Inteligentes

Em portos inteligentes, a informação precisa do estado e localização dos navios durante o fundeamento e a atracação e desatracação é muito importante para garantir a segurança dos veículos e do porto (Wang et al., 2023).

2.1.2.1. Mapeamento com “LiDAR”

Wang et al., (2023) utilizaram a tecnologia de “LiDAR 3D” para mapear com precisão os movimentos das embarcações em tempo real. Este método de análise espacial foi desenvolvido para melhorar a segurança e a eficiência nas operações portuárias, especialmente em condições complexas de manobra onde a precisão de localização e movimentação é essencial.

O artigo desenvolvido por Wang et al., (2023), trouxe as seguintes contribuições:

- Em primeiro lugar, uma técnica de segmentação de casco baseada na teoria espacial SIG foi proposta para extrair a região ótima do segmento de atracação e desatracação do navio a partir de dados de nuvem de pontos. Com a identificação dessa região ideal, são obtidos pontos-chave, e os principais parâmetros do processo de atracação e desatracação são calculados. Além disso, durante o processamento dos dados, a técnica de análise espacial “raster” é aplicada para interpolar dados ausentes na superfície do navio na nuvem de pontos (Wang et al., 2023).
- Em segundo lugar, uma técnica de medição espacial e um indicador do estado de atracação e desatracação do navio são utilizados para analisar o estado espacial do navio, levando em consideração as características de direção e as relações espaciais. Por fim, os resultados precisos da visualização espacial 3D fornecem um valor de referência importante para o próprio processo de atracação e desatracação, melhorando a precisão e segurança das operações (Wang et al., 2023).

2.1.2.2. Mapeamento com Imagens de Satélite “RAS”

Alexandre et al., (2024), examinam a utilização de imagens de satélite “RAS” (Radar de Abertura Sintética) na detecção de navios, particularmente nas imagens obtidas com a banda C do radar. Este estudo procurou analisar as técnicas de detecção de navios usando imagens de satélites RAS, uma tecnologia que é especialmente útil devido à sua capacidade de capturar dados independentes das condições meteorológicas e da luz, o que a torna eficaz para monitorizar áreas marítimas em qualquer hora do dia e em diversas condições climáticas (Alexandre et al., 2024).

As tecnologias e métodos utilizados foram os seguintes:

- A pesquisa se concentra na análise de imagens RAS de banda C, que são amplamente utilizadas por satélites de observação da Terra devido à sua boa resolução espacial e alta sensibilidade a alvos como navios. A detecção de navios em imagens RAS é um desafio técnico, porque os sinais do radar podem ser influenciados por várias características do ambiente marinho, como ondas e turbulências.
- **O estudo analisa diferentes abordagens de detecção de navios, que incluem:**
- **Métodos tradicionais:** baseados em algoritmos simples, como filtragem e segmentação de imagem.

- **Métodos modernos:** que utilizam inteligência artificial, aprendizagem de máquina e redes neurais para melhorar a precisão e eficiência na detecção.

– **Desafios**

Os principais desafios na detecção de navios com imagens “RAS” incluem:

- **Falsos positivos:** objetos marítimos que não são navios podem ser erroneamente identificados como tal.
- **Interferências naturais:** como o mar agitado, que pode dificultar a distinção entre navios e outros objetos no mar.
- **Variações no tamanho e forma dos navios:** que podem afetar a precisão dos métodos de detecção.

– **Contribuições e Resultados**

O estudo revê uma ampla gama de técnicas, desde aquelas baseadas em análise de imagem clássica até as mais recentes que utilizam inteligência artificial, destacando as vantagens e limitações de cada abordagem. A pesquisa conclui que, embora métodos baseados em “IA”, como as redes neurais convolucionais (RNCs), mostrem grande potencial, ainda há espaço para melhorar a robustez e a precisão da detecção (Alexandre et al., 2024).

– **Conclusões**

- **Melhorias contínuas:** Há uma tendência crescente no uso de técnicas avançadas de IA para melhorar a detecção.
- **Importância da qualidade dos dados:** A resolução espacial das imagens e a qualidade do radar são fatores cruciais para o sucesso da detecção.

Aplicações práticas: A detecção de navios por meio de satélites RAS é crucial para várias áreas, como a monitorização de atividades marítimas ilegais, segurança e navegação. O estudo destaca a relevância da detecção de navios para várias aplicações ambientais e de segurança, enquanto aponta para os avanços tecnológicos necessários para lidar com os desafios que ainda existem na área.

2.2. Evolução do conceito de gêmeo digital

O conceito de gêmeo digital foi introduzido pela primeira vez em 2003 na universidade de Michigan, mais especificamente no curso de gestão do ciclo de vida de um produto por Michael Grieves o qual por sua vez atribui a autoria do termo ao seu colega, John Vickers da NASA (Grieves, 2011 citado por Grieves, 2014). Na época em que foi apresentada esta ideia, representações virtuais de produtos físicos eram relativamente novas e imaturas.

Na sua pesquisa Grieves (2014) introduziu o conceito de gêmeo digital como sendo uma representação virtual de produtos e sistemas complexos. Ao comparar o gêmeo digital com o projeto original, é possível analisar as divergências entre o resultado e o que foi projetado, facilitando a integração entre as etapas de desenho e execução.

Tao et al. (2019) ampliam a definição de gêmeo digital, ao realçar a capacidade do mesmo de fornecer um ambiente digital para simulações interativas. Eles afirmam que o “GD” permite a coleta de dados em tempo real para controlar o estado dos sistemas e, assim, otimizar operações. Segundo esses autores, a principal diferença entre um modelo digital convencional e um “GD” é a capacidade de interagir com o sistema físico de forma bidirecional. Ou seja, o “GD” não apenas monitora, mas também influencia diretamente o objeto físico.

Eles fazem-no por discutirem também várias possibilidades de aplicações dos gêmeos digitais como, por exemplo: na indústria de petróleo e gás, saúde e medicina, navegação e portos marítimos, gestão de cidades, etc.

De acordo com Kritzinger, et al. (2018), os gêmeos digitais são classificados em três categorias principais: modelos digitais, sombra digital, e gêmeo digital. A principal distinção entre uma sombra digital e um gêmeo digital está na comunicação bidirecional entre o mundo físico e o digital. No caso de um gêmeo digital, mudanças no sistema físico afetam imediatamente o modelo digital, e vice-versa. No entanto, essa troca de dados não é necessariamente contínua ou em tempo real para todas as aplicações, dependendo do contexto e das limitações tecnológicas (Kritzinger et al., 2018). Os autores destacam que a implementação adequada de um gêmeo digital pode ajudar a melhorar a previsão de falhas e otimizar as operações, mas o nível de interatividade e atualização depende do tipo de aplicação e da infraestrutura tecnológica.

Por sua vez, Boschert & Rosen (2016) destacam que os gêmeos digitais conseguem cobrir todo o ciclo de vida de um produto, desde a fase de desenho até o descarte. Eles afirmam que o gêmeo digital é essencial para implementar estratégias de manutenção preditiva e

otimização de longo prazo, o que possibilita o acompanhamento contínuo e o suporte ao processo de decisão em todas as fases do ciclo de vida.

2.3. Gémeos digitais em portos marítimos

O uso de gémeos digitais tem se expandido rapidamente em diversas indústrias, e os exemplos a seguir destacam implementações reais que podem ser diretamente aplicadas ao contexto de portos marítimos. Esses exemplos demonstram o uso de gémeos digitais para otimizar processos, prever falhas e aumentar a eficiência logística.

- “Revolt”: Um Navio Autónomo com Gémeo Digital O “Revolt”, desenvolvido pela DNV GL,¹ é um dos primeiros exemplos de navios autónomos com integração de gémeo digital. Esse gémeo digital é usado para simular e monitorar o desempenho do navio em tempo real, permitindo que os operadores otimizem o consumo de energia, rotas de navegação e realizem manutenção preditiva.

Segundo Danielsen-Haces et al. (2018), o Gémeo Digital do Revolt pode prever falhas mecânicas, e ajudar a evitar interrupções durante as operações. Além disso, a interação entre o navio e o porto, por meio do seu Gémeo Digital, facilita a logística portuária, por permitir uma coordenação eficiente das operações de carga e descarga.

– **Aplicações:**

- **Manutenção preventiva:** O gémeo digital controla constantemente o estado do navio, o que permite prever falhas e realizar correções preventivas. O gémeo digital muda as rotas de navegação conforme a temperatura e o tráfego marítimo, para usar menos combustível.
- **Porto de Roterdão:** O gémeo digital do Porto Mais Inteligente do Mundo o Porto de Roterdão, na Holanda, é um dos portos mais avançados tecnologicamente, tendo implementado um gémeo digital em parceria com a IBM. Este gémeo digital utiliza sensores instalados em toda a infraestrutura do porto para gerir o tráfego de navios, condições meteorológicas e níveis de água.

¹ DNV GL Website URL - <https://www.dnv.com/news/revolt-next-generation-short-sea-shipping-7279/>

Segundo Boyles (2019), o gêmeo digital simula diferentes cenários operacionais e ajuda os operadores a tomar decisões informadas sobre a alocação de recursos, otimização do tráfego e resposta a condições imprevistas. O sistema também permite prever o excesso de lotação portuário e ajustar o cronograma de chegada e partida de navios, aumentando a eficiência.

– **Aplicações:**

- **Gestão do tráfego marítimo:** O gêmeo digital prevê a chegada de navios, planeia atracação e otimiza o uso do cais. Simulações em tempo real: O sistema simula condições adversas, como tempestades, e permite a preparação do porto para esses fenômenos (Boyles, 2019).
- **PSA Singapura:** gêmeo digital para Operações Portuárias o PSA Singapura é um dos maiores portos do mundo e adota a tecnologia de Gêmeos Digitais para otimizar as suas operações portuárias. De acordo com Thompson (2020), o porto integrou sensores em guindastes e sistemas de movimentação de contentores, permitindo que o gêmeo digital controlasse e otimizasse a alocação de recursos e o fluxo destes.

O gêmeo digital permite criar simulações em tempo real, otimiza o tempo de carga e descarga e garantir que as operações sejam concluídas com eficiência máxima. Além disso, a tecnologia ajuda a prever falhas em equipamentos, permite efetuar manutenção proativa e minimiza o tempo de inatividade (Thompson, 2020).

Aplicações:

- **Otimização de movimentação de contentores:** as simulações garantem a alocação eficiente de guindastes e outros equipamentos.
- **Previsão de falhas:** O gêmeo digital permite prever problemas mecânicos antes que eles causem interrupções nas operações (Thompson, 2020).

Kongsberg: gêmeo digital para Tráfego Marítimo

A empresa Kongsberg (Andersen et Al., 2019) desenvolveu um gêmeo digital para controle do tráfego marítimo, com foco na otimização do fluxo de embarcações e na segurança das operações portuárias. O sistema combina dados em tempo real de “drones”, satélites e sensores de tráfego para criar uma visão digital abrangente do tráfego marítimo.

De acordo com Andersen et al. (2019), o gêmeo digital permite prever congestionamentos e otimizar a alocação de docas, além de melhorar a segurança das operações por meio do monitoramento contínuo de embarcações. O sistema também ajuda a prever condições

climáticas adversas e oferece alternativas para minimizar os impactos nas operações portuárias.

Aplicações:

Previsão de congestionamentos: simulações de tráfego permitem que os operadores portuários planeiem a circulação de veículos nas diversas áreas do porto.

Segurança: o gémeo digital monitora o tráfego em tempo real e emite alertas em caso de situações de risco (Andersen et al., 2019).

2.4. A Indústria 4.0 e as Revoluções Industriais

Segundo Mendonça & Baptista, (2018), o conceito de Indústria 4.0 é utilizado para descrever a atual revolução industrial, que foi precedida pelas três primeiras revoluções industriais da história. Durante o século XVIII, a introdução de instrumentos mecânicos de produção marcou a primeira revolução industrial.

A segunda revolução industrial ocorreu no final do século XIX, quando a eletricidade foi introduzida e a produção e o trabalho passaram a ser divididos, estruturando fábricas em linhas de montagem. Na década de 1970, a introdução de tecnologias de informação e comunicação nas indústrias levou à terceira revolução industrial. Na Indústria 4.0, tecnologias como Internet das Coisas, cibernética, robótica e computação em nuvem tornaram-se parte dos sistemas de fabricação. Embora a Indústria 4.0 receba muita atenção em pesquisas, o conceito ainda carece de uma definição explícita e a literatura atual sobre o tema o descreve de várias maneiras.

Para Sandler, (2016), a quarta revolução industrial representa um novo nível na “organização e controle de toda a cadeia de criação de valor.” Esta cadeia de criação de valor é amplamente definida, desde a concepção dos produtos até os serviços a eles ligados. Isso deixa claro que estamos a lidar com uma transformação fundamental nos métodos de produção industrial, e não apenas com mudanças isoladas nesses métodos.

No entanto, desde os debates iniciais, incluindo as discussões da equipa que fundou a Iniciativa, composta pela “acatech” (Academia Nacional de Ciência e Engenharia da Alemanha) e uma união de pesquisa, os fundamentais na cadeia de criação de valor têm sido repetidamente deixados de lado ou completamente ignorados, como se não fossem tão importantes.

Na maioria das vezes, o debate concentra-se nas mudanças na produção, ou seja, na fabricação de produtos. Nem o caminho da ideia ao produto, nem o seu desenvolvimento, design ou engenharia parecem ser considerados importantes. Além disso, até mesmo serviços e novos modelos de negócios baseados neles, bem como novos caminhos de criação de valor, muitas vezes caem no esquecimento (Sendler, 2016).

Por exemplo, na página inicial da própria "acatech", no dossiê sobre o Futuro dos Locais Industriais, lê-se: "Com a entrada da Internet das Coisas, Dados e Serviços na cena da produção, uma quarta era industrial amanheceu."

A gestão eficiente da cadeia de fornecimento é fundamental para o sucesso de qualquer empresa moderna. Isso envolve a coordenação e integração de todas as atividades relacionadas à produção e entrega de produtos, desde a aquisição de matérias-primas até a entrega dos produtos finais aos consumidores.

Diferentes organizações e processos interagem ao longo dessa cadeia, tornando necessária a colaboração entre fornecedores, fabricantes, distribuidores e retalhistas para garantir a eficiência e a satisfação do cliente (Ivanov et al., 2019).

2.5. Características dos Gêmeos Digitais

Os gêmeos digitais podem ter as seguintes características:

- **Componentes:** Um gêmeo digital e a sua contraparte física consiste em entidades físicas, modelos virtuais, modelos físico-digitais, conexões, dados e serviços (Klar et al. 2023).
- **Período temporal**
- **Ciclo de vida completo:** um "GD" é projetado para sincronizar a sua contraparte física em todos os estágios que abrangem desenho, prototipagem, fabricação, implantação, manutenção e descarte.
- **Mudança de requisitos:** dependendo do domínio de aplicação, o "GD" pode ter requisitos diferentes dependendo do ciclo de tempo. Na fabricação, a otimização iterativa e a integridade dos dados são cruciais na fase de projeto, enquanto a monitoração em tempo real, a avaliação e a otimização do processo são essenciais

na fase de produção, enquanto previsão, manutenção, detecção e diagnóstico de falhas são importantes na fase de serviço (Liu et al., 2020 citado por Klar et al., 2023).

- **Maior valor ao longo do tempo:** O “GD” é um sistema de autoaperfeiçoamento que pode ser progressivamente melhorado e ampliado através da crescente acumulação de dados e conhecimentos ao longo do tempo.

– **Propósito funcional**

- **Modelação:** um “GD” é um agrupamento de modelos e componentes algorítmicos que descrevem em conjunto um sistema complexo. A representação virtual é constantemente atualizada por fluxos de dados da sua contraparte física ou por resultados de simulações. O alcance da modelação envolve todos os aspetos das entidades físicas, bem como a previsão de prováveis resultados para testar, por exemplo, cenários hipotéticos e para manutenção preditiva (Klar et al., 2023).
- **Visualização:** um “GD” permite uma réplica digital de todos os processos estáticos e dinâmicos, bem como os componentes da sua contraparte física. Com as suas capacidades de visualização distintas, o “GD” permite acompanhamento permanente dos processos e assim contribui para a consciência situacional e permite a cooperação de diferentes atores no espaço digital (Klar et al., 2023).
- **Interação:** um gémeo digital (DT) é caracterizado por sua natureza bidirecional. Ao contrário de uma sombra digital, que apenas monitora o sistema físico em tempo real, o “GD” influencia diretamente o sistema real com base nas suas ações, mudanças e previsões. Além disso, o “GD” interage com outros membros da frota, caso existam múltiplas instâncias, bem como com operadores humanos. A Internet das Coisas é fundamental para o funcionamento eficaz dos gémeos digitais. Sensores e dispositivos “IoT” coletam dados em tempo real do sistema físico, os quais são então transmitidos para o “GD”. Com esses dados, o “GD” pode criar um modelo virtual preciso do sistema real. A natureza bidirecional do “GD” (Klar et al., 2023), permite que ele não apenas receba dados, mas também envie comandos e ajustes de volta ao sistema físico, otimizando operações e prevenindo falhas. Além disso, a “IoT” facilita a comunicação entre múltiplos “GDs” e operadores humanos, o que garante uma coordenação eficiente e uma resposta rápida a qualquer mudança ou problema detetado (Klar et al., 2023).

- **Sincronização:** O “GD” é continuamente atualizado em tempo útil por vários componentes e processos do sistema físico, sempre que necessário. Com uma largura de banda de comunicação adequada, isso garante uma representação virtual consistente e atualizada, essencial para uma série de tarefas “online” contínuas, como agendamento, controle e otimização (Klar et al., 2023).

2.6. Desafios e Benefícios dos Gémeos Digitais na Indústria Marítima: Um Caminho para Portos Sustentáveis

Segundo Song & Panayides (2015), a globalização e a revolução tecnológica no setor dos transportes incluindo a contentorização, a integração logística e a consequente expansão da indústria marítima redefiniram o papel funcional do transporte marítimo e portos na logística global e nas cadeias de abastecimento e geraram um novo padrão de distribuição de carga.

Para os mesmos autores Song & Panayides (2015) face aos crescentes desafios ambientais, uma questão crítica que surgiu como uma preocupação definidora para a indústria marítima é a descarbonização.

Um gémeo digital de um porto serve como uma réplica digital de um porto físico no mundo real, abrangendo navios, guindastes de cais, tratores de pátio e transporte do interior e portabilidade. Esses modelos digitais permitem que as partes interessadas registem e façam previsão em tempo real, reduzindo assim o consumo de energia e promovendo portos mais verdes. Além disso, os gémeos digitais permitem a identificação de medidas de eficiência energética por utilizar simulação e análise de dados, o que permite a redução de emissões de carbono e a realização de operações portuárias sustentáveis. Consequentemente, um gémeo digital portuário é reconhecido como um elemento indispensável para alcançar a neutralidade carbónica a nível portuário.

No seu artigo Yang et al., (2022), mostra que um porto enfrenta enorme demanda de operação de recursos, refletida principalmente nos seguintes pontos:

– O cenário físico do porto é enorme em espaço

Portanto, deve haver compatibilidade e comutação suave entre a visão macro do porto, abrangendo toda a área e as suas operações num nível mais amplo, como infraestrutura geral e movimentação de navios e a visão micro, focada em operações menores, como movimentação de contentores em áreas específicas e funcionamento de equipamentos

individuais com detalhes que precisam ser considerados ao construir o gêmeo digital (Yang et al., 2022).

– **Os tipos de objetos físicos são diversos:**

Portos diferentes possuem vários tipos de bens e equipamentos operacionais:

O acesso a terminais de objetos físicos exige alta simultaneidade e alto tempo real. O terminal como exemplo, tem centenas de milhares de equipamentos de movimentação, veículos, contentores de carga e outros terminais. Enquanto isso, a operação do equipamento requer “feedback” e controle em tempo real, como operações de carga e descarga de contentores e o atraso do sistema não deve ser superior a 0,2s (Yang et al., 2022).

A carga de cálculo do sistema é grande. Inúmeras conexões de nós físicos, dados heterogêneos de múltiplas fontes e mapeamento de dados diferenciais gerarão uma abundância de carga computacional e o desempenho do sistema de gêmeos digitais também é um desafio a ter em conta (Yang et al., 2022).

O gêmeo digital do porto precisa ser altamente integrado com sistemas externos. Envolve a interação com múltiplos sistemas externos para obter informações, como empresa de transporte, agência de transporte, agente, proprietário da carga, empresa de logística, inspeção de fronteira e alfandegária (Yang et al., 2022).

2.7. Hipótese do fluxo de operação do Porto de Sines Com Rastreo em Blockchain

Em anos recentes o Porto de Roterdão recebeu o primeiro contentor sem papel, financiado instantaneamente e constantemente rastreado pela plataforma “blockchain”.

Tendo iniciado a sua viagem na Coreia, o contentor chegou ao armazém da Samsung SDS em Tilburg, na Holanda, pouco depois de chegar ao Porto de Roterdão. ABN AMRO, Porto de Rotterdam e Samsung SDS já haviam provado que a tecnologia blockchain pode facilitar a interoperabilidade (ShipTechnology, 2019).

Este caso mostra não apenas a utilidade da tecnologia de “blockchain” como elemento para rastrear cargas, navios e outros elementos úteis como cria também a oportunidade de

redução de introdução de dados manuais em diversos pontos por diversos atores que podem aumentar a probabilidade de erros nos registos.

– **Chegada de um contentor:**

Os dados do contentor são digitalizados e registados no “blockchain” com detalhes sobre seu conteúdo, origem e destino. Sensores monitoram o estado do contentor, registando dados no “blockchain” (ShipTechnology, 2019).

– **Movimentação Interna:**

Movimentos internos do contentor são registados, o que permitirá conhecer: transferências entre diferentes áreas de armazenamento. A documentação necessária para cada movimentação é registada e verificada via “blockchain”.

– **Saída do Porto:**

O contentor é carregado em um navio, com a transferência registada no “blockchain”. Autoridades alfandegárias acedem a registos imutáveis para verificar conformidade e permitir a passagem ou não do contentor para transporte (Bateman & Spruijt, 2019).

– **Análise e Otimização:**

Dados históricos de movimentações e operações podem ser analisados para identificar obstáculos e oportunidades de otimização. Simulações no gémeo digital ajudam a planear futuras operações, utilizando registos do “blockchain” como base de dados confiável (Bateman & Spruijt, 2019). Integrar “blockchain” no gémeo digital do Porto de Sines não apenas melhoraria a eficiência e a segurança, mas também aumentaria a transparência e a confiabilidade das operações portuárias, beneficiando todos os atores envolvidos.

Capítulo 3 – Metodologia

3.1. Revisão bibliográfica

Os diferentes métodos de revisão bibliográfica surgem como alternativas de compreensão ampla do conhecimento de um campo, área ou objeto de pesquisa. Estes podem: ser revisão narrativa, revisão sistemática, revisão integrativa, bibliometria, revisão crítica (Botelho et al., 2011 citado por Cavalcante & Oliveira, 2020).

A revisão bibliográfica sistemática, surgiu como meio de obter evidências em informações científicas acerca de intervenções, tecnologias, a fim de auxiliar no processo de tomada de decisão em Ciências da Saúde (Evans & Pearson, 2001; Lopes & Fracolli, 2008; Mendes et al., 2008 citado por Cavalcante & Oliveira, 2020).

O estado da arte permite mapear, descrever e inventariar determinada produção acadêmica em diferentes campos de conhecimento, demarcando época e lugar. Assim, permite a observação ampla da produção analisada (Cavalcante & Oliveira, 2020).

Procurou-se assim com rigor selecionar as fontes mais relevantes tendo em conta as questões que orientam esta pesquisa e a bibliometria para a realização de um estado da arte que permitisse obter uma compreensão cabal do problema e que conduzisse a conclusões adequadas.

3.1.1. Objetivo e alcance

O objetivo desta revisão bibliográfica é identificar as principais teorias e casos de uso prático envolvendo os gémeos digitais em portos marítimos e na indústria 4.0 e a importância da componente de visualização geográfica nos Sistemas de Informação Geográfica e a sua interligação com os gémeos digitais, bem como o conjunto de ferramentas tecnológicas mais utilizadas para a criação destes elementos (Cavalcante & Oliveira, 2020).

3.1.2. Critérios de seleção das fontes

Foi definido o critério de seleção temporal, com maior relevância para as publicações entre 2014 e 2023 na área dos gémeos digitais e a componente de visualização geográfica.

Foram identificadas as palavras-chave e os termos de busca relevantes para a pesquisa, considerando os elementos-chave do tema, como: Sistemas de Informação Geográfica, SIG, gémeos digitais, Indústria 4.0, portos marítimos, avanços tecnológicos, gestão portuária, e internet das coisas, em trabalhos académicos, dissertações e livros científicos (Cavalcante & Oliveira, 2020).

3.1.3. Procedimentos para análise da literatura

Foi feita uma análise comparativa dos estudos selecionados, identificando semelhanças, diferenças e lacunas na literatura existente. que permitiu compreender melhor o estado atual da pesquisa em SIG para portos marítimos e identificar como os gémeos digitais se encaixam nessa vertente (Cavalcante & Oliveira, 2020).

3.2. Recolha de dados

Foi feita a revisão bibliográfica por pesquisar livros, artigos científicos, teses, dissertações e outros trabalhos relevantes publicados em periódicos especializados e bases de dados académicas, como: “Web of Science”, “Scopus”, Google Académico, Research Gate, IEEE Xplore.

Seleção e triagem dos estudos: foi realizada a triagem inicial dos estudos identificados com base nos critérios de inclusão estabelecidos. Os estudos que não atendem aos critérios definidos, foram descartados e selecionados aqueles que são mais relevantes para a revisão do estado da arte em Componente de visualização geográfica no porto de Sines associado a Gémeos Digitais (Cavalcante & Oliveira, 2020).

3.3. Análise de dados

Como estratégia adotada procurou-se fazer uma análise qualitativa e a realização de experimentos com diversas ferramentas tecnológicas. Para melhor perceção das características técnicas e facilitar a tomada de decisão sobre qual delas utilizar efetivamente no momento da criação do gémeo digital do Porto de Sines (Yin, 2014).

3.3.1. Visualização Geográfica do Porto de Sines

Visto que serão usadas ferramentas de SIG para obter uma visualização geográfica da zona de estudo, foram criadas animações em 3D com a ferramenta “ArcGIS Pro” versão 3.2, “Google Earth Pro” e “Google Earth Studio” visto o ArcGIS Pro (Anexo A.1) ser um software sujeito a licenciamento caso pretenda pode usar-se o QGIS que é software gratuito e de código aberto para criar as visualizações geográficas (Tabela 1).

Tabela 1 - Funcionalidades QGIS

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço	Requisitos de Sistema	Versão Mais Recente
QGIS	O QGIS fornece um número continuamente crescente de recursos fornecidos por funções e plug-ins principais. Você pode visualizar, gerir, editar, analisar dados e compor mapas para impressão. Obtenha uma primeira impressão com uma lista de recursos mais detalhada.	Grátis e Open Source	Windows, macOS, Linux, BSD e dispositivos móveis	Versão 3.34.3

3.3.1.1. Animação 3D com ArcGIS Pro

No “ArcGIS Pro”, a criação de mapas 3D envolveu várias etapas para visualizar efetivamente dados espaciais em três dimensões. Os dados vetoriais dos edifícios de Portugal foram obtidos a partir do “shapefile” disponibilizado pelo GADM (Bases de dados de áreas administrativas globais). O GADM é um projeto colaborativo que visa fornecer dados vetoriais de alta qualidade sobre os limites administrativos do mundo. Os dados são disponibilizados gratuitamente para uso não comercial e académico (*GADM*, n.d.).

O “shapefile” gadm41_PRT_shp contém informações sobre os limites administrativos de Portugal em diferentes níveis, incluindo distritos, municípios e freguesias. Este trabalho focou-se no distrito de Setúbal, na área de Sines. Os dados foram originalmente coletados por (*GADM*, n.d.) e posteriormente processados e disponibilizados pelo (*Forest GIS*, 2024).

Ativar a visualização da cena 3D: Mudar para a visualização da cena 3D clicando na guia “Visualizar” na faixa de opções e selecionar “Cena 3D” (*Forest GIS*, 2024).

Ajustar a extensão e a visualização: navegar até a área de interesse e ajustar a visualização alterando a extrusão para efetivamente obter a “shapefile” em 3D e não em 2D onde ela é inicialmente carregada, para ter melhor visibilidade das feições dos edifícios e também ativar a iluminação para ter mais detalhes de orientação.

Se não for um utilizador regular do “ArcGIS Pro” poderá seguir a descrição mais detalhada no fluxograma da Figura 10.

As etapas seguidas foram:

1. Criação de um novo projeto no “ArcGIS Pro” (Caso não existir um projeto já criado Figura 3)
2. Abrir o “catalog” e conectar a pasta onde estão guardados os dados ou ficheiros a serem usados (Figura 4).
3. Carregar o “shapefile” com os dados geográficos (Figura 6).
4. Converter o tipo de visualização para cena local ou global (de modo a poder observar as feições em 3D, Figura 5), isso envolve verificar se o “shapefile” fornecido tem propriedades 3D no caso “Edifícios” e colocar os dados de elevação para que estes possam ser corretamente visualizados (Figura 7).
5. Assim que a visualização em 3D estiver corretamente criada, deverá ir a visualização e animação
6. Deverá clicar em criar “keyframe” que são imagens ou fotos da área em estudo e mover as várias partes da imagem que deve integrar a animação e ir adicionando “keyframe” a “keyframe” (Figura 9).
7. Em seguida em animação deverá escolher as características como “keyframe” por segundos” e exportar para uma plataforma de visualização no caso o “youtube”. Caso perceba que poderia fazer uma animação melhor ou simplesmente quiser mudar a aparência poderá salvar o projeto e corrigir a animação gerada. Para corrigir teria de eliminar os “keyframes” ou alterar a resolução de saída pretendida ou ainda eliminar os keyframes todos e reiniciar este último processo.

Por seguir estas etapas, foi possível criar a animação 3D no “ArcGIS Pro” para comunicar informações espaciais de maneira eficaz, para ver a sequência de passos mais detalhada o vídeo da animação está disponível na plataforma “youtube”².

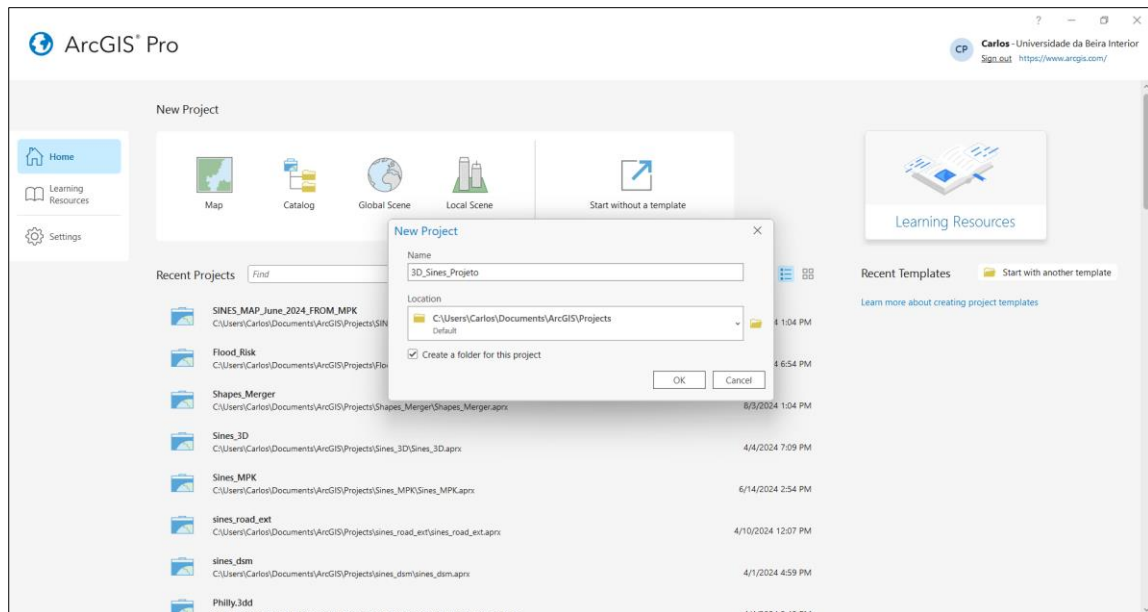


Figura 3 - Criar projeto no ArcGIS Pro. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2

² Video da animação 3D feita no ArcGIS Pro - <https://www.youtube.com/watch?v=BoldulcYkfY&feature=youtu.be>

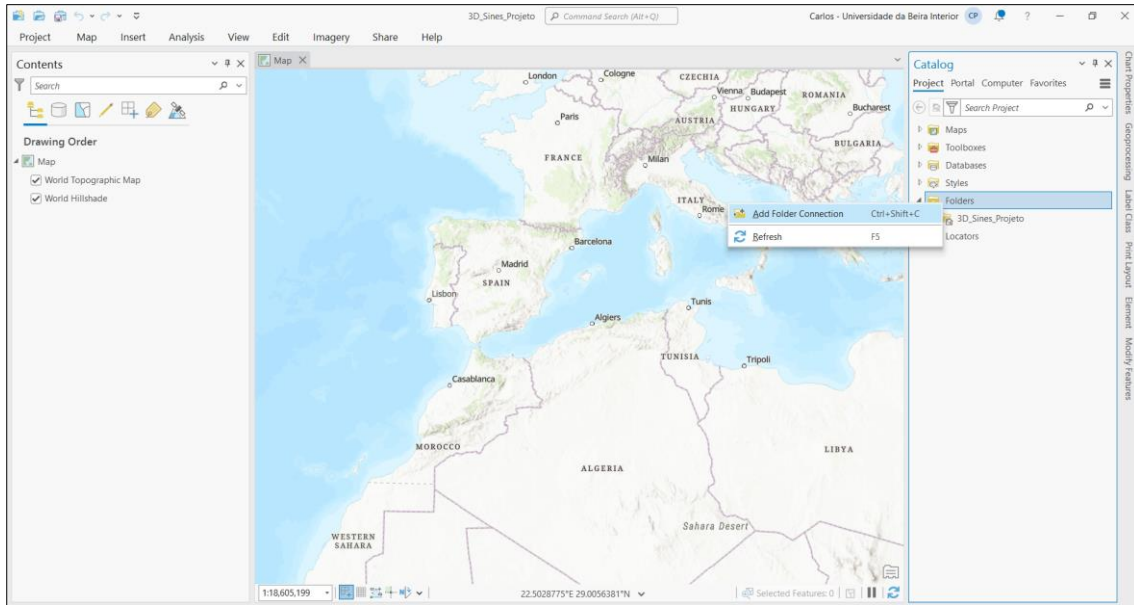


Figura 4 - Conectar pasta dos dados no ArcGIS. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2.

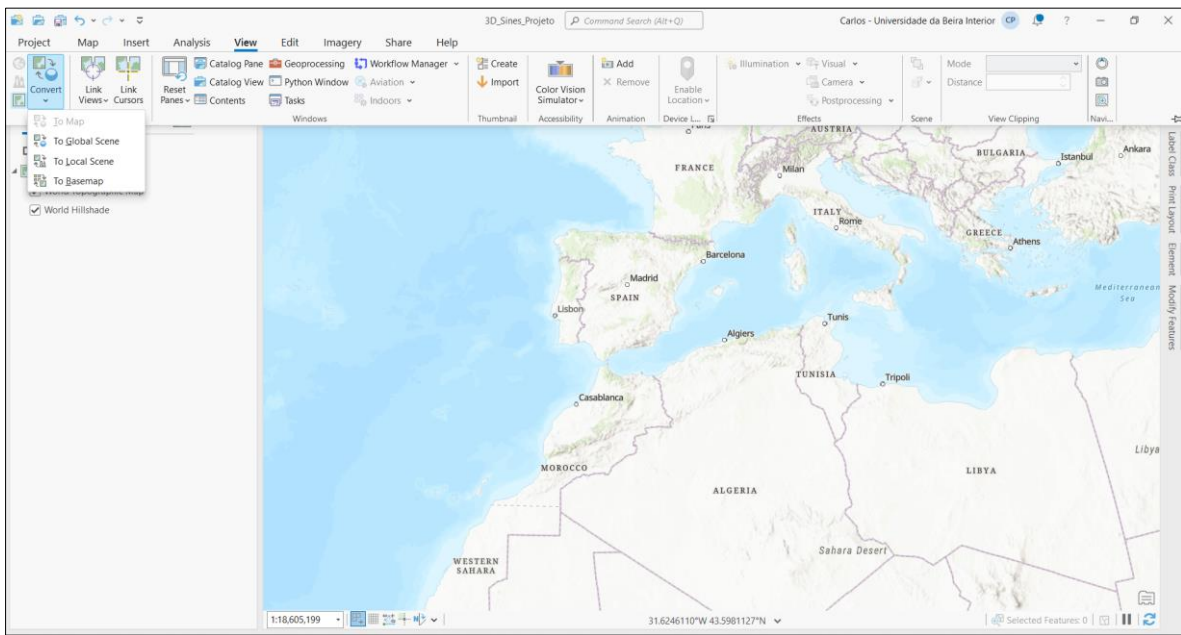


Figura 5 - Converter visualização para Cena Local. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2

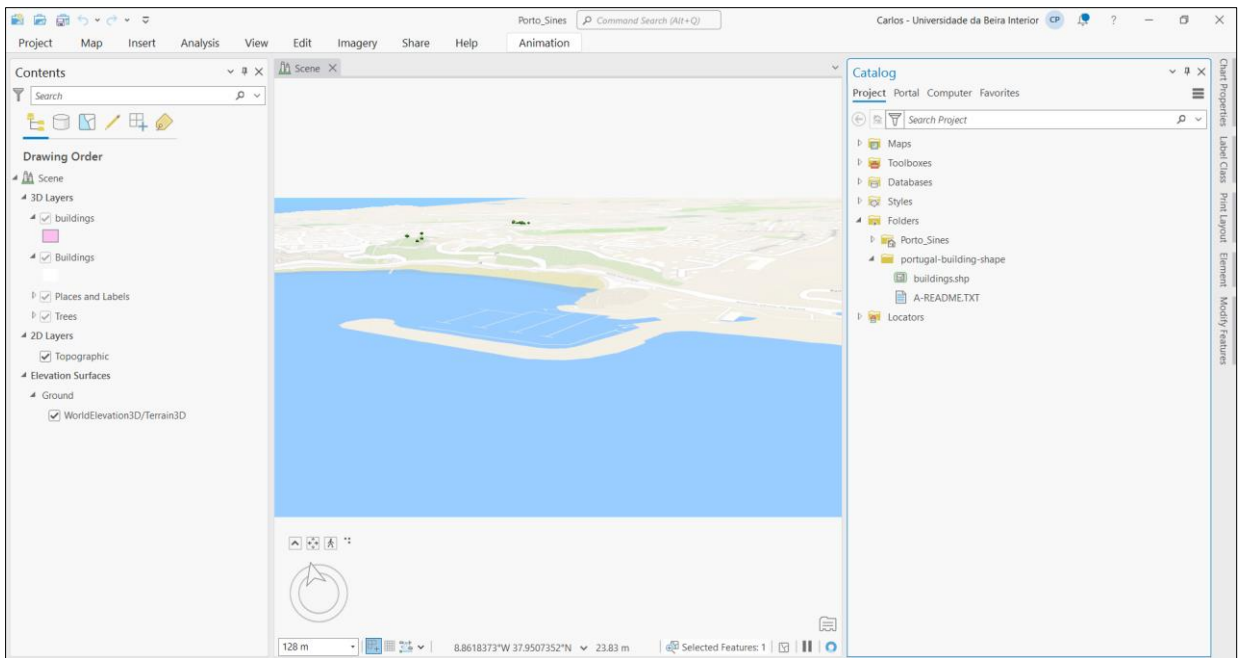


Figura 6 - Carregar o “shapefile” dos dados no ArcGIS. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2. “Shapefile” fornecido pela GADM e disponível no sítio web “forest gis”

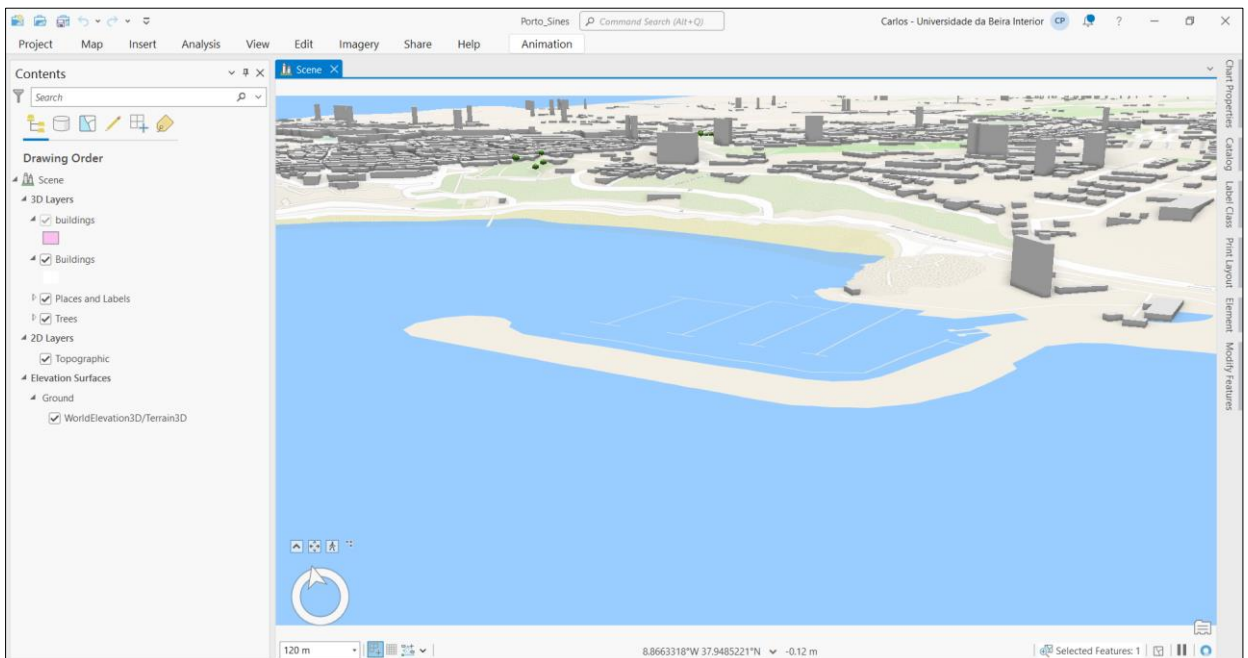


Figura 7 - Ativar a camada base de elevação, para visualizar as feições em 3D. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2. Shapefile fornecido pela GADM e disponível no sítio web forest gis

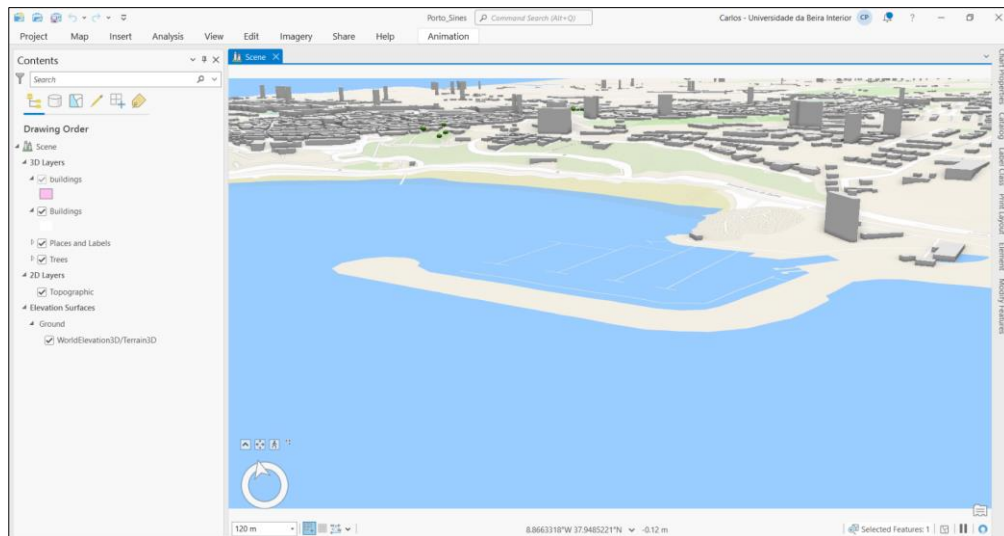


Figura 8 - Representação em 3D do Porto de Sines. Fonte: Criado pelo autor com base no “shapefile” produzido pela AGDM e disponibilizado no site forest gis.

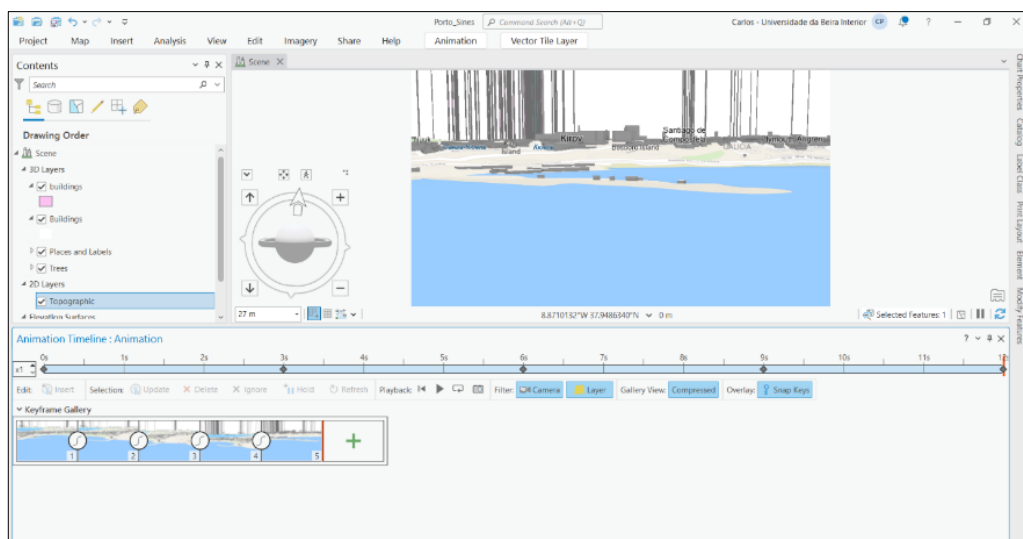


Figura 9 - Criar animação por adicionar “keyframes”. Fonte: Criado pelo autor através do ArcGIS Pro versão 3.2. Shapefile fornecido pela GADM e disponível no sítio web forest gis

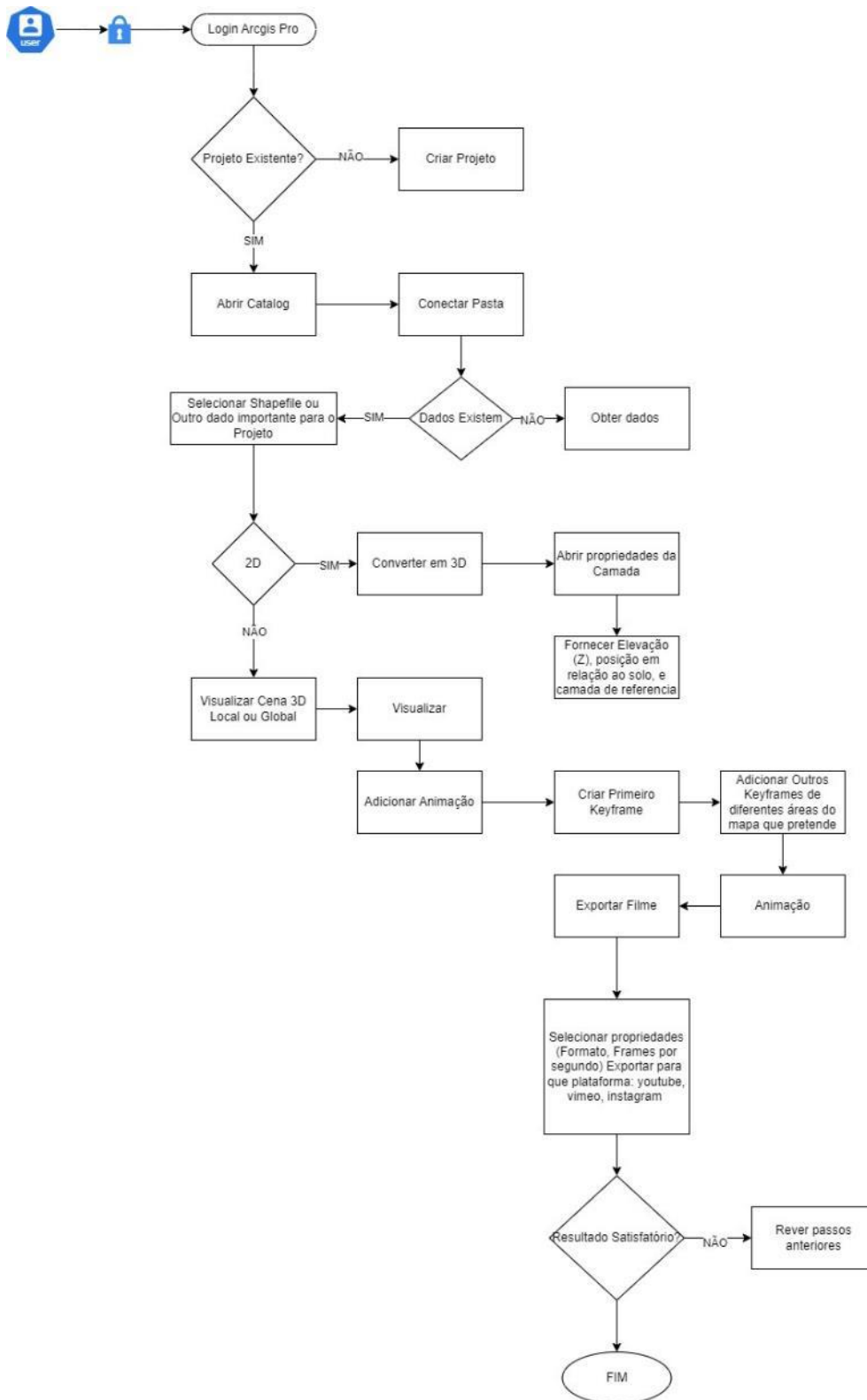


Figura 10 - Fluxograma para criar animação 3D no ArcGIS Pro. Fonte: criado pelo autor através da plataforma web “draw.io”

3.3.1.2. Animação 3D com “Google Earth Pro” versão 7.3.6.9796 (64-bit)

Para obtenção da animação seguiram-se os seguintes passos (Figura 11, Figura 12 e Figura 13):

Abrir o “Google Earth Pro” e em camadas, desmarcar todos os aspetos exceto o terreno e construções em 3D.

- No menu clicar no ícone adicionar caminho e marcamos o 1.º ponto da nossa zona de interesse, fomos a marcar sucessivamente até abranger toda a área de estudo
- Clicou-se em ver o “tour” para poder apreciar a animação
- Para melhor observação dos edifícios e outros pontos elevados, usou-se ferramentas, passeio, foi definido como ângulo de inclinação da câmara 60,0 graus, alcance da câmara 100,0 metros, e velocidade 200,0 para obter uma transição suave.
- Gravou-se o vídeo no formato MJPEG com resolução mais alta HD 1080p e salvou-se no computador local.

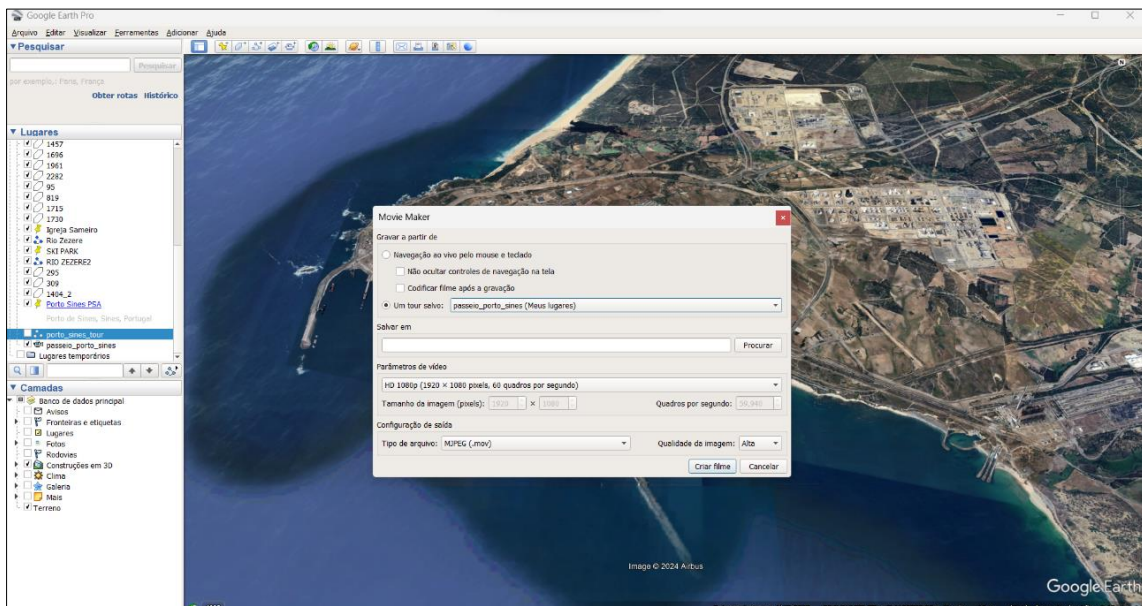


Figura 11 - Painel do Google Earth Pro Para Criar Visualização 3D. Fonte: Criado pelo autor através do Google Earth Pro versão 7.3.6.9796

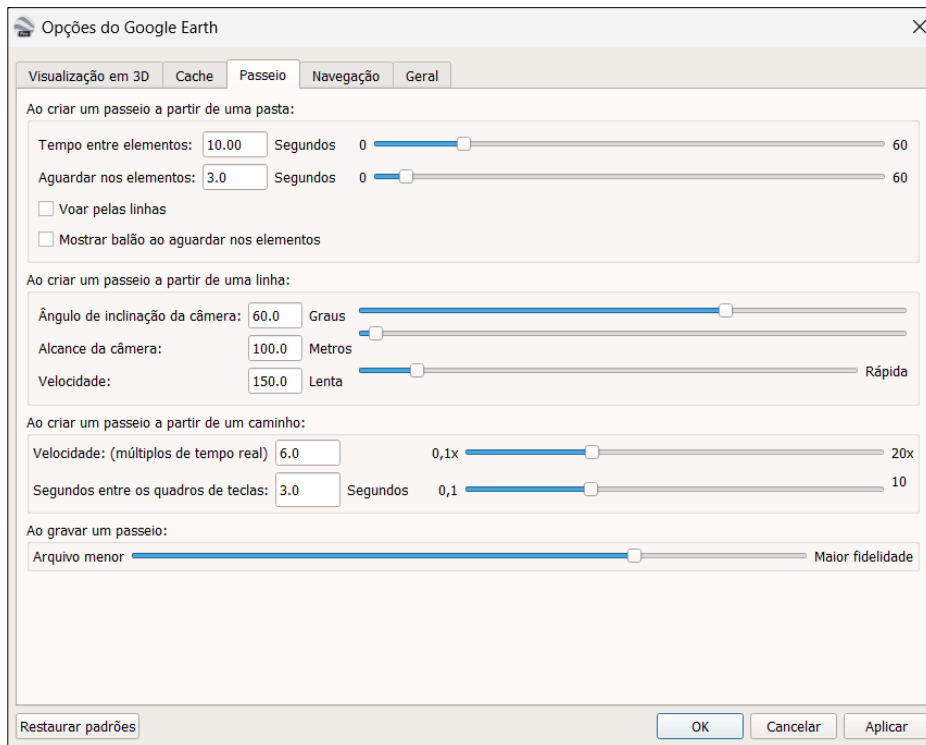


Figura 12 - Parâmetros usados no Google Earth Pro Para Criar Visualização Geográfica. Fonte: Criado pelo autor através do Google Earth Pro versão 7.3.6.9796

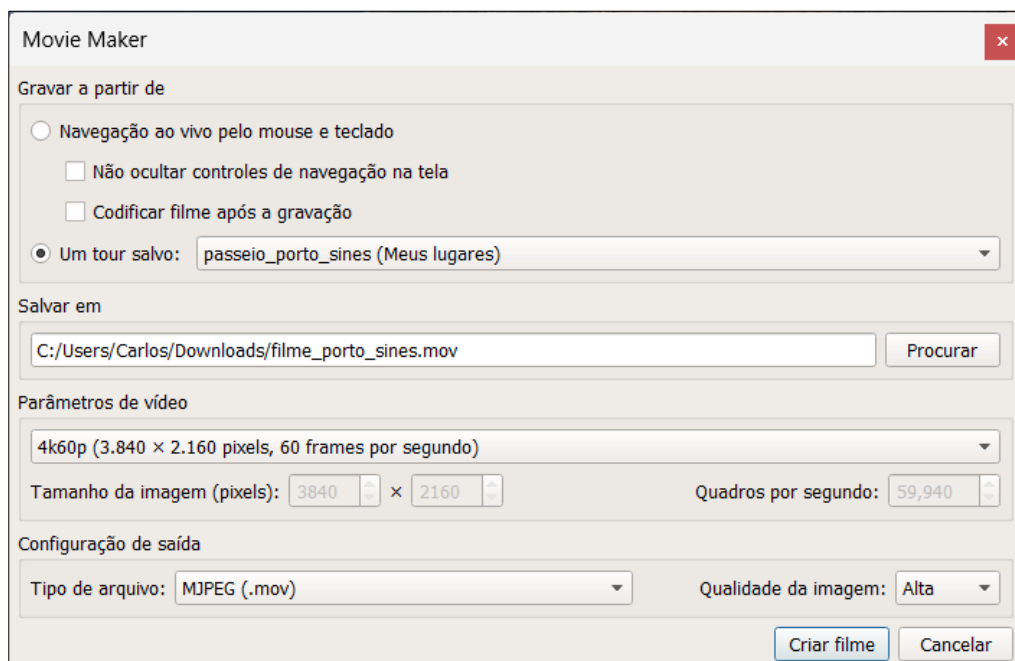


Figura 13 - Salvar visualização 3D gerada no Google Earth Pro com Alta Resolução. Fonte: Criado pelo autor através do Google Earth Pro versão 7.3.6.9796

Para disponibilizar o vídeo foi feita a compressão do mesmo com o “software” “video cutter expert” que permitiu reduzir o seu peso até 450 MB se tratando de uma animação de cerca de 4 minutos. A referida animação pode ser vista na plataforma “youtube”³.

3.3.1.3. Animação 3D com “Google Earth Studio”

O “Google Earth Studio” é uma ferramenta de animação baseada na “web” que utiliza as imagens 3D e de satélite do “Google Earth” para criar visualizações complexas e animações. Atualmente a versão usada é 1,6. Esta aplicação permite que os utilizadores criem vídeos detalhados e precisos utilizando os vastos dados geográficos do “Google Earth”. Esta ferramenta foi lançada em volta do junho de 2021 em modo de visualização conforme o artigo (*Introduction – Google Earth Studio, 2023*).

– Características Principais:

- **Animação por quadros-chave:** permite criar animações com controlo preciso sobre o caminho da câmara e outros parâmetros usando quadros-chave.
- **Dados geoespaciais:** utiliza os dados geoespaciais do Google para criar visualizações detalhadas e precisas.
- **Modelos Integrados:** disponibiliza modelos prontos para configurar rapidamente tipos comuns de animações.
- **Imagens em 3D:** acesso a imagens de alta qualidade em 3D do “Google Earth”.

Opções de Exportação: permite exportar as animações em vários formatos para uso em vídeos, apresentações e mais.

Para se efetivamente criar uma visualização geográfica em 3D com essa ferramenta é necessário ir ao URL Earth Studio:

- **Entrar:** necessário fazer “login” com uma conta do Google.
- **Criar Projeto:** iniciar um novo projeto e definir a área e os elementos que deseja animar (Figura 14 e Figura 15).

³ Visualização 3D com Google Earth Pro - <https://www.youtube.com/watch?v=3DgGxbBvcvg>

- **Animar:** utilizar as ferramentas de animação baseadas em quadros-chave para criar a visualização.
- **Renderizar e exportar:** renderizar o projeto e exportar a animação para uso em apresentações ou vídeos (Figura 16).

Por se tratar de um serviço baseado na “web”. Para começar a usar o “Google Earth Studio”, visite o sítio “web” do “Google Earth Studio” e faça “login” com a sua conta do Google. Lá, encontrará tutoriais e documentação para criar o seu primeiro projeto.

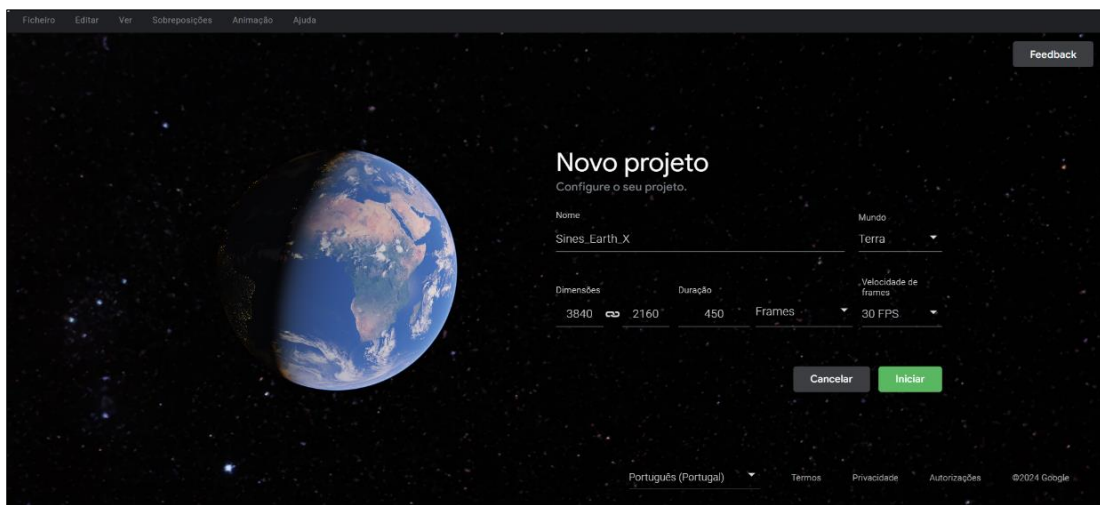


Figura 14 - Iniciar Projeto No Google Earth Studio. Fonte: Criado pelo autor através do Google Earth Studio

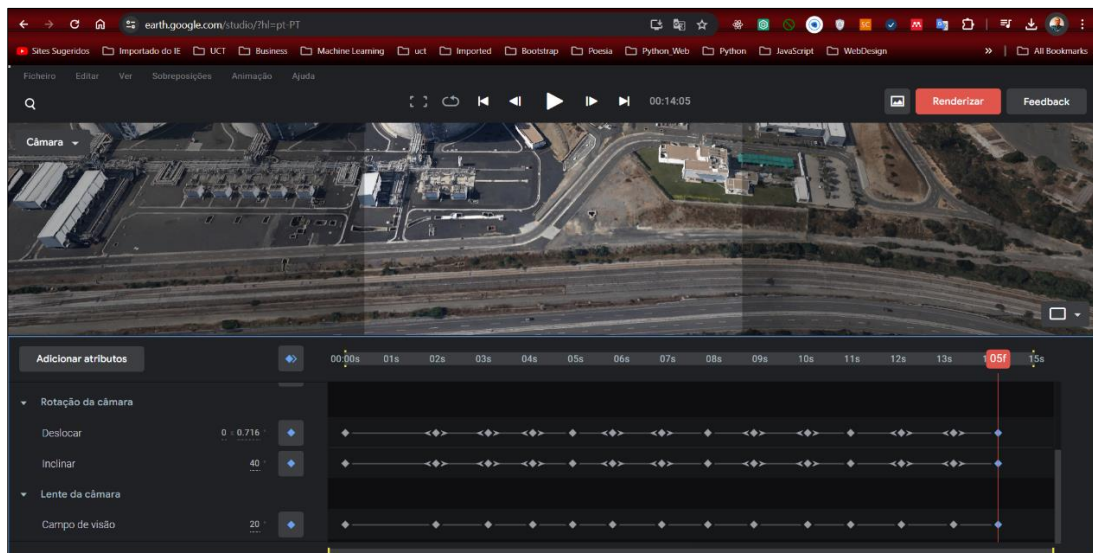


Figura 15 - Definir parâmetros no Google Earth Studio. Fonte: Criado pelo autor através do Google Earth Studio

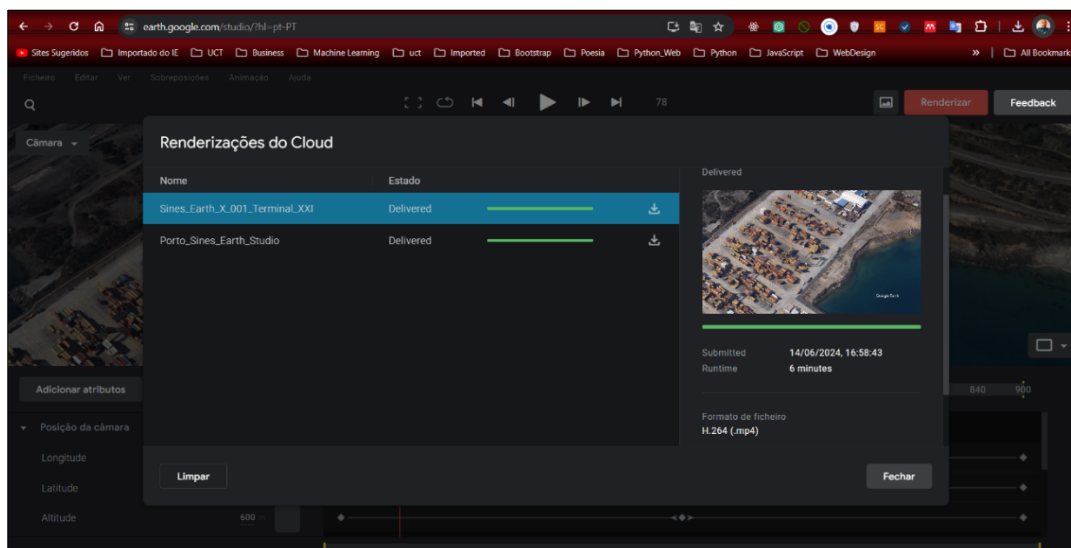


Figura 16 - Renderizar o resultado final do Google Earth Studio. Fonte: Criado pelo autor através do Google Earth Studio

Por que usar essa ferramenta? O “Google Earth Studio” é projetado especificamente para a criação de conteúdo em vídeo e animações, aproveitando os vastos dados geoespaciais disponíveis no “Google Earth”, tornando-se uma ferramenta poderosa para a criação de visualizações profissionais de dados geográficos.

- Práticas recomendadas para obter visualizações de boa qualidade no “Google Earth Studio”

O Google Earth Studio destaca-se pela qualidade e abrangência de suas imagens, que permitem a criação de animações com alto grau de realismo e precisão. A plataforma oferece modelos tridimensionais detalhados de diversas cidades, incluindo elementos como edifícios, pontes e vegetação. No entanto, a qualidade final da animação depende de uma série de fatores, como a iluminação, a posição da câmara e as configurações de renderização (Google, 2025).

A utilização dos dados em 3D exige atenção a detalhes como o enquadramento e a animação da cena. É importante explorar as ferramentas da plataforma para garantir que os elementos tridimensionais sejam exibidos de forma adequada e que a animação transmita a mensagem desejada. O Google Earth Studio oferece um mapa interativo que permite visualizar as cidades com modelos 3D disponíveis, o que facilita a escolha das áreas a serem representadas na animação.

– Não aproxime demais

As imagens em 3D no “Google Earth Studio” têm resolução incrivelmente alta, mas a nitidez delas é prejudicada quando a câmara está em baixas altitudes, principalmente em áreas remotas da Terra.

Ao enquadrar as suas cenas, evite situações que aproximem a câmara de prédios ou de outros pontos de referência. Texturas imprecisas na sua apresentação são um sinal de que aproximou demais. Tente afastar um pouco para visualizar imagens mais nítidas (*Introduction – Google Earth Studio, 2023*).

– Qualidade de imagem no nível da rua

Nas cidades, as texturas e as malhas podem ter uma qualidade inferior no nível da rua. Evite posicionar a câmara muito perto do chão ou entre edifícios, porque esses ângulos tendem a gerar problemas.

A plataforma “Google Earth Studio”, apesar de ser e possuir alta qualidade gráfica, apresenta uma interface com menor grau de facilidade de utilização quando comparada a outras ferramentas da “Google”, como o “Google Maps” e o “Google Earth Pro”. Essa dificuldade de uso se manifesta, por exemplo, nas configurações padrão de cada projeto, que impõem um limite de 450 “frames” (equivalente a 15 segundos de animação). Tal restrição impede a visualização de áreas extensas, exigindo o ajuste manual do número de “frames” para abranger áreas superiores a 100m². O processo de criação de vídeos na plataforma também se revela pouco intuitivo, assemelhando-se a um procedimento mecânico de captura de imagens estáticas, do ponto de origem ao destino, seguido de renderização. Adicionalmente, a ausência da funcionalidade de geração de hiperligações para compartilhamento direto da visualização constitui outro fator que impacta negativamente a utilidade da plataforma (*Introduction – Google Earth Studio, 2023*).

É fundamental salientar que o arquivo gerado permanece disponível para ser descarregado por apenas 10 dias, o que pode resultar na perda de trabalho caso o usuário não baixe dentro do prazo estipulado. Embora a plataforma disponibilize tutoriais que auxiliam na familiarização com suas funcionalidades, o domínio da ferramenta exige paciência e persistência por parte do utilizador, caracterizando-se por um processo de tentativa e erro até a obtenção de resultados satisfatórios. Diante das dificuldades encontradas, optou-se por criar múltiplos vídeos de curta duração da área geográfica em estudo, em detrimento de um único vídeo abrangente (*Introduction – Google Earth Studio, 2023*).

Para melhor compreensão desta ferramenta relativamente nova e pouco explorada, incluiu-se neste estudo um fluxograma que ilustra o processo de criação e renderização de visualizações. (Figura 17).

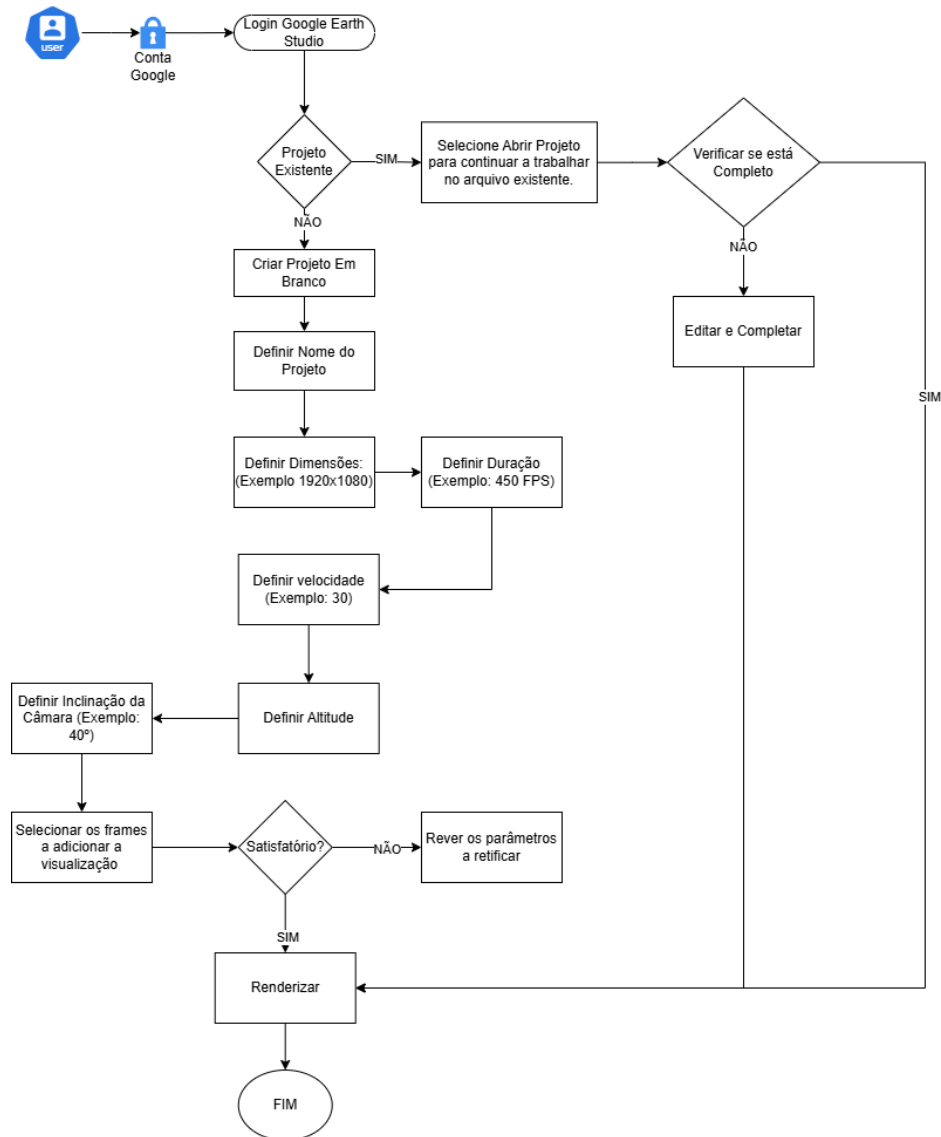


Figura 17 - Fluxograma para criar visualização através do “Google earth studio” com alguns valores padrão. Fonte: Criado pelo autor através da plataforma web “draw.io”

Para avaliar a qualidade da aplicação, seguindo as melhores práticas recomendadas na documentação oficial, foi elaborada uma visualização 3D do Porto de Sines em vídeo que pode ser vista na plataforma “youtube”⁴.

3.3.1.4. Modelo digital do Porto de Sines Com Blender

A criação de um protótipo de gémeo digital utilizando o “BlenderGIS” representa uma abordagem eficiente e acessível para a modelação tridimensional de ambientes urbanos e geográficos. Por meio da integração de dados de fontes abertas, como o Modelo Digital de Elevação “raster”, e o modelo de dados geográficos do OpenStreetMap (OSM), e ferramentas adicionais, é possível produzir uma réplica virtual de alta-fidelidade do ambiente real. Este processo não apenas permite a visualização detalhada de edifícios, ruas e terrenos, mas também oferece a flexibilidade para personalizar o modelo com texturas, materiais e animações, e proporcionar uma base sólida para análises urbanas, simulações e apresentações visuais. A seguir, são descritos os principais passos para a implementação de um protótipo no “BlenderGIS” (Blender Foundation, 2023).

1. Abrir o Blender e Configurar a Cena

- Iniciar o Blender e criar um projeto (Figura 18).
- Remover os objetos padrão (como o cubo inicial)
- Pressionar A para selecionar tudo.
- Pressione X e clique em Delete (Blender Foundation, 2023).

⁴ Visualização 3D Porto de Sines com Google Earth Studio 1 - <https://www.youtube.com/watch?v=lSpclR-v6gU>
Visualização 3D Porto de Sines com Google Earth Studio 2 - <https://www.youtube.com/watch?v=lSpclR-v6gU>

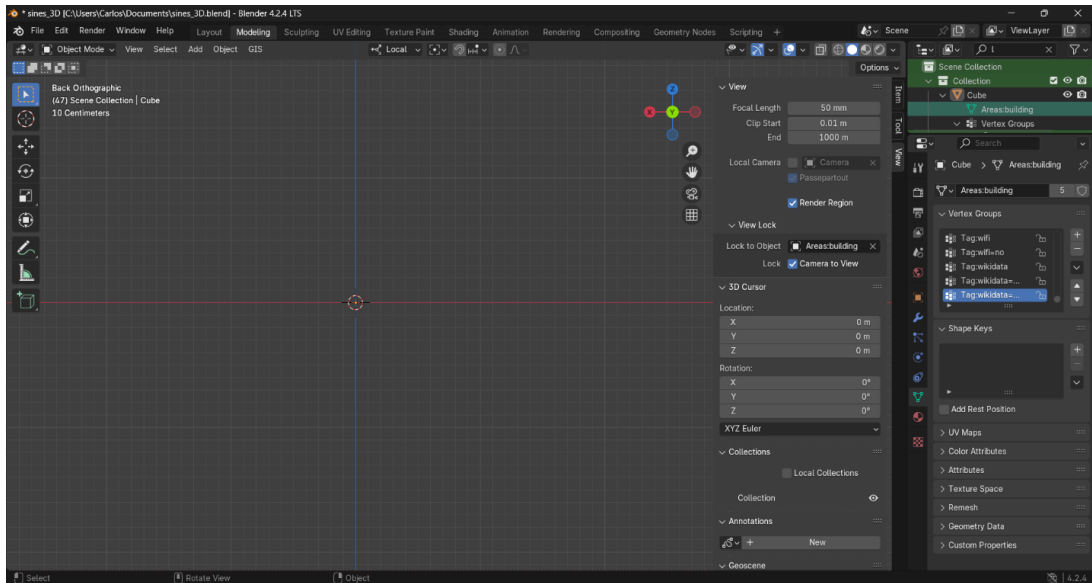


Figura 18 - Tela inicial do Blender. Fonte: Criado pelo autor utilizando o Blender versão 4.2.

2. Ativar e Configurar o BlenderGIS

- Verificar se o BlenderGIS está ativado
- Vá até Edit > Preferences > Add-ons.
- Procure por "BlenderGIS" e marque a caixa de seleção ao lado do nome para ativá-lo.

Configurar Projeção:

O Blender utiliza um sistema de coordenadas diferente dos dados geoespaciais.

Configure o sistema de coordenadas clicando em GIS > Set CRS (Sistema de Referência de Coordenadas).

Escolha o CRS adequado; para a maioria dos projetos, o EPSG:4326 (WGS 84) é suficiente (Blender Foundation, 2023).

Importar o raster "MDE" da área de estudo, Figura 19.

3. Importar o Arquivo osm

- No menu superior, clique em GIS > Import OSM > OSM File (Figura 20).
- Navegue até o arquivo. osm que você baixou do OpenStreetMap.
- Clique em “Import” para carregar os dados no Blender (Openstreetmap Wiki, 2023).

4. Configurar as Opções de Importação

Durante a importação do osm, uma janela de configuração será exibida. Aqui, você pode selecionar os tipos de dados a serem importados.

Edifícios

Ativou-se a opção “Buildings” para importar os edifícios contidos nos dados. Osm (Figura 21). Ajuste a altura padrão para edifícios que não possuem informações de altura.

Ruas

Ativou-se a opção “Roads” para importar ruas e estradas.

Escolha se deseja importar apenas as linhas ou criar superfícies (opcional).

Vegetação

Os dados. osm não continham informações de vegetação (como árvores ou florestas).

Caso houvesse poder-se-ia adicionar também.

Escolha entre importar árvores individuais ou superfícies representando áreas verdes (Openstreetmap Wiki, 2023).

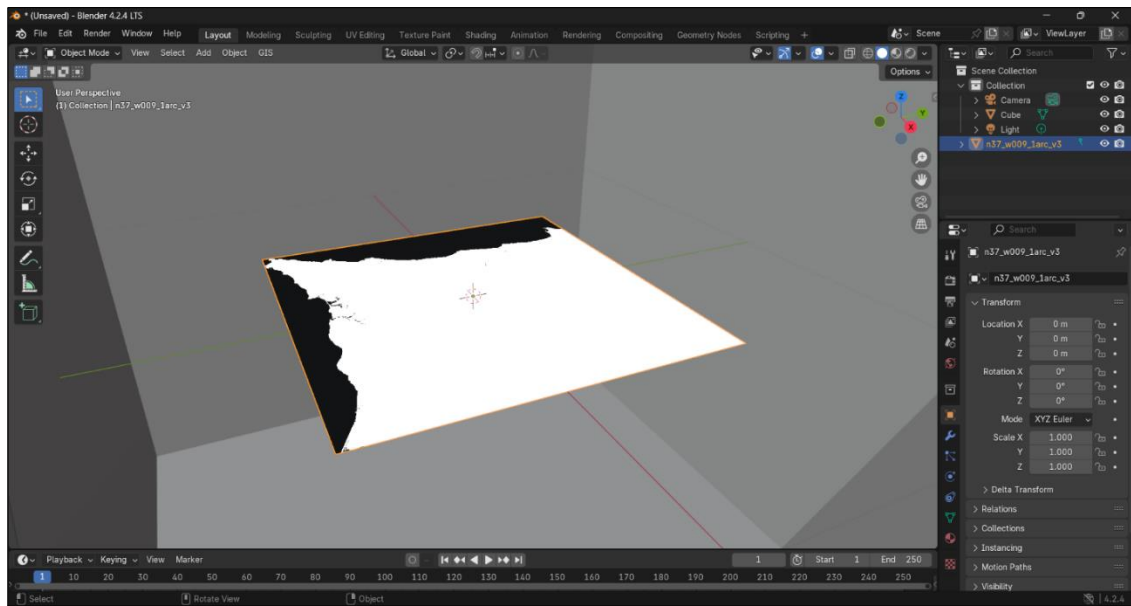


Figura 19 – Raster do Porto de Sines Adicionado ao Blender. Fonte: Criado pelo autor utilizando o Blender versão 4.2.

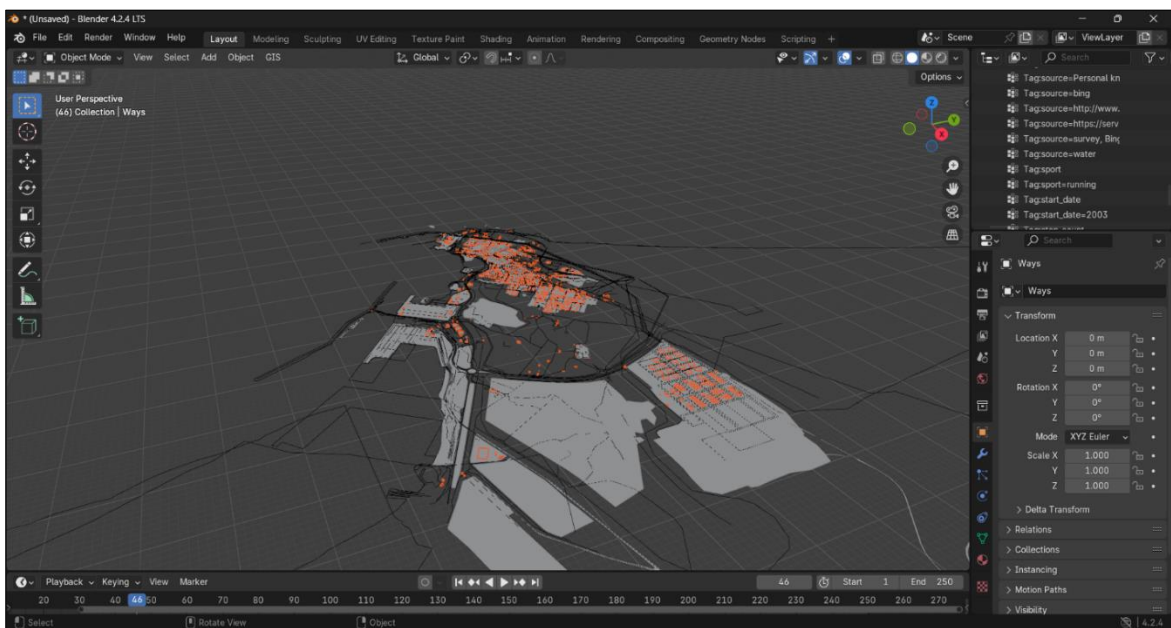


Figura 20 - Dados OSM adicionados ao Blender. Fonte: Criado pelo autor utilizando o Blender versão 4.2.

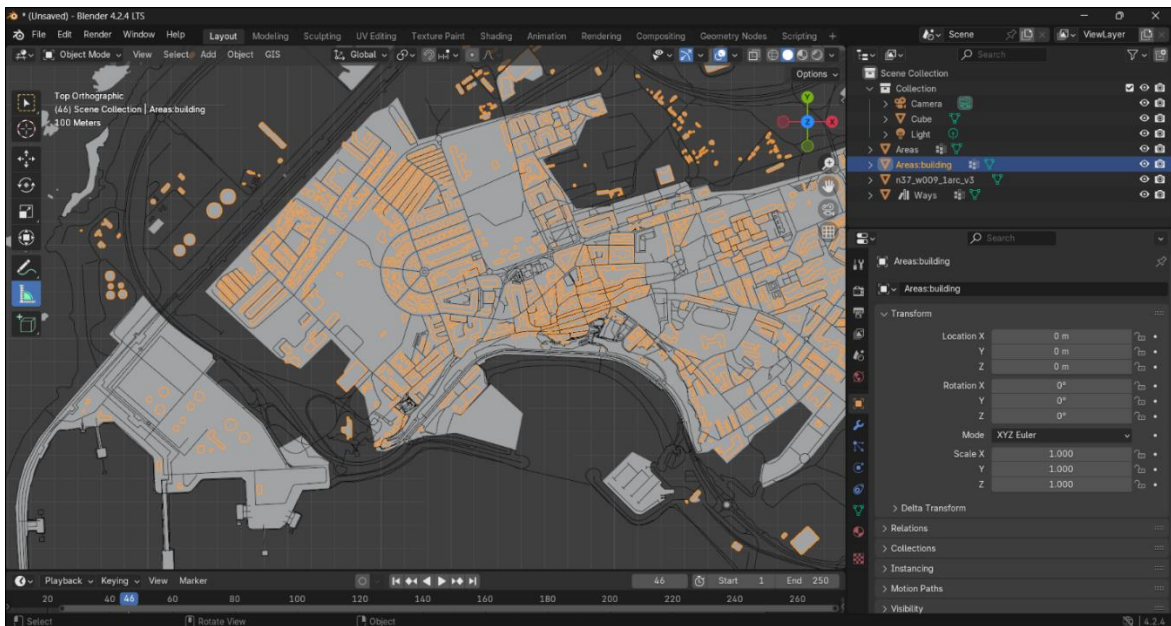


Figura 21 - Selecionar a camada de Edifícios do OSM. Fonte: Criado pelo autor utilizando o Blender versão 4.2

5. Finalizar a Importação

Clique em OK ou “Import” para carregar os dados selecionados.

O Blender processará os dados e os renderizará como objetos 3D na cena (Blender Foundation, 2023).

6. Posicionamento e Ajustes

Após a importação, você verá os edifícios, ruas e vegetação como objetos separados no Blender.

Ajuste o posicionamento ou escale os objetos, se necessário:

Use G para mover, S para escalar e R para rotacionar os (Blender Foundation, 2023).

7. Combinar com o Modelo Digital de Elevação (MDE)

Se você já importou um MDE (Modelo Digital de Elevação):

Certifique-se de que os edifícios e as ruas estão alinhados corretamente com o terreno.

Ajuste as alturas dos edifícios para que se ajustem ao terreno, se necessário (Figura 22) (Blender Foundation, 2023).

8. Adicionar Texturas e Materiais

Adicione materiais básicos para edifícios, ruas e vegetação:

Selecione um objeto.

Vá para o painel de Material “*Properties*” (ícone de esfera no lado direito).

Adicione um novo material e ajuste as cores ou texturas

(Blender Foundation, 2023).

9. Renderização

Use o motor de renderização “*Cycles*” ou “*Eevee*” do Blender para gerar imagens ou animações do modelo.

Adicionar iluminação e câmara para melhorar a visualização. (Blender Foundation, 2023).

Resultado

Obteve-se uma cena 3D no Blender contendo edifícios, ruas e vegetação, todos baseados nos dados do OpenStreetMap. Esses elementos podem ser ajustados, texturizados ou integrados ao terreno para criar um modelo mais realista (Figura 23).

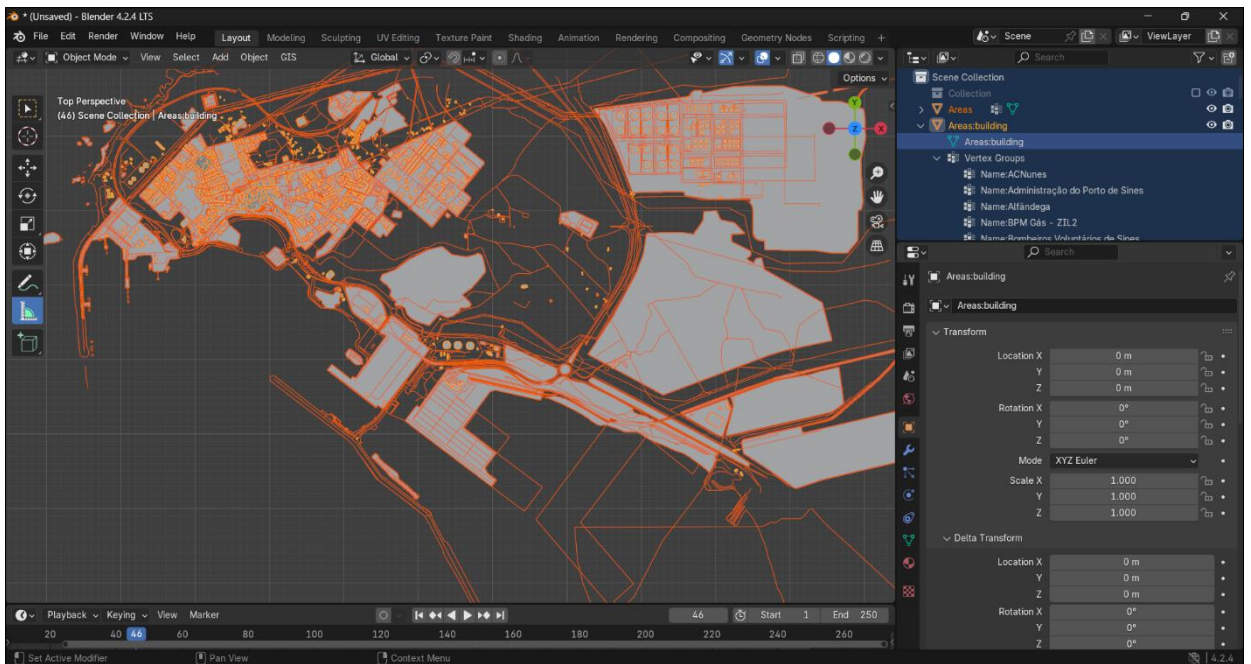


Figura 22 - Alterar os dados de Elevação com base no DEM. Fonte: Criado pelo autor utilizando o Blender versão 4.2

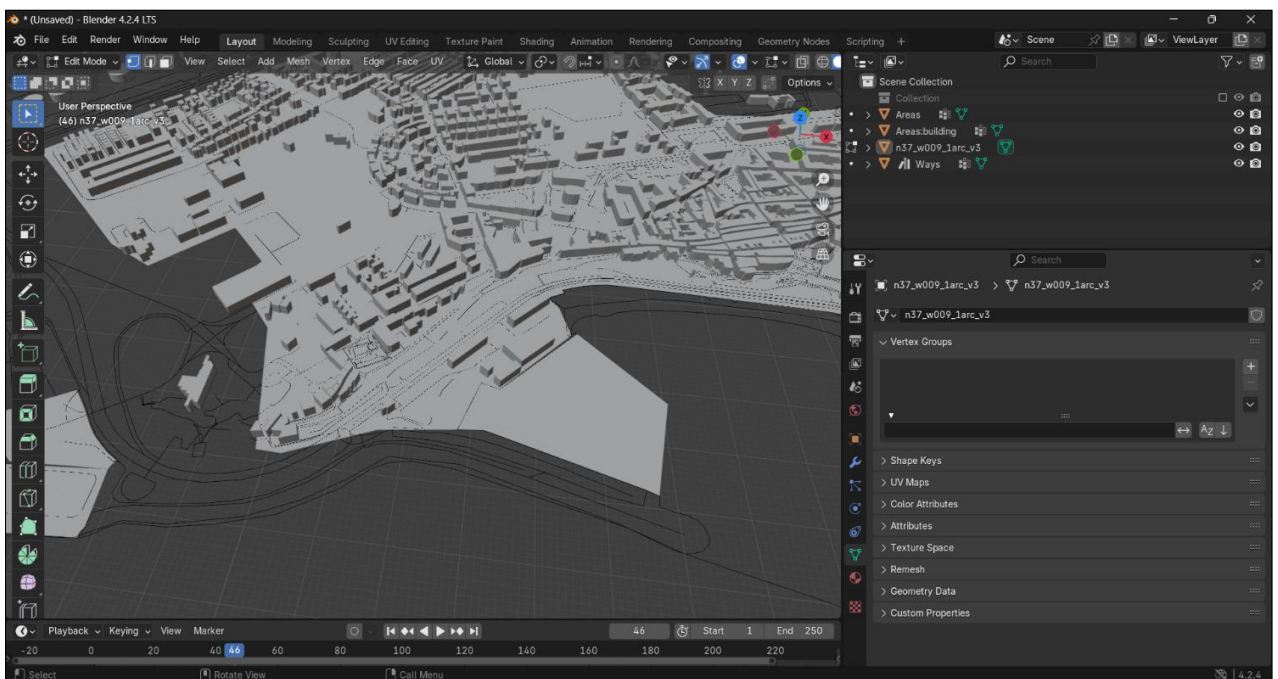


Figura 23 - Resultado final obtido 3D do Porto de Sines no Blender. Fonte: Criado pelo autor utilizando o Blender versão 4.2

O Blender, como ferramenta de modelagem e animação 3D, é ideal para criar a base visual de um gêmeo digital. Para se transformar em um gêmeo digital, o modelo precisaria ser conectado a uma plataforma que receba e faça gestão dos dados em tempo real (como “Unity”, “Unreal Engine” ou “softwares” específicos de simulação urbana, como “CityEngine” ou plataformas “IoT”), e integrar mais informações como por exemplo os horários de entrada e saída dos navios nos terminais e tipos de movimentos efetuados. Assim, o que se fez no Blender é um protótipo visual 3D estático, que pode ser o primeiro passo para um gêmeo digital.

3.3.1.5. Visualização “Web” Interativa do Porto de Sines

Para explorar cabalmente a área de estudo, foi criado um sítio “web”, e descreveram-se detalhadamente as funcionalidades e características do sítio “web”, além de providenciar instruções de utilização.

Descrição Geral

URL do Projeto: “Sines Map” <https://sines-map-react-8uflx6ccb-carlos-pimentels-projects.vercel.app/> para visualização rápida clique na ligação a seguir: “Sines Map”

O “Sines Map” é uma aplicação “web” interativa que permite visualizar e explorar o mapa do Porto de Sines, em Portugal. Esta ferramenta foi desenvolvida para fornecer uma visão detalhada de diferentes pontos de interesse no Porto, facilitando a navegação e a descoberta de locais importantes.

A integração da “API Mapbox” com o ficheiro do projeto “mpk” do “Arcgis pro”, fornecido pela Administração do Porto de Sines exigiu a conversão do ficheiro MPK para “geojson”, de modo a ser possível adicionar esta camada ao mapa gerado, no entanto, no código HTML5, e “JavaScript” utilizado em paralelo com o “Mapbox”, não exhibe as infraestruturas do porto.

Visto que o próprio “Arcgis Pro” permite a partilha do mapa na “web” com menor esforço, criou-se um mapa interativo do Porto de Sines com toda a sua infraestrutura gerada através deste método ⁵.

⁵ Mapa da Infraestrutura do Porto de Sines com ArcGIS Pro web - <https://mapa-porto-sines.netlify.app/>

Utilize os filtros disponíveis para categorizar os, “POIs” conforme as suas preferências.

1. Interagir com Pop-ups

- Ao clicar num marcador, um pop-up será exibido com informações detalhadas.
- Explore as informações fornecidas, bem como descrições e hiperligações adicionais.

Funcionalidades

1. Visualização Interativa do Mapa

- Navegação: permite o utilizador navegar pelo mapa utilizando o rato ou controlesde navegação na “interface”.
- Zoom: ferramenta de zoom que possibilita aproximar e afastar o mapa para visualizar detalhes específicos.

2. Pontos de Interesse

- Marcadores: diversos pontos de interesse (“POIs”) serão marcados no mapa, cadaum com uma breve descrição.
- Categorias: os “POIs” podem ser categorizados para facilitar a filtragem e a busca de locais específicos, como restaurantes, hotéis, pontos turísticos, etc.

3. Busca e Filtros

- Busca por Local: campo de busca para encontrar rapidamente locais específicos nomapa.
- Filtros: opção de filtrar os pontos de interesse por categorias, facilitando a exploração.

4. Informações Detalhadas

- 5. “Pop-ups”: ao clicar num marcador, um “pop-up” exhibe informações detalhadas sobre o local, incluindo descrição, imagens e hiperligações relevantes.

6. Instruções de Uso:

- Navegação pelo Mapa

- Utilize o rato para arrastar e mover o mapa.
- Use a roda do rato ou os botões de “zoom” (+/-) para aproximar ou afastar a visualização.
- Busca por local
- Digite o nome do local desejado no campo de busca localizado no topo da página.
- Selecione o resultado relevante para ser direcionado ao ponto específico no mapa.

Explorar Pontos de Interesse

- Clique nos marcadores para visualizar mais informações sobre os pontos de interesse.

Tecnologias Utilizadas

“React”: Biblioteca “JavaScript” para construção de “interfaces” de usuário, foi usada a versão 17, com a gestão da instalação através do vite.

“Vercel”: Plataforma de hospedagem que permite a implantação de sites de maneira eficiente e grátis.

“Map APIs”: usou-se a “API Mapbox” para renderização e manipulação do mapa.

3.4. Integração das Metodologias

O método experimental adotado permitiu melhorar a percepção dos dados teóricos recolhidos dos livros e artigos analisados, e aferir a qualidade das visualizações, a facilidade de utilização e custo de tempo e financeiro para obtenção dos objetivos propostos.

3.5. Validação dos resultados

Para garantir que os resultados obtidos transmitam um grau razoável de qualidade foram adotadas as melhores práticas recomendadas nas plataformas e documentação dos próprios provedores das tecnologias utilizadas “ArcGIS Pro” (*Animation Basics—ArcGIS Pro* |

Documentation, 2023) Google Earth Pro (Google Earth, 2023) Google Earth Studio (Introduction – Google Earth Studio, 2023.).

Capítulo 4 - Resultados

4.1. Requisitos Para Criar Um gémeo Digital

De forma geral projetos tecnológicos precisam de pelo menos 3 aspetos fundamentais a serem considerados para que sejam desenvolvidos de forma eficaz e em tempo útil.

- **Funcionalidades:** foram empreendidos esforços para identificar as funcionalidades necessárias para a visualização geográfica, a análise de cenários e a tomada de decisões, com base em modelos pré-existentes e adaptação ao Porto de Sines.
- **Dados:** para determinação dos tipos de dados necessários para criação da plataforma de visualização geográfica. Incluindo dados sobre o porto, como a localização de instalações, equipamentos e operações, foram pesquisados todos os inputs úteis para a concretização desse projeto, incluindo a planta do Porto, modelos de gémeos digitais de Indústrias e cidades inteligentes, bem como de outros portos, de modos a se obter um conhecimento aprofundado e testar as nossas hipóteses e ver qual melhor se encaixa.
- **Perfil dos utilizadores:** procuramos caracterizar o perfil e as necessidades dos prospetivos utilizadores da plataforma de visualização geográfica, como por exemplo: gestores de operações portuárias e logística, especialistas em SIG, cientistas de dados, etc.

4.2.1.1. Requisitos Para Criar Um gêmeo Digital no “Unity” 3D

A criação de um gêmeo digital usando “Unity” envolve várias etapas, tais como: projetar o ambiente virtual, importar ativos, adicionar interatividade e implantar o aplicativo (Hocking, 2019). Abaixo está uma visão geral básica do fluxo de trabalho para criar um gêmeo digital no “Unity” (Tabela 6):

1. Planejar e projetar:

- Defina o escopo e os requisitos do seu projeto de gêmeo digital. Reúna materiais de referência, projetos e dados sobre o ambiente físico ou objeto que você deseja replicar. Planeie o layout e os recursos do ambiente virtual (Hocking, 2019).

2. Configurar o projeto “Unity”:

- Baixe e instale o “Unity Hub”, que é uma ferramenta de gestão para projetos do “Unity”. Crie um projeto do “Unity” com as configurações apropriadas para sua plataforma de destino e requisitos do projeto.

3. Importar ativos:

- Reúna ou crie modelos 3D, texturas e outros recursos necessários para o gêmeo digital. Importe os ativos para o seu projeto do “Unity” arrastando-os e soltando-os no Editor do “Unity” ou usando o menu Importar ativos (Hocking, 2019).
- Projetar o ambiente virtual: organizar os ativos importados no “Unity” Editor para recriar o ambiente físico ou objeto.

Usar as ferramentas de edição de cena do “Unity” para ajustar o posicionamento, a escala e a rotação dos objetos. Aplique materiais, texturas e iluminação para melhorar a qualidade visual do ambiente.

Adicionar interatividade:

Implemente elementos interativos, como interfaces de usuário, botões, controles deslizantes e controles de entrada usando o sistema de UI do “Unity”.

Usar scripts (C#, “JavaScript” ou a ferramenta de script visual do “Unity”, Bolt) para adicionar comportamento e funcionalidade aos objetos na cena. Incorpore simulação física para imitar interações e comportamentos do mundo real.

Otimizar e testar:

Otimize o desempenho do gêmeo digital por: otimizar ativos, reduzir contagens múltiplas e implementar técnicas de nível de detalhe.

Teste o gêmeo digital no “Unity” Editor para garantir que ele se comporta conforme o esperado e atenda aos requisitos do projeto.

Instale a aplicação:

Escolha a plataforma de destino para instalação, como desktop, celular, VR ou web.

Crie o projeto de gêmeo digital para a plataforma selecionada usando as configurações de “build” do “Unity”.

Distribua ou publique o aplicativo de gêmeo digital para usuários ou partes interessadas para teste e avaliação.

Alterar e melhorar:

Reúna “feedback” de usuários e partes interessadas e repita o gêmeo digital com base em seus comentários.

Melhore e atualize continuamente o gêmeo digital para adicionar novos recursos, otimizar o desempenho e aprimorar a experiência do usuário.

Durante todo o processo, consulte a documentação, os tutoriais e os fóruns da comunidade do “Unity” para obter orientação e suporte em tarefas e desafios específicos que você possa encontrar. Além disso, considere aproveitar ativos e plug-ins de terceiros da “Unity” “Asset Store” para acelerar o desenvolvimento e aprimorar a funcionalidade do seu projeto de gêmeo digital.

4.2.1.2. Proposta de materiais e métodos para criação do Gêmeo Digital do Porto de Sines

Lista de Materiais

Para criar um gémeo digital do Porto de Sines, é essencial utilizar uma variedade de equipamentos e tecnologias. Abaixo estão os principais materiais propostos:

“Drones”: “drones” permitem captar imagens aéreas, monitorar áreas inacessíveis e realizar inspeções de infraestrutura (D. R. Thompson, Smith, & Brown, 2018).

Os “drones” desempenham um papel fundamental no fornecimento de dados para a criação de gémeos digitais. Posicionar uma câmara sobre cada local num ativo proporciona vantagens em termos de velocidade, frequência e segurança. Os dados do “drones” são usados para criar um modelo 3D usando fotometria e inspecionar o ativo (D. R. Thompson, Smith, & Brown, 2018).

Capturar dados de qualidade com um “drone” para criar um modelo 3D de alta resolução pode ser difícil, especialmente para determinados ativos, como dois prédios enormes num ambiente urbano.

A obtenção de modelo 3D de qualidade profissional requer que um piloto capte imagens de uma maneira específica, a saber: a gestão de variáveis como sobreposição de imagem, ângulos da câmara, distância de amostra e exposição de imagem para cada fachada do edifício. O piloto deve balancear todos esses fatores e, ao mesmo tempo, estar ciente dos seus arredores, cumprir com as regulamentações, manter a segurança e muito mais (D. R. Thompson, Smith, & Brown, 2018).

Sensores e Chips: Sensores são fundamentais para coletar dados sobre condições ambientais, localização de cargas, estado de equipamentos, entre outros. Tipos de sensores incluem :

- Sensores de temperatura e humidade.
- Sensores de movimento.
- Sensores de proximidade.
- Sensores de pressão.
- Sensores de vibração (Reyna et al., 2018).

Câmaras de Vigilância (CCTV): Câmaras de alta resolução para monitoramento contínuo de atividades portuárias, segurança e vigilância.

Leitores RFID: Leitores de identificação por radiofrequência (RFID) para rastreamento de contentores e mercadorias, para facilitar a automação e a precisão na identificação e localização.

Balizas GPS: Dispositivos GPS para rastreamento preciso de veículos, navios e contentores no porto.

“Gateways IoT”: “gateways” para coletar e transmitir dados de sensores e dispositivos “IoT” para a nuvem ou servidores locais, permitindo a análise em tempo real (Zhang, Li, & Wang, 2020).

Equipamentos de Redes: Infraestrutura de rede robusta, incluindo roteadores, “switches” e pontos de acesso Wi-Fi, para garantir conectividade contínua e transmissão de dados em todo o porto.

Veículos Autônomos: Veículos autônomos ou guiados automaticamente (AGVs) para movimentação de cargas, que podem ser monitorados e controlados digitalmente.

Robôs de Inspeção: Robôs terrestres para inspeção de infraestrutura, como trilhos, guindastes e outras áreas de difícil acesso.

Equipamentos de Medição e Análise de Águas: Dispositivos para monitorar a qualidade da água, marés e condições meteorológicas, que são cruciais para a segurança e operação portuária.

Estações Meteorológicas: Para fornecer dados sobre condições climáticas que afetam as operações portuárias, como vento, chuva e temperatura.

Unidades de Armazenamento e Processamento de Dados: Servidores locais ou em nuvem para armazenar e processar grandes volumes de dados gerados pelos sensores e dispositivos “IoT”.

Painéis de Controle e Monitores: Monitores e painéis de controle para operadores portuários, exibindo dados e análises em tempo real para facilitar a tomada de decisão.

Dispositivos de Realidade Aumentada (AR) e virtual (VR): Dispositivos de “AR” e “VR” para visualização e simulação de operações portuárias num ambiente virtual, para auxiliar na formação de pessoal e na análise de cenários.

Sistemas de Alerta e Notificação: Sistemas integrados de alerta para notificar operadores sobre anomalias, problemas de segurança ou quaisquer interrupções nas operações.

Os materiais acima propostos podem ser integrados ao projeto de criação do gêmeo digital do Porto Sines.

4.2.1.3. “Softwares” para Criar o Gêmeo Digital

Para a criação de um gêmeo digital do Porto de Sines, a seleção de “software” adequado é crucial. A seguir, descrevemos alguns dos “softwares” mais relevantes para essa tarefa:

- “Autodesk Revit”: “Revit” é amplamente utilizado na modelagem de informações da construção (“BIM”), permitindo a criação de modelos 3D detalhados e precisos das infraestruturas portuárias. A sua capacidade de integrar diferentes disciplinas de engenharia torna-o ideal para projetos complexos (Eastman et al., 2018).
- “Siemens NX”: “Siemens NX” oferece ferramentas avançadas de modelagem e simulação essenciais para criar gêmeos digitais precisos e funcionais. A capacidade de simular processos e operações portuárias num ambiente virtual ajuda na otimização e planeamento eficiente (Shah, 2019).
- “Dassault Systèmes 3D EXPERIENCE”: esta plataforma integra diversas soluções de “software” para simulação, análise e gestão de dados. É ideal para criar gêmeos digitais que não apenas modelam a infraestrutura física, mas também capturam dados operacionais em tempo real (Stark, 2020).
- “Bentley Systems OpenBuildings”: ferramenta poderosa para design e modelagem de infraestruturas civis e industriais. Oferece integração com sistemas GIS e BIM, facilitando a criação de um gêmeo digital do porto que inclui detalhes geospaciais (Systems, 2020).
- “Hexagon PPM Smart 3D”: utilizado para design e engenharia de plantas industriais e infraestruturas. A sua capacidade de lidar com projetos complexos e grandes volumes de dados o torna uma escolha sólida para a criação de gêmeos digitais detalhados (PPM, 2018).
- “Esri ArcGIS”: “ArcGIS” é uma plataforma de “SIG” que permite a criação de gêmeos digitais georreferenciados. Sua integração com dados de sensores e dispositivos “IoT” facilita o monitoramento e a análise em tempo real das operações portuárias. Por ser uma empresa com ligação a muitas universidades e instituições académicas, poderia ser uma opção mais acessível (Law & Collins, 2020).

- “PTC ThingWorx”: Uma plataforma “IoT” que permite a criação de gémeos digitais conectar dispositivos, sensores e sistemas. “ThingWorx” é ideal para monitorar e gerir operações portuárias em tempo real, proporcionando intuições operacionais valiosas (Smith & Brown, 2020).
 - “Unity” da Microsoft: “Unity” é uma plataforma robusta para a criação de simulações e visualizações 3D interativas. É amplamente utilizado em diversos setores para desenvolver gémeos digitais, permitindo a criação de modelos virtuais detalhados e interativos das operações e infraestruturas portuárias. A flexibilidade do “Unity” (), permite integração com outras tecnologias e dispositivos, facilitando a criação de um ambiente virtual altamente realista e funcional (Hocking, 2019).
1. Além dos softwares antes mencionados encontraram-se também outros tais como: “Simio” (Tabela 3), “Tecnomatix” (Tabela 4), “SAP Internet of Things”, (Tabela 5) “PortSim” (Tabela 7) e “Ansys” (Tabela 11), que servem para o mesmo objetivo.
 2. Seria com certeza muito útil utilizar ferramentas de colaboração e gestão de projetos como o “jira” (Tabela 12) e otimizar o processo de desenvolvimento por ter um bom sistema de versionamento de código como o “git” (Tabela 13), gestão de bases de dados relacionais como “PostgreSql” (
 - 3.
 - 4.
 5. Tabela 15), MS SQL (Tabela 14) e desenhar um modelo apropriado de ER com “ERD Plus” (

6. 17) ou outra ferramenta similar.

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço e Requisitos de Sistema
ERD PLUS	<i>ERDPlus é uma ferramenta de modelagem de base de dados baseada na web que permite criar de forma rápida e fácil Diagramas de Entidade-Relacionamento (ERDs), Esquemas Relacionais, Esquemas Estelares, exportar SQL e diagramas como PNG.</i>	Grátis. Online

4.2.1.4. Comparação dos resultados obtidos com as diferentes ferramentas de visualização geográfica e mapeamento

Das ferramentas utilizadas para gerar as diferentes visualizações geográficas em 3D podemos extrair as seguintes ilações (

Tabela 2):

Tabela 2 - Comparação entre ArcGIS Pro, Google Earth Pro e Google Earth Studio

Critério	ArcGIS Pro	Google Earth Pro	Google Earth Studio
Resolução dos Vídeos	Alta (até 4K, dependendo do hardware)	Moderada (qualidade padrão HD)	Alta (até 4K, depende da saída e da renderização)
Flexibilidade de Animação	Alta (animações complexas e personalizáveis)	Baixa (animações básicas de tours)	Alta (ampla gama de movimentos e efeitos)
Complexidade dos Efeitos	Alta (suporte a efeitos avançados)	Baixa (efeitos limitados)	Moderada a Alta (transições e efeitos fluídos)

Capacidade de Edição	Alta (edição detalhada de camadas e objetos)	Moderada (edição de pontos e trajetos básicos)	Moderada (edição de “keyframes” e transições)
Facilidade de Uso	Moderada (curva de aprendizado acentuada)	Alta (interface intuitiva e fácil de usar)	Alta (interface amigável, mas focada em animação)
Recursos Adicionais	Suporte para scripts, integração com outras ferramentas GIS, personalização avançada	Importação/ exportação de KML, gravação de tours	Integração com Adobe After Effects, renderização baseada na web
Uso. Típico	Análises geoespaciais detalhadas, apresentações profissionais	Visualização básica e exploração, criação de tours simples	Criação de vídeos de apresentação, animações promocionais e educacionais

Tabela 3 - Funcionalidades Software Simio LLC

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço	Requisitos de Sistema	Versão
Simio LLC	Software de simulação 3D baseado em objetos com funcionalidades de agendamento e integração ao Google Warehouse. Permite modelagem e visualização em 3D em uma única etapa.	Grátis para testar (30 dias). \$139/mês.	Windows 8 ou posterior, 32/64 bits, 4 GB RAM, DirectX 9, conexão à Internet necessária para serviços online.	Versão 16.2

Simio Digital Twin	Modelo 3D conectado a dados em tempo real, fornecendo análises preditivas e prescritivas para cronogramas operacionais detalhados e avaliação de risco.	Licença acadêmica gratuita para professores e alunos.	Pentium ou superior, 4 GB RAM, 500 MB de espaço em disco, resolução de 1024x768 ou superior.	Uso Acadêmico
---------------------------	---	---	--	---------------

Tabela 4 - Funcionalidades do Tecnomatix

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço
Tecnomatix	Criação de gémeos digitais, Modelos, Simulação de Processo, Interatividade, Eventos Analíticos, Desenvolvimento de Modelo, Mapeamento de Processos.	Comercial, Preço sob consulta, Teste 30 dias

Tabela 5 - Funcionalidades do SAP Leonardo Internet of Things

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço
SAP Leonardo Internet of Things	Desbloqueie a sua empresa inteligente incorporando dados da Internet das Coisas (IoT) nos seus processos principais. Descubra como você pode otimizar a produtividade, redefinir a experiência do cliente e repaginar modelos de negócios para atender praticamente qualquer cliente e enfrentar os seus desafios de negócios com o SAP Leonardo “IoT”.	O licenciamento do SAP Leonardo IoT pode ser baseado em assinatura ou consumo, dependendo do número de dispositivos conectados e volume de dados. O preço varia de acordo com o escopo e a necessidade de funcionalidades adicionais. Para uma cotação exata, recomenda-se entrar em contato com a SAP ou um revendedor autorizado.

Tabela 6 - Funcionalidades do “Unity” Enterprise

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço
“Unity” Enterprise	O Unity Enterprise oferece todos os recursos do Unity Pro, além de suporte técnico rápido, acesso ao código-fonte da unidade, suporte LTS (Long-Term Support) de três anos, integração com a Nuvem da Unidade, gestor de ativos unitários, administração de equipe, suporte para “DevOps”, capacidade de licença de servidor, treinamento sob demanda e licença flutuante. Ele também oferece mais de 150 licenças ou opções de faturamento.	O licenciamento do Unity Enterprise é baseado em uma assinatura e licença flutuante. Os preços variam dependendo da quantidade de licenças, do suporte requerido e das funcionalidades adicionais, como as soluções industriais e o acesso ao código-fonte. Para informações detalhadas sobre preços e opções personalizadas, é aconselhável entrar em contato diretamente com o time de vendas da Unity.

Tabela 7 – Funcionalidades do PortSim

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço
PortSim	O PortSim pode ser usado para modelar portos de todos os tamanhos e tipos, desde pequenos portos interiores até grandes terminais de contentores. Ele também pode ser usado para modelar uma variedade de operações portuárias, desde operações simples de carga geral até operações complexas de contentores.	CONSULTAR PROPRIETÁRIO

Tabela 8 - Funcionalidades do Azure Digital Twins

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço
Azure Digital Twins	Referenciar o passado e ajudar a prever o futuro de qual quer ambiente ligado. Modelar e criar facilmente representações digitais de ambientes ligados com uma linguagem de modelação aberta. Modelar edifícios, fábricas, explorações agrícolas, redes de energia, caminhos de ferro, estádios e até mesmo cidades inteiras. Dar vida a estes gémeos digitais, com um ambiente de execução em tempo real que cria um histórico de alterações de duplos ao longo dotempo. Obtenha informações acionáveis sobre o comportamento dos ambientes modelados mediante APIs de consulta avançadas e integração com a análise de dados do Azure.	\$1,20 por milhão de mensagens, \$3por milhão de operações, \$0,60 por milhão de unidades de consultas

Tabela 9 - Informações sobre o MySQL

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço	Requisitos de Sistema e Versão Mais Recente
MySQL	MySQL é o sistema de gestão de base de dados SQL de código aberto mais popular, desenvolvido, distribuído e suportado pela Oracle Corporation. O site MySQL (http://www.mysql.com/) fornece as informações mais recentes sobre o software MySQL.	Grátis	Windows, Linux, MacOS. Versão Mais Recente: 8.

Tabela 10 - Informações sobre o ERD PLUS

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço e Requisitos de Sistema
ERD PLUS	ERDPlus é uma ferramenta de modelagem de base de dados baseada na web que permite criar de forma rápida e fácil Diagramas de Entidade-Relacionamento (ERDs), Esquemas Relacionais, Esquemas Estelares, exportar SQL e diagramas como PNG.	Grátis. Online

Tabela 11 - Funcionalidades do Ansys

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço
Ansys	<p>Os gémeos digitais podem ser usados na análise de sistemas em tempo real para agendar manutenção preditiva e implementar otimizações de desempenho. Com o recurso Hybrid Analytics da Ansys, os engenheiros podem alcançar um nível incomparável de precisão usando análises preditivas, combinando análises baseadas em aprendizado de máquina (ML) com uma abordagem baseada na física. O software Ansys Digital Twin permite implementar protótipos virtuais completos de sistemas do mundo real. Eles podem ser implantados para gerir todo o ciclo de vida de produtos e ativos. Esse paradigma de simulação de gémeo digital permite aumentar exponencialmente a eficiência ao longo do tempo, programando a manutenção em torno de metodologias preditivas.</p>	Sob consulta.

Tabela 12 - Funcionalidades do Jira

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço
Jira	<p>O Jira Software traz benefícios como otimização do tempo de trabalho, organização e ordenamento de atendimentos, maior transparência e praticidade na gestão de projetos, documentação otimizada e emissão de relatórios completos. Facilita a integração entre equipas e com clientes, promovendo comunicação eficaz e acompanhamento do desenvolvimento dos projetos. É usado como ponto central para codificação, colaboração e lançamento em diversos setores, com personalização para diferentes áreas. Mais de 65 mil empresas em todo o mundo utilizam o Jira.</p>	Grátis para equipas de até 10 elementos. Equipas maiores devem pagar licença. Preço sob consulta.

Tabela 13 - Funcionalidades do Git

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço	Requisitos de Sistema e Versão Mais Recente
Git	Git é um sistema de controle de versão distribuído gratuito e de código aberto projetado para lidar com tudo, desde projetos pequenos a muito grandes, com velocidade e eficiência.	Grátis	Windows, Linux, MacOS. Versão Mais Recente: 2.43.0

Tabela 14 - Informações sobre o MS SQL Server

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço	Requisitos de Sistema e Versão Mais Recente
MS SQL Server	Microsoft SQL Server é um sistema de gestão de bases de dados relacional. Funciona como um servidor de base de dados que armazena e recupera dados conforme solicitado por outros aplicativos no mesmo computador ou em um computador remoto usando o modelo cliente-servidor. A Microsoft fornece APIs para acessar o SQL Server pela Internet como um serviço web.	Sob Consulta	Windows, Linux, Docker. Versão Mais Recente: 2020

Tabela 15 - Informações sobre o PostgreSQL

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço e Versão Mais Recente
PostgreSQL	O PostgreSQL é um sistema de base de dados relacional de objetos de código aberto, com mais de 35 anos de desenvolvimento ativo, oferecendo confiabilidade, robustez de recursos e desempenho excepcional. É conhecido por sua forte capacidade de manuseio de dados complexos e escalabilidade.	Licenciamento: O PostgreSQL é gratuito e de código aberto, com licença PostgreSQL License (semelhante à licença MIT), permitindo modificações e distribuição sem custos. Preço: Sem custos de licenciamento, mas pode envolver custos com infraestrutura (servidores, armazenamento, etc.). Versão mais recente: A versão mais recente, no momento, é a PostgreSQL 15 (lançada em setembro de 2022), com melhorias em desempenho, segurança e recursos.

Tabela 16 - Informações sobre o MySQL

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço	Requisitos de Sistema e Versão Mais Recente
MySQL	MySQL é o sistema de gestão de base de dados SQL de código aberto mais popular, desenvolvido, distribuído e suportado pela Oracle Corporation. O site MySQL (http://www.mysql.com/) fornece as informações mais recentes sobre o software MySQL.	Grátis	Windows, Linux, MacOS. Versão Mais Recente: 8.

17 - Informações sobre o ERD PLUS

Tipo	Funcionalidades	Licenciamento e Preço e Requisitos de Sistema
ERD PLUS	<i>ERDPlus é uma ferramenta de modelagem de base de dados baseada na web que permite criar de forma rápida e fácil Diagramas de Entidade-Relacionamento (ERDs), Esquemas Relacionais, Esquemas Estelares, exportar SQL e diagramas como PNG.</i>	<i>Grátis. Online</i>

4.3. Benefício da rastreabilidade do “blockchain” na criação do gémeo digital do Porto de Sines

A rastreabilidade do “blockchain” pode ser uma ferramenta poderosa para a criação e operação de um gémeo digital de um porto como o de Sines por oferecer vários benefícios:

1. Rastreamento de Cargas e Contentores

O “blockchain” pode registar cada etapa do percurso de uma carga ou contentor, desde a origem até o destino.

Registo de Entrada e Saída: Cada vez que uma carga entra ou sai do porto, um registo imutável é criado no “blockchain”, e isso garante que todas as movimentações sejam auditáveis (Apte & Petrovsky, 2016).

2. Transbordos e Movimentações Internas

Movimentos no porto, como transferências entre armazéns, também podem ser registados.

Proveniência e Integridade: O “blockchain” pode registar a proveniência da carga, confirmando a origem e garantir que a carga não sofreu alterações durante o transporte.

Otimização de Operações e Logística

A integração de “blockchain” com o gêmeo digital permitirá otimizar operações logísticas mediante:

- Planeamento de Rota e Tempo Real: Dados em tempo real sobre a localização e o estado das cargas permitem planear melhor as rotas e horários de movimentação.
- Previsão e Redução de excesso de lotação: Análise de dados históricos armazenados no “blockchain” pode ajudar a prever e reduzir superlotação, e melhorar a eficiência operacional (Dobrovnik, Herold, Fürst, & Kummer, 2018).
- Gestão de Documentação e Conformidade
 - Documentos necessários para as operações portuárias podem ser geridos de forma mais eficiente com o blockchain:
 - Documentação Eletrônica: Certificados, faturas, e documentos de conformidade podem ser armazenados no blockchain, facilitando o acesso e a verificação (Dobrovnik, Herold, Fürst, & Kummer, 2018).
 - Conformidade com Regulamentos: Registos imutáveis garantem que todas as operações estejam em conformidade com os regulamentos portuários e internacionais, e reduzem o risco de fraude.
- Segurança e Transparência

A segurança e transparência do blockchain ajudam a proteger as operações do porto:

- Segurança de Dados: Dados sensíveis e críticos são protegidos contra adulterações e acessos não autorizados.
- Transparência para “Stakeholders”: Todas as partes interessadas, isto é, operadores portuários, transportadoras, autoridades aduaneiras e clientes, podem acessar registos transparentes e confiáveis (Saberri et al., 2019).

- Integração com IoT e Sensores
- Sensores IoT (Internet das Coisas) no porto podem fornecer dados em tempo real ao gémeo digital e registar esses dados no blockchain:
- Monitoramento Ambiental: Sensores podem monitorar condições ambientais, como temperatura e umidade, e registar essas informações no blockchain para garantir a integridade da carga.
- Manutenção Preditiva: Dados sobre o desgaste de equipamentos portuários podem ser registados e analisados para prever manutenções necessárias, evitando paradas não planeadas (Reyna et al., 2018).

4.5. Discussões

4.5.1. Principais aspetos identificados sobre os GD

A maioria dos autores fala de gémeos digitais no contexto da indústria, incluindo a internet das coisas e a sua aplicação no sentido de poupar despesas em testes de sistemas mecânicos e realização de simulações. E alguns casos específicos ligados a gémeos digitais em portos marítimos foram também encontrados, sendo alguns referenciados em sítios institucionais na internet (Yin, 2014).

4.5.2. Limitações metodológicas

Para o propósito desse estudo os dados obtidos foram suficientes, e as ferramentas utilizadas algumas delas como no caso do ArcGIS Pro apesar de exigir uma licença, isso não foi um desafio por já se ter uma licença atribuída pela Universidade da Beira Interior. Caso tivesse de ser usada outra ferramenta devido a restrições financeiras o QGIS poderia ter servido por ser gratuito e de código aberto. No entanto, poderia ter-se feito um trabalho ainda mais aprofundado caso se tivesse obtido um Modelo de Informação de Edifícios da área ou (BIM) (Danielsen-Haces et al., 2018.; Klar et al., 2023).

4.5.3. Conclusão da estratégia metodológica

Por se tratar de um projeto com alta componente geográfica e tecnológica com vários fatores a considerar, a comparação dos diversos gémeos digitais já existentes em portos marítimos como o de Roterdão, Singapura e outros (por meio da revisão bibliográfica), permitiu obter uma compreensão dos requisitos gerais para a criação de um gémeo digital para o Porto de Sines.

A efetiva criação de diferentes modelos geográficos em 3D, (por meio das ferramentas anteriormente referidas), incluindo um primeiro protótipo estático criado com o BlenderGIS, permitiu avaliar e entender melhor a forma como o Porto de Sines está situado e como o seu Gémeo Digital poderá vir a ser implementado e integrado no contexto atual. Pelo que os requisitos propostos para a criação do gémeo digital se aproximam com alto grau de fiabilidade as práticas atuais da indústria (Elango et al., 2024).

Capítulo 5 - Conclusão e Trabalho Futuro

Neste trabalho, foi explorada a componente de visualização geográfica e o uso de gémeos digitais no contexto dos portos marítimos, com um foco particular no potencial de adoção desta técnica ou produto no Porto de Sines. Através da utilização de diferentes ferramentas de visualização geográfica, como o ArcGIS Pro, Google Earth Pro (Google Earth, 2023), Google Earth Studio (Introduction – Google Earth Studio, 2023), e Blender. Foi possível criar representações 3D detalhadas do porto e um protótipo estático de gémeo digital.

Um gémeo digital é mais do que um simples produto tecnológico. É uma ferramenta poderosa para gestão de operações industriais e portuárias ou logísticas. Compreende-se que para se ter um gémeo digital no sentido pleno é necessário existir um modelo virtual de um objeto físico ou infraestrutura real os quais devem necessariamente estar interligados e trocarem dados e informações entre si em tempo real ou quase real, e haver a influência bidirecional do sistema, em que o gémeo digital pode e deve ser capaz de manejar processos que ocorrem no objeto físico e o objeto físico ou infraestrutura deve poder enviar dados ao seu gémeo digital.

Por exemplo: no caso do Porto de Sines, dados do funcionamento dos navios e outras máquinas que fazem parte da sua infraestrutura devem comunicar com o seu gémeo digital por enviar dados via sensores eletrónicos e por sua vez o seu gémeo digital deverá ter capacidade proceder a gestão por exemplo de temperatura, medir a pressão no interior dos navios, perceber a localização das cargas e das possíveis rotas que as mesmas fizeram desde a sua origem até ao Porto, identificar de forma rápida possíveis sinais de mau funcionamento de navios, detetar alterações nas condições de navegação e poder ajustar as máquinas a elas, reduzindo assim o número de acidentes e melhorar significativamente as operações logísticas como um todo.

A utilização de “blockchain” para rastrear as operações no Porto de Sines também seria uma solução promissora, por possibilitar a transparência, segurança e eficiência nas transações, fortalecendo a infraestrutura do porto e ampliando sua competitividade no cenário global, visto que registos feitos em plataforma “blockchain” são altamente seguros e imutáveis, pois trata-se de um modelo de organização de informação por pares distribuídos em uma cadeia daí o nome de “blockchain” ou cadeia de blocos, e para se alterar um registo é necessário a validação ou aceitação dos membros da cadeia o que faz com que ataques informáticos sejam altamente difíceis de serem conseguidos, por sua vez

essa implementação ajudaria a reduzir significativamente para a descarbonização do Porto por reduzir a necessidade de utilização de papel, e também por permitir o rastreio completo de origem e pontos de passagem dos contentores ou cargas, permitiria saber com alto grau de exatidão quanto tempo um produto já tem desde a sua fabricação ou colheita (no caso de vegetais), até o seu local de distribuição aos consumidores finais o que pode ser útil para controlo sanitário e das condições de qualidade dos produtos para consumo humano.

5.1. Contribuições do Estudo

Este trabalho contribui para o avanço da pesquisa na área de gestão portuária, e logística especificamente no uso de tecnologias emergentes como gémeos digitais, visualização geográfica avançada com recurso a ferramentas de SIG e “blockchain” para melhor registo de rotas e segurança dos dados alfandegários e com potencial para reduzir o uso de papel.

5.2. Trabalho Futuro

Algumas áreas que podem ser exploradas incluem:

1. **Integração de Tecnologias Emergentes:** A implementação de inteligência artificial (IA) e aprendizagem de máquina para analisar os dados gerados pelos gémeos digitais pode proporcionar previsões mais precisas sobre as operações no porto, como fluxos de carga, manutenção de infraestrutura e segurança.
2. **Automatização e Robótica:** A implementação de soluções baseadas em robótica autónoma, como “drones” para inspeções e veículos autónomos para transporte de carga, poderia ser integrada aos modelos digitais do porto, para criar um ambiente mais eficiente e automatizado.
3. **Desenvolvimento de Plataformas de Dados Abertos:** Criar uma plataforma de dados abertos baseada em gémeos digitais poderia permitir que diferentes atores (governos, operadores portuários, pesquisadores e empresas) possam aceder e utilizar dados do porto de maneira colaborativa, promovendo a inovação e a transparência.

REFERÊNCIAS

- Administração dos Portos de Sines e do Algarve. (2024). Porto de sines. Disponível em <https://www.apsinesalgarve.pt/portos/porto-de-sines/> (Acesso: 2024-07-26)
- Andersen, T., Rødseth, H., & Skaar, J. (2019). Kongsberg maritime's digital twin for maritime traffic control. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11.
- Alexandre, C., Devillers, R., Mouillot, D., Seguin, R., & Catry, T. (2024). Ship Detection With SAR C-Band Satellite Images: A Systematic Review. In *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* (Vol. 17, pp. 14353–14367). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2024.3437187>
- Angelakis, V., Tragos, E., Pöhls, H. C., Kapovits, A., & Bassi, A. (2016). Designing, developing, and facilitating smart cities: Urban design to IoT solutions. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-44924-1.
- Apte, S., & Petrovsky, N. (2016). Will blockchain technology revolutionize excipient supply chain management? *Journal of Excipients and Food Chemicals*, 7(3), 76–78.
- Bateman, A., & Spruijt, E. (2019). The digital twin: Realizing industry's vision for the perfect prognostic approach. ARC Advisory Group.
- Batista, T., Carreira, D., & Moutinho, E. (2015, Outubro). Os SIG na gestão portuária: O caso do porto de Sines. In A. Nieto Masot (Ed.), *Aplicaciones TIG en el análisis territorial – Transferencia a universidad, sector público y empresas* (pp. 43–54). Cáceres: Universidad de Extremadura.
- Blender Foundation. (2023). Blender: The free and open-source 3D creation suite. Blender Foundation. Disponível em <https://www.blender.org>.
- Boschert, S., & Rosen, R. (2016). Digital twin: The simulation of the physical world in the digital world. *CIRP Annals*, 65(1). Disponível em https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32156-1_5.

- Card, S., Mackinlay, J. D., & Shneiderman, B. (2009). Information visualization. In Human-computer interaction: Design issues, solutions, and applications (Vol. 181). Springer.
- Cavalcante, & Oliveira. (2020). Métodos de revisão bibliográfica nos estudos científicos. *Psicologia Em Revista*, 26(1), 83–102. <https://doi.org/10.5752/P.1678-9563.2020V26N1P82-100>.
- Córdoba, C., & Alatríste, Y. (2012). Hacia una taxonomía de investigación entre visualización de información y diseño. In *No solo usabilidad*. Editor.
- Danielsen-Haces, et al. (2018). *Digital twin development: Condition monitoring and simulation comparison for the ReVolt autonomous model ship*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, Department of Engineering Cybernetics.
- De Lucia Castillo, F., & Saibel Santos, C. A. (2016). Visualização de dados em sistemas de informação geográfica: Uma revisão sistemática da literatura. *Espacios*, 37(19), 26.
- Dobrovnik, M., Herold, D. M., Fürst, E., & Kummer, S. (2018). Blockchain for and logistics: What to adopt and where to start. *Logistics*, 2(3), 18.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. (3rd ed., pp. 29–41). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Elango, E., Natarajan, G., Hanees, A. L., & Bai, S. C. P. A. (2024). *The Roadmap to AI and Digital Twin Adoption* (pp. 243–264). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1818-8.ch017>
- Electronics, M. (n.d.). Mouser electronics - electronic components distributor. Acedido em <https://www.mouser.com> (Acesso em: 22 de Agosto de 2024).
- Fixando. (2024). Preços para filmagem com drone em Portugal. Acedido em <https://www.fixando.pt/filmagem-com-drone/preco> (Acesso: 2024-08-21).
- Forest GIS. (2024). Shapefiles de Portugal. Disponível em <https://forest-gis.com/shapefiles-de-portugal> (Acesso: 2024-06-05).

- Forest-GIS. (2018). Como criar animações em 3D diretamente no ArcGIS Pro e salvar em vídeo. Disponível em <https://forest-gis.com/2018/10/como-criar-animacoes-em-3d-diretamente-no-arcgis-pro-e-salvar-em-video.html> (Acesso: 2024-06-05).
- GADM. (n.d.). Acedido em 18 de janeiro de 2025, disponível em https://gadm.org/download_country.html.
- Google Earth. (2023). Disponível em https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Earth (Acesso: 2024-07-05).
- Google, (2025). *Best Practices*. Google Earth Studio. Acedido em 10 de Janeiro de 2025, em <https://earth.google.com/studio/docs/best-practices/>
- Grieves, M. (2011). *Virtually perfect: Driving innovative and lean products through product lifecycle management* (Vol. 11). Cocoa Beach: Space Coast Press.
- Grieves, M. (2014). Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. *CIRP Annals*, 63(2), 651–674. Acedido em https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication#full-text.
- Grieves, M., & Vickers, J. (2016). Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches* (pp. 85–113). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4
- Hocking, J. (2019). “Unity” in action: Multiplatform game development in C#. Manning Publications.
- Introduction – Google Earth Studio. (2023.). Acedido em 18 de janeiro de 2025, de <https://earth.google.com/studio/docs/>.
- Ivanov, D., Tsipoulanidis, A., & Schönberger, J. (2019). *Springer Texts in Business and Economics Global Supply Chain and Operations Management*. <http://www.springer.com/series/10099>
- Boyles (2019). How the Port of Rotterdam is using IBM digital twin technology to transform itself from the biggest to the smartest. Disponível em <https://www.ibm.com/blog/iot-digital-twin-rotterdam/> (Acesso: 2023-09-18).

- Klar, R., Fredriksson, A., & Angelakis, V. (2023). Digital twins for ports: Derived from smart city and supply chain twinning experience. *IEEE Access*, 11, 71777-71799. doi: 10.1109/ACCESS.2023.3295495.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *Ifac-PapersOnline*, 51(11), 1016–1022.
- Mendonça, S. R. J., & Baptista Supervisor, R. M. L. N. (2018). *Technology Mapping for Industry 4.0 A systematic review of Industry 4.0 literature* Martí Cros Font *Industrial Engineering and Management Examination Committee*.
- Law, M., & Collins, A. (2020). Getting to know ArcGIS Pro 2.6. Esri Press.
- Liu, M., Shuiliang, F., Dong, H., & Xu, C. (2020, 07). Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. *Journal of Manufacturing Systems*, 58. doi: 10.1016/j.jmsy.2020.06.017.
- Lv, Z., & Fersman, E. (2022). Digital twins: Basics and applications. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-031-11401-4.
- Negri, E., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2017). In A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems (Vol. 11, p. 939-948). Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.198.
- Neves, D. R., Rodrigues, S., Reis, M. T., & Fortes, C. J. (2010). Aplicação ao Porto de Sines (Portugal) de uma nova metodologia de avaliação do risco para a navegação portuária utilizando o sistema de informação geográfica GUIOMAR. *Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos*, 10, 483–504. Disponível em <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5773133>.
- OPENSTREETMAP WIKI. OpenStreetMap Wiki. Disponível em: <https://wiki.openstreetmap.org>. Acesso em: 19 jan. 2025.
- PPM, H. (2018). Smart 3D user's guide. Author.
- Reyna, A., Martín, C., Chen, J., Soler, E., & Díaz, M. (2018). On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 88, 173-190.

- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117-2135.
- Sendler, U. (2016). *The Internet of Things Industrie 4.0 Unleashed*.
- Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J., & Wang, L. (2010, 05). In Modeling, simulation, information technology and processing roadmap.
- Shah, S. (2019). Siemens NX 12 for designers. CAD/CIM Technologies.
- Ship Technology. (2019, July 2). *Port of Rotterdam takes delivery of first blockchain-sent container*. Ship Technology. Obtido de <https://www.ship-technology.com/news/blockchain-port-of-rotterdam/>
- Smith, J., & Brown, L. (2020). *Mastering ThingWorx: Advanced techniques for IoT solutions*. Packt Publishing.
- Song, D.-W., & Panayides, P. M. (2015). *Maritime logistics - A guide to contemporary shipping and port management*.
- Stark, J. (2020). *Product lifecycle management (volume 4): The case studies*. Springer.
- Systems, B. (2020). *Bentley OpenBuildings Designer Connect Edition User Manual*. Bentley Systems Inc.
- Tao, F., Zhang, M., Nee, A., & Liu, Y. (2019). *Digital twin driven smart manufacturing*. Academic Press. Disponível em [https://books.google.pt/books?hl=en&lr=&id=PvKGDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Tao,+F.,+Zhang,+M.,+Liu,+Y.,+%26+Nee,+A.+Y.+C.+\(2019\).+Digital+Twin+Driven+Smart+Manufacturing.&ots=hmVmOLQgii&sig=LsFZt3e22PVrZIGFzv4oZmq8J4s&redir_esc=y#v=onepage&q=Tao%2C%20F.%2C%20Zhang%2C%20M.%2C%20Liu%2C%20Y.%2C%20%26%20Nee%2C%20A.%20Y.%20C.%20\(2019\).%20Digital%20Twin%20Driven%20Smart%20Manufacturing.&f=false](https://books.google.pt/books?hl=en&lr=&id=PvKGDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Tao,+F.,+Zhang,+M.,+Liu,+Y.,+%26+Nee,+A.+Y.+C.+(2019).+Digital+Twin+Driven+Smart+Manufacturing.&ots=hmVmOLQgii&sig=LsFZt3e22PVrZIGFzv4oZmq8J4s&redir_esc=y#v=onepage&q=Tao%2C%20F.%2C%20Zhang%2C%20M.%2C%20Liu%2C%20Y.%2C%20%26%20Nee%2C%20A.%20Y.%20C.%20(2019).%20Digital%20Twin%20Driven%20Smart%20Manufacturing.&f=false)
- Thompson, D. (2020). Digital transformation in ports: The role of digital twins in PSA Singapore's port operations. *Maritime Logistics Journal*.
- Thompson, D. R., Smith, B. A., & Brown, C. J. (2018). The role of drones in modern surveying and mapping. *Journal of Surveying Engineering*, 144(1), 45-56.

- Wang, T. Q., Li, Y., & Chen, C. (2023). Spatial state analysis of ship during berthing and unberthing process based on 3D LiDAR. *Ocean Engineering*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116067>
- Yang, W., Bao, X., Zheng, Y., Zhang, L., Zhang, Z., Zhang, Z., & Li, L. (2022). A digital twin framework for large comprehensive ports and a case study of Qingdao port. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. doi: 10.1007/s00170-022-10625-1.
- Yin, R. K. (2014). Case Study Research - Design and Methods. *Clinical Research*, 2, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2010.09.005>.
- Zhang, Y., Li, X., & Wang, L. (2020). High-performance computing for big data in smart ports. *International Journal of High-Performance Computing Applications*, 34(4), 487-500.

Apêndice A

A.1 Requisitos de hardware para o ArcGIS Pro

Item	Suportado e recomendado	Observações
CPU	<p>Mínimo: 2 núcleos, “multithreading” simultâneo</p> <ul style="list-style-type: none"> • “Multithreading” simultâneo, ou “hyperthreading”, de CPUs normalmente apresenta dois threads por núcleo. Uma CPU “multithread” de 2 núcleos terá quatro “threads” disponíveis para processamento, enquanto uma CPU “multithread” de 6 núcleos terá 12 “threads” disponíveis para processamento. • “Full Motion Video” tem especificações de CPU mínimas e recomendadas mais altas. Consulte Introdução ao “Full Motion Video” para obter detalhes. 	<p>Recomendado: 4 núcleos</p> <p>Ideal: 10 núcleos</p>
Plataforma	x64	
Armazenar	Mínimo: 32 GB de espaço livre	Recomendado: 32 GB ou mais de espaço livre em uma unidade de estado sólido (SSD)
Memória/RAM	Mínimo: 8 GB	Recomendado: 32 GB Ideal: 64 GB ou mais
Memória gráfica dedicada (não compartilhada)	<p>Recomendado: 4 GB ou mais</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se você estiver usando um “notebook” com GPU integrada, considere aumentar a RAM do sistema para compensar o uso de memória compartilhada. 	Recomendado: DirectX 12, nível de recurso 12.0, “Shader Model” 6.0
Cache de visualização	<p>O cache de visualização temporário pode consumir até 32 GB de espaço, se disponível, no local selecionado pelo usuário. Por padrão, o cache de visualização é gravado na subpasta \Local do perfil do usuário, portanto ele não faz roaming com o perfil do usuário se os perfis móveis forem habilitados pelo administrador do sistema.</p>	<p>Recomendado:</p> <p>“OpenGL” 4.5 com as extensões ARB_shader_draw_parameters, EXT_swap_control, EXT_texture_compression_s3tc e EXT_texture_filter_anisotropic</p>

Glossário

Termo	Descrição
Gémeo Digital (Digital Twin)	Representação virtual de um objeto ou sistema físico, que permite simular e analisar o seu comportamento em tempo real.
Blockchain	Tecnologia de registo distribuído que permite armazenar dados de forma segura, transparente e imutável.
Internet das Coisas (IoT)	Rede de dispositivos físicos interconectados que coletam e trocam dados.
Indústria 4.0	Quarta revolução industrial, caracterizada pela integração de tecnologias digitais nos processos produtivos.
SIG (Sistemas de Informação Geográfica)	Sistemas que permitem capturar, armazenar, analisar e visualizar dados geográficos.
LiDAR	Tecnologia de deteção remota que utiliza laser para medir distâncias e criar mapas tridimensionais.
SAR (Radar de Abertura Sintética)	Tipo de radar que permite obter imagens de alta resolução da superfície terrestre.
Fotogrametria	Técnica de obtenção de modelos tridimensionais a partir de fotografias.
Nuvem de Pontos	Conjunto de pontos tridimensionais que representam a superfície de um objeto ou ambiente.

Manutenção Preditiva	Utilização de dados e análises para prever falhas em equipamentos e realizar manutenções preventivas.
API (Interface de Programação de Aplicações)	Conjunto de regras e especificações que permitem que diferentes aplicações se comuniquem entre si.
GeoJSON	Formato de dados para representar informações geográficas.
HTML5	Linguagem de marcação utilizada para criar páginas web.
JavaScript	Linguagem de programação utilizada para adicionar interatividade a páginas web.
OpenStreetMap (OSM)	Projeto colaborativo de mapeamento que visa criar um mapa livre e editável do mundo.
Blender	Software de modelagem e animação 3D.
Unity	Plataforma de desenvolvimento de jogos e simulações 3D.
React	Biblioteca JavaScript para construção de interfaces de usuário.
Vercel	Plataforma de hospedagem de aplicações web.
Mapbox	Plataforma de mapas e serviços de localização.
ArcGIS Pro	Software de SIG desenvolvido pela Esri.
Autodesk Revit	Software de modelagem de informações da construção (BIM).

Siemens NX	Software de design, engenharia e manufatura auxiliado por computador (CAD/CAM/CAE).
Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE	Plataforma de software para gestão do ciclo de vida do produto (PLM).
Bentley Systems OpenBuildings	Software de modelagem de informações da construção (BIM) para projetos de infraestrutura.
Hexagon PPM Smart 3D	Software de design e engenharia de plantas industriais.
PTC ThingWorx	Plataforma de IoT para conectar dispositivos e sistemas.
Simio	Software de simulação de eventos discretos.
Tecnomatix	Software de planeamento de processos e simulação de manufatura.
SAP Leonardo Internet of Things	Plataforma de IoT para conectar dispositivos e sistemas.
Thingstel Platform	Plataforma de IoT para conectar dispositivos e sistemas.
PortSim	Software de simulação de operações portuárias.
Azure Digital Twins	Plataforma de gêmeos digitais da Microsoft.
Ansys	Software de simulação de engenharia.

