

Gémeo Digital para Monitorização de Carga Perigosa Contentorizada em Zonas Portuárias

Digital Twin for Monitoring Containerized Hazmat Cargo in Port Areas

Lino Oliveira, Mafalda Castro, Rui Ramos

INESC TEC

Campus da FEUP, R. Dr. Roberto Frias
4200-465 Porto, Portugal

lino.oliveira@inesctec.pt, mafalda.r.castro@inesctec.pt,
rui.j.ramos@inesctec.pt

Jorge Santos, João Silva, Leonel Dias

3MAPS

UPTEC Mar, Avenida da Liberdade
4450-718 Leça da Palmeira, Portugal

jorgesantos@3maps.pt, joaopedrosilva@3maps.pt,
leoneldias@3maps.pt

Resumo — A complexidade do número de intervenientes, dos sistemas de informação utilizados e das operações portuárias suscitam desafios acrescidos para a segurança portuária, no que concerne ao total conhecimento e controlo de todas as operações de transporte e estacionamento de cargas contentorizadas, nomeadamente as perigosas.

O interesse crescente e a tomada de consciência das autoridades portuárias, pela relevância das questões de segurança envolvidas neste ecossistema complexo, tem levado à procura de novas soluções tecnológicas que permitam, de uma forma integrada, o controlo inteligente e automatizado das operações de transporte e estacionamento de carga perigosa contentorizada em todas as zonas da sua jurisdição, sem dependências de sistemas terceiros.

Apesar da sua importância e criticidade, as autoridades portuárias tendem a ter um conhecimento reduzido, em tempo real, da localização de carga perigosa, quer em movimento no porto (entrada e saída), quer no seu estacionamento, com impacto direto na segurança portuária.

Este artigo apresenta uma plataforma de Gémeo Digital (*Digital Twin*) para visualização georreferenciada em 3D e em tempo real dos parques de contentores e da localização da carga perigosa contentorizada. Esta ferramenta conjuga diferentes módulos que permitem ainda visualizar informações associadas ao contentor, à sua movimentação, bem como da sua área circunjacente, incluindo uma representação 3D realista e dinâmica daquilo que é a área circundante do porto.

Palavras-Chave - Visualização 3D; Sistema de Informação Geográfica; Carga Perigosa Contentorizada; Gémeo Digital (*Digital Twin*).

Abstract — The complexity of the number of stakeholders, information systems used, and port operations evoke new challenges to port security when it comes to the total knowledge and control of the overall operations of transport and parking of containerized freight, namely hazmat ones.

The rising interest and the port authorities' awareness of the relevance of security concerns involved in this complex ecosystem has led to the search for new technological solutions that allow, in an integrated manner, the smart and automatic control of operations of transport and hazardous freight parking in all the areas of its jurisdiction, without third-party dependencies.

Despite its importance and criticality, port authorities tend to have limited real-time knowledge of the location of hazmat containers, whether moving within the port (entering and leaving), or in its parking, having a direct impact on the port security.

This article presents a Digital Twin platform for 3D and real-time georeferenced visualization of container parks and the location of hazardous containerized freight. This tool combines different modules that further allow to visualize information associated to a container, its movement, as well as its surrounding area, including a realistic and dynamic 3D representation of what is the area encircling the port.

Keywords – 3D Visualization; Geographical Information Systems; Containerized Hazmat Cargo; Digital Twin.

I. INTRODUÇÃO E OBSERVAÇÕES DO ESTADO DA ARTE

O aparecimento dos contentores, em meados da década de 60, é considerado um dos marcos mais relevantes da logística industrial e um dos meios mais importantes da importação e exportação de mercadorias. Com o reconhecimento dos contentores como unidade de volume de transporte universal [1], houve um impulso significativo do aumento da movimentação de carga por via marítima, o que obriga a uma monitorização mais fiável e eficiente, principalmente no que diz respeito à carga perigosa – HAZMAT.

A complexidade do número de intervenientes e dos sistemas de informação existentes envolvidos nas operações portuárias trazem desafios acrescidos também ao nível da

segurança. Os terminais de contentores dispõem de sistemas de informação que suportam a gestão operacional da movimentação e estacionamento de contentores, mas ainda existe um défice quanto à visualização em tempo real da operação.

O conceito de Gémeo Digital (*Digital Twin*) aplicado à monitorização e visualização, em tempo real, do processo de movimentação e estacionamento de cargas contentorizadas, particularmente as cargas perigosas, faz todo o sentido.

Um *Digital Twin* é uma representação digital de um objeto a partir de dados reais e técnicas de simulação. Este conceito é caracterizado por três componentes: uma entidade física, uma entidade virtual e os dados que ligam essas duas partes. Esta tecnologia permite visualizar e extrair informação, em tempo real, sobre uma entidade, eliminando a necessidade de contacto físico, podendo ser aplicada a uma organização, apoiando a sua gestão e monitorização.

Atualmente, a tecnologia *Digital Twin* é utilizada predominantemente nas áreas da saúde, indústria automóvel, aeronáutica e aeroespacial. Contudo, o uso desta tecnologia está também a crescer na área de gestão portuária. Existem já alguns exemplos de aplicação em alguns portos, como é o caso do Porto de Montreal, Porto de Hamburgo, Porto de Antuérpia, Porto de Roterdão, Porto de Barcelona e do Porto de Belfast, cada um com diferentes necessidades e usos.

O Porto de Antuérpia, por exemplo, está a desenvolver uma interface 3D da sua área de jurisdição que proporciona informação sobre o movimento de contentores, operações de pontes, deteção de entrada de embarcações e monitorização das hidrovias, fazendo uso dos dados em tempo-real do Assistente de Informação e Controlo do Porto de Antuérpia (APICA) [2].

O Porto de Roterdão, aliado à *IBM*, à *Axians* e à *Cisco*, está a desenvolver também um clone digital que incorpora informação acerca do trajeto das embarcações, dados meteorológicos, nível da água e dados geográficos [3].

O Porto de Barcelona desenvolveu também um *Digital Twin* que reproduz, num mapa 2D, o estado das operações de carga e descarga, movimento e entradas de veículos de carga, chegada de navios e assistência aos pilotos [4]. No entanto, estes dados são usados para análise e tomada de decisões, não tendo sido ainda atingido o objetivo de os usar em tempo real.

O porto de maior dimensão física do Reino Unido, em Belfast, desenvolveu também um *Digital Twin* que usa como fontes de dados guindastes e equipamento de bombeamento de água, que avisam quando ocorrem falhas, permitindo tomar melhores decisões relativamente à gestão de recursos [5]. Deste modo, esta tecnologia permite a visualização em tempo real da atividade e operações deste porto.

O *Digital Twin* aqui proposto concilia a monitorização da movimentação de carga contentorizada com uma experiência acessível e intuitiva, em que toda a área portuária possa ser observada sobre um mapa em 3D.

II. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

As autoridades portuárias têm conhecimento reduzido, em tempo real, da localização de carga perigosa quer em

movimento no porto (entrada e saída) quer no seu estacionamento, tendo um impacto direto na segurança portuária.

Atualmente, a grande maioria das autoridades portuárias concessionam o espaço físico dos seus terminais portuários a operadores privados, ficando este com a responsabilidade da execução das operações portuárias que aí se realizam. É de realçar que na sua grande parte, a gestão da movimentação de cargas perigosas contentorizadas em toda a extensão do porto é descentralizada e, não raras vezes, muito pouco interligada e não coordenada.

Não existindo soluções para colmatar esta lacuna, as autoridades portuárias operam a sua atividade de segurança portuária sem ter o conhecimento adequado e em tempo real das operações em curso e programadas, com impacto na proteção e que possam afetar a segurança do porto. De notar que uma zona portuária pode ter vários terminais com várias vias de acesso. Cada um destes terminais pode ter uma entidade responsável distinta e que facilmente eleva a complexidade e, não menos relevante, a dificuldade, em conhecer e gerir de forma global, eficaz e em segurança, todas as operações de carga e descarga, transporte e estacionamento de cargas perigosas contentorizadas de acordo com as suas normas de segurança.

Um terminal de contentores é, portanto, uma das infraestruturas com maior importância no grupo de ativos existentes numa zona portuária e, atendendo à criticidade e aos riscos inerentes da coexistência de carga, descarga e movimentação de contentores de dimensões e massa consideráveis, aliados à complexidade do número de meios e intervenientes, suscitam desafios acrescidos no que concerne à proteção ou segurança das pessoas, dos veículos de transporte, das mercadorias ou de outras infraestruturas em zonas adjacentes ao terminal de contentores e suas vias de acesso.

III. SOLUÇÃO PROPOSTA

A solução tecnológica proposta passou pela implementação de uma plataforma de *Digital Twin* para o processo de movimentação e estacionamento de cargas contentorizadas, particularmente as consideradas perigosas, em zonas portuárias.

A implementação *Digital Twin* baseia-se num motor, com foco na representação de Objetos 3D, a partir de fontes de dados externas, servindo de base para o módulo *web* que disponibiliza as funcionalidades de monitorização, em tempo real, da movimentação dos contentores na zona portuária.

A solução proposta foi construída recorrendo a *software* de base *open-source*, a partir das tecnologias *Vue.js*, *Three.js* e *GeoJSON Tile Server*.

A. Arquitetura da Solução

O *Digital Twin* assenta numa divisão lógica de camadas:

- Cliente: que contém a interface com o utilizador.
- Módulos: a camada principal onde toda a lógica de negócio é operada.
- Serviços: que implementam as ações dos componentes.

- Dados: informação sobre os contentores e informação de contexto (edifícios, estradas, parques, jardins, etc.).

- Renderização de objetos 3D, de diferentes formatos, numa dada localização geográfica.

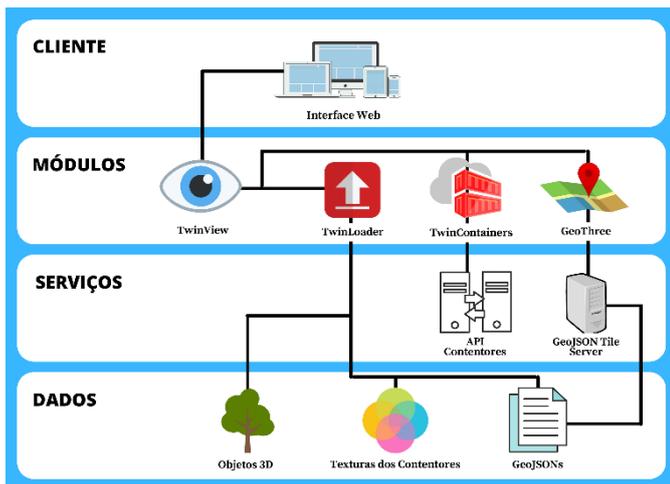


Figura 1. Arquitetura do *DigitalTwin*

B. Componentes Centrais

A componente principal deste sistema é o *TwinView*, que se encarrega de carregar a cena e os respetivos objetos 3D, usando a biblioteca *Three.js*. Um dos desafios encontrados ao trabalhar com esta biblioteca foi o desempenho da aplicação com muitos objetos em cena. Uma das formas de atenuar este problema foi aplicar técnicas de carregamento incremental de objetos, isto é, carregar apenas os objetos à medida que o utilizador se move na cena e remover aqueles que já não se encontram à vista.

A biblioteca *Geo-Three*, devido ao sistema de *tiles* que utiliza para visualizar informação geográfica no *Three.js*, permite não só contextualizar o utilizador da área onde se encontra, como também servir de base para carregamento incremental de objetos por *tile*. Enquanto o *Geo-Three* se encarrega de carregar os novos *tiles* do mapa à medida que o utilizador interage com a cena, é necessário filtrar os dados de modo a carregar os objetos correspondentes a cada *tile*. Para tal, foi utilizado o *GeoJSON-tile-server*, um serviço que, dados ficheiros *geojson*, recorta os seus conteúdos em *tiles* e armazena-os, de modo a obter os objetos de cada *tile* rapidamente, durante a execução do *Digital Twin*, evitando computações sobre grandes volumes de dados.

A componente *TwinLoader*, outro dos componentes centrais, contém os métodos para desenho das geometrias, aplicação de texturas e renderização de vários tipos de objetos estáticos, a partir dos dados recebidos. Algumas das principais funções desta classe são:

- Geração dinâmica das geometrias 3D a partir de ficheiros no formato *geojson*;
- Combinação de geometrias do mesmo tipo de modo a reduzir o número de geometrias na cena;
- Aplicação dinâmica de texturas em diferentes faces de objetos;

A criação de geometrias a partir de objetos *geojson* baseia-se na conversão ponto a ponto do polígono *geojson*, que contém coordenadas no formato latitude/longitude para coordenadas de um sistema cartesiano com eixos *x,y*. Após obter o respetivo polígono com coordenadas cartesianas, é necessário convertê-la para uma geometria com três dimensões. Para tal, foi usada a classe *ExtrudeBufferGeometry*, que gera uma geometria 3D com uma dada altura, a partir do polígono base desse sólido.

Outra dificuldade encontrada com o uso do *Three.js* foi a aplicação de mais que uma textura em objetos que foram combinados num só, como no caso dos edifícios, que têm uma textura para o telhado e outra para as paredes. Ao combinar objetos, as texturas não são aplicadas como seria de esperar, devido à nova sequência de vértices gerada, aparecendo distorcidas. Foi, portanto, necessário alterar a forma de combinação de geometrias, iterando pelos respetivos vértices de modo a verificar para cada face se a sua orientação é horizontal ou vertical, separando cada um desses tipos de faces.

A outra componente central, *TwinContainers*, encarrega-se de lidar com a representação dos objetos do tipo contentor, na cena. São recebidos dados, em tempo real, sempre que um contentor é adicionado, removido ou alterado, através de uma *API* dedicada.

O desempenho e performance do *Digital Twin* foi um dos maiores desafios a ultrapassar. A representação de milhares de objetos contentor numa única cena é algo custoso em termos de memória e processamento, tendo sido a realização desta tarefa um dos pontos centrais no desenvolvimento da plataforma.

Com vista a melhorar o desempenho, foi ainda utilizada a classe *InstancedMesh* do *Three.js*. Ao instanciar um modelo, este pode ser renderizado várias vezes na cena em diferentes posições e com diferentes escalas [6]. Assim, esta técnica permite carregar múltiplas cópias de objetos com a mesma geometria e textura como se fossem um só. Visto que os contentores a serem representados possuem a mesma forma (podendo diferir apenas nas suas dimensões ou textura, havendo uma textura para cada operador), foi usada esta técnica para instanciar um objeto contentor para cada operador, cada um com a respetiva textura que o identifica.

IV. CASO DE ESTUDO

Esta implementação teve como alvos o Terminal de Contentores do porto de Leixões, gerido pela Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL), e o Terminal de Contentores de Santa Apolónia (*Sotagus*), em Lisboa.

O Porto de Leixões foi o foco da maior parte do trabalho exploratório e de desenvolvimento. Este porto, e como consequência o seu Terminal de Contentores, é parte integrante do sistema portuário europeu, desempenhando um papel de relevo na fachada Atlântica da Península Ibérica onde se assume como a estrutura inter-regional mais importante, sendo referência para as cadeias logísticas que operam nesta área [7].



Figura 2. Digital Twin do Terminal de Contentores de Leixões

O Terminal de Contentores de Santa Apolónia, pertencente ao Porto de Lisboa, foi alvo de desenvolvimento já numa fase final do trabalho exploratório, onde foi possível integrar todos os progressos realizados num novo *Digital Twin*, que foi rapidamente montado através das tecnologias previamente implementadas na representação do porto de Leixões. Esta plataforma faz parte do complexo portuário de Lisboa, na margem norte do Rio Tejo, e é uma porta de entrada para o Oceano Atlântico e um ponto de contacto para o principal centro de consumo e produção industrial em Portugal.



Figura 3. Digital Twin do Terminal de Contentores de Santa Apolónia

V. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Ficou provada a existência de uma lacuna, no setor portuário, ao nível da monitorização em tempo real da movimentação de carga perigosa contentorizada.

Os casos de estudo aqui apresentados foram essenciais para validar o posicionamento da solução. A implementação proposta aplicada aos Terminais de Contentores de Leixões e de Santa Apolónia permitiu concluir que esta fornece um

contributo determinante para melhorar todo o processo de segurança na movimentação de carga perigosa contentorizada.

A solução mostrou-se capaz de dar uma resposta efetiva às necessidades e acredita-se de que esta será uma solução única, de monótona aplicação a qualquer porto ou terminal de contentores, independente da sua dimensão, e que irá proporcionar à respetiva administração portuária uma gestão e visualização eficiente de informação.

Futuramente, pretende-se estender o sistema de modo a suportar a representação de fotogrametrias da região dos terminais portuários, seguindo a especificação *3D Tiles* da OGC [8]. A análise exploratória deste processo já foi iniciada com a recolha de informações e a criação de um documento descritivo com todos os passos necessários para a recolha, geração e implementação de um sistema de *3D Tiles*. Além deste trabalho de investigação, foi realizada a implementação de um módulo de carregamento de *3D Tiles* em sistemas *Digital Twin*, pronto a ser testado com dados reais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização – COMPETE 2020 no âmbito do projeto «CENTRO-01-0247-FEDER-045353» e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto «LA/P/0063/2020».

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] G. Abrasheva, D. Senka e R. Häußling, “Shipping containers for a sustainable habitat perspective,” *Social Value of Materials*, vol. 109, pp. 381-389, 2012.
- [2] Port of Antwerp, 2018. Meet APICA, our digital brain. <https://www.portofantwerp.com/en/news/meet-apica-our-digital-brain> [Online; consulta em 17/06/2021].
- [3] Boyles, R., 2019. How the Port of Rotterdam is using IBM digital twin technology to transform itself from the biggest to the smartest. <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/iot-digital-twin-rotterdam/> [Online; consulta em 17/06/2021].
- [4] PierNext, 2020. Digital twins for safer and more efficient port decisions. <https://piernext.portdebarcelona.cat/en/technology/ports-digital-twins/> [Online; consulta em 18/06/2021].
- [5] Donnelly, J., 2021. CTAC 2021: Digital Twin shortens playing field for expansive Belfast Harbour. <https://www.porttechnology.org/news/ctac-2021-digital-twin-shortens-playing-field-for-expansive-belfast-harbour/> [Online; consulta em 04/04/2022].
- [6] Three.js. Instanced mesh. <https://threejs.org/docs/#api/en/objects/InstancedMesh> [Online; consulta em 01/07/2021].
- [7] YILPort Leixões. Página do TCL. <http://www.tcl-leixoes.pt/pt/empresa/> [Online; consulta em 17/06/2021].
- [8] OGC. 3D Tiles. <https://www.ogc.org/standards/3DTiles> [Online; consulta em 18/06/2021].