CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

COMSA CORPORACIÓN

COLLABORATIVE & COST EFFECTIVE GIGABIT TRAIN

Mobilidade na Era Digital

Manuel.Alfageme@comsa.com

Some key train telecoms issues

Evolution to **FRMCS** for train circulation **safety**, due to GSMR obsolescence, is very **onerous** to IM

Railways **success depends on MNO services** like

- Digital experience to **passengers**
- AI and IoT based **operations** optimisation

For these reasons **IM to share 5GNR access** @7-900MHz **with MNOs**

This provides <**300Mbps** and **current safety** services **ONLY**

- Not as if @home or @work
- **Non clear business case to MNOs**

Future proof safety, 1Gbps passenger & optimisation services requires **5G cells stacking** at multiple frequencies **along track** (*)

- Too complex and too onerous → **Not the way forward**

→ **IM & MNO require more advanced 5G-based solutions**

Future Railway Mobile Communication System (FRMCS)
Railways Infrastructure Managers (IM)
Mobile Network Operators (MNO)
(*) 7-900MHz, 1,9GHz & 3,5GHz

Investing in new solutions

Connectivity to train above 1+1 Gigabit → **Gigabit Train**

Large CAPEX and OPEX reductions

- Foster simplification
- Support IM + MNO investment sharing
- No spectrum barrier for IM to invest
- Strong energy savings
- Reusing existing assets

Fast deployment

Compatibility with 5GNR FRMCS in main railway lines and optimised solution for regional lines

Collaborating to share assets: 5GMED

Aggregating multiple connections to trains across EU corridor
- Hispasat Satellite
- Vodafone 5GNR @ 3.5GHz
- LFP IEEE @70GHz

Connecting on board access to Edge/Cloud servers
- Wi-Fi AP
- Pico cell 5GNR @3,5Ghz

Seamless **1Gbps services (non-critical)** across border
- Passengers: Voice, Internet Access, Infotainment
- Rail operational: IoT and AI

https://www.youtube.com/watch?v=FXRA7FE3TXQ

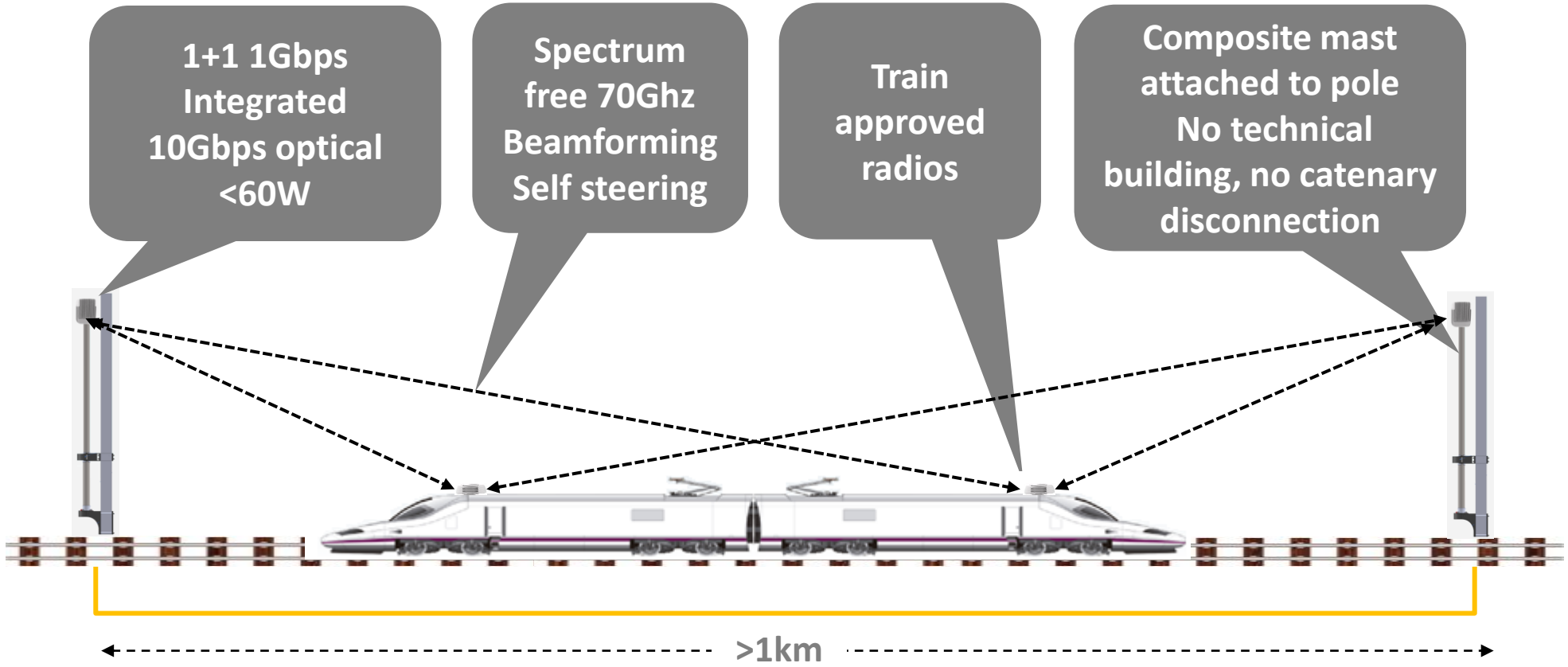
LFP Perthus

50% ADIF 50% SNCF

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement no. 951947

New 70GHz solution for IM

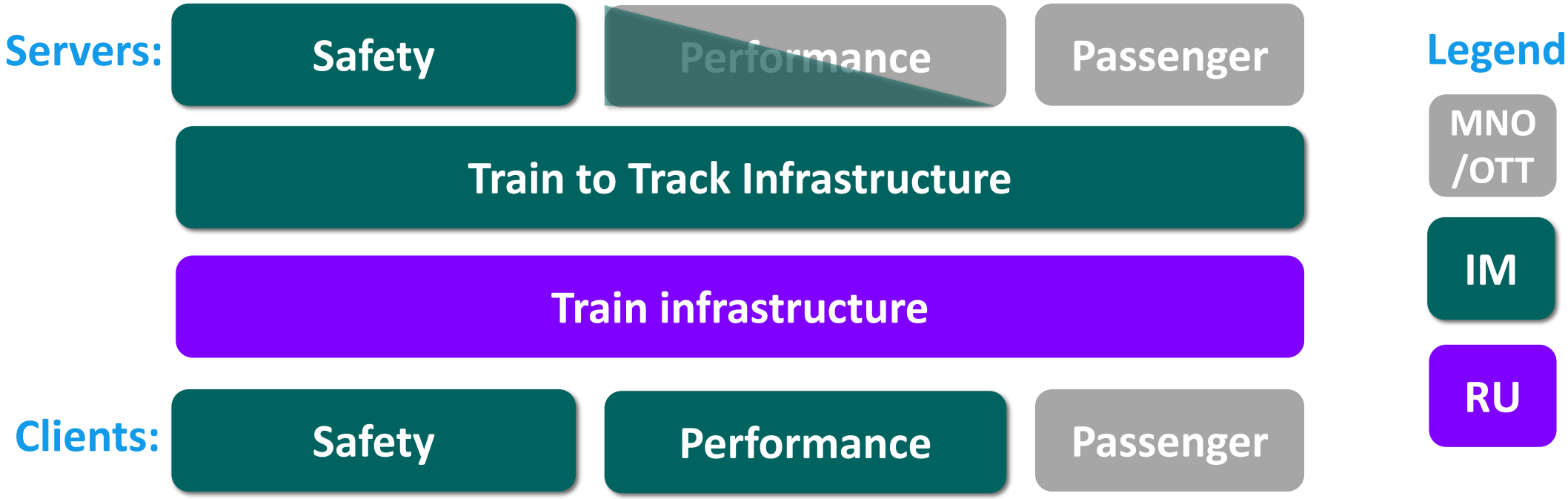
Existing 5G



IEEE simple cost-effective fast-deployment 1+1Gbit/s

COMSA solution from partner EVO RAIL

Objective: Guaranteed connectivity for all services



OTT: Over The Top

Main lines

Will have FRMCS 800MHz for safety services interoperability

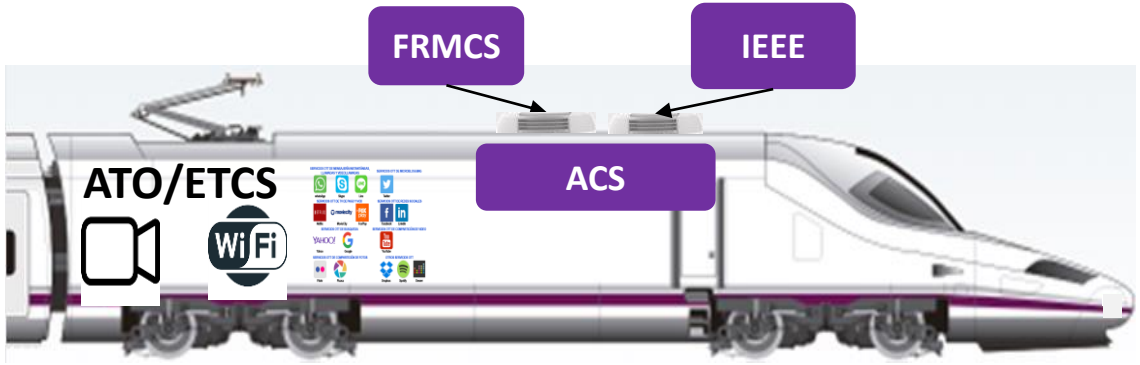
→ Enhance with IEEE 70GHz on train & track. ACS for multi-connectivity

Radios along track

5GNR FRMCS 800MHz

IEEE 70Ghz

On-train radios



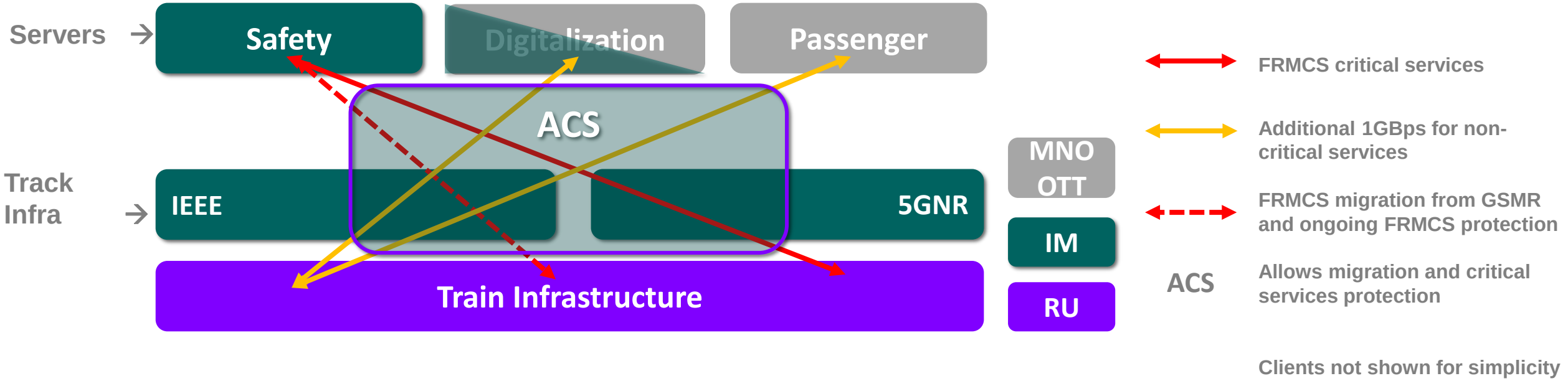
Proposal value:

(1) 1Gbps for performance & passenger services

(2) Support FRMCS migration from GSMR

(3) and ongoing protection to FRMCS

Enhancing main Lines



1Gbps for performance & passenger services

Support FRMCS migration from GSMR

and ongoing protection to FRMCS

Regional lines

No FRMCS 800MHz for safety services interoperability

→ Add IEEE 70GHz on train & track

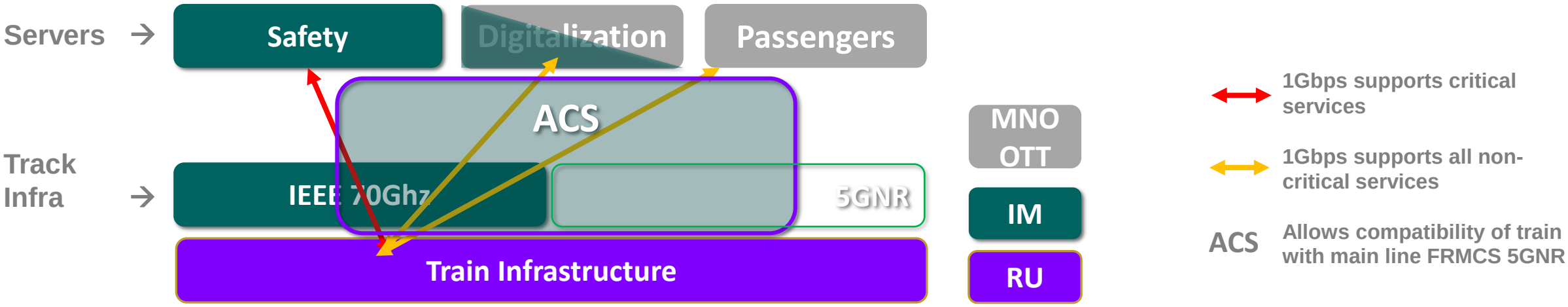
Network along track → **IEEE 70Ghz**

On-train radio → **FRMCS (*)** **IEEE**

(*) On train FRMCS for compatibility with main lines

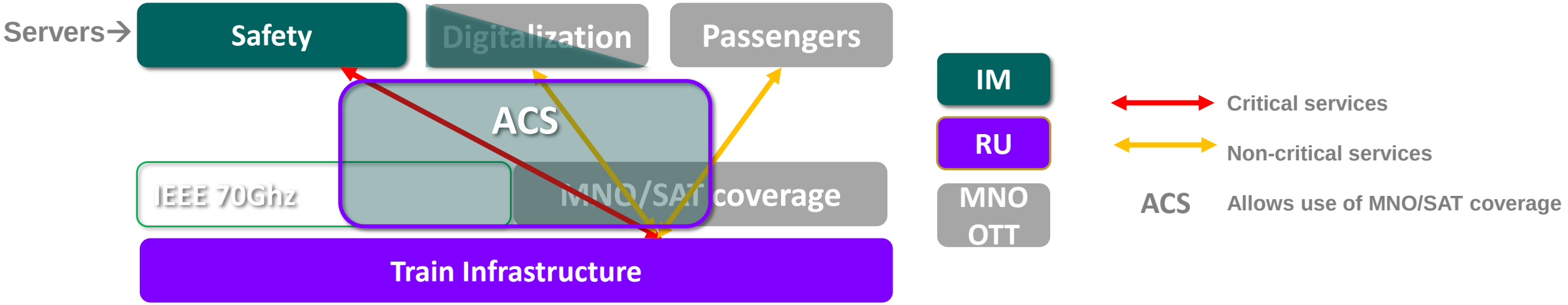
70Ghz facilitates 1Gbps for all services in regional lines

Cost effective regional lines



1Gbps for all services at regional lines

Reusing existing regional assets



Reusing MNO/SAT coverage for all services

Conclusion: requirements met

Connectivity to train above 1+1 Gigabit → **Gigabit Train**

Large CAPEX and OPEX reductions

- Foster simplification
- Support IM + MNO investment sharing
- No spectrum barrier for IM to invest
- Strong energy savings
- Reusing existing assets

Fast deployment

Compatibility with 5GNR FRMCS in main railway lines and optimised solution for regional lines

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

COMSA CORPORACIÓN

Many thanks!

Manuel.Alfageme@COMSA.com

Mob: +34 620 77 30 62

CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

Um Modelo de Aprendizagem Automática Para Previsão de Ausências de Maquinistas

Mobilidade na Era Digital

Gonçalo Matos, SISCOG – Sistemas Cognitivos, S.A.

Quem somos

- Gonçalo Matos
- Luís Albino
- Ricardo Saldanha

SISCOG

SISCOG – Sistemas Cognitivos S.A.
https://siscog.pt

Quem somos

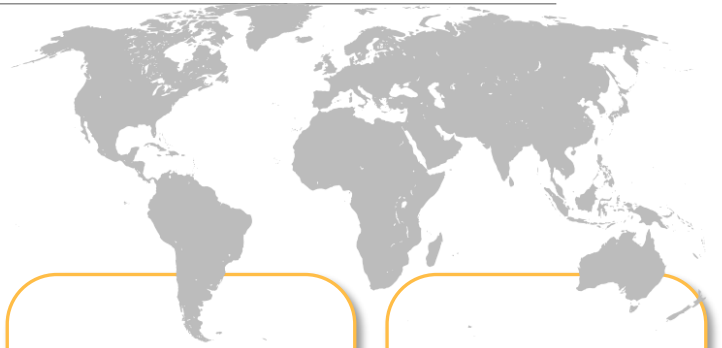
1986
Fundação

8,6 M EUR
Faturação

140+
Colaboradores

Desenvolvemos produtos de software de **otimização**.
Especializados no **planeamento e gestão de recursos**:
tempo & espaço | veículos | pessoal

Usamos técnicas de **IA** e **Investigação Operacional**.



Localizações
Portugal (sede)
EUA

Parceiros
França
Polónia

Transportes

Segmentos

Operadores mundiais de Caminho de Ferro & Metro

Prever ausências para quê?

- Melhor planeamento de turnos de reserva e na negociação de dias de folga
- Minimiza o risco de cancelamento de serviço
- Redução de despesas com compensações e horas extraordinárias
- Satisfação do cliente

Prever ausências para quê?

Para um operador ferroviário, são horizontes de previsão interessantes:

48h Gestão em tempo real

- Redistribuir o trabalho planeado em reservas
- Aumentar os níveis de reserva onde é mais provável haver tripulantes ausentes

1 semana – 1 mês Curto prazo

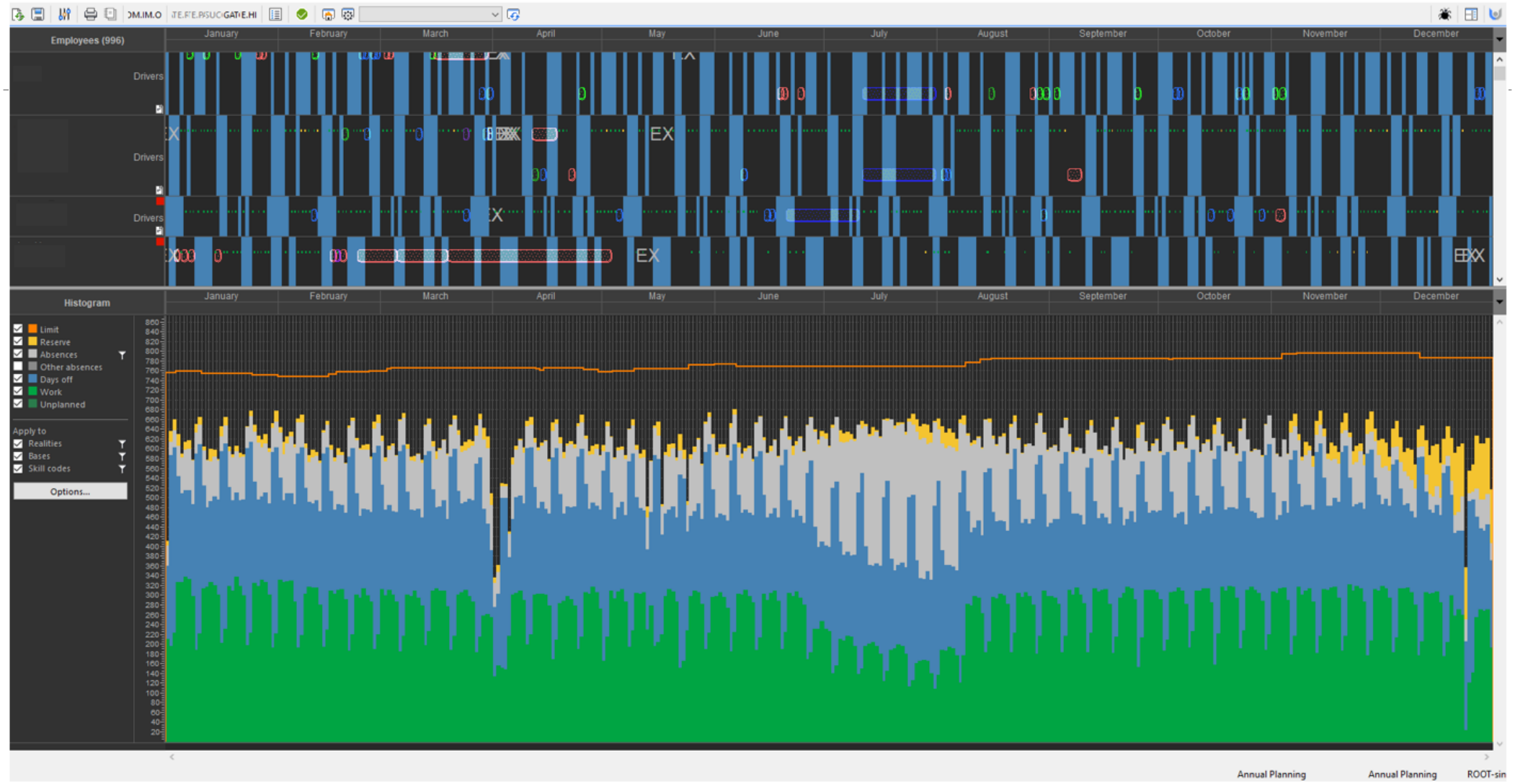
- Evitar planear ausências ou folgas em dias em que o absentismo previsto é elevado

1 ano Longo prazo

- Melhor planeamento de longo prazo de reservas e formações
- Processo mais eficiente de planeamento anual de férias

Descrição do problema

- Desenvolvimento de um modelo de aprendizagem automática (*machine learning*) capaz de prever ausências de maquinistas com base em dados históricos;
- Integração no sistema **CREWS**;
  - Apoio à decisão para a criação e alteração de planos operacionais otimizados, nomeadamente de pessoal circulante e local, considerando horários das viagens e planos operacionais de veículos, competências e preferências do pessoal, bem como restrições/regras laborais e operacionais.


Employees (996)
January
February
March
April
May
June
July
August
September
October
November
December
Drivers
Drivers
Drivers
EX
Histogram
Limit
Reserve
Absences
Other absences
Days off
Work
Unplanned
Apply to
Realities
Bases
Skill codes
Options...
Annual Planning
Annual Planning
ROOT-sin

Descrição dos dados

- Dados reais de um operador ferroviário do norte da Europa (30+ bases de pessoal)
- Registos de atividade do Sistema CREWS em ambiente de produção
  - Ex: trabalho realizado por um tripulante no final de um turno; registo de ausência;
- 7 anos de dados

NOME	DATA	...	AUSENTE?
~~João~~	5/7/2014		Não
~~Manuel~~	5/7/2014		Sim
~~Maria~~	6/7/2014		Não

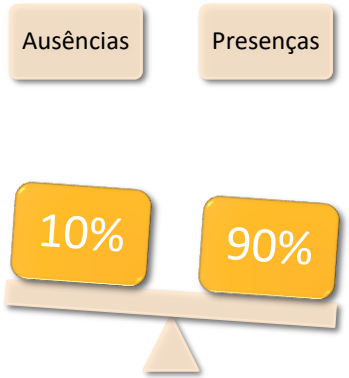
Preparação dos dados

Processo KDD (*Knowledge Discovery in Databases*)

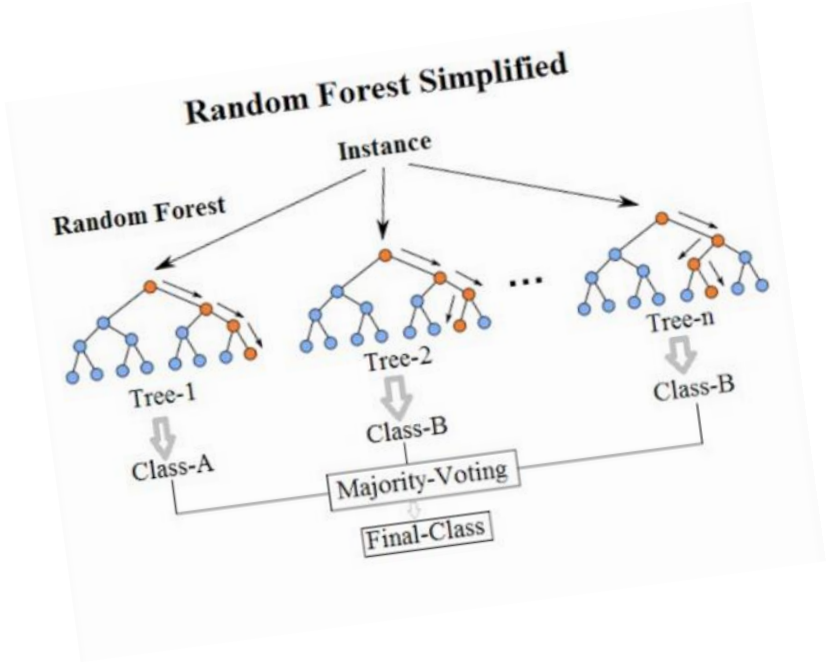
- Seleção de *features*
  - *Ex: Excluir férias e ausências planeadas*
- Geração de *features*

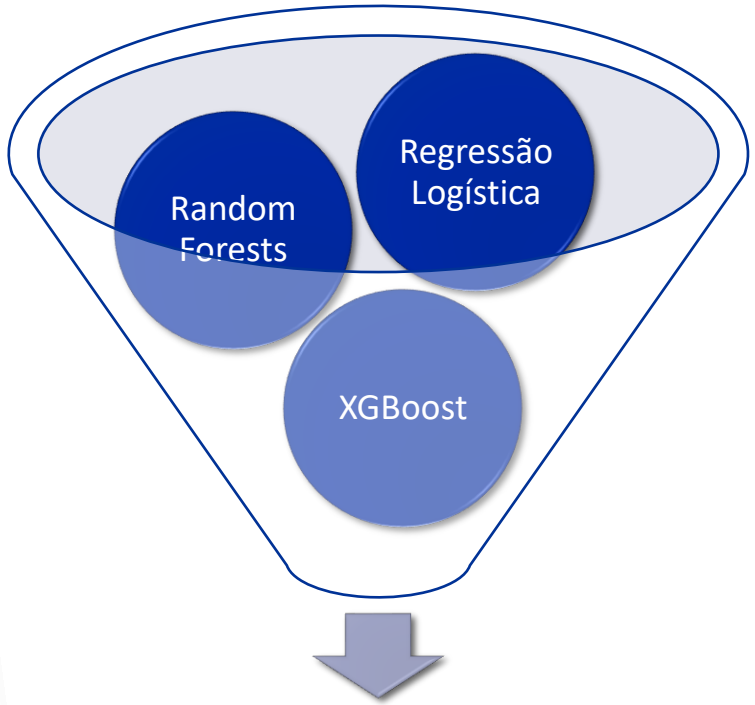
  data → estação do ano

  turno → curto / médio / longo
  dia / noite / madrugada
- Balanceamento dos dados

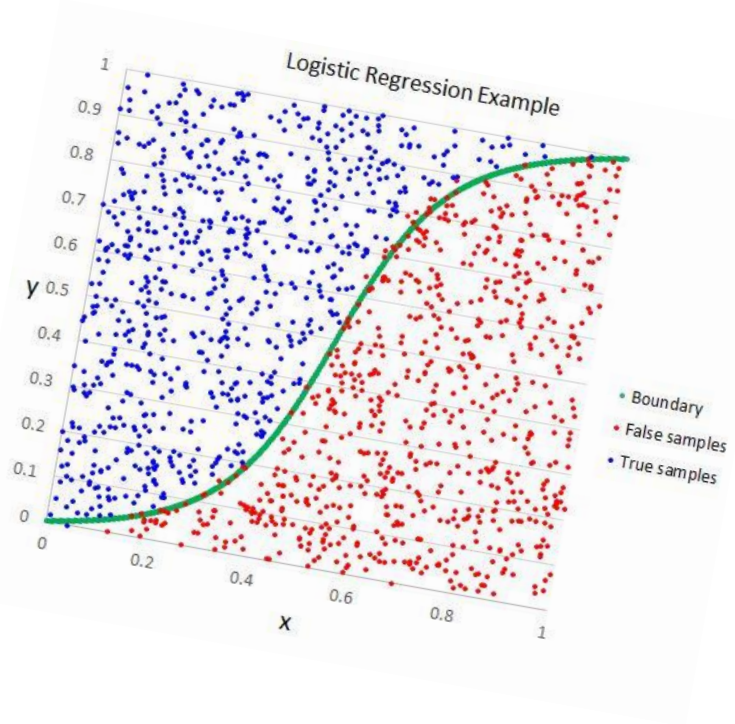


Treino dos algoritmos





métricas

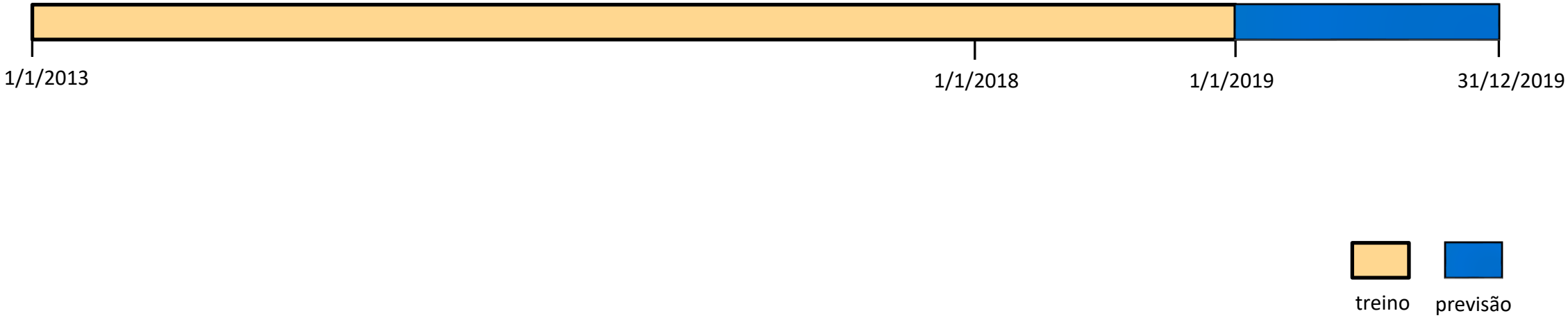


Metodologia de teste

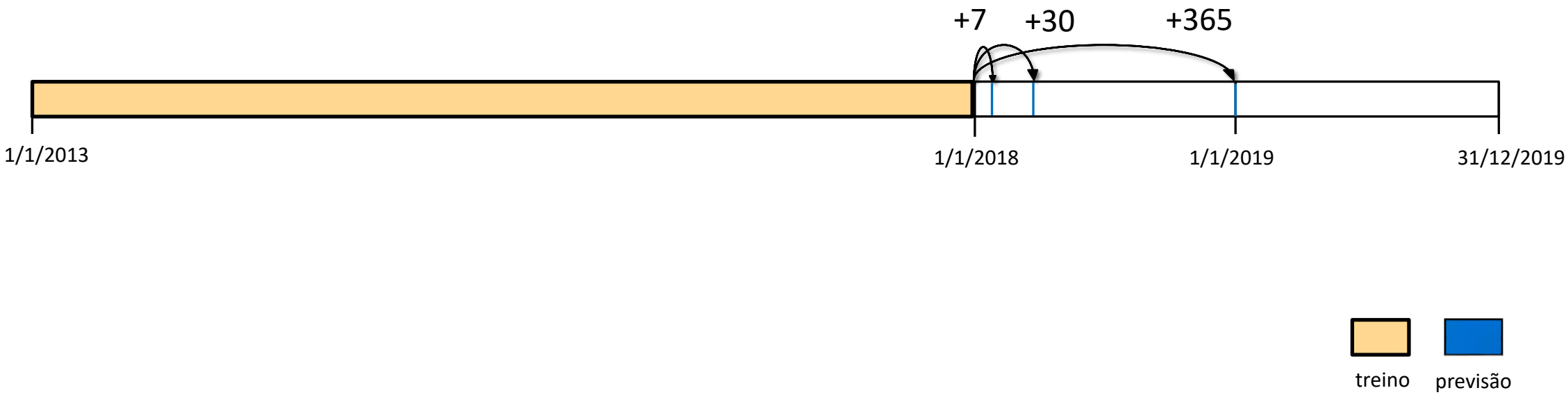
- Treino com dados 2013-2018
- Previsão para 2019 / comparação com os dados reais
- Necessário "mascarar" os dados históricos para simular operação real
  - *Ex: nº de dias desde a última ausência; esteve ausente ontem?*
- Métricas que avaliam as previsões individuais
- Métricas que avaliam os resultados agregados (número total de ausências)

- Horizonte fixo
- Horizonte rolante

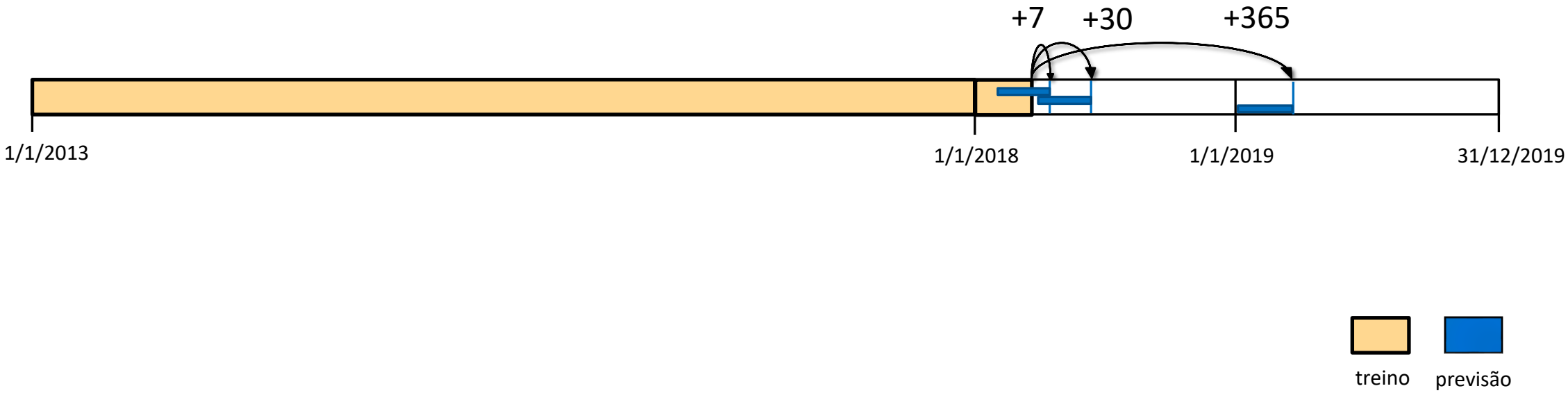
Horizonte fixo



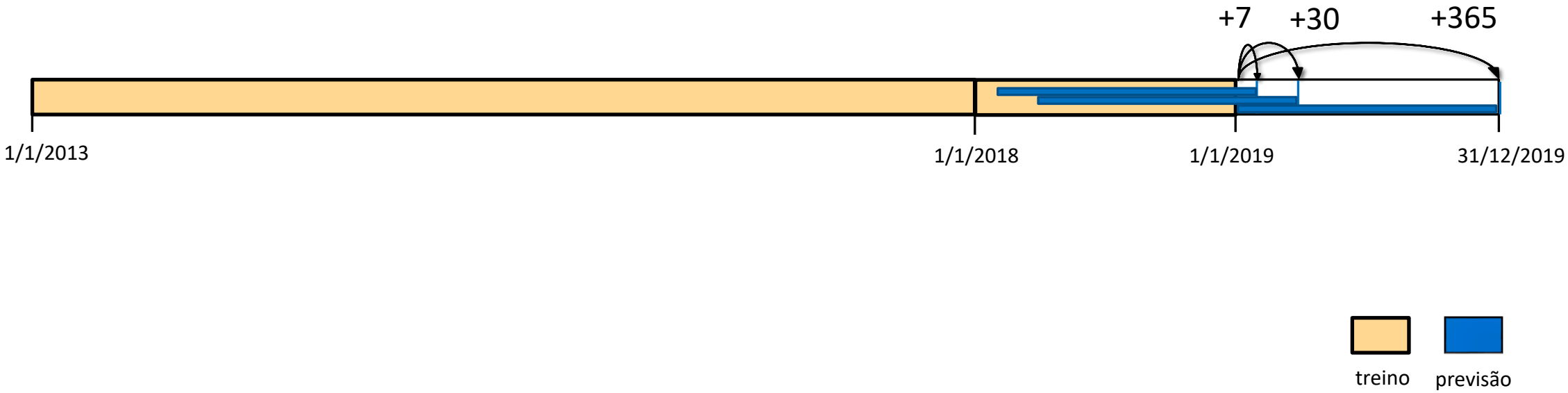
Horizonte rolante



Horizonte rolante



Horizonte rolante

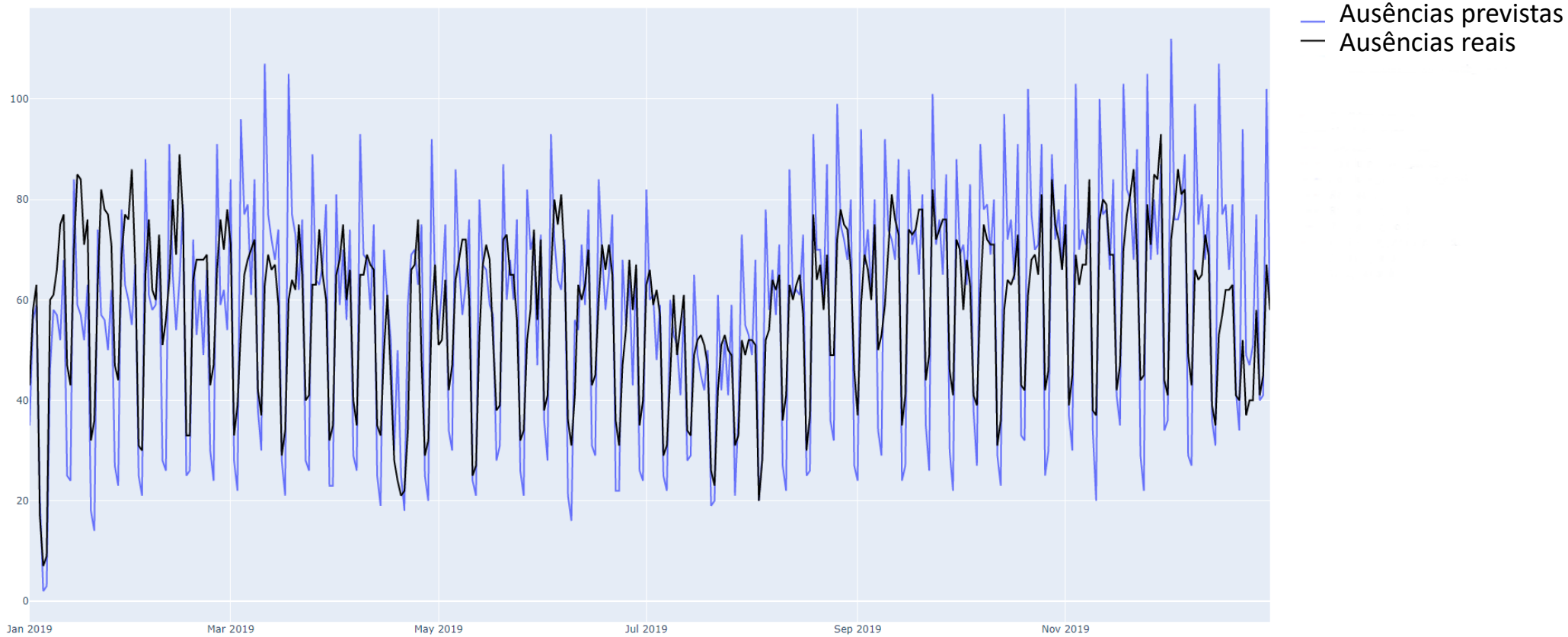


Resultados preliminares

- Regressão Logística apresentou os melhores resultados
- **Horizonte fixo** – 2019:
  - 250 095 turnos planeados
  - 21 015 ausências **reais**
  - 21 134 ausências **previstas** pelo modelo
  - Erro por excesso de cerca de 0,5% no **número total de ausências** no ano
  - Precisão (*accuracy*) da **previsão individual** a rondar os 87%
  - Número atípico de ausências no período Janeiro-Março

Resultados preliminares

Regressão Logística



Resultados preliminares

- **Horizonte rolante** – 1/1/2018 – 31/12/2018

Métrica	previsão a 7 dias	previsão a 1 mês	previsão a 1 ano
Erro médio da previsão (MFE)	-5.45	-5.32	-5.27
Erro absoluto médio (MAE)	11.79	11.89	11.66
Erro percentual absoluto médio (MAPE)	25.14%	25.03%	22.27%

- Horizonte da previsão não parece afetar significativamente a precisão dos resultados

Conclusões / Trabalho futuro

- Propôs-se um modelo de previsão de ausências de tripulantes baseado em aprendizagem automática
- Regressão Logística destacou-se com uma precisão (*accuracy*) nas previsões individuais de ~87%
- O tipo de ausências que se está a tentar prever é, por natureza, muito imprevisível
- Nenhum dos modelos até agora estudados garante resultados satisfatórios para todo e qualquer dia de operação

- Inclusão de novas características (*features*), tais como dados meteorológicos ou dados sobre a fadiga dos tripulantes
- Integração no sistema CREWS

CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

OBRIGADO!

CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

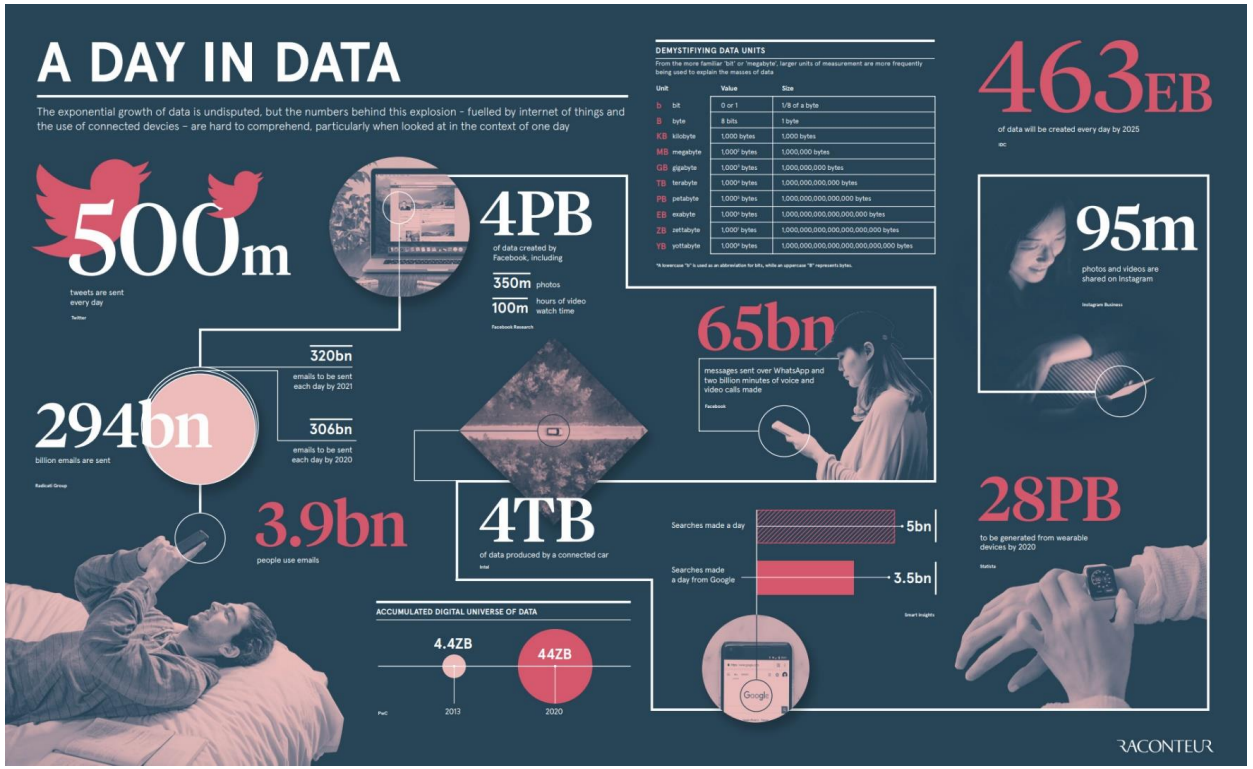
10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

Estratégia de Dados de Gestores de Infraestrutura

T8 - Mobilidade na Era Digital

Eduardo Borges Pires, Infraestruturas de Portugal, S.A.

1. Enquadramento



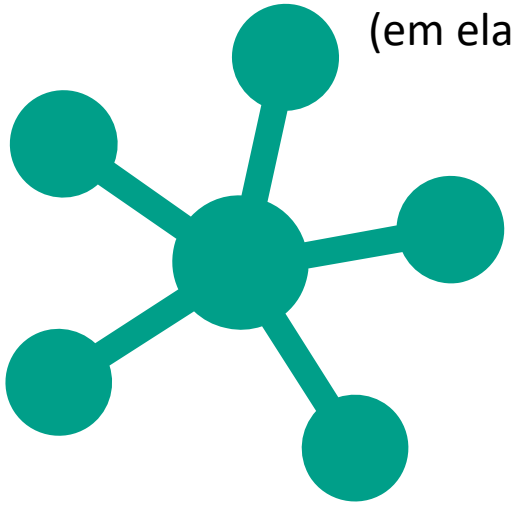
Fonte: Raconteur

- Em 2020, cada pessoa no planeta gerou, em média, 1,7 MB/seg., 4 TB/mês e 52 TB/ano
- Em 2025, estima-se que cada pessoa no planeta gere, em média, 175 ZB/ano
- Estima-se que 1 veículo autónomo e conectado gere 6 mil TB/ano (equivalente ao volume de dados gerados por cerca de 320 milhões de utilizadores do Twitter, por mês)

2. Estratégia de Dados da IP

Classificação de um conjunto de dados como “abertos”

Catálogo de dados (em elaboração)



Dados abertos (Diretiva 2019/1024) e respetivo processo de classificação

Infraestrutura de troca de dados

ama AGÊNCIA PARA A MODERNIZAÇÃO ADMINISTRATIVA

dados.gov Portal de dados abertos da Administração Pública

Mercado de dados (privilegiar a troca de dados)

3. Think Tank de Inovação

Como retirar mais partido dos dados gerados pelas nossas infraestruturas?

- Dados devem ser um ativo da IP (e não um subproduto)
- Estratégia de dados deve ser alicerçada na estratégia de negócio
- Não existe uma cultura generalizada de dados na empresa
- Diferentes níveis de maturidade dentro da IP
- Catálogo de dados está no caminho crítico
- Alinhamento do modelo de governança de dados com o negócio e política de *open data*
- Dispor de ferramentas inteligentes de análise e transformação dos dados disponíveis

3. Think Tank de Inovação

Como retirar mais partido dos dados gerados pelas nossas infraestruturas?

Auscultação a outros gestores de infraestrutura

Sensibilização, formação e experimentação na IP

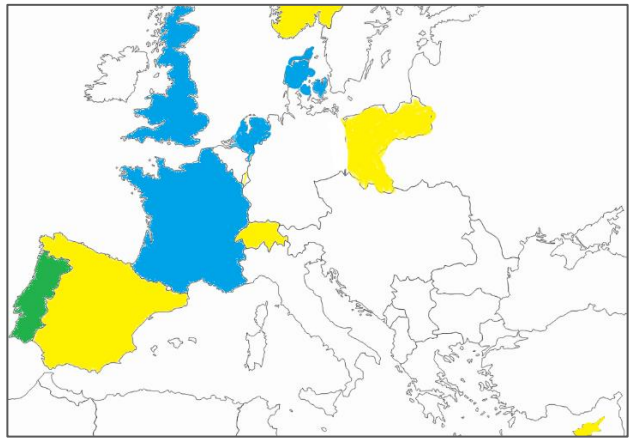
4. Inquérito a gestores de infraestruturas

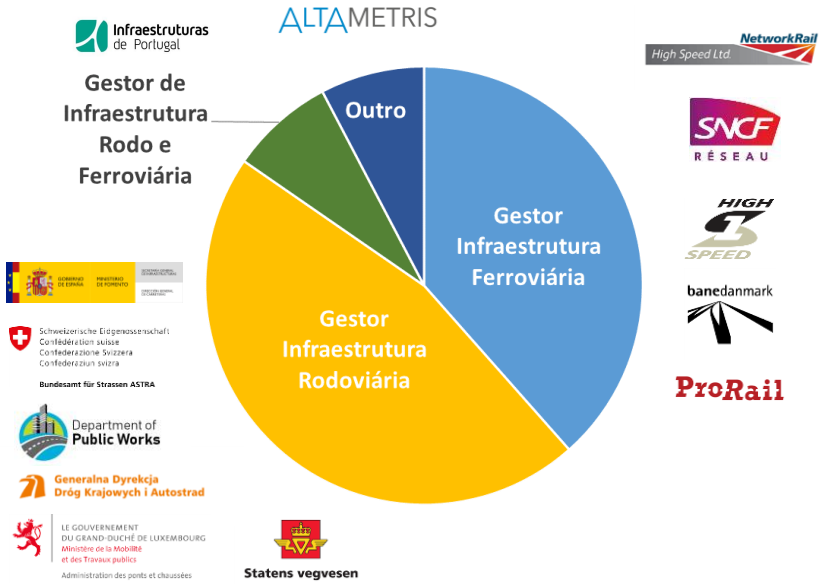
Objetivo

Suportar uma análise de benchmarking focada no nível de maturidade da gestão, análise e tratamento de dados.

Cobertura:
20 países da UE

Resposta:
12 países da EU, 13 empresas





4. Inquérito a gestores de infraestruturas

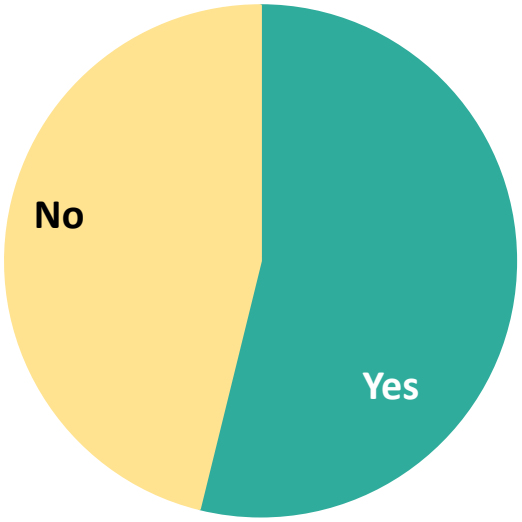
Análise de resultados

Qual o nível de maturidade da organização relativamente à gestão de dados?

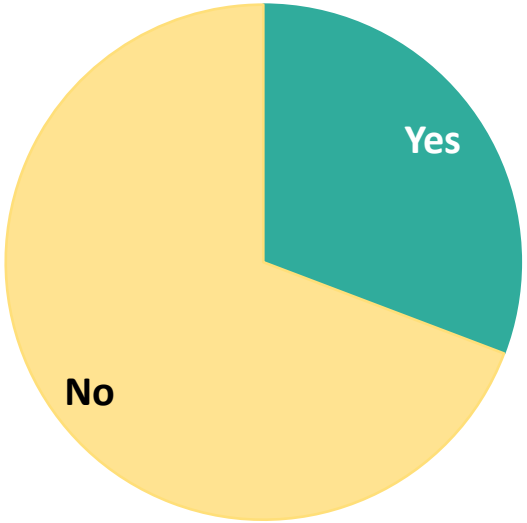
4. Inquérito a gestores de infraestruturas

Análise de resultados

Estratégia de dados?



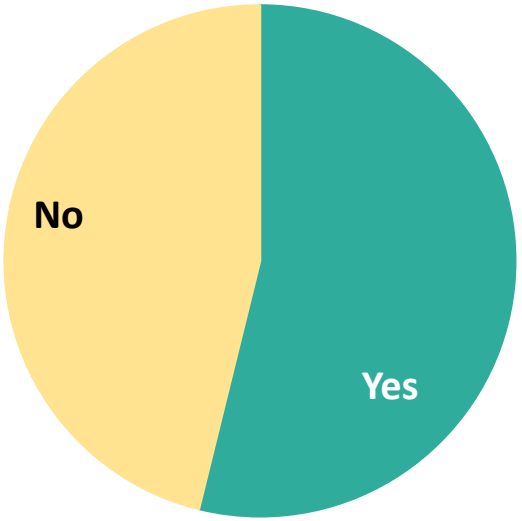
Política de dados abertos?



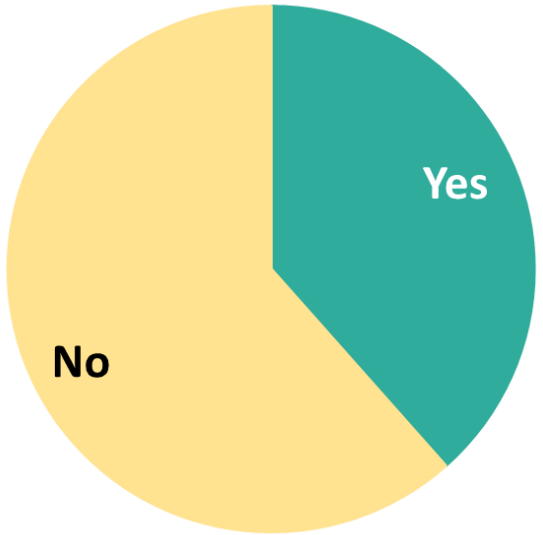
4. Inquérito a gestores de infraestruturas

Análise de resultados

Catálogo de dados?



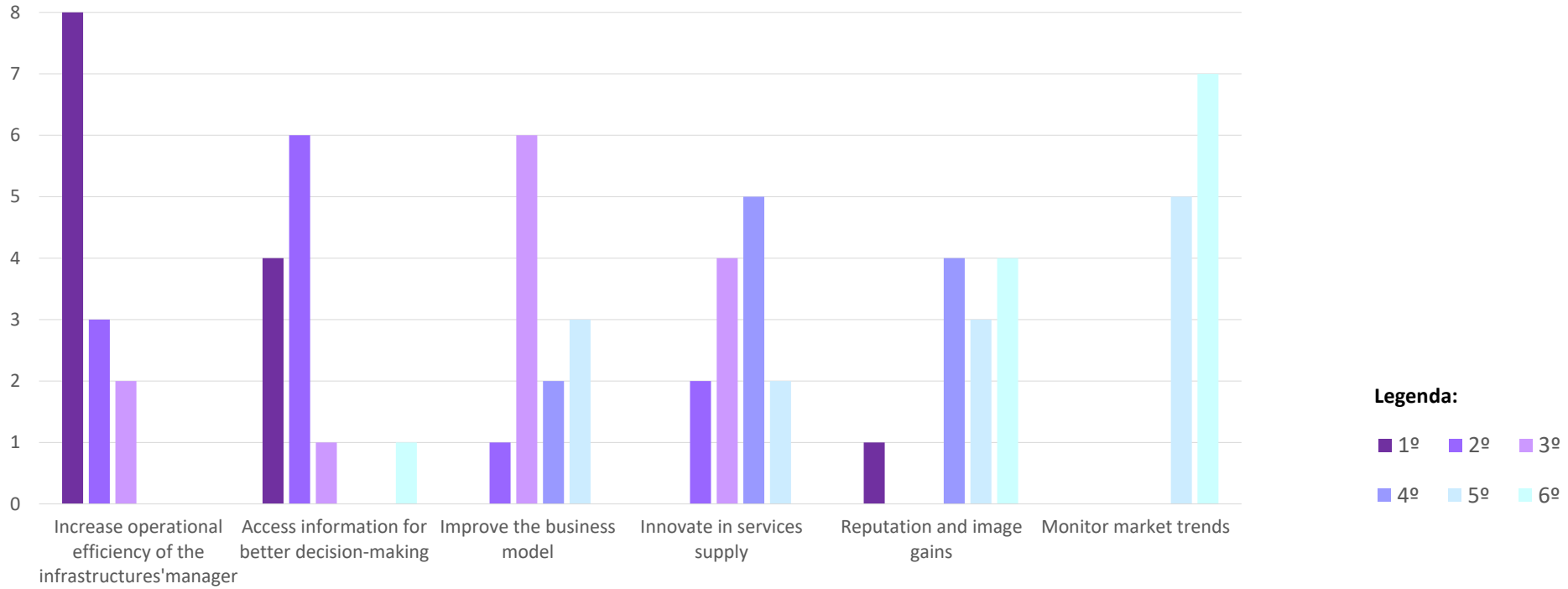
Modelo de governança de dados?



4. Inquérito a gestores de infraestruturas

Análise de resultados

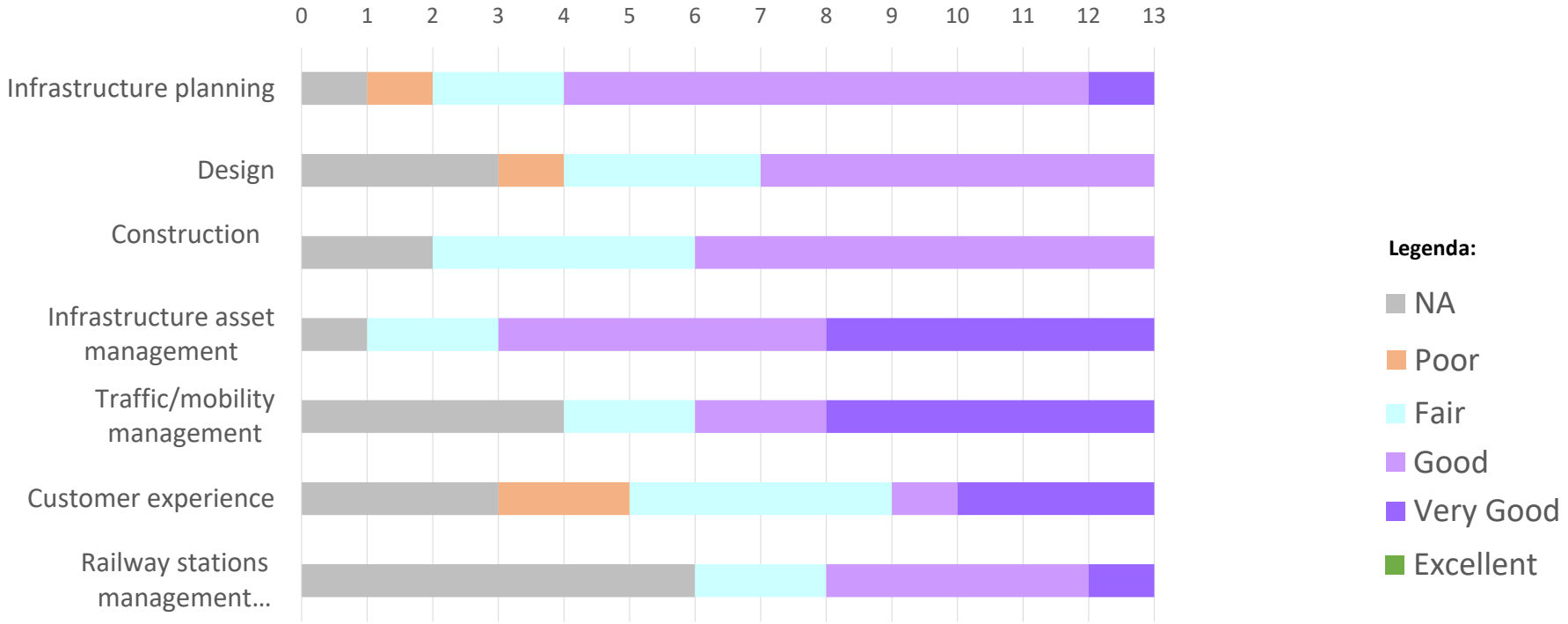
Quais as áreas de atividade onde se espera que a análise e tratamento de dados seja mais proveitosa?



4. Inquérito a gestores de infraestruturas

Análise de resultados

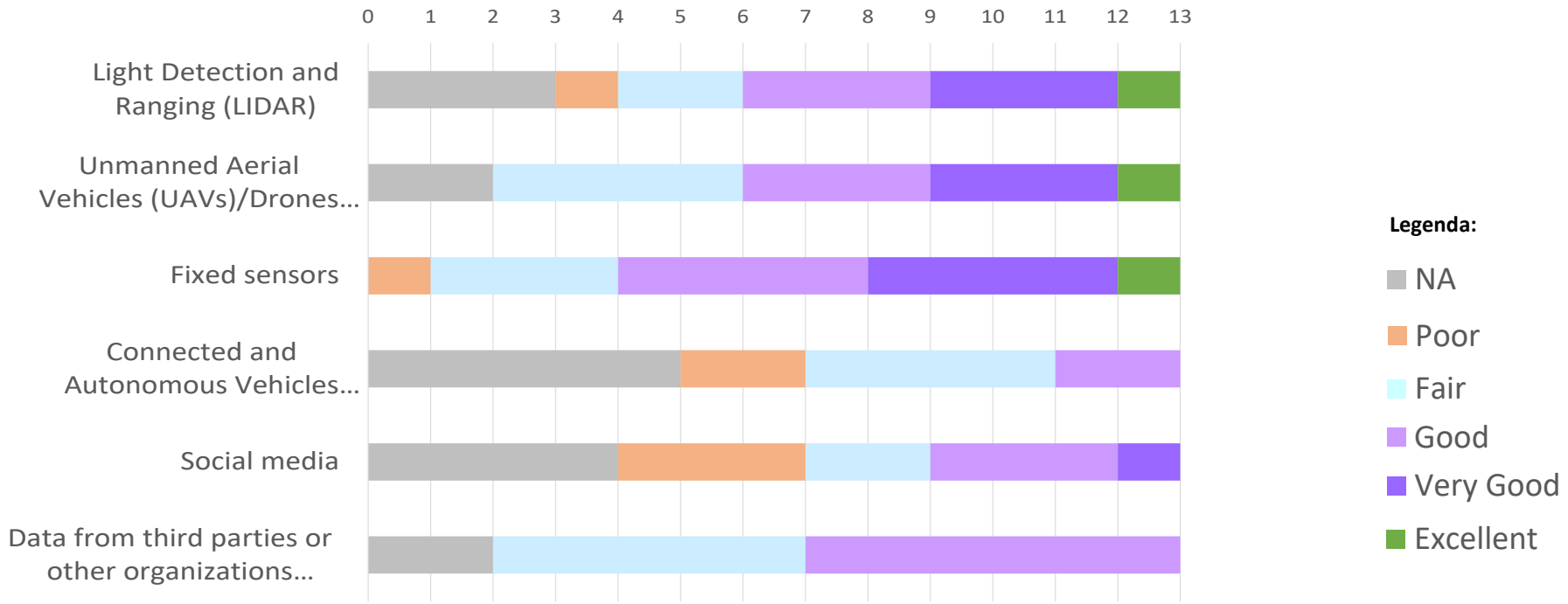
Qual a maturidade da organização na análise de dados, por área de atividade?



4. Inquérito a gestores de infraestruturas

Análise de resultados

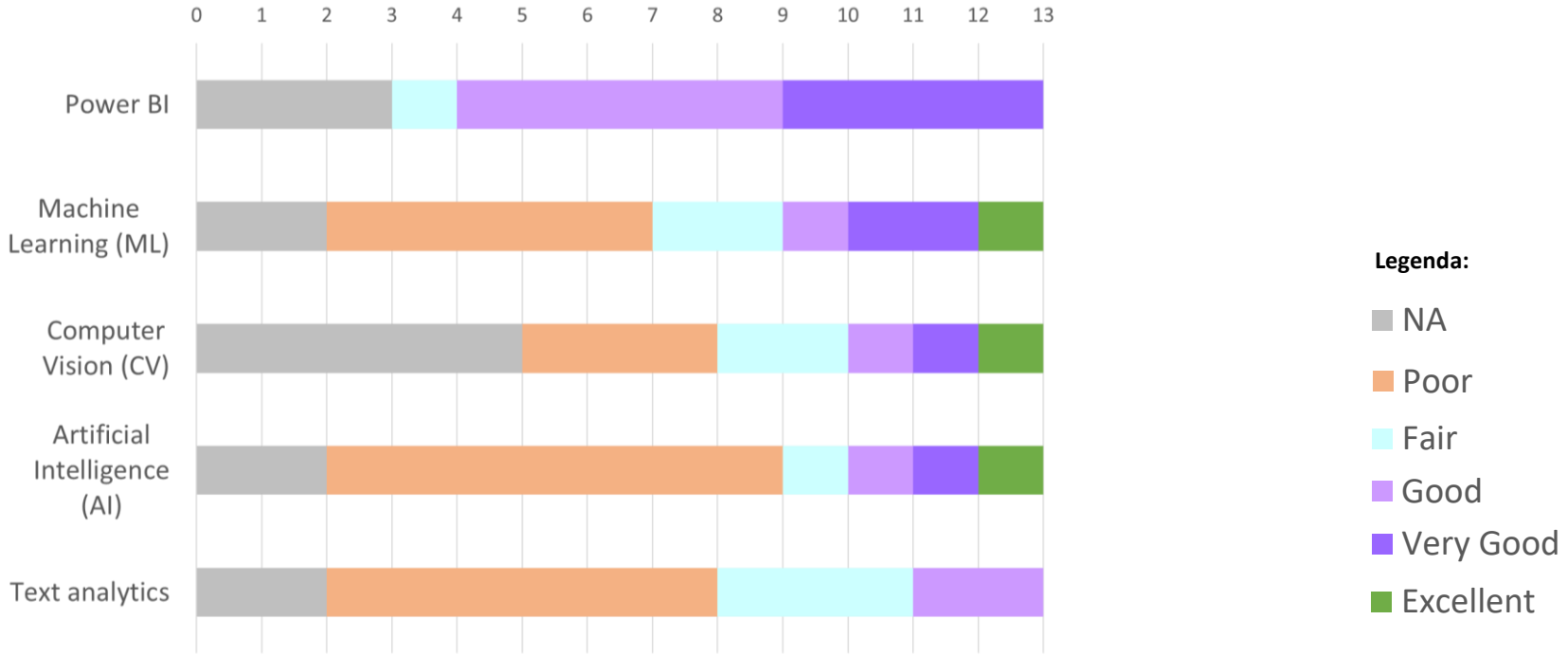
Qual a maturidade da organização na utilização de ferramentas de recolha de dados?



4. Inquérito a gestores de infraestruturas

Análise de resultados

Qual a maturidade da organização na utilização de ferramentas de análise de dados?



5. Conclusões

- Reconhecimento da importância dos dados
- Diferentes níveis de maturidade
- A maioria das organizações ainda não tem cultura generalizada de dados
- A IP encontra-se a par das suas congéneres

CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

Estratégia de Dados de Gestores de Infraestrutura

T8 - Mobilidade na Era Digital

Eduardo Borges Pires, Infraestruturas de Portugal, S.A.

CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

ACOPLAMENTO VIRTUAL ATRAVÉS DE MONITORIZAÇÃO FERROVIÁRIA DEFINIDA POR SOFTWARE

MOBILIDADE NA ERA DIGITAL

João T. Fernandes, Universidade de Coimbra

Agenda

- Introdução
- Paradigma SDN
- Software-Defined Railway Monitorization
- Conclusões e Trabalhos Futuros

Introdução – Evolução Ferroviária

- Cada vez mais a ferrovia é vista como o meio de transporte predileto para transporte de cargas entre vários destinos dado ser economicamente e ambientalmente mais saudável. No caso de transporte de passageiros, desde 2013 que cresce consideravelmente, com aumentos que podem chegar aos 50%.

- Ao nível tecnológico, também tem havido progressos no que toca aos sistemas de comunicação, com a transição do 2G para 4G e 5G, bem como à monitorização dos equipamentos ferroviários.

Introdução – Problema Atual

E agora?

Imagens:
https://www.voestalpine.com/railway-systems/en/company/news/high-tech-products-and-digital-service-concepts/
https://pxhere.com/en/photo/499596

Introdução – Objetivo

- Considerando os avanços tecnológicos alcançados noutras áreas, o objetivo é introduzir novos conceitos na ferrovia que acompanhem o crescimento que se tem sentido, permitindo uma maior escalabilidade do sistema, melhorar a manutenção e a transmissão dos dados.

Imagem:
https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/automation/signaling-on-board-and-crossing-products/rail-communications/wayside-communication-systems.html

Paradigma SDN

- O paradigma Software-Defined Networking (SDN) introduz o conceito de "controladores" que permitem descentralizar a arquitetura e divide-a em 3 camadas.

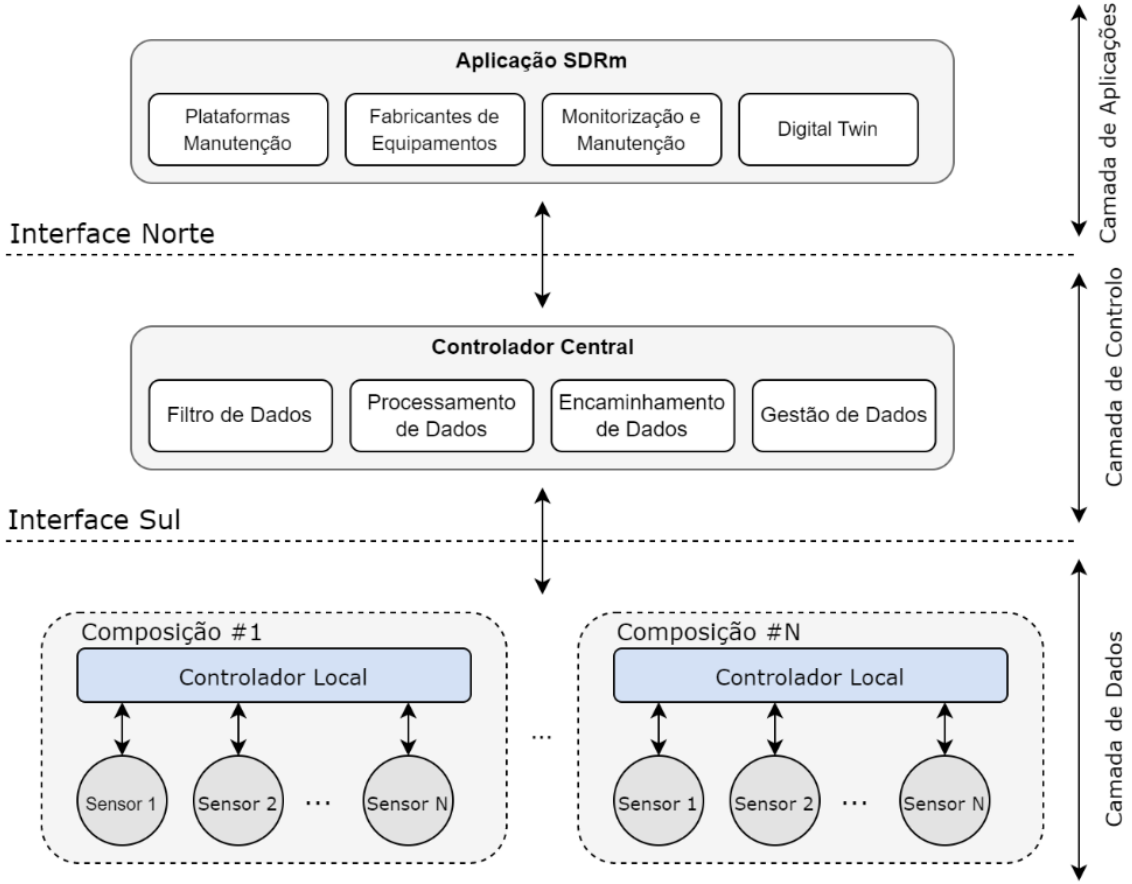
1. Camada de **Dados** → 2. Camada de **Controlo** → 3. Camada de **Aplicações**

- Da camada 1 para a 2 a comunicação é feita através de OpenFlow, que define padrões e tipo de protocolos que devem ser seguidos, fazendo a gestão do que é trocado entre as camadas.

Software-Defined Railway Monitorization (SDRm)

SDRm – Apresentação da Solução

- SDRm é a adaptação do paradigma SDN para a ferrovia, mantendo os moldes gerais de funcionamento.
- As camadas passam a estar definidas de acordo com os objetivos para a ferrovia.
- Tal como no SDN, há um protocolo de gestão que auxilia a comunicação: RAMP – Railway Management Protocol. Ainda está em fase de validação.



SDRm – Cenários de Teste

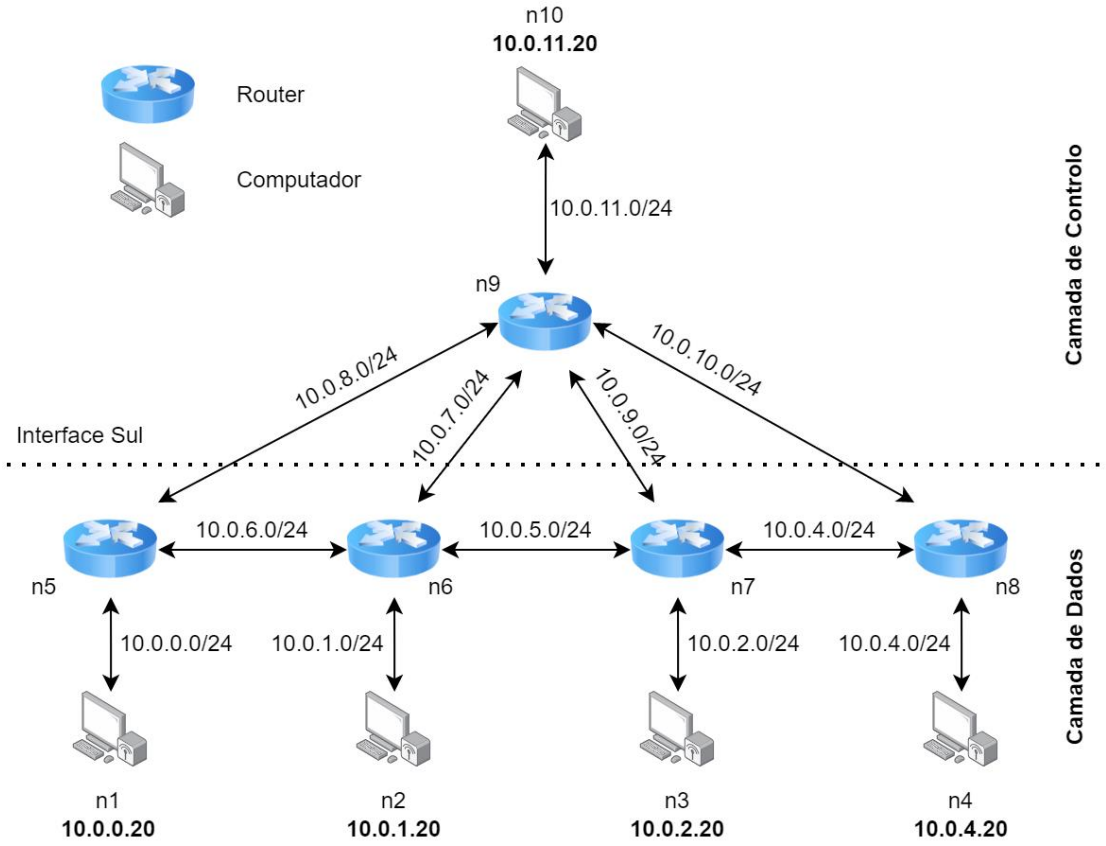
- Para um primeiro teste da solução, optou-se pelo acoplamento virtual que, neste caso, pretende ligar os comboios (e.g., locomotiva + material rebocado) de forma virtual para depois agregar os dados de forma conjunta.

- Para o teste, foi utilizado o software COREEMU, onde se simulou uma composição com uma locomotiva e três carruagens. No caso da gestão da comunicação, o RAMP prevê a utilização do protocolo MQTT e com mensagens com chaves predefinidas.

SDRm – Cenários de Teste (arquitetura)

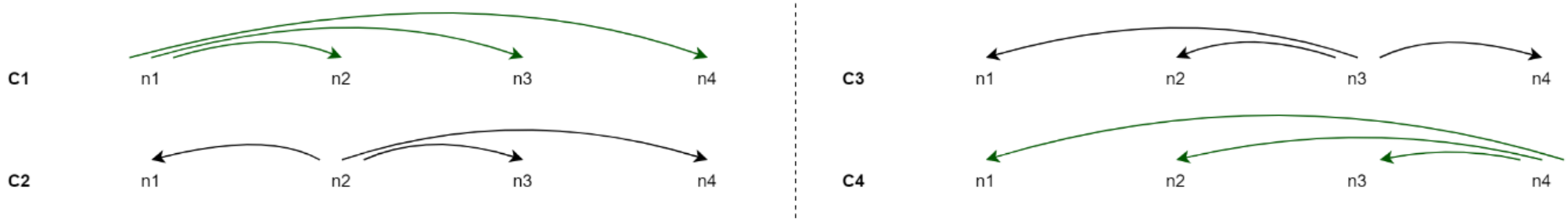
- No exemplo:
  - n1 simboliza a locomotiva.
  - n2 ao n4 simbolizam as carruagens.
  - n10 simboliza o controlador central.
  - Os restantes nós são routers para encaminhamento de ligações e dados.

- Surgem, no entanto, 3 questões:
  - Como é que o controlador central sabe qual é o comboio?
  - Como é que cada nó comunica?
  - Como é que o controlador central atua sobre os comboios?



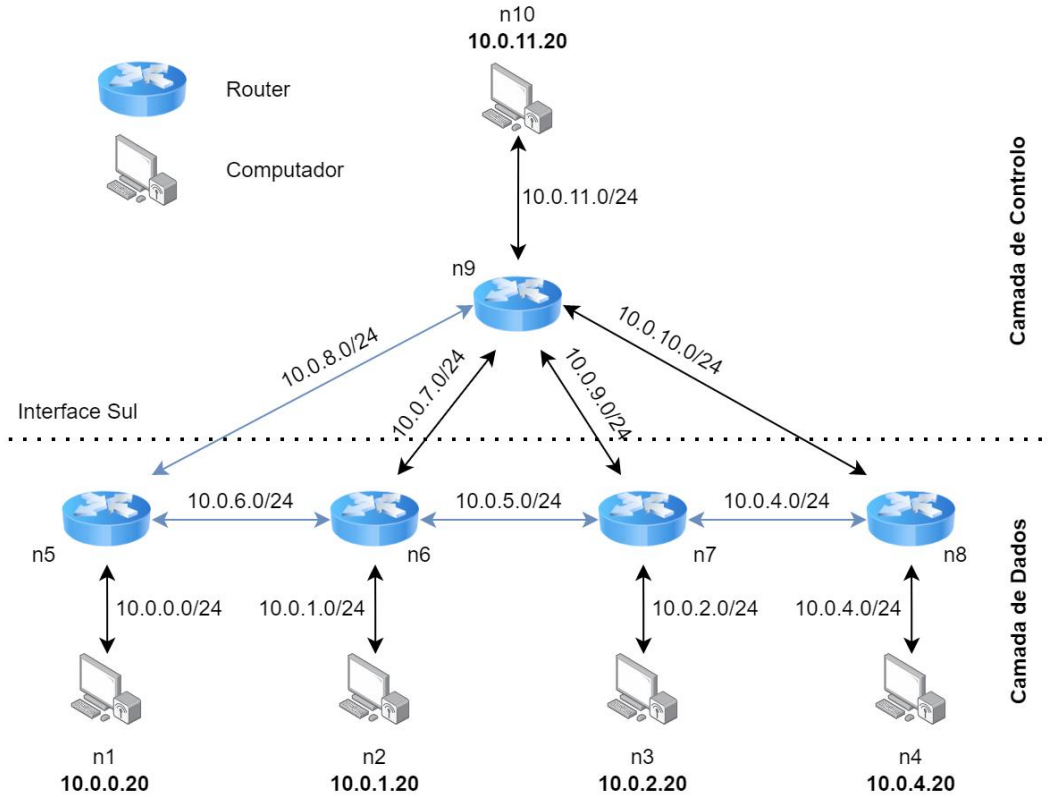
SDRm – Cenários de Teste (formação da composição)

- Quando um comboio se liga ao controlador central, envia os dados sobre a que serviço pertence e a posição GPS. O controlador central é que, posteriormente, calcula como é que cada comboio se liga dentro da composição e envia esses dados para cada um dos comboios.



SDRm – Cenários de Teste (comunicação)

- Para os ensaios, testaram-se as ligações em que:
  - Cada um dos comboios (n1, n2, n3 e n4) envia diretamente os dados para o controlador central (n10).
  - Um dos comboios funciona como encaminhador principal de dados (n5) e todos os comboios enviam os dados para este comboio.
- Para além disso, variou-se a largura de banda (500Kbps, 1Mbps e ilimitado) para avaliar o tempo de envio dos dados.

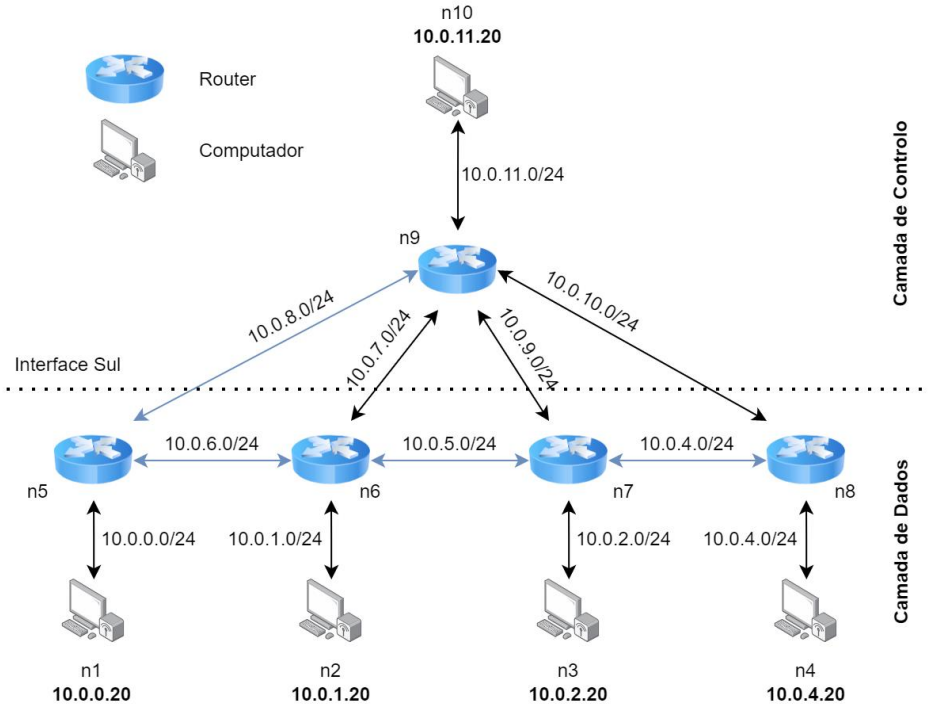


SDRm – Resultados Preliminares

- A cada 2 segundos é enviado um pacote com 72 Kbps. Foram feitos 24 ensaios para cada um dos testes, num total de 144 recolhas de dados.

Série	ILIMITADO			1MBPS			500KBPS		
Média (em ms)	11.13	24.25	25.08	504.21	983.46	1422	39986.63	40925.13	41902.13
Desvio Padrão (em ms)	2.70	3.99	3.71	3.48	4.44	4.9	6348.19	6349.52	6348.03

Diretamente	ILIMITADO			1MBPS			500KBPS		
Média (em ms)	5	5.08	5.08	486.08	486.04	486.21	971.00	970.00	970.71
Desvio Padrão (em ms)	0	0.49	0.28	0.95	1.02	1.29	4.28	1.91	2.89



SDRm – Resultados Preliminares

- Com a limitação na taxa de envio, no teste onde existe um comboio que encaminha os dados para o servidor, a demora no envio dos dados é cada vez maior. Isso não acontece quando cada um dos comboios envia diretamente para o controlador central.

- Em contrapartida, o envio de dados diretamente para o controlador central não permite um controlo central dos dados e o controlo dos sistemas associados a uma composição para a ser bastante complexo.

Conclusões

- Com a tecnologia cada vez mais avançada, aplicar soluções de IoT e outros paradigmas de comunicação na ferrovia é cada vez mais importante.
- Apesar das ligações diretas de cada comboio para o controlador central serem mais rápidas, em questões de uniformização de dados de uma única composição, modularidade e escalabilidade teria de ser o controlador central a tratar.
- A solução de um canal único permite que a composição seja capaz de juntar todos os dados dos comboios que a compõem e, ao mesmo tempo, poder comprimir os dados para enviar apenas as informações necessárias.

Trabalhos Futuros

- Como próximos passos, pretende-se definir em concreto o protoloco de gestão **RAMP** para tornar mais ágil a implementação em âmbito ferrovia.
- Este ponto anterior levará a que o próprio controlador atual comece a ser capaz de avaliar e tomar ações necessárias, através do uso de aprendizagem computacional.
- Por fim, também será estudada a melhor forma de comunicar para aplicações terceiras, para obterem os dados do controlador central.

CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

ACOPLAMENTO VIRTUAL ATRAVÉS DE MONITORIZAÇÃO FERROVIÁRIA DEFINIDA POR SOFTWARE

MOBILIDADE NA ERA DIGITAL

João T. Fernandes, Universidade de Coimbra

CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

VIRTUAL GANTRY - NOVA SOLUÇÃO DE COBRANÇA DE PORTAGENS

MOBILIDADE NA ERA DIGITAL

César Ferreira, Ascendi

ascendi GO

/ 01 APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS

O que é?

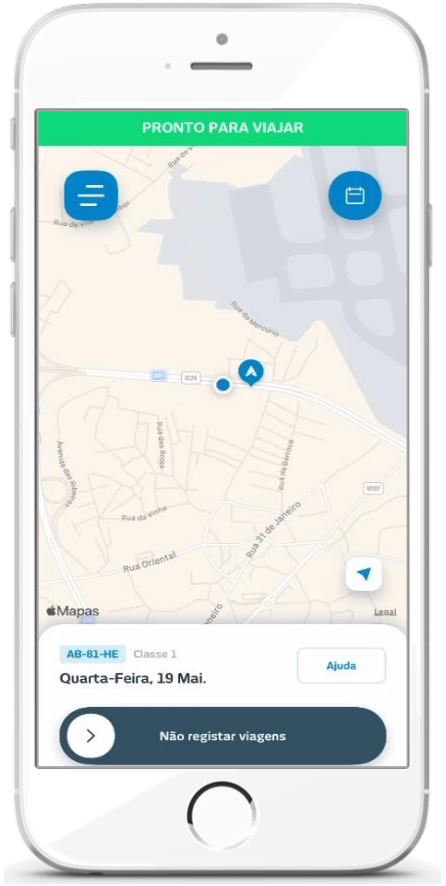
/ Projeto desenvolvido pela Ascendi, em conjunto com o parceiro Q-Free, para testar uma solução de **cobrança de portagens com recurso à georreferenciação** (Satélite), suportada numa solução técnica digital - **aplicação móvel**.

/ Para o efeito, foi desenvolvida uma APP - Ascendi GO - e foram georreferenciados, com coordenadas GPS, pórticos virtuais (no mesmo local dos pórticos físicos).

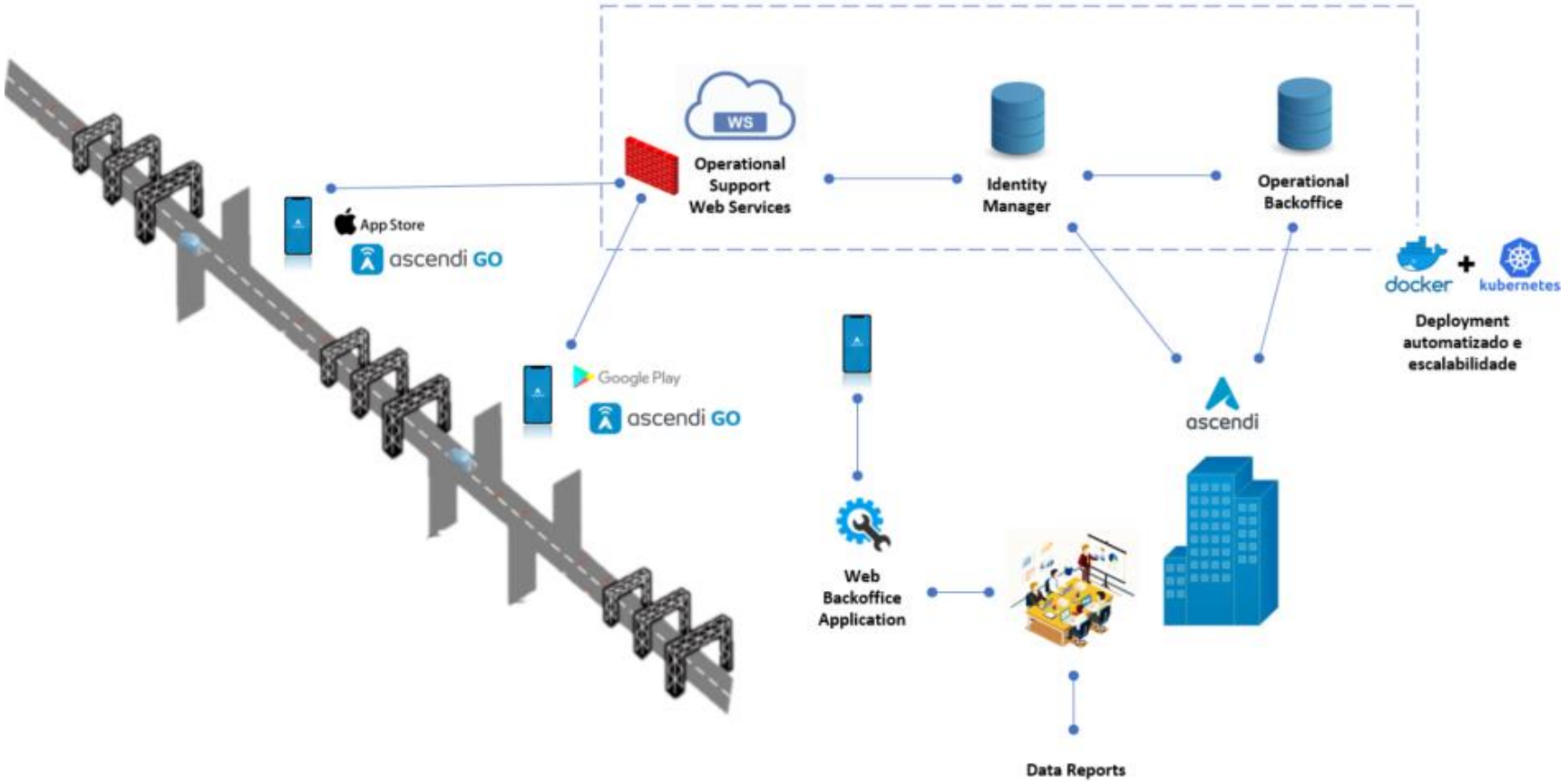
Objetivos:

/ Demonstrar a viabilidade técnica da solução, comprovando a **correta validação** da deteção dos pórticos virtuais;

/ Testar a **aceitação desta solução** por parte dos utilizadores.



/ 02 DESENHO DA SOLUÇÃO TECNOLÓGICA



/ 03 PRINCIPAIS FUNCIONALIDADES

/ **Recolha e envio** das passagens na via para *backoffice*;

/ Área de **gestão de utilizadores**;

/ **Gestão de veículos** (nesta fase apenas um por app);

/ **Assinatura digital** das viagens, garantindo a consistência da informação;

/ Facilidade de **configuração de diferentes pontos geográficos**;

/ Capacidade de **gestão das tarifas/taxas de portagem**;

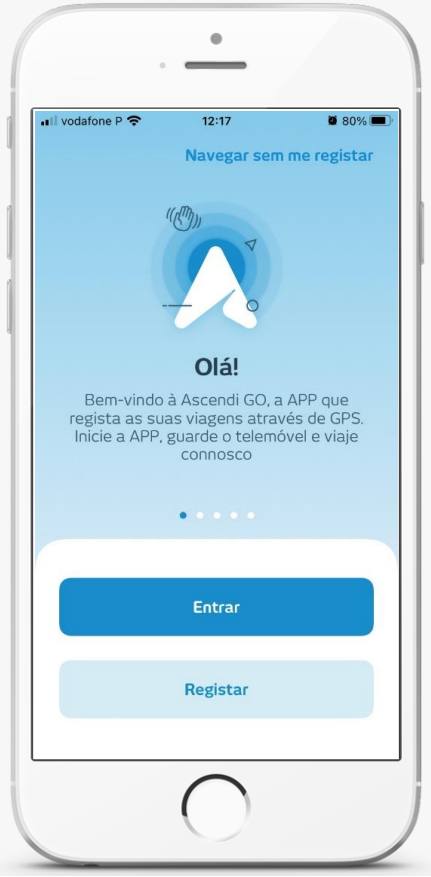
/ **Integração com questionários** para avaliação da satisfação por parte do utilizador;

/ **Envio de notificações** (*push notifications*);

/ ***Text-to-speech*** à passagem por um ponto de cobrança - garantindo a segurança rodoviária;

/ Área de **apoio ao cliente**;

/ **Resiliência** no envio da informação para o *backoffice* (funcionamento offline).



/ 04 PLANO DE COMUNICAÇÃO

/ 00 DESENVOLVIMENTO DO WEBSITE DE APOIO AO PILOTO

/ 01 BETA USERS

/ 02 COLABORADORES ASCENDI e *FRIENDS & FAMILY*

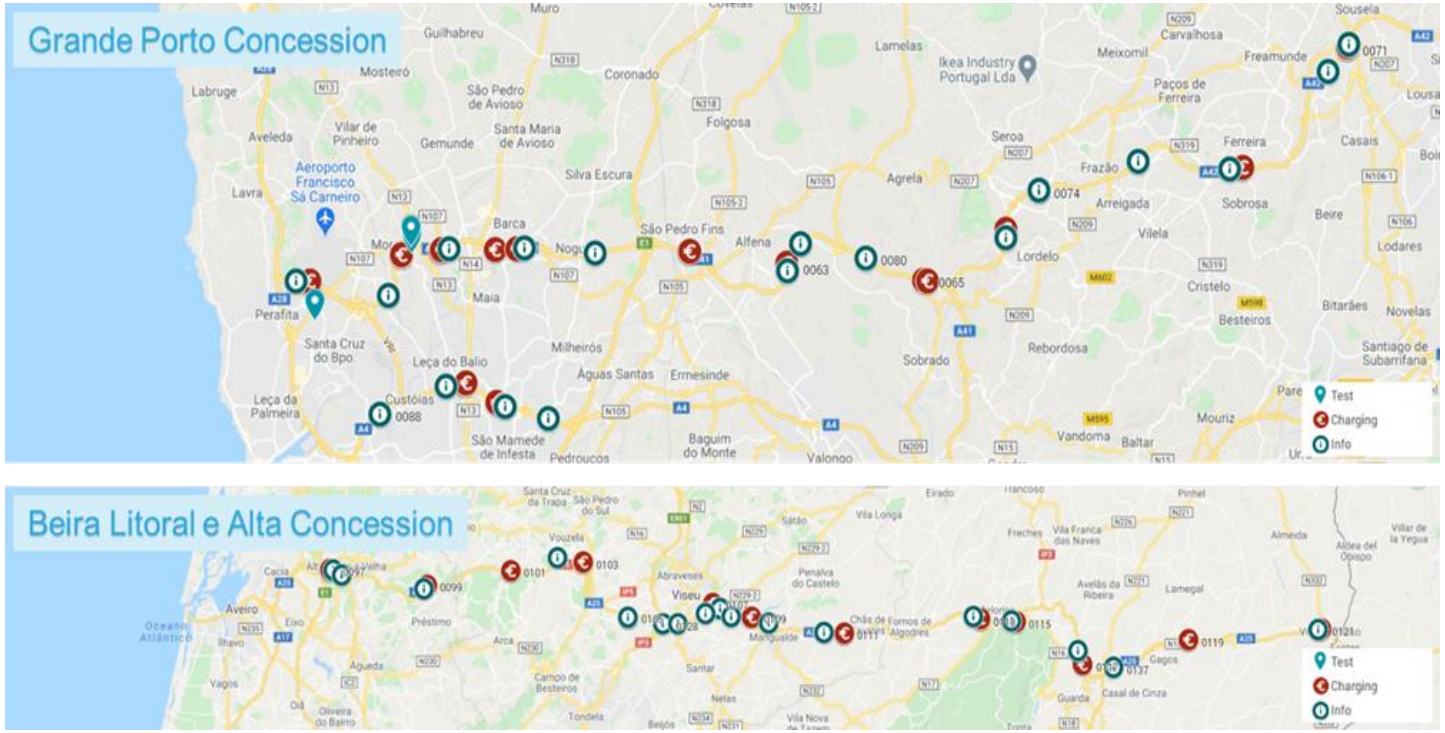
/ 03 DIRECT MAIL

/ 04 CANAIS ASCENDI

/ 05 DIGITAL

/ 06 FOCUS GROUP

/ 05 TESTES



1. Inscrever

/ Inscrição gratuita e obrigatória no site do projeto: https://go.ascendi.pt/

2. Descarregar a APP

ascendi GO

Download on the App Store

GET IT ON Google Play

3. Usar a APP

/ 06 RESULTADOS DO PILOTO

478

Registos no site da campanha

297

Veículos a participar no Piloto

114

Questionários preenchidos

+ 27000

Passagens Virtuais

+ 2000

Downloads iOS

+ 7000*

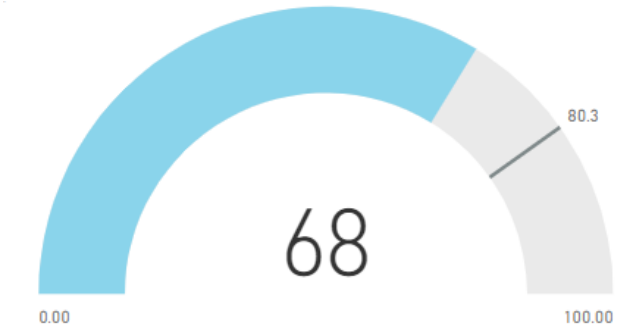
Downloads Android

*das quais +400 de países estrangeiros.

/ 07 PERCEÇÃO DO CLIENTE

SYSTEM USABILITY SCALE

Conjunto de 10 perguntas relacionadas com a usabilidade da aplicação.



Uma pontuação do SUS acima de 68 é considerada acima da média.

NET PROMOTER SCORE

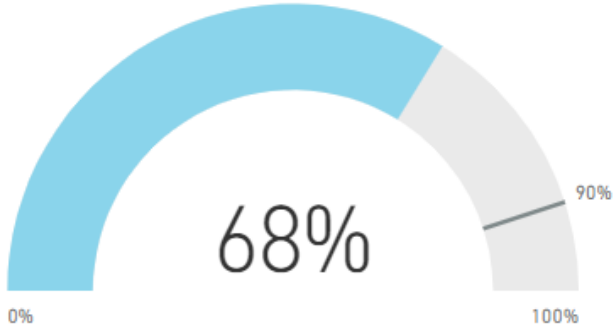
Pergunta “De 1 a 5, quanto recomendaria esta aplicação a amigos e familiares?"

Resultado Ascendi GO

Resultados acima de 0 são tipicamente considerados bons. A média em setores próximos é de 39.

CUSTOMER SATISFACTION

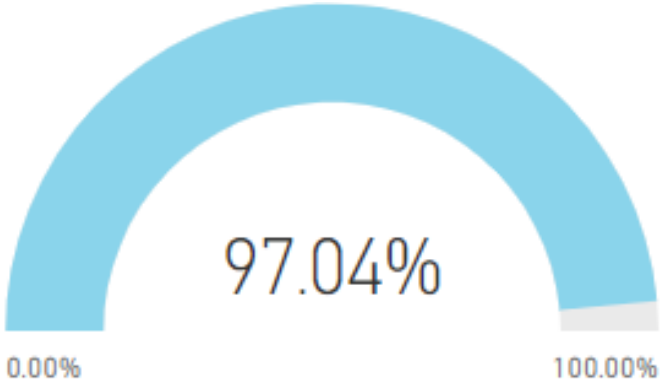
Pergunta “De 1 a 5, quão satisfeito está com a aplicação?”



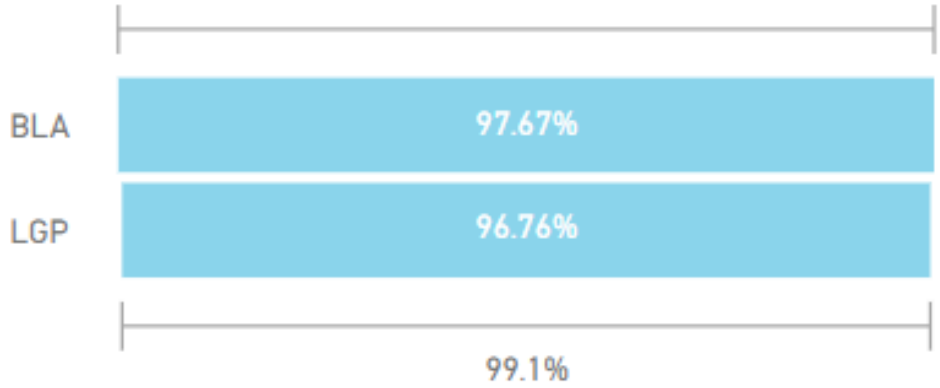
Com uma pontuação de 68%, a Ascendi GO está num nível de satisfação bom.

/ 08 PERFORMANCE TÉCNICA

Performance Técnica do Piloto



Performance Técnica do Piloto por Concessão



/ 09 CONCLUSÕES

/ Apesar da situação pandémica, que se traduziu em menos tráfego nas autoestradas, verificam-se **+ 9.000 downloads** da Ascendi GO e contabilizaram-se quase **500 inscritos** no Piloto;

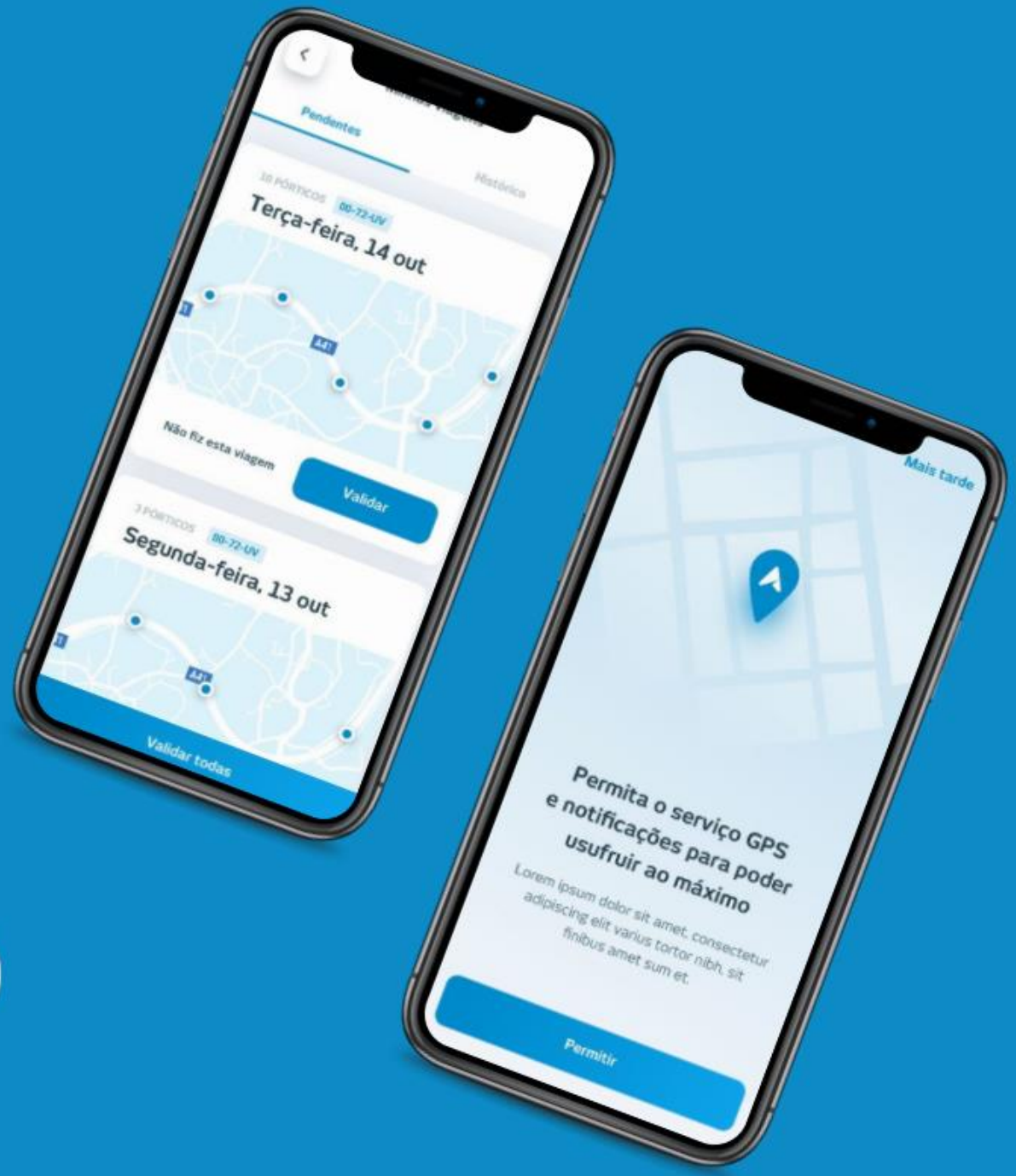
/ De acordo com os resultados da campanha digital e dos *Focus Group* realizados, verifica-se que os utilizadores estão **recetivos** a este tipo de tecnologia e de solução para pagamento de portagens;

/ Do Piloto realizado até à data, pode concluir-se que a Ascendi GO é uma solução **segura** e, incorporando o feedback de utilizadores e eventuais melhorias técnicas, com potencial de entrar no **mercado**;

/ Não têm sido detetadas falhas técnicas relevantes, o que comprova a **fiabilidade** da solução;

/ A funcionalidade de **pagamento é determinante** para o sucesso da solução.

Obrigado!



ascendi GO

CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

Infraestruturas de Portugal

TÉCNICO LISBOA U.PORTO FEUP ENGENHARIA

O potencial valor dos Gémeos Digitais na gestão de ativos rodoferroviários

(trabalho nº 105)

Mobilidade na Era Digital

João Vieira - Infraestruturas de Portugal, S.A. / Instituto Superior Técnico

João Poças Martins (FEUP), Nuno Almeida (IST), Hugo Patrício (IP) e João Morgado (IP)

Investigação sobre o Gémeo Digital

Gémeos Digitais para…

Shift2Rail 2016 - 2023

Europe's Rail >2024

	FUNDRES	locate	In2Stempo
	Sistema de energia	Bogie	Gestão de multidões em estações
...	IN2SMART2 Gestão de ativos ferroviários	IN2SMART2 Abordagem comum	In2Track3 Pontes, Zonas de Transição, Aparelho Mudança Via
			...

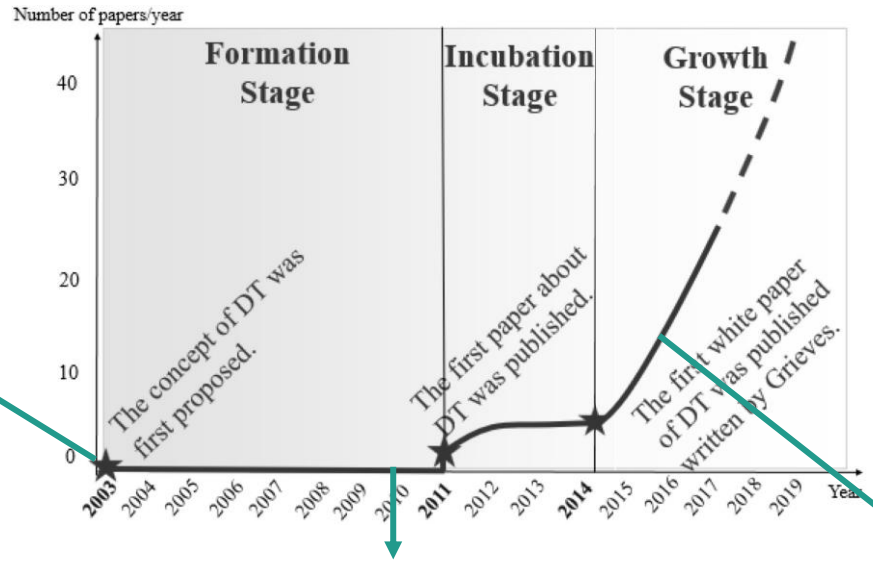
PIARC → Recomendado explorar o **Gémeo Digital** (2021)

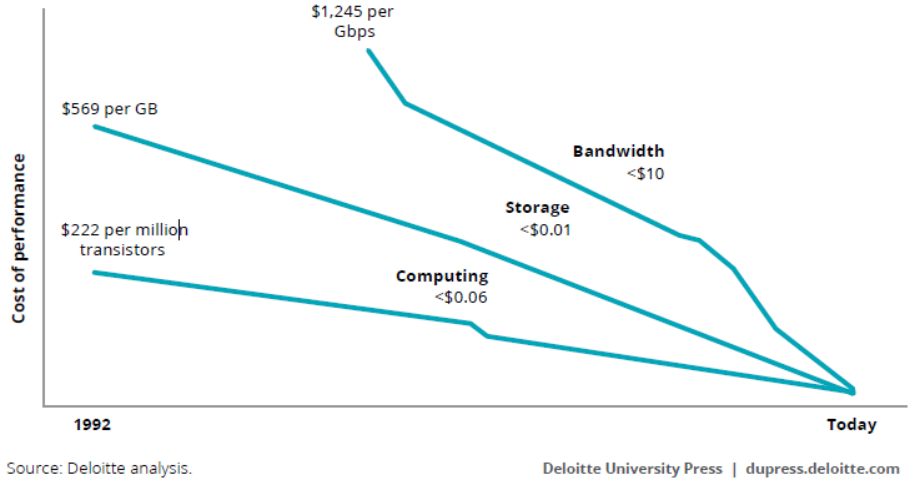
IRF → 1º Webinar sobre **Gémeos Digitais** em rodovia (2022)

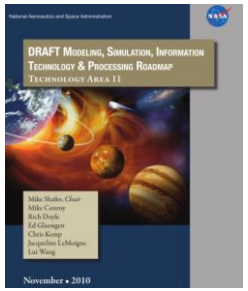
O que é o Gémeo Digital?

Grieves (2002)

Evolução da investigação sobre o DT (Tao *et al*. 2019)







Shafto et al. (2010)

A DT is an integrated multi-physics, multi-scale, probabilistic simulation of a vehicle or system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its flying twin. (…) In addition to the backbone of high-fidelity physical models, the digital twin integrates sensor data from the vehicle's on-board integrated vehicle health management system, maintenance history, and all available historical/fleet data obtained using data mining and text mining. The systems on board the digital twin are also capable of mitigating damage or degradation by recommending changes in mission profile to increase both the life span and the probability of mission success.

- Disseminação da Indústria 4.0

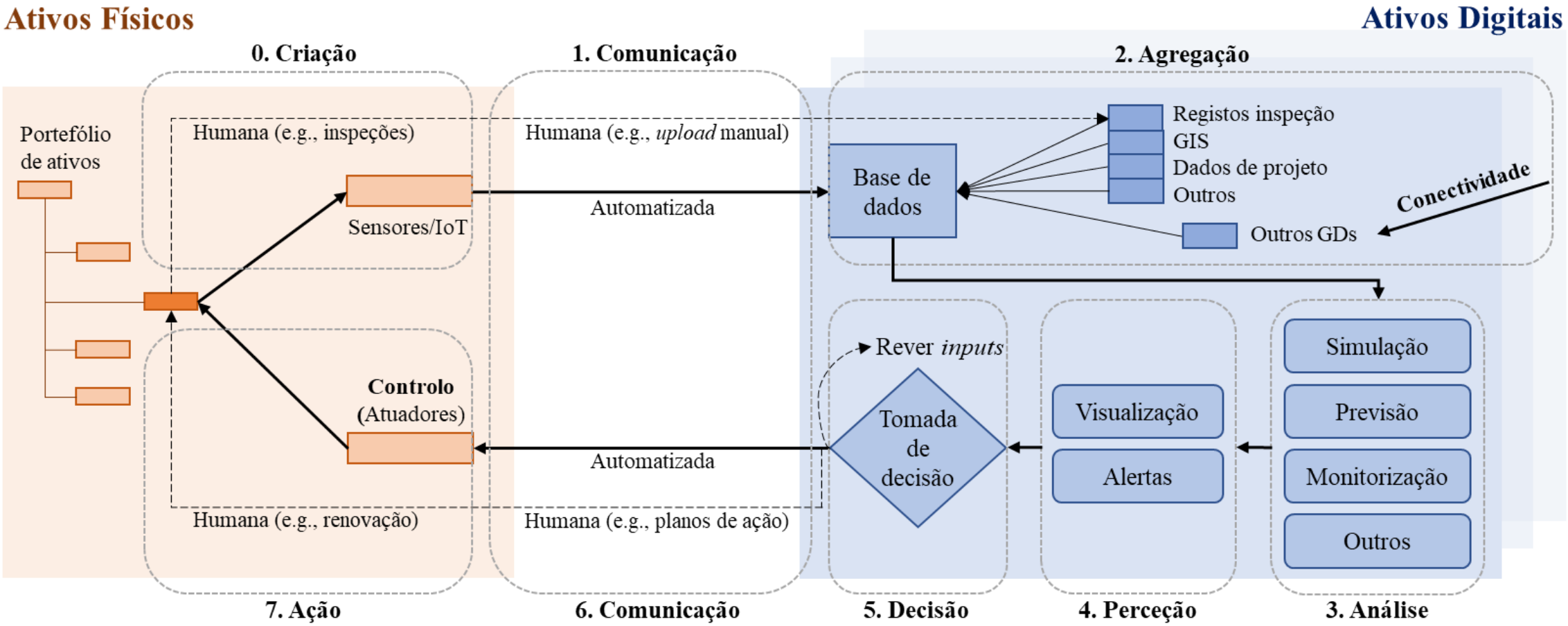
  (IA, IoT, Big Data, *cloud*, RV e RA, 5G, etc.)

- Número crescente de estudos

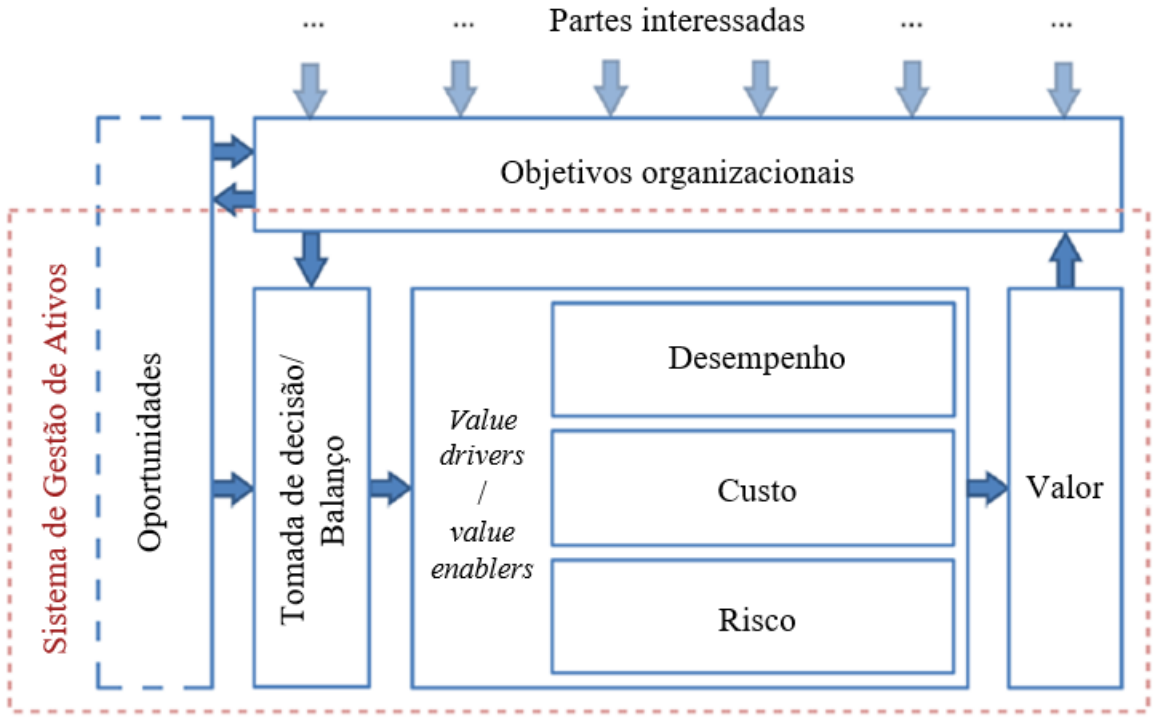
- Diferentes interpretações do conceito

  (BIM = GD ?)

O que é o Gémeo Digital?

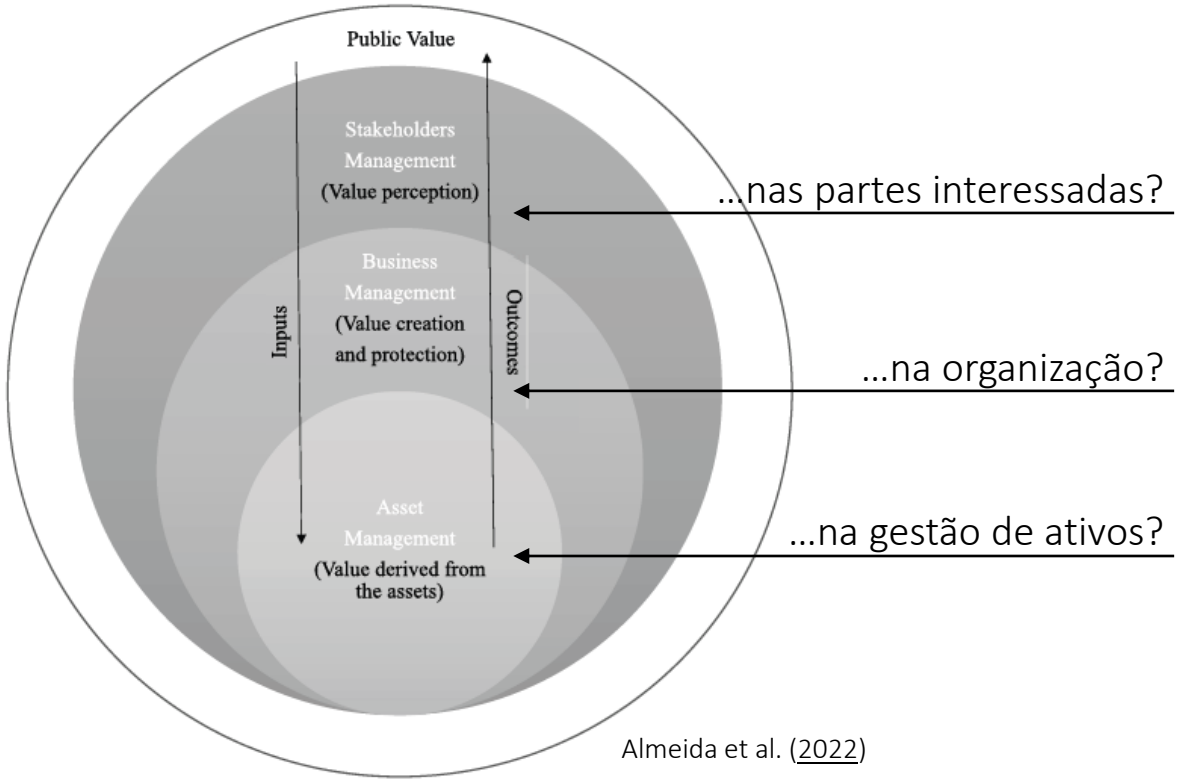


Qual o valor do Gémeo Digital?



GFMAM (2016)

Quais os **impactos** do Gémeo Digital…



Almeida et al. (2022)

Quais os impactos do Gémeo Digital? (metodologia)

Revisão da literatura

1 Norma ISO
16 Reports/White Papers
22 páginas web
28 artigos científicos e teses

67 fontes

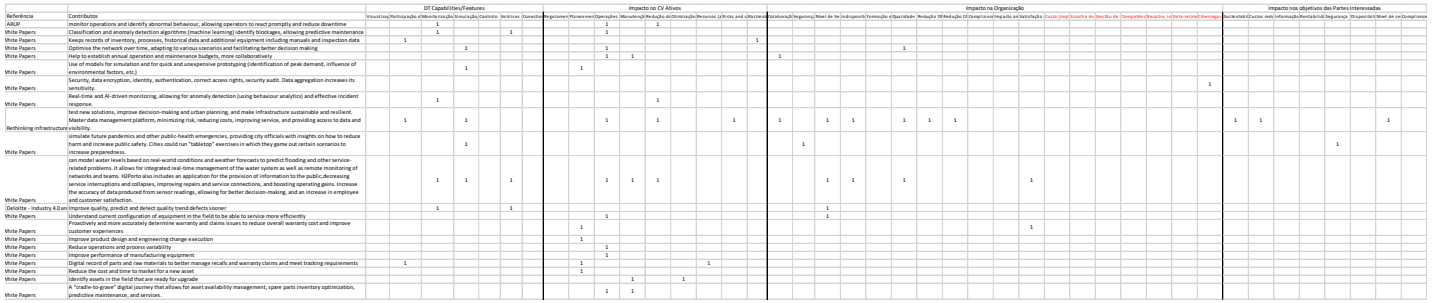
→ **Capacidades** do Gémeo Digital ↔ Impactes na **gestão do ciclo de vida dos ativos** ↔ Impactes na **organização** ↔ Impactes nas **partes interessadas**

Integração e colaboração
Conectividade
Monitorização
Simulação e modelação
Analítica e previsão
Visualização
Controlo

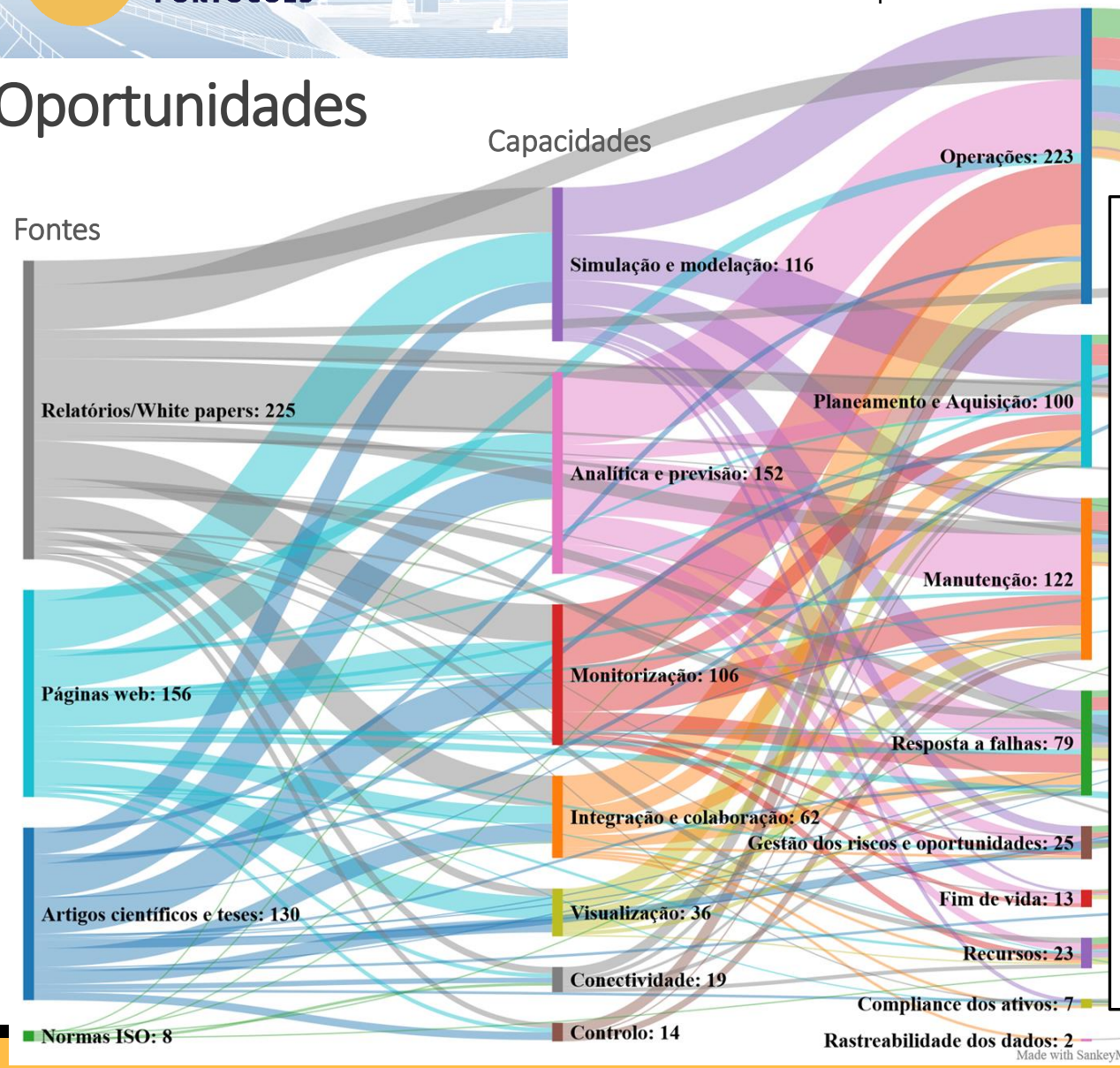
Planeamento e aquisição
Operações
Manutenção
…

Redução OPEX
Redução CAPEX
Dispon. Infraestrutura
…

Custos reduzidos
Nível de serviço
Informação e participação
…

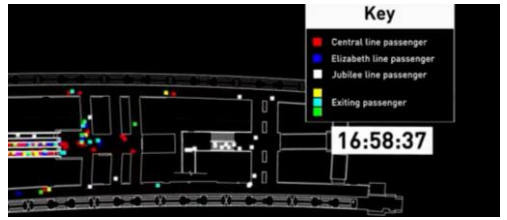


Oportunidades



Exemplos de aplicação

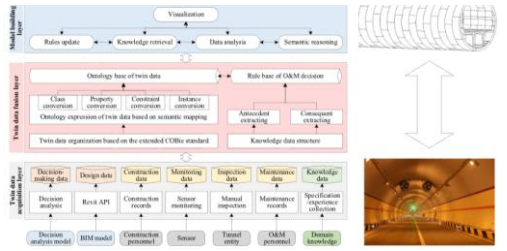
Simulação de movimentos de passageiros
(Bentley.com/Transport for London)



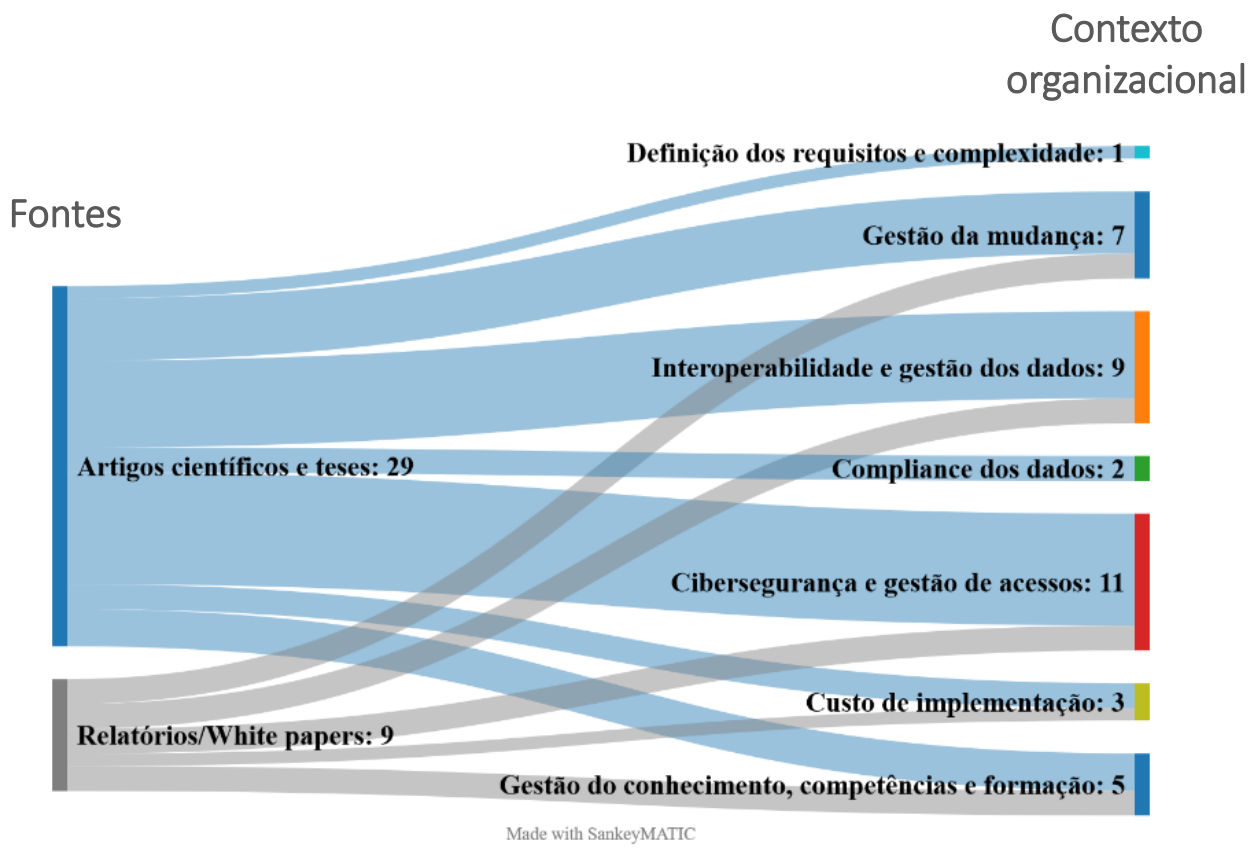
Controlo da qualidade do ar em estações ferroviárias
(Li et al., 2020)

Otimização de horários de exploração da rede ferroviária
(Anylogic)

Manutenção em sistemas de ventilação de túneis
(Yu et al., 2021)



Desafios


Contexto organizacional
Fontes
Definição dos requisitos e complexidade: 1
Gestão da mudança: 7
Interoperabilidade e gestão dos dados: 9
Compliance dos dados: 2
Cibersegurança e gestão de acessos: 11
Custo de implementação: 3
Gestão do conhecimento, competências e formação: 5
Artigos científicos e teses: 29
Relatórios/White papers: 9
Made with SankeyMATIC

CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

Infraestruturas de Portugal

TÉCNICO LISBOA

U.PORTO FEUP ENGENHARIA

Obrigado!

O potencial valor dos Gémeos Digitais na gestão de ativos rodoferroviários

Mobilidade na Era Digital

João Vieira - Infraestruturas de Portugal, S.A.; Instituto Superior Técnico
João Poças Martins (FEUP), Nuno Almeida (IST), Hugo Patrício (IP) e João Morgado (IP)

CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

PLATAFORMA DE VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE COMPONENTES DE SUPORTE À CONDUÇÃO AUTÓNOMA PARA VEÍCULOS INTELIGENTES DO FUTURO

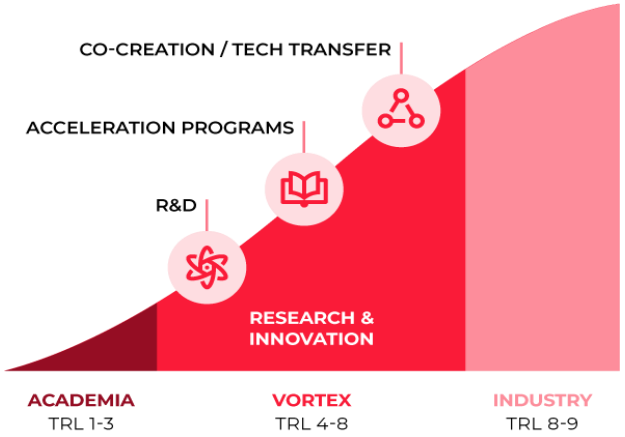
MOBILIDADE NA ERA DIGITAL

André de Matos, VORTEX-CoLab

Daniel Pereira, VORTEX-CoLab
João Silva, VORTEX-CoLab
Nuno Costa, Globalvia
Luís Maia, Globalvia
João Almeida, IT
Emanuel Vieira, IT
Joaquim Ferreira, IT

VORTEX-CoLab

é uma associação portuguesa privada e sem fins lucrativos fundada em 2019



Technology Readiness Level (TRL)

QUEM SOMOS

Uma entidade orientada para a investigação que propõe uma nova forma de interface com a indústria e o meio académico, combinando os pontos fortes de ambas as partes num único ecossistema

A NOSSA MISSÃO

Investigação aplicada, desenvolvimento e transferência de tecnologia de ponta nas áreas de Sistemas Ciber-físicos e Ciber-segurança

VALOR ACRESCENTADO

A capacidade de alimentar mentes brilhantes académicas e descobertas tecnológicas para acelerar a investigação aplicada em provas de conceitos valiosas

OS ASSOCIADOS

Um ecossistema de excelência e investigação

Capgemini engineering · beta-i · CISTER Research Center in Real-Time & Embedded Computing Systems · NOVALINCS · INESCTEC

Consorcio do projeto STEROID

Promotor Líder

- ENESII;
- Responsável pela gestão e coordenação do projeto;
- Contribui no desenvolvimento da plataforma de simulação;
- Desenvolvimento dos mecanismos de Verificação e Validação;

Co-promotor

- ENESII;
- Contribui no desenvolvimento da camada de comunicação e nos pilotos de validação;
- Infraestrutura de validação em ambiente urbano (praia da Barra, Aveiro) e autoestrada (A25, Aveiro).

Co-promotor

- Entidade Empresarial;
- Contribui na implantação de nova infraestrutura;
- Integração e validação dos casos de uso;
- Implementação e execução do demonstrador,
- Concessionário da A4.

Projeto STEROID

Definição dos Casos de Uso

Geração de Cenários

Verificação e Validação

Validação dos Casos de Uso no Ecossistema

Plataforma

A plataforma valida os elementos do Ecossistema e permite um desenvolvimento enxuto e ágil.

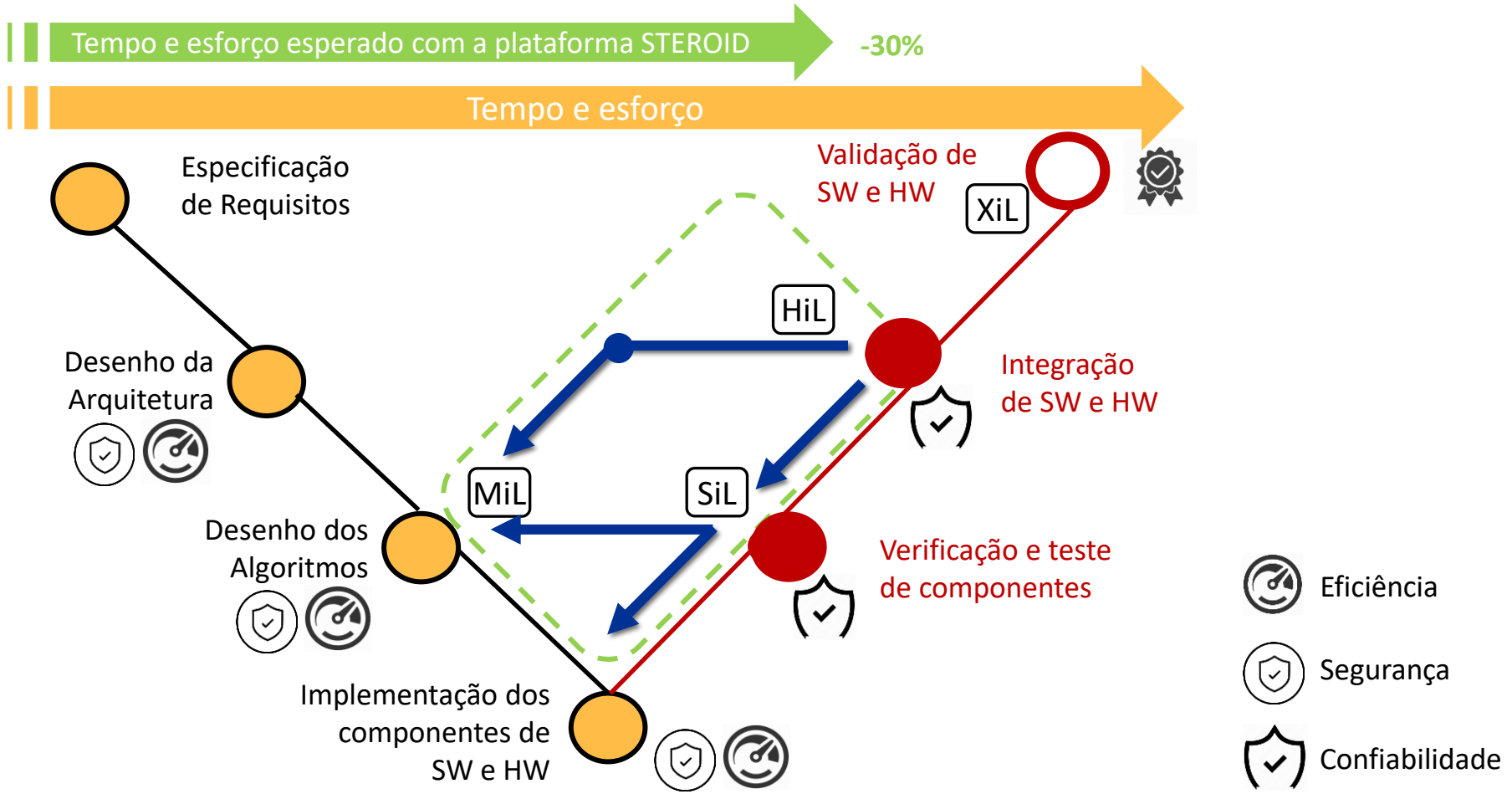
Ecossistema

Os casos de uso tiram proveito da plataforma.

Casos de Uso

Os casos de uso utilizam o ecossistema.

Plataforma STEROID



Plataforma STEROID

Simulador de Condução Autónoma
CARLA

Simulador de Rede
ARTERY

Gestão do Cenário
OpenSCENARIO
OpenDRIVE

Protótipo

Plataforma

Camada Física (HiL)

RSUs
OBUs

ITS G5
C-V2X

Banco de ensaio em laboratório
(ambiente controlado)

Banco de ensaio no terreno
(ambiente relevante)

Em construção

Camada de Co-Simulação

AGENTES

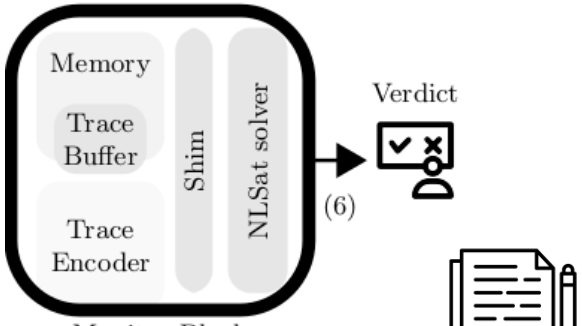
Veículos
Peões
RSUs

fmi Functional Mock-Up Interface

ASAM OSI

Em Publicação

Verificação e Validação

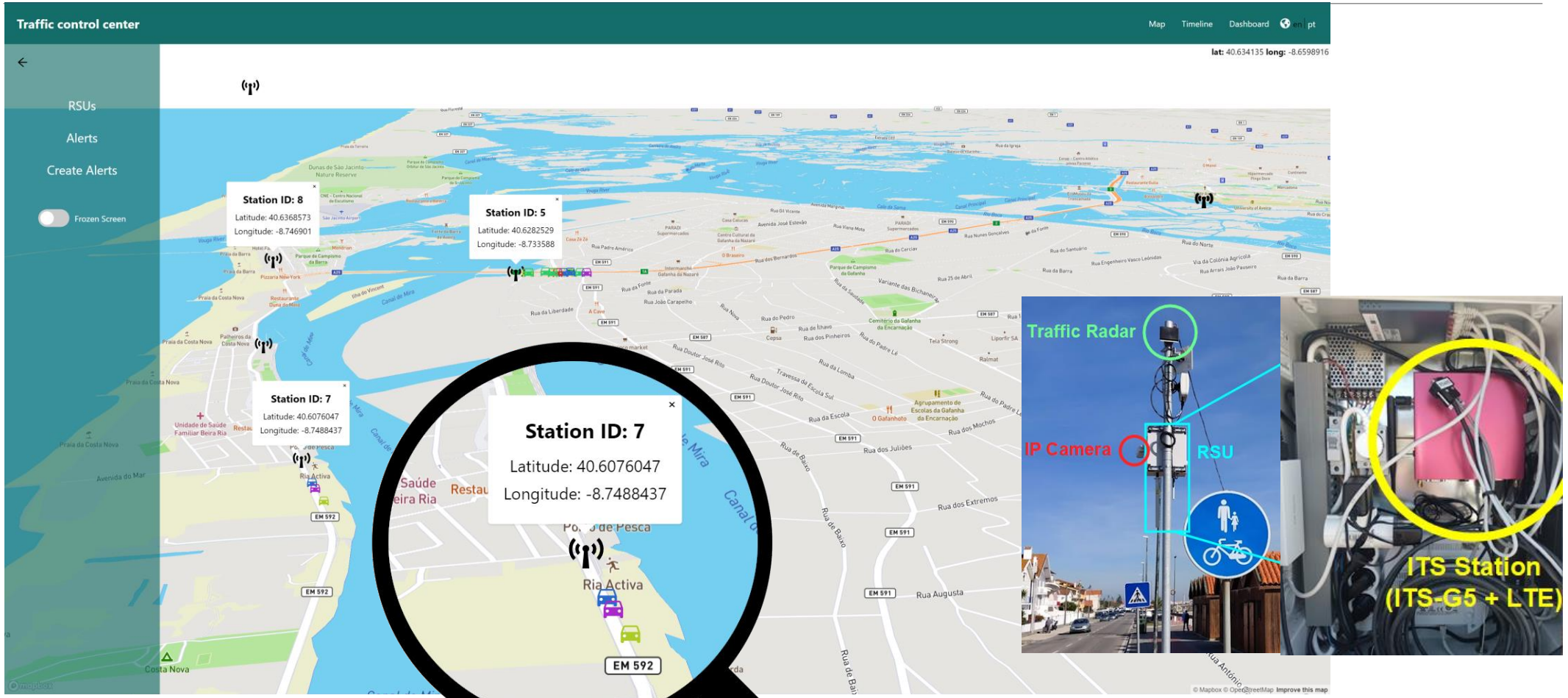


Publicado

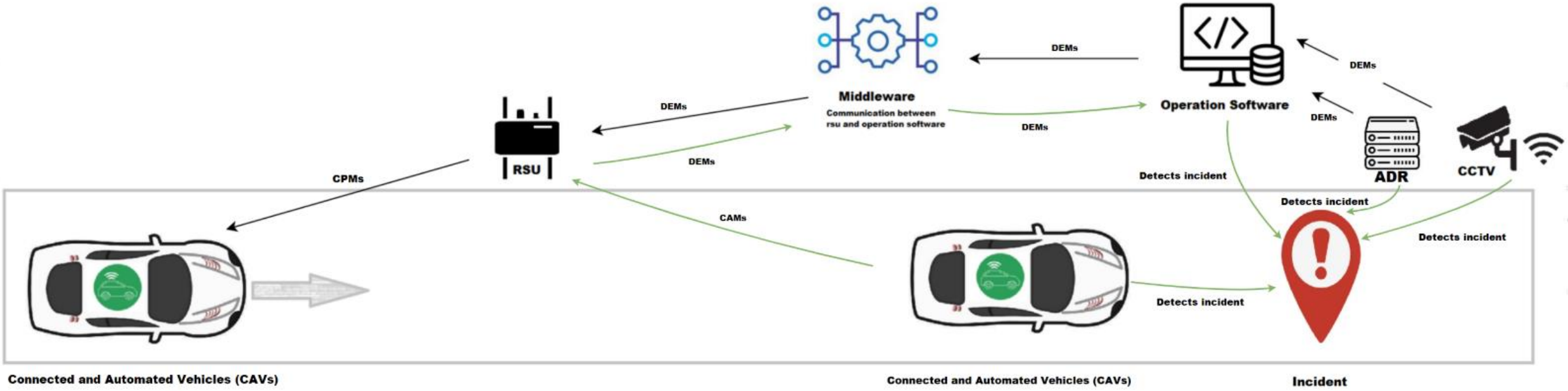
Possibilita a Iteração

Aumenta a Segurança

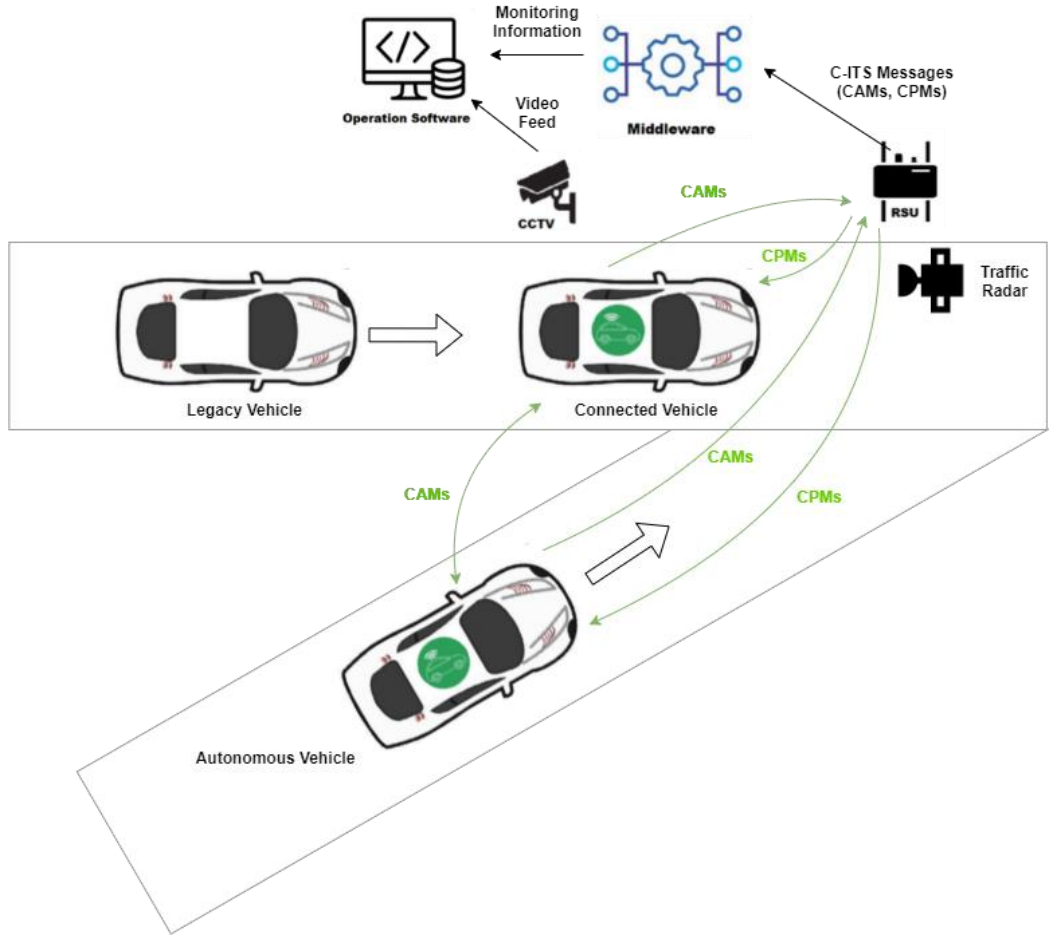
Ecossistema STEROID



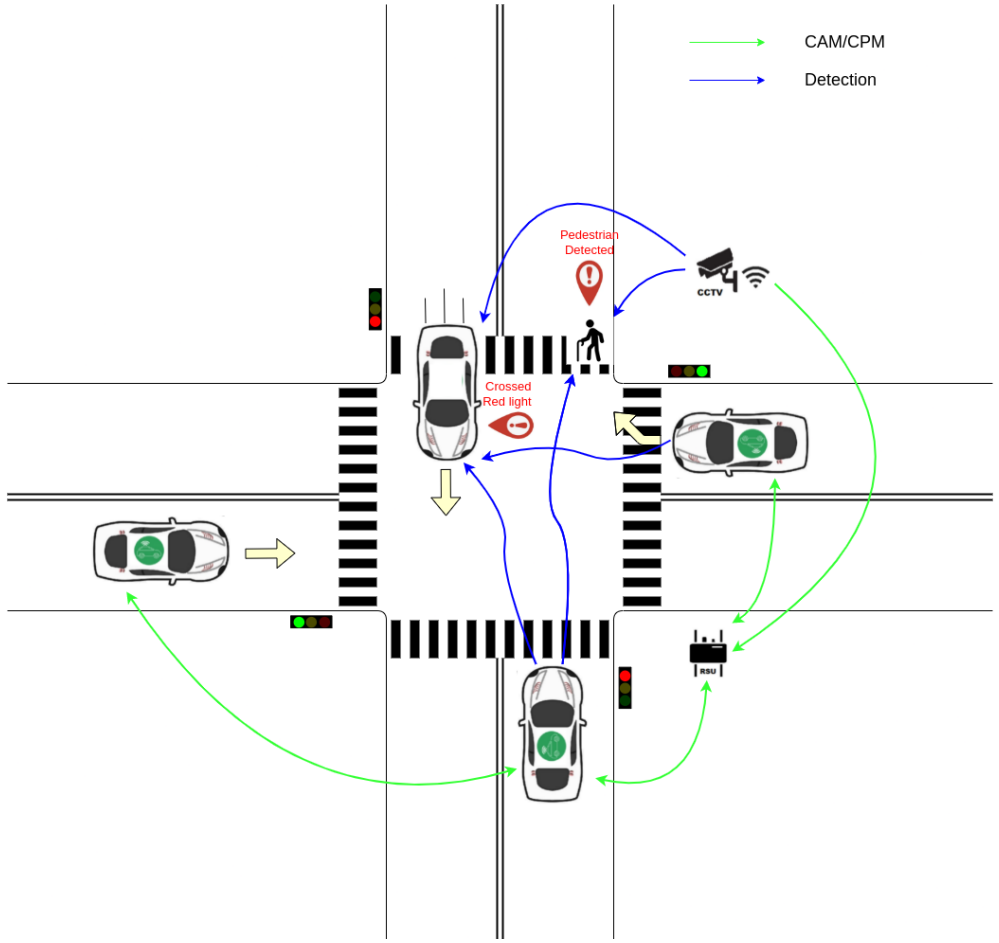
Caso de uso em Incidentes Rodoviários



Caso de uso em Junção de Via

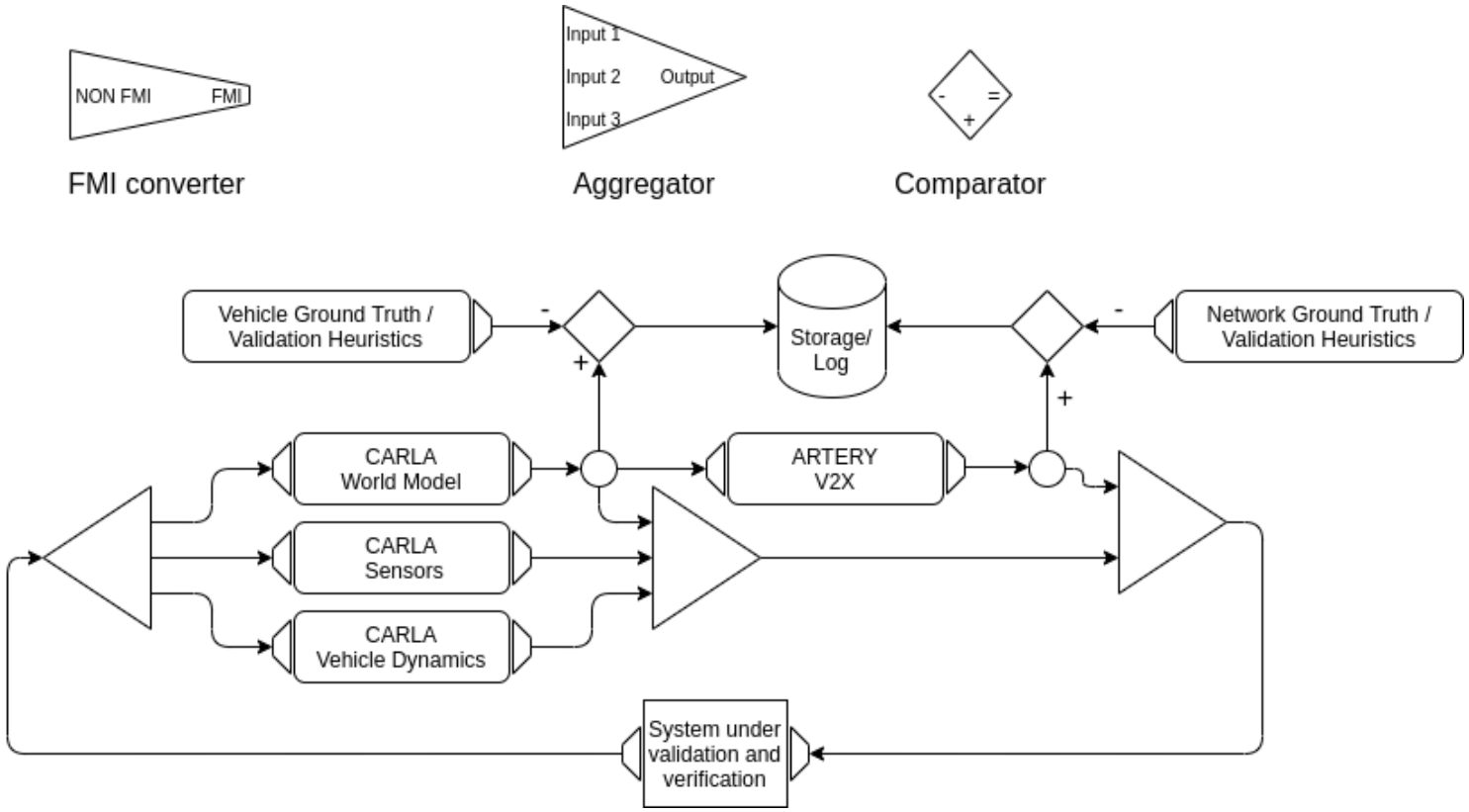


Caso de uso em Interseção Urbana



Conclusões e trabalho futuro

- Ecossistema a funcionar em meio urbano e autoestrada;
- 5 artigos em revista e conferencias especializadas internacionais já publicados;
- Verificação como meio de redução dos custos (de até 30%);
- Validação através de co-simulação para o aumento do nível de segurança;
- Continuação da implementação da componente de co-simulação;
- Continuação da implementação da componente de HiL;
- Extensão do ecossistema.



CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

PLATAFORMA DE VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE COMPONENTES DE SUPORTE À CONDUÇÃO AUTÓNOMA PARA VEÍCULOS INTELIGENTES DO FUTURO

Obrigado!

MOBILIDADE NA ERA DIGITAL

André de Matos, VORTEX-CoLab

Daniel Pereira, VORTEX-CoLab
João Silva, VORTEX-CoLab
Nuno Costa, Globalvia
Luís Maia, Globalvia
João Almeida, IT
Emanuel Vieira, IT
Joaquim Ferreira, IT

CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

A DIGITALIZAÇÃO DE ESTRUTURAS E PROCESSOS NAS INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTE

Ionut Dragos Moldovan, José Neves, Manuel Parente, António Gomes Correia

MOBILIDADE NA ERA DIGITAL

José Neves, CERIS, Instituto Superior Técnico, ULisboa

Tópicos

1_Enquadramento e objetivo

2_Caracterização dinâmica de geomateriais

3_Monitorização de obras de arte

4_Modelação BIM em vias de comunicação

5_*Digital Twins* de processos construtivos

6_Conclusões

1_Enquadramento e objetivo

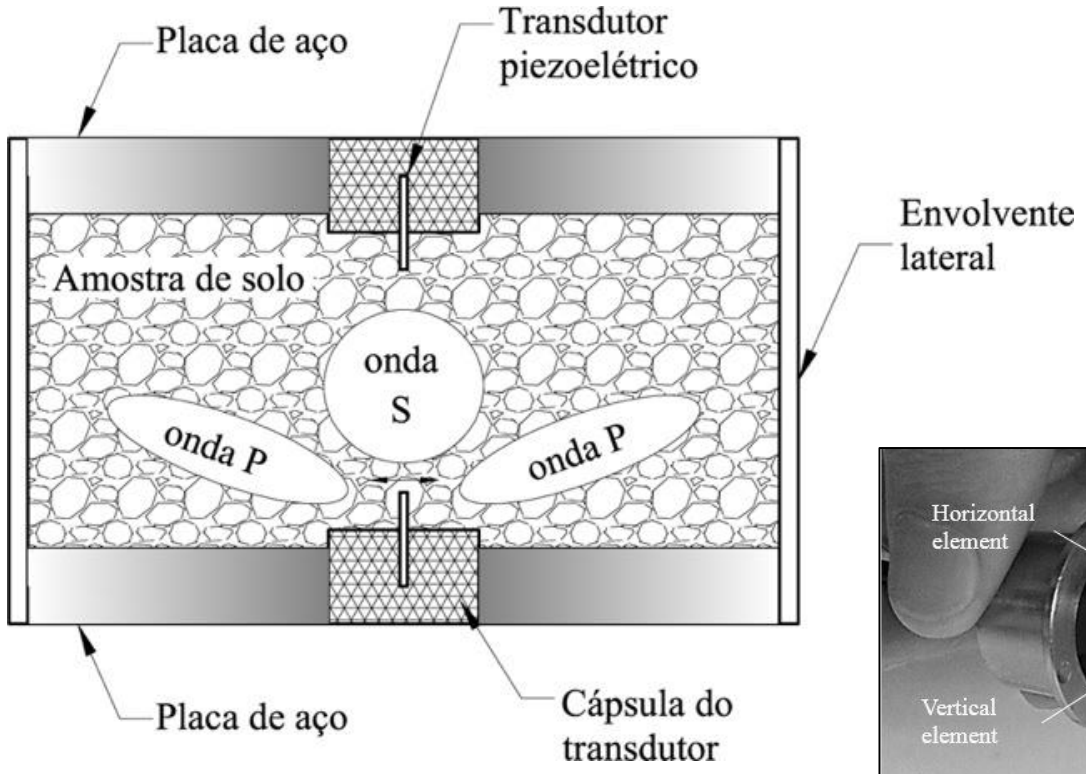
Construção 4.0 e 5.0
Desenvolvimentos tecnológicos
Digitalização de estruturas e processos

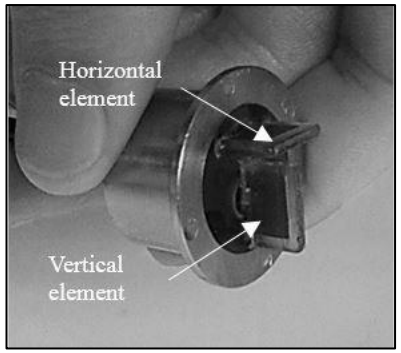
OBJETIVO

Apresentar uma compilação de processos e casos de estudo desenvolvidos em contexto nacional que pretendem ilustrar o potencial da implementação dos conceitos relacionados com a Construção 4.0 e 5.0

2_Caracterização dinâmica de geomateriais

Ensaios com transdutores piezoelétricos





Conceito

- Gerar uma onda de corte (S)
- Ler a chegada da onda S ao extremo oposto do provete
- Obter a velocidade da onda S
- Calcular o módulo de corte G_0

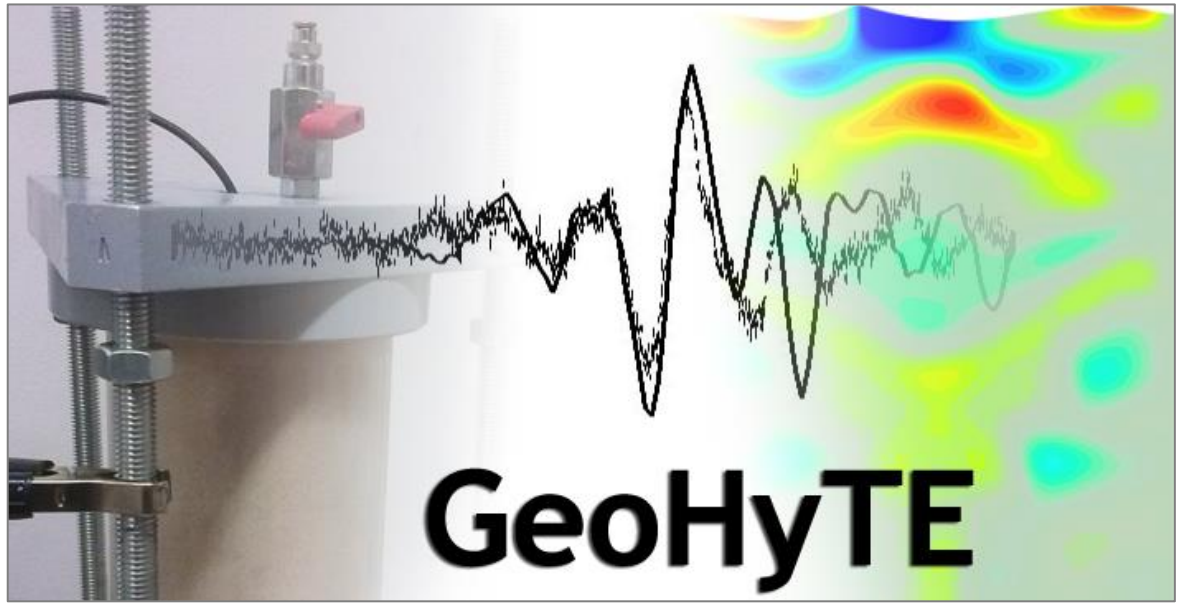
Vantagens e desvantagens

✓ Baratos, fáceis de utilizar, instalação flexível

× Sinal de saída difícil de interpretar

2_Caracterização dinâmica de geomateriais

Interpretação automática do sinal de saída

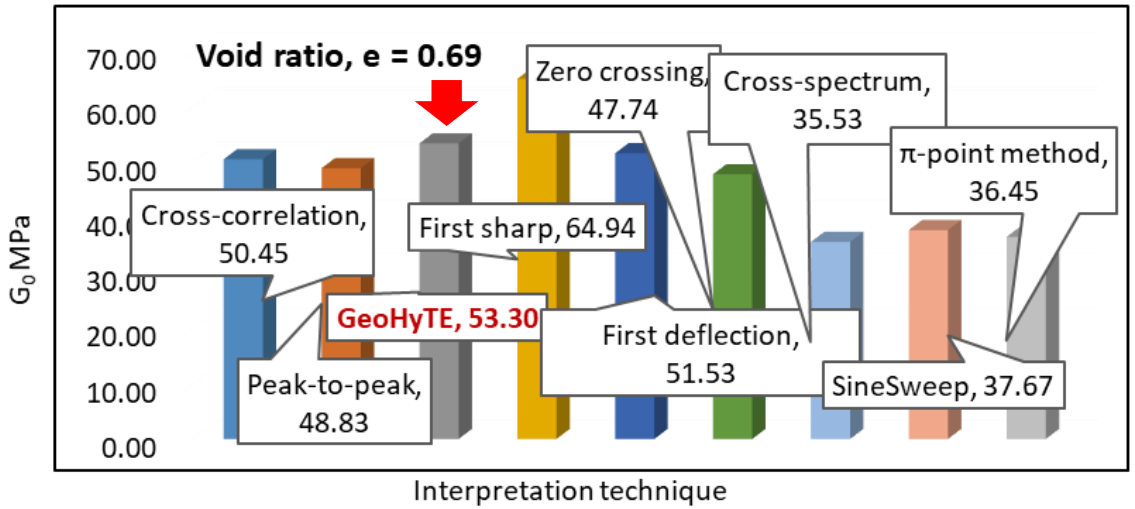


Conceito

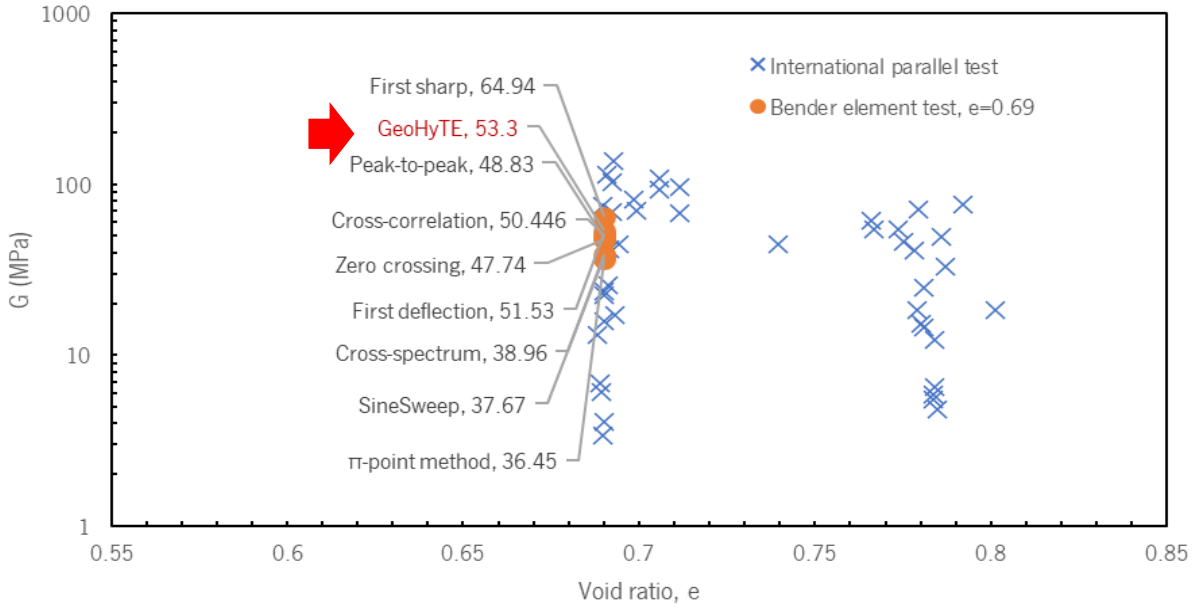
- Utilizar modelos numéricos para simular a propagação da onda de corte
- Correlacionar os sinais de saída numérico e experimental
- Obter o módulo de corte que maximiza a correção
- GeoHyTE: software para interpretação automática
- Interpretação *objetiva* e *fisicamente consistente*
- Fácil utilização através de interfaces gráficas
- Resultados consistentes com técnicas de interpretação convencionais

2_Caracterização dinâmica de geomateriais

Interpretação automática do sinal de saída



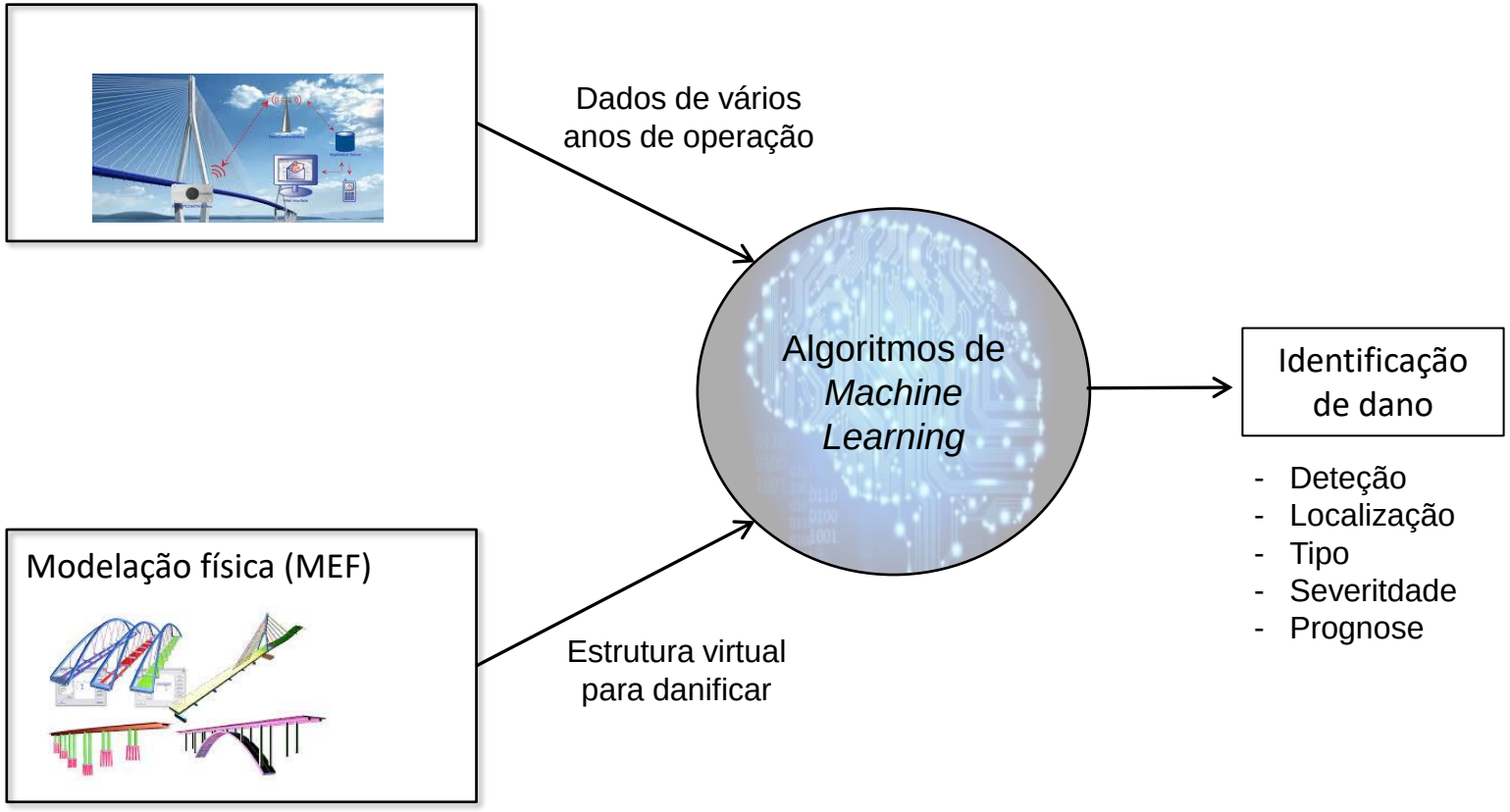
Comparação dos resultados (G_0) obtidos com GeoHyTE e técnicas convencionais



Comparação com resultados de referência*

3_Monitorização de obras de arte

Monitorização de integridade estrutural



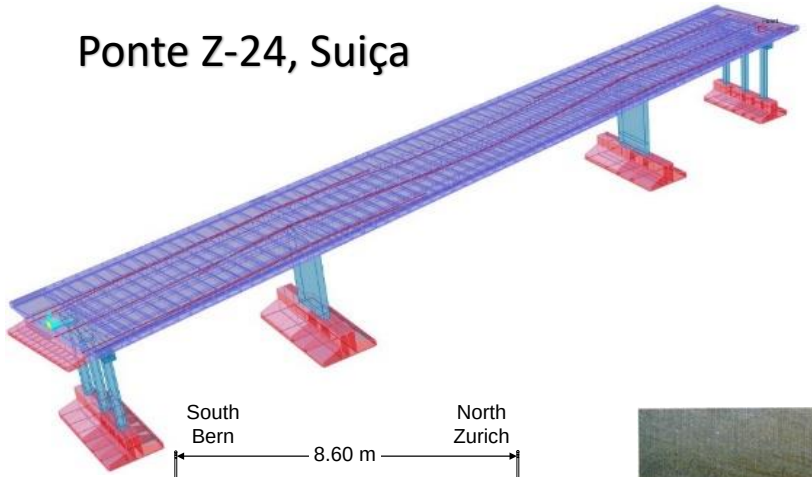
Abordagem híbrida

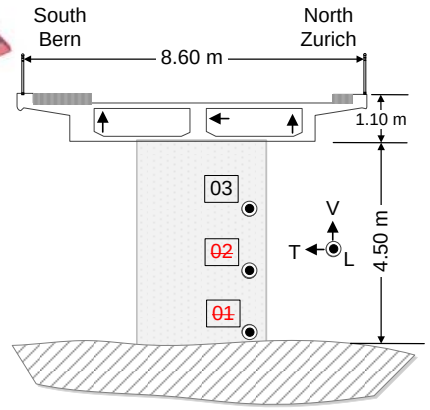
- Utilizar modelos numéricos para simular danos típicos
- Observações do comportamento da estrura danificada
- Aprendizagem supervisionada
- Avanço na hierarquia da identificação de dano – além da *deteção*

3_Monitorização de obras de arte

Monitorização de integridade estrutural

Ponte Z-24, Suiça



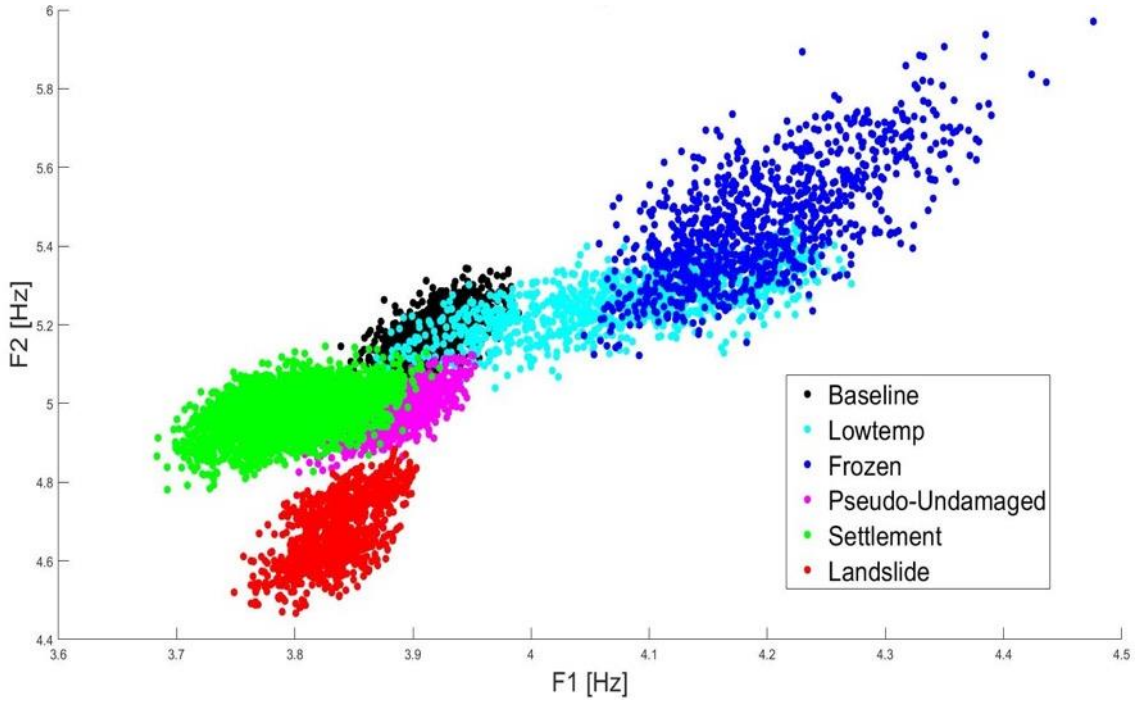


Modelos probabilísticos de elementos finitos

- Sem dano
  - Temperaturas normais (*baseline*)
  - Temperaturas baixas
  - Temperaturas gélidas
- Com dano
  - Macacos instalados (*pseudo-undamaged*)
  - Assentamentos de fundação (20-95 mm)
  - Deslizamento de terra

3_Monitorização de obras de arte

Monitorização de integridade estrutural



Problema: os grupos correspondentes a diferentes condições estruturais estão sobrepostos

Solução: *soft clustering*

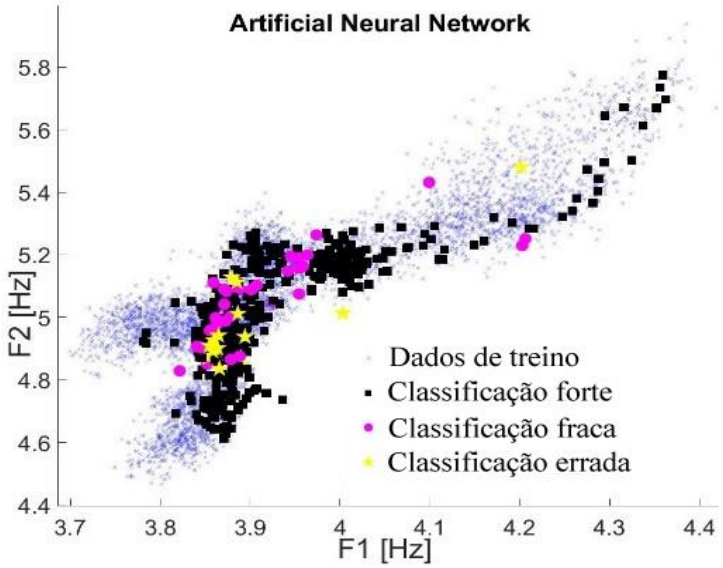
- Permitir que uma observação pertença a vários grupos
- Devolver a probabilidade de uma observação pertencer a esses grupos

Classificação:

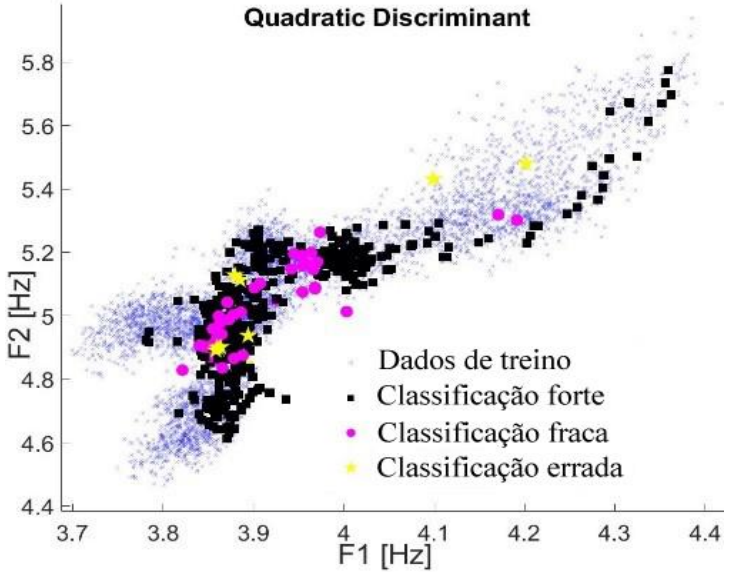
- Forte: a probabilidade da condição correta é a mais alta
- Fraca: a probabilidade da condição correta é a 2ª mais alta, mas acima de um limite
- Errada: nenhuma das outras

3_Monitorização de obras de arte

Monitorização de integridade estrutural



Classificação forte	89%
Classificação fraca	7%
Classificação errada	4%



Classificação forte	89%
Classificação fraca	9%
Classificação errada	2%

4_Modelação BIM em Vias de Comunicação

Modelação 3D

Caso de estudo relativo a obra ferroviária (renovação)

Modelo 3D da via-férrea criado em Revit ®

Modelo bidimensional (2D)

Modelo tridimensional (3D)

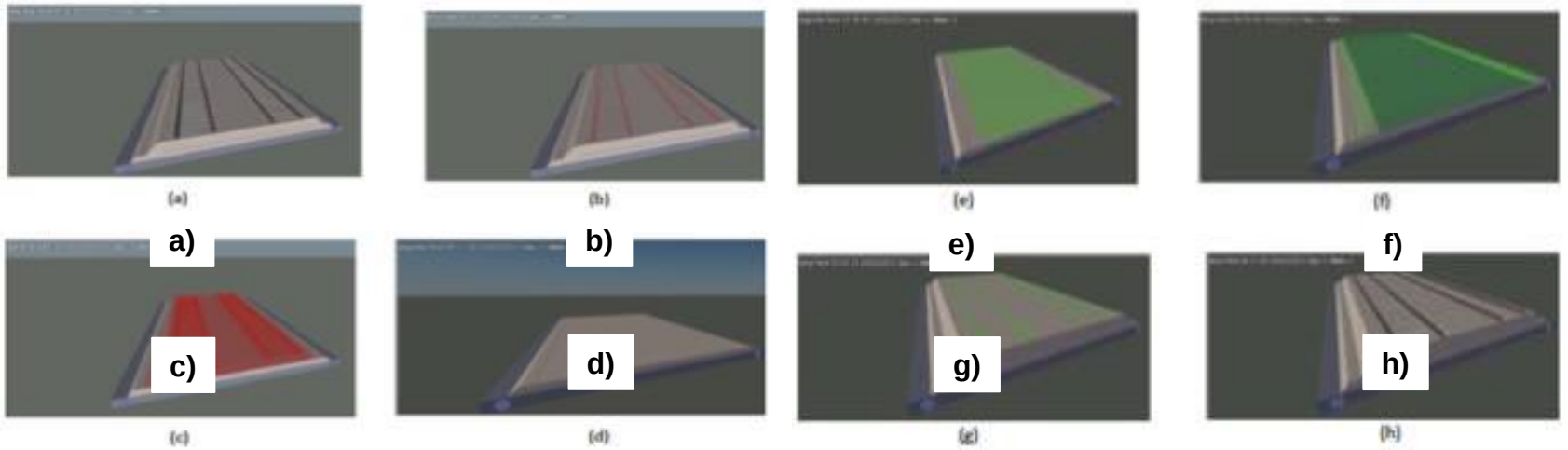
Infraworks ®
Civil 3D ®
Revit ®

- Interoperabilidade
- Famílias de objetos paramétricos

4_Modelação BIM em Vias de Comunicação

Modelação 4D

Modelação do processo construtivo



a) antes da renovação
b) substituição da via
c) desguarnecimento do balastro
d) Subestrutura
e) aplicação do geotêxtil e geogrelha
f) colocação de balastro e ataques de enchimento
g) ataques mecânicos
h) via renovada

Modelo 4D criado em Naviswork®

5_*Digital Twins* de processos construtivos

Casos de estudo

Aplicação à pavimentação rodoviária

Sistema de **otimização "preditiva",** cujo objetivo é encontrar **soluções ótimas** (tempo vs. custo) e realizar **análise de cenários** nas fases de planeamento

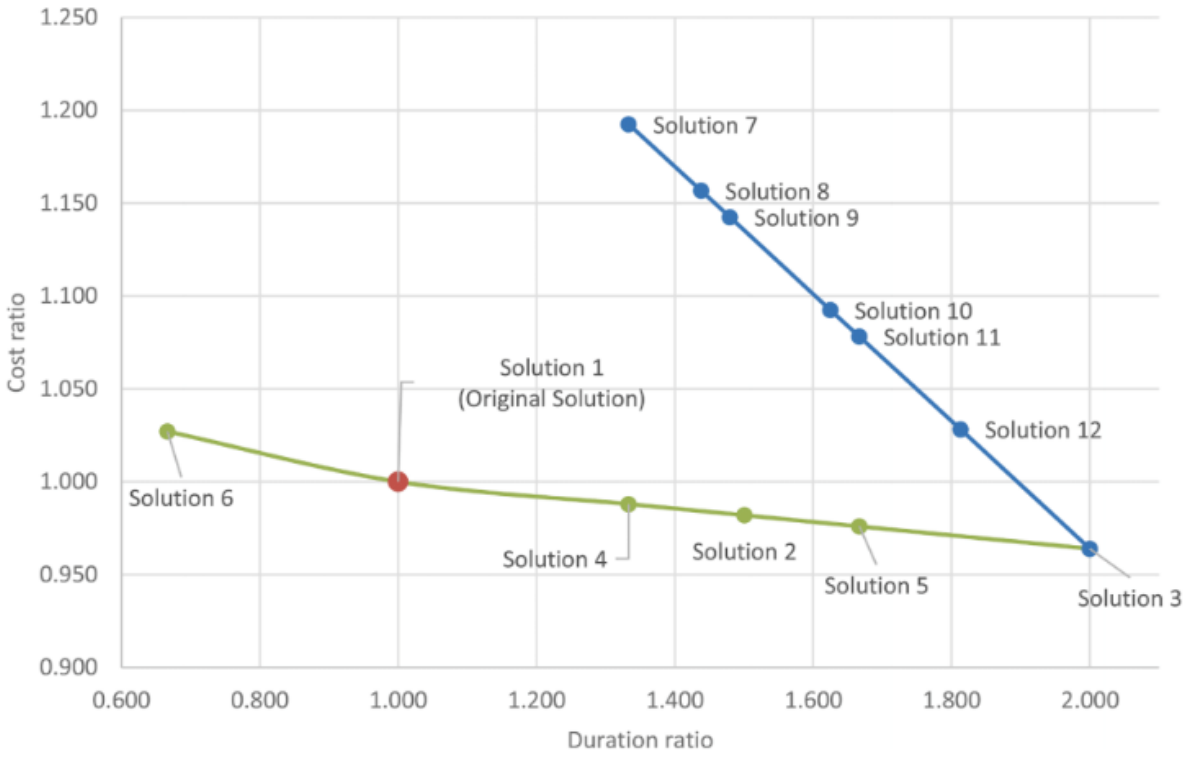
Aplicação às terraplenagens

Sistema de **otimização "reativa",** capaz de reagir a alterações das condições de trabalho dos equipamentos (e.g., reduções na produtividade, avaria de máquinas) **durante a obra** e **sugerir ajustes às soluções de alocação de recursos** de maneira a garantir que os trabalhos continuam em **condições ótimas** (tempo vs. custo) ao longo do tempo.

➡ Implica a implementação prévia de uma plataforma *Internet of Things* (IoT)

5_*Digital Twins* de processos construtivos

Aplicação à pavimentação rodoviária



Soluções resultantes do algoritmo de otimização

Soluções 1-3

Condições e restrições coincidentes com as reais/originais do projeto em si (solução 1 corresponde à adotada pela equipa de planeamento)

Soluções 4-6

Soluções encontradas num cenário em que há disponibilidade de um recurso de pavimentação (i.e. pavimentadora) adicional (e.g., solução 6 seria ~25% mais rápida e apenas ~3% mais cara)

Soluções 7-12

Cenário em que, por qualquer razão (e.g., avaria de equipamentos), não existem equipamentos de transporte (i.e., camiões de transporte de mistura betuminosa) suficientes para apoiar todas as pavimentadoras ativas (restrições de quantidade de recursos)

5_*Digital Twins* de processos construtivos

Aplicação à pavimentação rodoviária

Torna-se possível pela combinação de um **sistema de otimização** semelhante ao da pavimentação e uma **plataforma IoT**, conseguida pela implementação/instalação de sensores nos recursos mecânicos (i.e., escavadoras, camiões/dumpers, bulldozers e compactadores de solos):

- **Geolocalização, velocidade, inclinação e status (active vs. idle):** GNSS, acelerómetros e giroscópios.
- **Peso:** Sensores hidráulicos e rotativos (escavação); sensor de distância linear na suspensão (transporte).
- **Consumo de combustível:** CAN interface, ou estimativa por modelo de previsão (*machine learning*).
- **Condições ambientais:** Termómetro, higrómetro e sensor atmosférico, anemómetro.

5_*Digital Twins* de processos construtivos

Aplicação às terraplenagens

A certo ponto, durante a fase de construção de projetos de terraplenagens, é comum haver casos em que a produtividade dos equipamentos é inferior à produtividade prevista originalmente em fase de projeto

Neste caso, assume-se que **a produtividade dos cilindros do tipo V4 diminui para cerca de metade**, situação que resulta num **aviso imediato** por parte do sistema de monitorização/otimização, juntamente com a **quantificação das consequências dessa ocorrência** (i.e., quantificação do atraso na execução da obra associado)

Produtividade prevista dos cilindros de compactação em fase de projeto

Roller type	Soil A1	Soil C2A1
V3	614.25	393.75
V4	1055.25	683.55

Produtividade real dos cilindros de compactação durante a obra

Roller type	Soil A1	Soil C2A1
V3	614.25	393.75
V4	525	300

[m^3/h]

5_*Digital Twins* de processos construtivos

Aplicação às terraplenagens

No seguimento da ocorrência imprevista e da quantificação das consequências (i.e. atraso de ~16h e aumento de custos de ~17,000 €), o sistema procurou **novas soluções ótimas** tendo em conta as **novas condições de trabalho**, tendo em vista a mitigação do problema.

Uma das novas soluções de alocação dos recursos obtidas foi capaz de **reduzir o atraso** para apenas 3h, **mantendo um custo** semelhante ao original.

	Solução obtida durante o planeamento (otimização preditiva)	Consequência em tempo vs. custo da ocorrência imprevista (redução de produtividade)	Valores associados à nova solução resultante da re-otimização dos recursos
Tempo (h)	60	76	63
Custo (€)	47622.79	64688.58	48759.78
RAD*	-	-	34

Re-*Allocation Disruption* - valor indicativo da quantidade de alterações necessárias à alocação das máquinas para obter a nova solução em comparação com a solução anterior (i.e., "custo" de realocar as máquinas a frentes de trabalho diferentes das atuais)

6_Conclusões

- ✓ O artigo pretendeu salientar a importância da investigação e desenvolvimento sobre a **digitalização de estruturas e processos** nas infraestruturas de transporte
- ✓ A **caracterização dinâmica de geomateriais** foi possível com base em transdutores piezoelétricos e e com a utilização de ferramenta computacional inovadora – GeoHyTE
- ✓ Foi demonstrada a vantagem da utilização de uma abordagem híbrida à **monitorização da integridade estrutural de obras de arte** com base em algoritmos de *Machine Learning*
- ✓ A importância da **metodologia BIM** e da sua aplicação às infraestruturas de transportes foi demonstrada da criação de modelos 3D e 4D numa obra ferroviária (caso de estudo)
- ✓ Os ***Digital Twins*** de processos construtivos na sua aplicação a obras de pavimentação rodoviárias e de terraplenagens permitiu a busca de soluções ótimas de alocação de recursos mecânicos em fase de planeamento e em fase de obra, respetivamente

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito do Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia (ISISE) e do Centro de Investigação e Inovação em Engenharia Civil para a Sustentabilidade (CERIS), referência UIDB/04029/2020 e UIDB/04625/2020, respetivamente, e através do projeto de investigação CEN-DynaGEO, referência PTDC/EAM-GTC/29923/2017.

CENTRO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

10º CRP CONGRESSO RODOFERROVIÁRIO PORTUGUÊS

A DIGITALIZAÇÃO DE ESTRUTURAS E PROCESSOS NAS INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTE

Ionut Dragos Moldovan, José Neves, Manuel Parente, António Gomes Correia

Muito obrigado!