

RESILIÊNCIA DAS INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTES TERRESTRES – DESAFIOS DO FUTURO

Francisco Ganhão¹, Margarida Rosado² e Eduardo Nabais³

¹ Infraestruturas de Portugal, SA, Departamento de Estudos e Inovação – Unidade de Inovação, Praça da Portagem 2809-013, Almada, Portugal

email: francisco.ganhão@infraestruturasdeportugal.pt <http://www.infraestruturasdeportugal.pt>

² Infraestruturas de Portugal, SA, Departamento de Segurança Rodoviária – Unidade de Segurança Rodoviária, Praça da Portagem 2809-013, Almada, Portugal

³ Infraestruturas de Portugal, SA, Departamento de Segurança Rodoviária – Unidade de Segurança Rodoviária, Praça da Portagem 2809-013, Almada, Portugal

Sumário

A IP participou no projeto europeu do Horizonte 2020, SAFEWAY. O principal objetivo do SAFEWAY foi conceber, validar e implementar métodos holísticos, ferramentas e intervenções técnicas para aumentar significativamente a resiliência das infraestruturas de transporte, reduzindo a vulnerabilidade de risco e reforçando a rede em eventos extremos.

Este artigo, tem como objetivo partilhar os desenvolvimentos realizados e os métodos utilizados para a obtenção dos resultados alcançados e evidenciar os principais aspetos influenciadores na operação da IP. A identificação de caminhos a seguir para o incremento das condições de exploração das infraestruturas terrestres é um desafio que deverá ser explorado.

Palavras-chave: Projeto SAFEWAY, resiliência, infraestruturas, eventos extremos.

1 INTRODUÇÃO/ENQUADRAMENTO

As alterações climáticas têm vindo a ser identificadas como uma das maiores ameaças ambientais, sociais e económicas que o planeta e a humanidade enfrentam na atualidade.

A Convenção-Quadro das Nações Unidas relativa às Alterações Climáticas (CQNUAC) e as negociações em curso sobre o regime climático têm como objetivo de longo prazo a estabilização das concentrações de gases com efeito de estufa (GEE) na atmosfera a um nível que evite uma interferência antropogénica perigosa no sistema climático. Para atingir esse objetivo, a temperatura global anual média da superfície terrestre não deverá ultrapassar 2 °C em relação aos níveis pré-industriais.

As alterações climáticas são uma realidade e uma prioridade nacional, face aos seus impactos futuros sobre a nossa sociedade, economia e ecossistemas. São cada vez mais os estudos científicos e as instituições internacionais que demonstram as mudanças no sistema climático global. Os estudos efetuados também indicam que Portugal se encontra entre os países europeus com maior vulnerabilidade aos impactos das alterações climáticas [1].

A sociedade moderna está cada vez mais dependente das redes de transporte para as suas atividades diárias. Verifica-se a ocorrência de eventos extremos devido a causas naturais tais como, ondas de calor e frio, inundações fluviais e costeiras, secas, incêndios ou tempestades de vento, onde as alterações climáticas também afetam a gravidade e frequência destes eventos; e eventos provocados pelo homem tais como acidentes ou incêndios.

A capacidade do sistema de transporte é fortemente afetada por este tipo de eventos, pelo que importa dar a devida importância à resiliência das infraestruturas rodó e ferroviárias. Estima-se que os custos inerentes à reposição das condições de operação das infraestruturas devido à ocorrência deste tipo de eventos, sofra um acentuado incremento ao longo do presente século.

Os fenómenos ambientais extremos são na generalidade a ocorrência de: Temperaturas extremas; Precipitação Intensa; Ventos extremos; Tempestades elétricas; Subida do nível do mar, Neve e gelo.

Particularmente no verão [2], a região mediterrânica enfrenta uma diminuição da precipitação e um aumento das temperaturas. Esta tendência já se verifica uma vez que a precipitação anual diminuiu até 90 mm por década na Península Ibérica, particularmente no centro de Portugal.

De acordo com a Agência Europeia do Ambiente a diminuição da precipitação leva a riscos crescentes de secas, calor e incêndios florestais, bem como impactos adversos na saúde e bem-estar humanos [3]

Até 2080, prevê-se que Portugal seja afetado por aumentos na probabilidade de ocorrência de risco de, pelo menos, 20% para três ou mesmo quatro dos sete riscos relacionados com o clima (ondas de calor, ondas frias, secas, incêndios florestais, inundações fluviais, inundações costeiras e tempestades).

Os efeitos das alterações climáticas atualmente já causam impactes na infraestrutura da IP, pelo que está a ser elaborado o Plano de Resiliência às Alterações Climáticas a implementar na rede rodoferroviária. Os Incêndios de Pedrógão (2017) e as Cheias do Mondego (2019) são dois dos exemplos mais recentes dos efeitos de eventos extremos.

Nos projetos de maior envergadura, a IP também já elabora estudos de avaliação e adaptação às alterações climáticas, de modo a tornar as suas infraestruturas mais resilientes às alterações climáticas.

O Plano de resiliência das infraestruturas às alterações climáticas abrange as redes ferroviária rodoviária e telemática e destina-se a cumprir objetivos de conhecimento dos riscos associados aos efeitos resultantes das alterações climáticas e avaliação dos respetivos impactos nas infraestruturas, obtenção de medidas concretas para prevenção e adaptação às alterações climáticas de uma forma sucinta, organizada e coerente para as três redes, conferindo-lhes maior resiliência.

O plano foca-se nos aspetos da Tabela 1.

Tabela 1 - Principais pontos do plano de resiliência da IP

Eixo / Capítulo	Principais conteúdos a serem desenvolvidos
Avaliação do risco climático	<ol style="list-style-type: none"> 1. Avaliação de cenários climáticos 2. Identificação e seleção de infraestruturas críticas 3. Identificação dos riscos climáticos relevantes para a rede IP 4. Cartografia dos riscos climáticos da rede IP no sistema de informação geográfico da IP 5. Avaliação comparativa de custos e impactos incluindo outras autoridades de transporte europeias
Resiliência da infraestrutura	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorização sistemática de incidentes climáticos na rede IP 2. Identificação de pontos críticos climáticos 3. Integração da informação acima na plataforma de informação geográfica da IP 4. Avaliação dos impactos futuros climáticos nas infraestruturas críticas
Projeto e construção	<ol style="list-style-type: none"> 1. Integração da análise de risco climática nos futuros projetos de investimento 2. Rever os regulamentos / normas de projeto para garantir a resiliência às alterações climáticas 3. Sistematização das medidas de adaptação em futuros projetos da IP 4. Estudo e desenvolvimento de materiais e produtos mais resilientes ao clima
Manutenção e operação	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adaptação da manutenção às alterações climáticas (contratos existentes de manutenção e operação) 2. Adaptação dos pavimentos ao efeito seca e temperaturas elevadas 3. Adequabilidade dos sistemas de controlo de tráfego a eventos climatéricos extremos 4. Monitorização e desenvolvimento de sistemas de alerta e informação para utilizadores em caso de eventos climáticos extremos (ocorrências, caminhos alternativos, ...)
Gestão de ativos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adaptação dos ciclos de inspeção e atividade às alterações climáticas 2. Desenvolvimento de modelos de degradação das infraestruturas e soluções de manutenção preventiva

No sentido de enriquecer o conhecimento, a participação da IP em projetos ligados à necessidade de aumentar a resiliência das infraestruturas da rede de transportes tem sido cada vez mais frequente, destacando-se a participação nos projetos SIRMA, FORSEE e SAFEWAY.

2 RESILIÊNCIA DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES TERRESTRES FACE A EVENTOS EXTREMOS DEVIDO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

As infraestruturas de transporte terrestre, tais como estradas e ferrovia, são importantes para contribuir para a resiliência da comunidade aos riscos naturais. Os ativos críticos, tais como pontes ou outros ativos que constituem a rede rodoviária e ferroviária, são particularmente essenciais para a funcionalidade das redes de transporte.

O atual foco crescente na resiliência é impulsionado por uma sensibilização para eventos extremos devido a riscos naturais como ondas de calor e frio, inundações fluviais e costeiras, secas, incêndios florestais ou tempestades de vento, onde as alterações climáticas também afetam a gravidade e a frequência destes eventos.

Resiliência é segundo as Nações Unidas, “A capacidade de um sistema de Resistir, adaptar-se e Recuperar dos efeitos de um perigo de forma atempada e eficiente, através da preservação e restauração das suas estruturas e funções básicas essenciais baseados na gestão do risco.

A resiliência pode variar no tempo devido a eventos externos, reduzindo-a, ou aumentando com a aplicação de ações centradas na melhoria do desempenho. Isto introduz uma variável, (T_{RE}) [4], [5] e [6].

O tempo de recuperação (T_{RE}) é o período necessário para restaurar a funcionalidade de uma estrutura, e de um sistema de infraestruturas a um nível desejado que possa operar ou funcionar do mesmo modo, próximo ou melhor do que o original.

Esta é uma variável aleatória, com grandes incertezas, dependente das condições socioeconómicas locais. A resiliência calculada pode ser expressa pelo uso do triângulo de resiliência [7], que é geralmente referido na literatura [8]

Sistemas resilientes reduzem as probabilidades de falha, bem como as consequências da falha, tais como mortes e ferimentos, danos físicos, e efeitos económicos e sociais negativos; e o tempo de recuperação. A resiliência pode ser medida pela funcionalidade de um sistema de infraestruturas após uma catástrofe e pelo tempo necessário para que um sistema regresse ao nível de desempenho anterior à catástrofe. A Figura 1 representa a perda de funcionalidade devido a danos e perturbações, bem como o padrão de restauração e recuperação ao longo do tempo. O termo qualidade da infraestrutura refere-se tanto à qualidade na função como na estrutura.

As medidas de reforço da resiliência visam reduzir o tamanho do triângulo de resiliência através de estratégias que melhorem a funcionalidade e o desempenho da infraestrutura (ou seja, a qualidade do serviço, mostrado no eixo vertical na figura) e que diminuam o tempo até à recuperação total (ou seja, t_1-t_0 , mostrado no eixo horizontal). Por exemplo, as medidas de mitigação podem melhorar o desempenho da infraestrutura. O tempo até à recuperação pode ser encurtado através da melhoria das medidas para restaurar e substituir as infraestruturas danificadas.

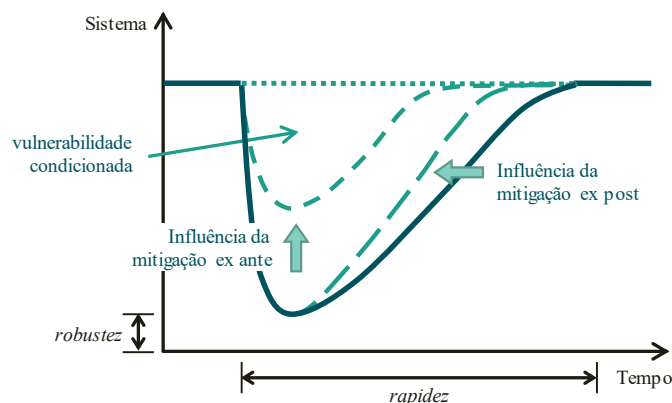


Figura 1 - Efeitos da tomada de decisão na resiliência.

Este enquadramento baseia-se nas medidas complementares de resiliência: "Redução da probabilidade de falha, "Redução das consequências das falhas" e "Redução do tempo para a recuperação". Isto pode ser expresso com 3 fatores-chave para a resiliência:

Robustez - a capacidade dos sistemas, elementos do sistema, e outras unidades de análise para resistir às forças de desastre sem degradação ou perda de desempenho;

Redundância - a medida em que os sistemas, elementos do sistema, ou outras unidades são substituíveis; ou seja, capazes de satisfazer requisitos funcionais se ocorrer uma degradação significativa ou perda de funcionalidade;

Rapidez - a capacidade de restaurar a funcionalidade de forma atempada, contendo perdas e evitando interrupções.

Também incluíram a adaptabilidade como um dos fatores-chave para a resiliência [5]. A adaptabilidade é a capacidade de diagnosticar e priorizar problemas e de iniciar soluções através da identificação e mobilização de recursos materiais, monetários, informativos, tecnológicos e humanos. Estes conceitos estão de acordo com os quatro critérios para uma infraestrutura resiliente, conforme referido nas páginas web do projeto SAFEWAY: robustez, adaptabilidade, recuperação rápida e redundância.

3 PARTICIPAÇÃO DA IP EM PROJETOS EUROPEUS

A IP participou em três projetos em que as alterações climáticas e a resiliência das infraestruturas terrestres se apresentam como principais aspetos chave: o FORSEE, o SAFEWAY, já terminados e o SIRMA ainda em desenvolvimento. Estes projetos introduzem conceitos como Resiliência, Vulnerabilidade, Robustez, Redundância, Recuperação rápida e Adaptabilidade. Neste artigo será dado apenas destaque ao Projeto SAFEWAY.

3.1 PROJETO SAFEWAY

O SAFEWAY é um projeto europeu financiado pelo programa Horizonte 2020 criado com o objetivo de melhorar a resiliência das infraestruturas de transportes na Europa, através da redução do risco, vulnerabilidade e reforço de sistemas da rede a eventos adversos. Estes eventos, como por exemplo as cheias, colapso de infraestruturas ou incêndios não são restritos a uma região específica, mas podem afetar vários países em simultâneo.

Isto motivou a criação do Consórcio SAFEWAY que inclui parceiros em: Espanha, Portugal, Países Baixos, Reino Unido, Noruega, Suíça, Itália e Polónia.

Para reduzir e prevenir o impacto de eventos adversos, o SAFEWAY aborda a resiliência com base em três dimensões: Preparação; Resposta, Recuperação e Mitigação:

-Preparação através da melhoria da previsão e monitorização e ferramentas de decisão.

-Resposta e Recuperação otimizando planos de emergência e comunicação em tempo real.

-Mitigação com a consequente redução dos custos através da introdução de novos sistemas construtivos e materiais "smart".

O SAFEWAY desenvolveu uma plataforma baseada num sistema de informação geográfica de forma a processar e distribuir informação por entidades públicas, gestores de infraestruturas, passageiros e mercadorias.

A Plataforma IT inclui um sistema de apoio à decisão para definir políticas e medidas de manutenção preventivas na infraestrutura,

A Ferramenta de apoio à decisão recebe informação de uma base de dados da infraestrutura, de diversos sistemas de monitorização, satélite, LIDAR, dados meteorológicos e mapas de risco.

Assim, o sistema define a probabilidade de falha dos ativos, sendo introduzido um sistema de valor para decidir quais os ativos que têm de ser priorizados no plano de manutenção. Esta abordagem qualifica monetariamente a probabilidade de falha do ativo, da disrupção na rede e do impacto social.

A Plataforma de IT utiliza dados em tempo real de: veículos conectados; autoridades associadas à infraestrutura e redes sociais, promovendo assim a definição das vias em funcionamento e identifica em simultâneo, situações de eventos através da troca de informação dos utilizadores da infraestrutura.

As tecnologias utilizadas no SAFEWAY foram validadas através de 4 pilotos demonstrativos que consistiram no mapeamento de áreas vulneráveis da rede central europeia: inundações e deslocamento de terras no Reino Unido, Países Baixos e Espanha; incêndios florestais e cheias em Portugal, impacto sísmico e terrorismo em Espanha. Estes pilotos incluem tanto o modo único de transporte terrestre, como a demonstração multimodal.

4 FERRAMENTAS USADAS NO PROJETO SAFEWAY

“O projeto SAFEWAY tem como principal objetivo conceber, validar e implementar métodos holísticos, estratégias, ferramentas e intervenções técnicas de modo a aumentar significativamente a resiliência das infraestruturas de transporte terrestres rodo e ferroviárias, reduzindo a sua vulnerabilidade ao risco, assim como o reforço dos sistemas de rede para fazer face a eventos extremos.” [9]

Tal como referido anteriormente, o SAFEWAY desenvolveu um conjunto de ferramentas que neste contexto se apresentam de uma forma mais completa e que consistiram:

- Na identificação de fatores de risco, condições climáticas extremas e riscos climáticos, realizada através de análise de estatísticas e modelos de previsão (a longo e curto prazo, bem como desenvolvimento de orientações para detetar e monitorizar os sinais de ocorrência de um evento).
- Na Monitorização em várias escalas das condições de infraestrutura, realizada através da fusão de dados geoespaciais de diferente natureza (sistemas de mapeamento móvel por satélite e terrestre (incluindo tanto à escala de rede como à escala de instalações), assim como, através de abordagens de “Big Data”, juntamente com técnicas avançadas de visão computacional e “machine learning” para alimentar automaticamente os modelos de informação da infraestrutura.
- Na utilização de abordagens que envolvem a deteção realizada pelos utilizadores e as redes sociais, tecnologias de veículos conectados com dados partilhados através das redes sociais, com o objetivo de fornecer informações de tráfego com precisão semelhante à dos métodos baseados em infraestruturas e automatizar a sua monitorização por satélite.
- Na utilização de modelos preditivos considerando todas as dimensões da monitorização de forma eficiente; multi-física, big data, etc, dividindo-se em duas escalas de previsão/análise; i) modelos preditivos de curto prazo clima/meteorológico e ii) modelos preditivos a longo prazo para estruturas.
- Na utilização de ferramenta de apoio à decisão para proporcionar um planeamento de manutenção a médio e longo prazo, assim como o planeamento de ações de manutenção ideais que enfrentam cenários de eventos extremos; e planeamento de ação a curto prazo, no caso de um evento repentino iminente.
- No desenvolvimento do Sistema de Gestão de Infraestruturas (IMS) baseado no SIG, com tratamento de dados altamente heterogéneos fornecidos pela ferramenta anterior, tendo como objetivo implementar os serviços de quantificação de impacto, tomada de decisão tanto a curto como a longo prazo (incluindo planeamento de manutenção, intervenção preventiva ou paliativa. O IMS baseado no SIG fornecerá simultaneamente informações aos utilizadores (gestor/operadores de infraestrutura e utilizadores individuais).
- No desenvolvimento de um plano de ação para garantir a continuação dos serviços essenciais desenvolvidos anteriormente, tal como o planeamento de gestão de emergência para garantir os procedimentos de resposta adequados para lidar com o clima e eventos extremos causados pelo homem.

E finalmente, a validação do projeto SAFEWAY realizada através de quatro pilotos demonstrativos, e que consistiram no mapeamento de áreas vulneráveis da rede central europeia para testar o conceito SAFEWAY em diferentes eventos extremos potenciais: inundações e deslocamento de terras no Reino Unido, Países Baixos e Espanha; incêndios florestais e cheias em Portugal, impacto sísmico e terrorismo em Espanha. Estes pilotos incluem tanto o modo único de transporte terrestre, como a demonstração multimodal.

A Figura 2 mostra de que forma as diversas atividades se integram na resposta da infraestrutura a eventos extremos.

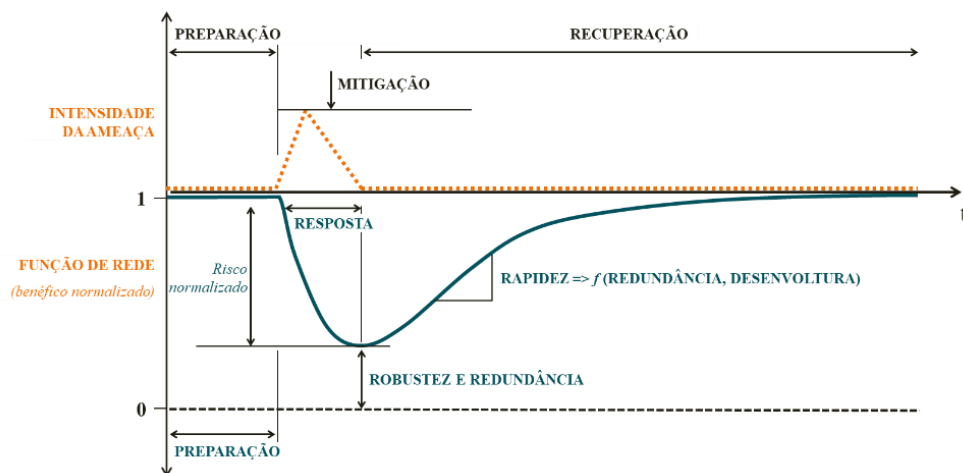


Figura 2 - Resposta da infraestrutura a eventos extremos

4.1.1 Resultados obtidos

Uma vez que a validação do SAFEWAY se baseia na aplicação das ferramentas aos quatro pilotos demonstrativos, destaca-se nesta seção os aspetos positivos retirados da experiência adquirida.

O piloto português desenvolveu-se no Vale de Santarém (infraestruturas rodoviárias) e Leiria (infraestruturas rodoviárias e ferroviárias) para duas situações de eventos extremos, cheias e incêndios, respetivamente. As ferramentas específicas usadas foram:

- Análise de risco com o mapeamento de “hotspots” de eventos extremos.
- Sistema de cartografia móvel que adquiriu um conjunto de dados formado por nuvens de pontos 3D e imagens que identificaram fissuras num troço de uma estrada.
- Monitorização do nível e velocidade da água com FBG e da temperatura do ar com IoT.
- A utilização de sistemas de Apoio à Decisão, integrando estruturas baseadas no risco e na resiliência nos processos de tomada de decisão.
- A aplicação “MSManager” que permite a integração de nuvens de pontos com imagens panorâmicas 360° georreferenciadas e camadas vetoriais e raster, dando a possibilidade de verificar rapidamente toda a informação obtida numa inspeção para tomar as decisões apropriadas.

Da análise dos resultados deste piloto conclui-se que:

A análise mais detalhada dos mapas de eventos extremos e identificação das áreas de risco permite uma identificação precisa dos ativos críticos que são considerados e que podem ter impacto no desempenho e disponibilidade das redes.

A utilização de novas tecnologias como LIDAR, IoT e FBG trazem uma melhor avaliação das condições dos ativos e do ambiente.

A integração dos dados recolhidos pela análise do mapa de risco, as informações fornecidas pelos sistemas de monitorização, modelos de degradação, dados de atividades sociais e económicas, permitiram a criação de cenários e suas consequências, na ferramenta de apoio à decisão.

A integração dos resultados anteriores no mesmo Sistema de Informação, permite uma análise combinada do estado atual e futuro da infraestrutura.

O Piloto Espanhol desenvolveu-se em infraestruturas ferroviárias nas zonas de Málaga e Múrcia, para eventos extremos como sismos, cheias, temperaturas extremas e deslizamentos. Tendo sido aplicadas as seguintes ferramentas:

Um Plano de ação para a resiliência a longo prazo da rede de transporte (medidas e gestão da segurança), tendo sido validado a fim de determinar a solução correta para qualquer emergência (decisões a curto prazo). Também foram avaliadas adaptações às infraestruturas para reduzir o impacto de riscos a longo prazo, incluindo a utilização de novos materiais (com memória) e novos sistemas de monitorização baseados em sensores de fibra ótica.

O Piloto espanhol apresenta como aspetos positivos o facto da plataforma ter desenvolvido um plano de emergência que centraliza informação, comunicações e alertas no processo de decisão ligado à emergência.

Destaca o processo de digitalização e o uso de sensores, determinante para a definição do processo de pré-alerta, assim como a classificação no plano de emergência do nível de comando para cada nível de risco.

Salienta ainda que a utilização de IoT fornece informações úteis para a monitorização do estado da infraestrutura.

O piloto inglês localizado na linha ferroviária entre Manchester e Londres considerou como risco principal as cheias, utilizou a monitorização via satélite e utilização de LiDAR na caracterização de ativos, cujos resultados foram integrados numa plataforma designada Rheticus®.

Este piloto aponta vantagens muito positivas na aplicação da seguinte tecnologia, que no futuro poderá ser totalmente automatizada:

- A utilização da monitorização por satélite na análise da estabilidade das infraestruturas e das alterações nas infraestruturas devido a fenómenos meteorológicos extremos (inundações).

- A implementação da plataforma Rheticus® Safeway dedicada à monitorização de infraestruturas como estradas e caminhos-de-ferro, apoiando as ações de mitigação de riscos permitindo a implementação da manutenção preventiva sobre os segmentos de infraestruturas que são afetados por níveis elevados de instabilidade, melhorando a sua resiliência face aos fenómenos naturais e induzidos de instabilidade como deslizamentos de terras e subsidência.

O uso da tecnologia. LiDAR mostrou-se bastante vantajosa na sensorização de infraestruturas.

O Piloto Holandês desenvolveu um plano de emergência interno no interior do porto de Roterdão para o evento de vento extremo, que implica o fecho do porto e a reorganização interna da logística utilizando uma ferramenta de comunicação interna georreferenciada.

A ferramenta permite a comunicação entre os condutores de veículos de contentores e a administração portuária, em caso de fecho e necessidade de readaptação da organização interna dos espaços alocados aos veículos de contentores. Esta apresentou ganhos de cerca de 15% no sistema de gestão durante o momento de disrupção do terminal.

Finalmente, foi desenvolvida uma análise de custos baseada no ciclo de vida de ativos (Rodovia e Ferrovia) [10] tendo como base a análise comparativa da utilização ou não de Sistemas de Monitorização Estrutural (SME) tendo por base 5 situações para rodovia e ferrovia, que se apresentam:

As Figuras 3, 4 resumem os resultados da análise de custos do ciclo de vida para a rodovia e ferrovia respetivamente.

Rodovia e Ferrovia

Caso 0: Rodovia/Ferrovia sem SME. As operações de inspeção e manutenção foram realizadas quando foi apresentada a prova de um dano (a cada 5 anos). Este caso representa procedimentos tradicionais, isto é, sem qualquer solução SAFEWAY implementada.

Caso 1: Rodovia/Ferrovia sem SME. As operações de inspeção e manutenção foram realizadas a cada 3 anos. Elevado custo de conservação pelo fato de não ter intervenções periódicas. Foi aplicada manutenção num período de 20 anos. Este caso representa um cenário em que os modelos preditivos desenvolvidos no âmbito do SAFEWAY são adotados.

Case 2: Rodovia/Ferrovia sem SME. As operações de inspeção e manutenção foram realizadas anualmente. Não foram efetuadas intervenções de manutenção regular. Elevado custo de conservação. Neste cenário foram aplicados os modelos preditivos usados no âmbito do SAFEWAY, assim como as soluções de modelação e monitorização multiescala.

Caso 3: Rodovia/Ferrovia com SME. As operações de inspeção e manutenção foram realizadas anualmente. Intervenções de monitorização estrutural esperadas a cada 10 anos. Baixo custo de conservação para operações programadas devido a intervenção regular. Este caso representa um cenário onde os modelos preditivos desenvolvidos no âmbito do SAFEWAY, as soluções de modelação e monitorização multiescala e ainda a aplicação de um plano de resiliência a longo prazo foram utilizados.

Caso 4: Rodovia/Ferrovia com SME. As operações de inspeção e manutenção foram realizadas a cada 3 anos. Intervenções de monitorização estrutural esperadas a cada 5 anos. Elevado custo de conservação devido a não ter havido intervenções periódicas. Este caso representa um cenário onde as soluções de modelação e monitorização multiescala e ainda a aplicação de um plano de resiliência a longo prazo são utilizados, em combinação com intervenções SME (abordagem híbrida).

Caso 5: Rodovia/Ferrovia com SME. Não foram realizadas inspeções preventivas nem operações de manutenção. Intervenções de SME esperadas a cada 5 anos, sem operações programadas. Este caso representa um cenário híbrido que apenas implementa soluções SME de SAFEWAY juntamente com as abordagens tradicionais (manutenção corretiva).

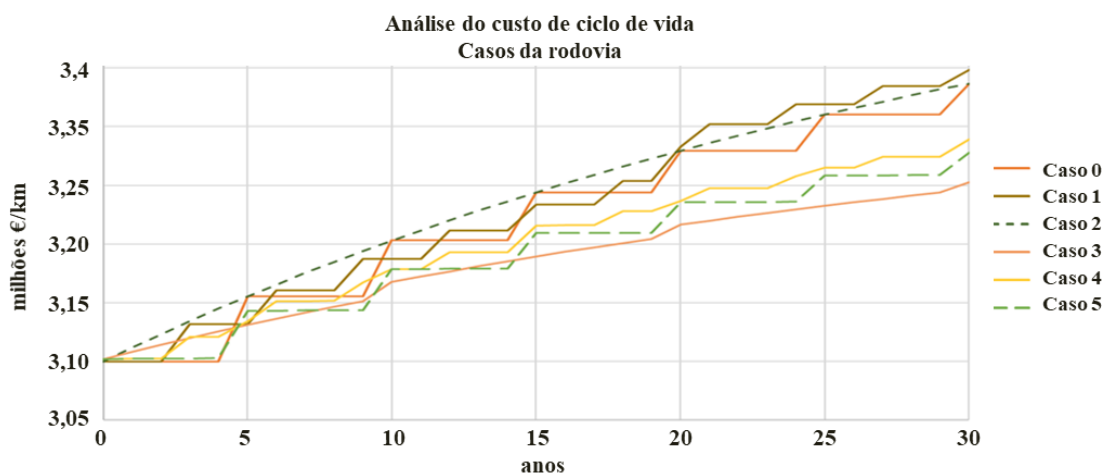


Figura 3 - Resultados de análise de custos de Ciclo de vida para a rodovia

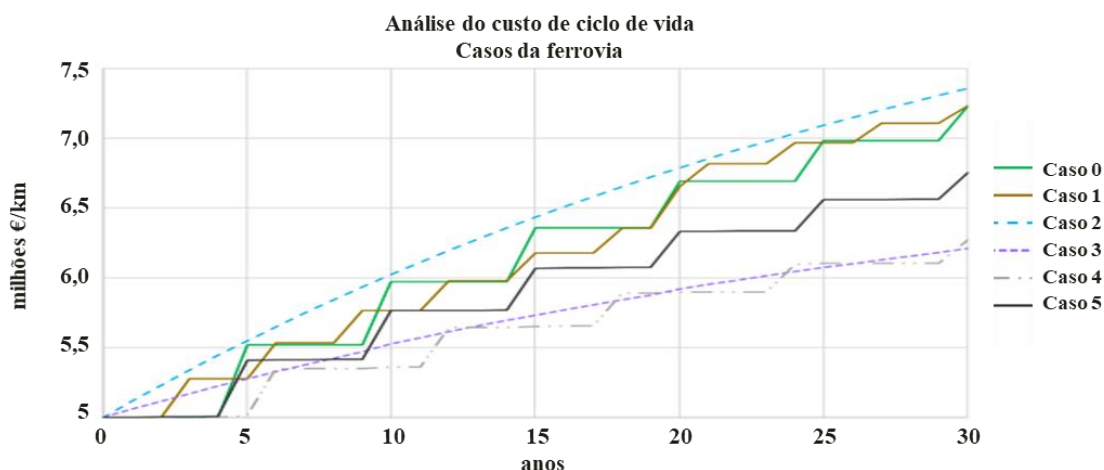


Figura 4 - Resultados de análise de custos de Ciclo de vida para a ferrovia

Os resultados mostraram vantagem para estruturas equipadas com sistemas SME (para estradas e caminhos-de-ferro), e que se traduz na geração de ganhos económicos em termos de inspeções e manutenções pós-evento. As

estruturas equipadas com sistemas de controlo estrutural (casos 3 a 5) mostraram um custo de ciclo de vida mais baixo ao ano 100.

Globalmente, os resultados apresentados mostraram que o modelo combinado (com um sistema de monitorização e com operações regulares programadas, caso 4) tem custos adicionais, contudo as operações pós-evento podem produzir ganhos importantes, reduzindo o custo do ciclo de vida.

Os casos que incluem os sistemas SME consideraram os custos adicionais decorrentes desses, nomeadamente, os custos iniciais e de gestão/manutenção das SME, bem como os benefícios económicos resultantes da utilização de dados das SME, que funcionam como uma melhoraria nas estratégias de inspeção.

Em geral, os resultados obtidos para diferentes casos de estudo destinam-se a demonstrar como aplicar o quadro proposto de análise de ciclo de vida e mostrar que tipo de métricas de desempenho financeiro poderiam ser obtidas tendo em conta casos realistas. No entanto, o objetivo não é chegar a conclusões gerais sobre a superioridade de uma estratégia específica de controlo sobre um determinado plano de inspeção. O objetivo geral da aplicação da metodologia análise de ciclo de vida é quantificar os ganhos relativos aos custos globais quando uma tecnologia SAFEWAY é implementada.

5 CONCLUSÕES

A sociedade moderna está cada vez mais dependente das redes de transporte para as suas atividades diárias. Verifica-se a ocorrência de eventos extremos devido a causas naturais tais como, ondas de calor e frio, inundações fluviais e costeiras, secas, incêndios ou tempestades de vento, onde as alterações climáticas também afetam a gravidade e frequência destes eventos; e eventos provocados pelo homem tais como acidentes, incêndios e terrorismo. A capacidade do sistema de transporte é fortemente afetada por este tipo de eventos, pelo que importa dar a devida importância à resiliência das infraestruturas rodo e ferroviárias. Estima-se que os custos inerentes à reposição das condições de operação das infraestruturas devido à ocorrência deste tipo de eventos, sofra um acentuado incremento ao longo do presente século.

A IP, como gestora de infraestruturas já se encontra no caminho da compreensão de fenómenos extremos que influenciam a resiliência das mesmas. Assim, tem realizados esforços no sentido de acautelar situações que possam interromper os seus serviços ou colocar em causa a segurança de quem os utiliza.

O desenvolvimento interno de um Plano de Resiliência das Infraestruturas às Alterações Climáticas, abrange as redes ferroviária, rodoviária e telemática e destina-se a cumprir objetivos de conhecimento dos riscos associados aos efeitos resultantes das alterações climáticas e avaliação dos respetivos impactos nas infraestruturas, obtenção de medidas concretas para prevenção e adaptação às alterações climáticas de uma forma sucinta, organizada e coerente para as três redes, conferindo-lhes maior resiliência.

A participação da IP em projetos europeus e neste caso, o projeto SAFEWAY mostrou que a utilização de uma estratégia que integra um conjunto de ferramentas como:

- A monitorização através de sistemas de mapeamento móvel por satélite e terrestre, assim como, abordagens de “Big Data”, juntamente com técnicas avançadas de visão computacional e “machine learning” para alimentar automaticamente os modelos de informação da infraestrutura.
- A utilização de modelos preditivos considerando todas as dimensões da monitorização de forma eficiente; multi-física e big data.
- A utilização de ferramentas de apoio à decisão para proporcionar um planeamento de manutenção a médio e longo prazo, assim como o planeamento de ações de manutenção ideais que enfrentam cenários de eventos extremos; e planeamento de ação a curto prazo, no caso de um evento repentino iminente.
- O desenvolvimento do Sistema de Gestão de Infraestruturas (IMS) baseado no SIG, com tratamento de dados altamente heterogéneos fornecidos pela ferramenta anterior, tem como objetivo de implementar os serviços de quantificação de impacto, tomada de decisão tanto a curto como a longo prazo (incluindo planeamento de manutenção, intervenção preventiva ou paliativa. O IMS baseado no SIG fornecerá simultaneamente informações aos utilizadores (gestor/operadores de infraestrutura e utilizadores individuais).

- O desenvolvimento de um plano de ação para garantir a continuação dos serviços essenciais desenvolvidos anteriormente, tal como o planeamento de gestão de emergência para garantir os procedimentos de resposta adequados para lidar com o clima e eventos extremos causados pelo homem.

São fundamentais na gestão de ativos e consequentemente no aumento da resiliência das infraestruturas.

Por fim, os resultados da análise de ciclo de vida mostraram que para estruturas equipadas com sistemas SME (para estradas e caminhos-de-ferro), se traduz na geração de ganhos económicos em termos de inspeções e manutenções pós-evento. Ainda, e de acordo com os resultados apresentados verificou-se que o modelo combinado (com um sistema de monitorização e com operações regulares programadas tem custos adicionais, contudo as operações pós-evento podem produzir ganhos importantes, reduzindo o custo do ciclo de vida.

Deste modo a IP tem um caminho claro, no entanto complexo, que urge continuar a percorrer para a garantir a melhor abordagem interna relativamente ao futuro climático.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a colaboração e a disponibilidade demonstrada da equipa do projeto SAFEWAY, e da equipa responsável pelo Plano de Resiliência das Infraestruturas às Alterações Climáticas da IP.

7 REFERÊNCIAS

- 1.<https://www.dgeg.gov.pt/pt/>
- 2.Eidsvig, U. (2021) Risk Factors and risk analysis. Deliverable 2.3 do SAFEWAY
- 3.<https://www.European Environment Agency's home page> — European Environment Agency (europa.eu)
- 4.Bruneau, M. and Reinhorn, A. (2007). Exploring the concept of seismic resilience for acute care facilities. *Earthquake Spectra*, 23(1):41–62.
- 5.Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G.C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., and von Winterfeldt, D. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra*, 19(4):733–752.
- 6.Cimellaro, G.P., Reinhorn, A.M. and Bruneau, M. (2010). Framework for analytical quantification of disaster resilience. *Engineering structures*, 32(11):3639–3649.
- 7.Tierney and Bruneau (2007) Conceptualizing and Measuring Resilience, A Key to Disaster Loss Reduction, *Tr News* 250, May–June2007.
- 8.Caverzan, A. and Solomos, G. (2014). Review on resilience in literature and standards for critical built infrastructure. JRC science and policy report.
- 9.[https://www.SAFEWAY | Rationale \(safeway-project.eu\)](https://www.SAFEWAY | Rationale (safeway-project.eu))
- 10.Riveiro, B. et all (2022), Techno-economical evaluation of SAFEWAY concepts for terrestrial transport network. Deliverable 9.2 do SAFEWAY.