

# SUSTIMS - PLATAFORMA DE GESTÃO SUSTENTÁVEL DE INFRAESTRUTURAS RODOVIÁRIAS

Carlos Neves<sup>1</sup>

José Matos<sup>2</sup>

Luis Neves<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ascendi Inovação e Gestão de Infraestruturas, S.A. (AIGI), Direção de Operação e Manutenção, Rua Antero de Quental, 381, 4455-586 Perafita, Matosinhos, Portugal

email: [cneves@ascendi.pt](mailto:cneves@ascendi.pt) <http://www.ascendigroup.pt>

<sup>2</sup>Universidade do Minho, Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

<sup>3</sup>Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Quinta da Torre, 2829-516 Caparica, Portugal

---

## Sumário

*SustIMS é um sistema inteligente de gestão de infraestruturas rodoviárias que integra informação histórica e em real time e, com base em modelos de previsão avançados e algoritmos de otimização, recomenda as melhores estratégias de manutenção e reabilitação dos principais elementos de uma infraestrutura: obras de arte, pavimentos, taludes e muros e equipamentos de telemática.*

*Diferenciando-se de um simples sistema de informação, o SustIMS incorpora informação de múltiplas fontes, processa-a e produz recomendações de intervenção, de acordo com níveis de serviço e parâmetros de qualidade pré-estabelecidos, considerando as variáveis tempo e custo.*

---

**Palavras-chave:** SustIMS; Gestão; Infraestruturas; Degradação; Otimização; Decisão

## 1 INTRODUÇÃO

A aplicação SustIMS, designação abreviada de *Sustainable Infrastructure Management System*, resulta de um projeto de cooperação entre a Ascendi IGI, Universidade do Minho e Universidade Nova de Lisboa, co-financiado no âmbito do QREN, que se desenvolveu durante 3 anos, entre finais de 2012 e 2015.

O principal objetivo deste projeto foi o desenvolvimento de uma plataforma de gestão sustentável de infraestruturas rodoviárias que permite gerir, de um modo integrado e inovador, os seus principais elementos, designados por módulos, incluindo, no momento, obras de arte, pavimentos, muros e taludes e equipamentos de telemática.

O projeto SustIMS, objetivamente focado na criação de um produto *standard* e transacionável, potencia a sua comercialização a nível externo e surge como resultado natural da afirmação que a Ascendi IGI pretende atingir neste setor, aproveitando os conhecimentos que possui, como líder, através da Gestão de Concessionárias e Operadoras de Autoestradas e as Universidades do Minho e Nova de Lisboa, entidades pertencentes ao sistema científico-tecnológico (SCT) nacional, cujo saber se revelou fundamental para o êxito do projeto.

O SustIMS é um inteligente sistema de gestão da infraestrutura rodoviária que é diferente dos sistemas de Base de Dados tradicionais, não só porque integra informações históricas e em tempo real, mas também porque prevê o desempenho futuro de cada elemento, recomendando as melhores estratégias de manutenção e reabilitação, apoiando a tomada de decisão.

## **2 IDENTIFICAÇÃO DOS PROMOTORES DO PROJETO**

### **2.1 Ascendi IGI**

A Ascendi IGI, Inovação e Gestão de Infraestruturas, S.A. (AIGI) é uma empresa criada em Setembro de 2011 para consubstanciar uma parte da estratégia da Ascendi Group, *holding* da qual faz parte. Integra na sua missão a inovação, investigação e desenvolvimento de processos, produtos e serviços e posterior prestação e venda de serviços e produtos conexos relacionados com a Gestão de Infraestruturas.

A Ascendi Group, atualmente presente em 5 países, em 3 continentes e com uma gestão de 3.000km de vias de comunicação concessionadas, é uma *holding* com atividade concentrada em três áreas de negócio: gestão de concessões rodoviárias, prestação de serviços de operação e manutenção e de serviços de cobrança de portagens.

### **2.2 Universidade do Minho**

A Universidade do Minho (UM) possui uma forte componente de valorização do conhecimento-investigação em cadeia, com inúmeros projetos de investigação, artigos publicados em jornais científicos e ainda contratos I&D assinados com parceiros industriais, tendo cooperado, neste projeto, três centros de investigação da UM:

**ISISE** - Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia, unidade de investigação fundada pela Fundação Portuguesa de Ciência e Tecnologia, incorporando a UM e a Universidade de Coimbra;

**CTAC** - Centro de Território, Ambiente e Construção, centro de investigação da UM dedicada à investigação nas áreas do planeamento territorial, sistemas de transporte, meio-ambiente, construção sustentável, etc;

**ALGORITMI**, centro de investigação da Escola de Engenharia da UM que desenvolve atividades I&D em Eletrónica e Tecnologias de Comunicação e Informação.

### **2.3 Universidade Nova de Lisboa**

A Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), uma das nove Unidades Orgânicas da Universidade Nova de Lisboa (UNL), desenvolve intensa atividade de ensino e de investigação em domínios altamente relevantes da Ciência e Tecnologia, sendo um dos seus objetivos estratégicos reforçar as suas áreas de intervenção, quer a nível científico e tecnológico quer a nível da formação, nas quais se inclui a cooperação com as empresas.

## **3 SUSTIMS**

### **3.1 Motivações e objetivos**

As necessidades que a Ascendi sente, como Concessionária de autoestradas, na gestão de infraestruturas, são as mesmas que as suas congéneres sentem em Portugal ou em qualquer outra zona do mundo, nomeadamente no cumprimento dos níveis de qualidade exigidos pelas respetivas entidades supervisoras.

Nesta perspetiva, uma das principais motivações da Ascendi, no desenvolvimento desta ferramenta, foi criar uma solução tecnológica que apoiasse, de uma forma sustentada e integrada, a gestão das infraestruturas rodoviárias ao nível de alguns dos seus principais elementos constituintes – pavimentos, obras de arte, muros e taludes e telemática, garantindo o cumprimento dos parâmetros legais e contratuais, em termos de padrões de qualidade e, ao mesmo tempo, aplicando a melhor estratégia de manutenção, otimizando tempo e recursos. No caso particular da rede da Ascendi, que gere, em Portugal, mais de 1.300km de vias, teremos a considerar um universo de 1.400 obras de arte, 7.000 muros e taludes e 1.800 equipamentos de telemática, o que significa um enorme desafio de gestão.

Por outro lado, como forte motivação, pretendia-se otimizar as operações de conservação e manutenção através do desenvolvimento de modelos de previsão e de apoio à decisão.

Em resultado dessas motivações, foi possível identificar, os principais objetivos desta plataforma:

- (i) A gestão e a melhoria da qualidade da informação disponível, na forma de Base de Dados;
- (ii) O desenvolvimento de uma ferramenta móvel, de apoio à recolha de informação do estado dos componentes da infraestrutura, por via de inspeções programadas e de ocorrências.
- (iii) A criação de sistemas de monitorização em tempo real que permitissem a deteção de movimentos em muros e taludes e embates de viaturas em guardas de segurança;
- (iv) A criação de modelos de previsão de desempenho e de otimização para apoio à tomada de decisão;
- (v) A obtenção de um produto final aberto, que permitisse a inclusão de outros módulos de componentes e por outro lado, um produto customizável que permitisse a parametrização para diferentes exigências de padrões de qualidade, ou seja, um produto *taylor made*.

### 3.2 Síntese

O SustIMS permite gerir, de um modo coerente e sustentável, alguns dos principais elementos de uma infraestrutura rodoviária – obras de arte, pavimentos, muros e taludes e equipamentos de telemática.

Através desta plataforma, é possível melhorar a qualidade da informação disponível em cada instante sobre cada elemento da infraestrutura e definir as melhores estratégias de conservação e reabilitação otimizadas com base em modelos de previsão de desempenho e algoritmos de otimização, contribuindo para a redução do impacto económico da infraestrutura ao longo do seu ciclo de vida e do risco financeiro do projeto.

O sistema SustIMS integra em si uma Plataforma de Gestão, uma Plataforma Móvel e Sistemas de Monitorização Online e possui a grande vantagem de ter sido desenvolvido na perspetiva do gestor da infraestrutura, podendo ser adaptado a uma situação concreta, nomeadamente a cada concessão rodoviária, mas com um perfil comum, que permitirá a sua integração de uma forma simples.

Por outro lado, entendendo-se que, em diferentes mercados e países, as características das redes viárias são díspares, o sistema foi construído de modo a permitir a sua fácil adaptação.

De modo a fornecer a informação necessária para efetuar previsões fiáveis do desempenho futuro, foi fundamental a informação histórica sobre cada elemento das infraestruturas da Ascendi bem como a caracterização do tráfego.

A aplicação de algoritmos de otimização tem como objetivos principais a minimização de custos e/ou a maximização do desempenho da infraestrutura. A otimização da estratégia de manutenção de cada elemento, de uma forma agregada com “multiobjetivos”, permite que as ações de manutenção possam ser efetuadas a diferentes elementos do mesmo sublanço da infraestrutura, otimizando o desenho, o projeto e o planeamento de recursos das intervenções. Paralelamente, foram desenvolvidos sistemas de monitorização para deteção de incidentes em taludes e guardas de segurança.

Distinto da maioria dos sistemas de gestão de infraestruturas rodoviárias, o SustIMS, além da poderosa Base de Dados (BD) que possui, contribui igualmente para a tomada de decisões ao nível das ações de conservação e reabilitação, de um modo global, a aplicar na infraestrutura, combinando facilidade de uso com os mais recentes desenvolvimentos em termos de previsão de degradação, algoritmos de otimização e sistemas de monitorização inovadores.

Juntando todos estes elementos numa mesma plataforma de gestão é, assim, possível:

- (i) Prever antecipadamente os custos futuros de toda a infraestrutura, reduzindo os riscos financeiros ao longo do ciclo de vida e, conseqüentemente, os custos associados;
- (ii) Otimizar as estratégias de manutenção de todos os elementos em conjunto, reduzindo o número e duração das interdições de tráfego e, conseqüentemente, minimizando os custos operacionais e os custos ambientais causados por desvios de tráfego, engarrafamentos e acidentes;

- (iii) Integrar, na mesma plataforma, informação obtida por inspeção visual e pelos sistemas de monitorização, permitindo uma análise em tempo real da situação efetiva da infraestrutura.

### 3.3 Constituição

O sistema SustIMS é composto por três elementos nucleares:

- (i) Uma Plataforma de Gestão, que integra e gere uma Base de Dados e que inclui modelos de previsão de desempenho e algoritmos de otimização que apoiam na tomada de decisão;
- (ii) Uma Plataforma Móvel que permite, durante as inspeções *in situ*, registar todas as informações sobre o estado de conservação de cada elemento, bem como ocorrências não ;
- (iii) Sistemas de Monitorização, baseados em redes de sensores sem fios (*Wireless Sensor Networks*), que transmitem, em tempo real e em contínuo, informação sobre a estabilidade de muros e taludes e detetam e difundem alertas em situações de embate de viaturas em guardas de segurança.

### 3.4 Estrutura funcional

O método científico utilizado passa por integrar toda a informação sobre os componentes da infraestrutura rodoviária e o seu estado, numa base de dados facilmente acessível. Isto confere ao utilizador a possibilidade de conjugar a redução de tempo entre a inspeção da obra e a elaboração do relatório de inspeção, evitando potenciais erros, através da possibilidade de acesso, no terreno e em tempo real por via da plataforma móvel, a informação histórica e/ou parametrização de cada elemento da infraestrutura.

Com base nos dados históricos, em particular os obtidos em resultado de inspeções visuais, foram desenvolvidos modelos de previsão de desempenho dos elementos. Estes modelos, quando conjugados com algoritmos de otimização, permitem, não só prever as necessidades de intervenção, mas também otimizar as estratégias de conservação e reabilitação, de modo a reduzir os custos e limitar as restrições ao uso.

O método científico implica ações de experimentação para efetuar previsões fiáveis do desempenho futuro, pelo que se torna útil e necessária a sistemática recolha de informação sobre a infraestrutura.

### 3.5 Plataforma de Gestão

A Plataforma de Gestão, estruturalmente desenvolvida em camadas numa lógica hierárquica, apresenta uma segmentação ao nível dos seus módulos de gestão - Base, Funcionais e Apoio à Decisão.

#### 3.5.1 Módulo Base

Inclui todas as componentes necessárias ao funcionamento de todos os restantes módulos, realiza a implementação das metodologias, configurações e definições *core* do sistema, nomeadamente a configuração da Rede de Estradas fundamental para a referenciação de todos os objetos dos Módulos Funcionais;

A estrutura da BD incorpora um módulo transversal, que inclui informações comuns aos módulos individuais, nomeadamente, identificação da concessão, autoestrada, sublanço, tramo, etc, e módulos individuais propriamente ditos que armazenam a informação específica de cada elemento.

No que concerne ao módulo das obras de arte, a estrutura do modelo de dados contempla as entidades relativas ao inventário da obra de arte e seus componentes, aos actos de inspeção e avaliação e ainda das ações de manutenção e reparação. A BD é assim constituída por vários elementos que permitem caracterizar e modelar cada obra de arte, nomeadamente a sua identificação, idade, condição, características geométricas e funcionais, patologias, histórico de ações de manutenção e reabilitação, enquadramento sísmico e fatores externos, que as influenciam como características de tráfego e climáticas.

Relativamente aos pavimentos, a base de dados é constituída pelas entidades resultantes da informação obtidas através das inspeções visuais, da auscultação, das suas camadas constituintes, da drenagem da via, etc. A BD incorpora informações que permitem a identificação de cada segmento da via, em tudo idênticas às existentes para as obras de arte, com exceção do enquadramento sísmico.

Em relação aos muros e taludes, a BD inclui informações específicas para este tipo de elementos, sendo o tipo de informação similar ao preconizado para as obras de arte, com o acréscimo de informação relativa à estrutura geológica e ao sistema de drenagem e ainda informações relevantes das imediações de cada elemento.

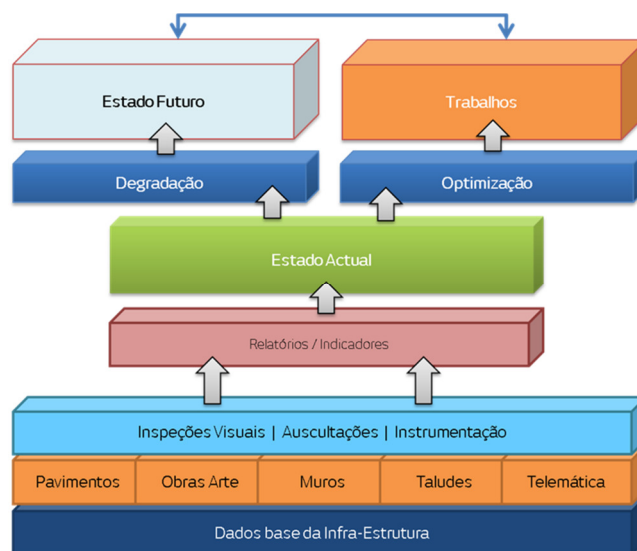
Em termos de telemática, a estrutura da BD é composta pelos atributos que descrevem os equipamentos de telemática existentes, indicando o seu estado e localização, assim como informação respeitante a inspeções, ocorrências e ações efetuadas sobre os equipamentos.

Os dados que alimentam a BD têm origem em diferentes fontes de informação:

- (i) Inspeções visuais;
- (ii) Sistemas de Monitorização;
- (iii) Estações Meteorológicas;
- (iv) Contadores de Tráfego;
- (v) Elementos de Projeto.

### 3.5.2 Módulos Funcionais

As funcionalidades base dos quatro módulos - Telemática, Obras de Arte, Muros e Taludes e Pavimentos - foram desenvolvidas de forma sequencial, dada a dependência entre cada uma delas, facilmente interpretável pelo diagrama apresentado na figura 1.



**Fig.1. Diagrama de funcionalidade dos módulos**

### 3.5.3 Módulo de Apoio à Decisão

Os modelos de degradação utilizados para cada um dos componentes seguem uma abordagem Markoviana que consiste na previsão da evolução, ao longo do tempo, de um Índice de Qualidade (IQ) inicial.

### **3.5.3.1 Índices de Qualidade (IQ)**

No caso das obras de arte, o IQ adotado, designado por Estado de Conservação (EC), resulta diretamente da aplicação dos requisitos contratuais nacionais no que respeita à inspeção de pontes.

Para o módulo de muros e taludes, foram desenvolvidos IQ's específicos para muros (IQ único) e dois distintos para taludes - em rocha e em solos.

No que diz respeito aos pavimentos, adotou-se a metodologia desenvolvida na Ação COST 354 (2008), que define a relação entre os parâmetros técnicos (TP), os indicadores de desempenho individuais (PI), os indicadores combinados (CPI) e o indicador geral e/ou global (GPI).

Para os equipamentos de telemática, o IQ foi descrito utilizando uma escala discreta entre 1 (Excelente) e 5 (Muito mau). Considerando que, ao contrário dos outros elementos, o estado de conservação dos equipamentos de telemática não é observável, aplicou-se uma metodologia que correlaciona o tipo de avaria sofrida pelo equipamento, a sua severidade e o número de avarias sofridas pelo equipamento até a um determinado momento.

### **3.5.3.2 Modelos de Desempenho/Deterioração**

A deterioração dos diferentes componentes é modelada com recurso a processos estocásticos de Markov, que definem a probabilidade de um componente atingir um determinado IQ, num determinado instante no futuro, com base numa matriz de transição, a partir de um IQ inicial conhecido.

No fundo, trata-se de curvas que apresentam a evolução da “deterioração natural” dos componentes quando não sujeitos a ações ou intervenções, tendo por base matrizes de transição que são obtidas e calibradas com base no histórico de avarias e reparações efetuadas no passado.

Para a modelação do estado de deterioração de estruturas sem ações de manutenção, considerou-se o modelo de Markov como progressivo, ou seja, em dois momentos consecutivos de observação de uma estrutura, esta mantém o mesmo estado de condição ou transita para um estado de condição superior.

A matriz intensidade -  $Q$  - é única e considera-se como “ótima” a que melhor aproxima os resultados previstos dos resultados reais historicamente observados na evolução do estado das infraestruturas, tendo sido determinada através do método da maximização da verosimilhança.

### **3.5.3.3 Modelos de Otimização**

A ferramenta apresenta a capacidade de encontrar as estratégias de manutenção que aproximam o conjunto de soluções ótimas de Pareto para o problema considerado. As estratégias obtidas apresentam cenários de manutenção que satisfazem as restrições de desempenho impostas pelo utilizador e representam os compromissos entre a degradação e o custo de manutenção.

#### **3.5.3.3.1 Efeito das ações de conservação e reabilitação**

Tendo em conta a evolução (redução) do estado de um qualquer elemento da infraestrutura ao longo do tempo, previsto pelo respetivo modelo de degradação, torna-se essencial prever o efeito (imediato ou a curto/médio prazo) que uma determinada ação de conservação e/ou reabilitação tem no estado desse elemento. A combinação dessa informação com os custos associados a cada uma das ações permite simular um conjunto de cenários que são analisados e otimizados através de algoritmos de otimização.

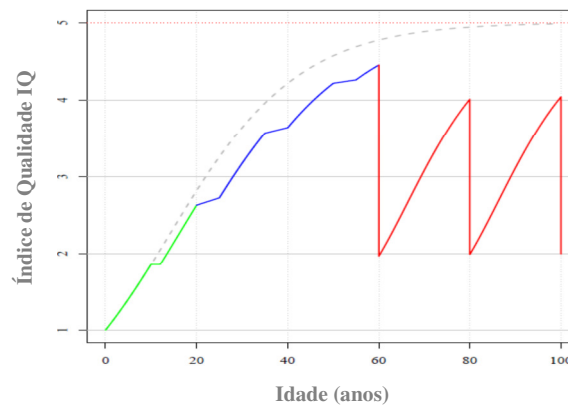
A quantificação do efeito resultante da aplicação de cada uma das ações na evolução do estado de cada elemento foi calculada tendo em consideração as especificidades de cada um dos módulos e a experiência acumulada da Ascendi. Nesse sentido, para cada tipo de elemento, i.e., obras de arte, pavimentos, muros e taludes e equipamentos de telemática, foi realizado um levantamento de todas as ações correntemente aplicadas a cada um e determinado o seu efeito de melhoria, adiamento ou redução da taxa de degradação do IQ.

Assim, no caso de uma **ação de melhoria** a incorporação do efeito consiste em transferir as probabilidades de transição relativas a estados superiores ao que será obtido com aplicação da ação de melhoria, para o novo estado resultante da aplicação da ação.

No caso de **ações de adiamento da deterioração**, a incorporação do efeito é realizada através da multiplicação da matriz de probabilidades inicial pela matriz identidade durante o período de atuação da ação.

Se se tratar de uma **ação de redução da taxa de deterioração**, a incorporação do respetivo efeito consiste em multiplicar a matriz de probabilidade por um escalar (taxa de redução) durante o período de atuação da ação.

A Fig. 2 apresenta o efeito combinado da aplicação sequencial de 3 ações com efeitos distintos, nomeadamente o adiamento da degradação (verde), a redução da taxa de degradação (azul) e a melhoria (vermelho).



**Fig.2. Efeitos resultantes da aplicação de ações**

### 3.5.3.3.2 Otimização individual

Considerando a existência de modelos de previsão de desempenho, a plataforma SustIMS possui a capacidade de simular cenários otimizados através da aplicação de ações de manutenção e/ou reabilitação, tendo por objetivo garantir o cumprimento de limites de estado pré-estabelecidos para cada componente da infraestrutura.

Ao contrário dos modelos de desempenho, nos modelos de otimização os parâmetros pré-estabelecidos não podem ser excedidos e as variáveis de tempo e custos não são uma opção, mas sempre uma imposição que o *software* utiliza para simular diferentes cenários otimizados.

No processo de otimização (individual), o *software* simula e devolve uma lista de 100 cenários com informações detalhadas sobre as ações consideradas e os custos associados a cada um dos cenários e apresenta, gráfica e detalhadamente a evolução dos EC's ao longo do intervalo de tempo considerado na simulação.

Cada cenário tem a sua própria curva de otimização e o programa permite comparar, simultaneamente e lado a lado, diferentes cenários selecionados pelo utilizador.

No processo de otimização, os elementos de muros e taludes e equipamentos de telemática, são modelados por um único componente, cujo desempenho é calculado usando um indicador de desempenho. Dada uma estratégia de manutenção, o desempenho é definido pelos estados de condição calculados exclusivamente a partir de uma matriz de intensidade. O desempenho futuro é estimado baseado na matriz de intensidade, usando o método de Monte Carlo. Neste caso, uma solução é equivalente a uma estratégia de manutenção que representa um plano de aplicação das ações a este componente.

Devido à sua complexidade, uma obra de arte é modelada como um conjunto de componentes distintos, nomeadamente, aparelhos de apoio, apoios intermédios, encontros, juntas de dilatação e tabuleiro. A degradação de uma obra de arte é avaliada pela integração dos estados de condição dos seus componentes que são estimados usando modelos de degradação individuais. Neste caso, a estratégia de manutenção para uma obra de arte é definida como um conjunto das estratégias de manutenção para cada um dos seus componentes, otimizados

individualmente e em simultâneo, usando o método de Monte Carlo. O desempenho da obra de arte é calculado como o máximo entre a média de todos os componentes e estados de condição dos componentes principais.

Em termos de pavimentos, foram desenvolvidos modelos de degradação para cinco indicadores do desempenho: fendilhação (CRK), atrito (FRI), capacidade de carga (FWD), regularidade longitudinal (IRI) e regularidade transversal (RUT). Para o cálculo do desempenho de uma seção do pavimento é necessário estimar a degradação de cada um dos seus indicadores, que são posteriormente combinados entre si. Ao contrário das obras de arte, onde a aplicação das ações de manutenção a um componente não afeta os restantes componentes, uma ação aplicada ao pavimento pode ter impacto nos vários indicadores de desempenho. Para além disso, uma solução que representa a estratégia de manutenção tem que cumprir as restrições de desempenho para os cinco indicadores em simultâneo.

Cada estratégia de manutenção sugerida pelo algoritmo de otimização tem que garantir um adequado nível de segurança e de serviço. Estes requerimentos traduzem-se nas restrições impostas aos estados de condição dos elementos rodoviários. No processo de procura, as restrições são tratadas na primeira fase da otimização. A técnica consiste na reparação da estratégia de manutenção gerada pelo algoritmo, de modo a não permitir que, no período de tempo sucessivo, o índice de condição não ultrapasse o valor de referência, dada a ação de manutenção no intervalo anterior. Uma vez que a restrição é violada, uma ação é aleatoriamente selecionada da lista das ações e o desempenho é recalculado. Este processo continua até as restrições serem cumpridas.

Para uma obra de arte as restrições são definidas para os seus componentes que são independentes entre si.

No caso dos pavimentos, as restrições são definidas para os indicadores do desempenho. Se um dos indicadores for acima do valor de referência, a estratégia deve ser implementada e os cinco indicadores recalculados.

Para os restantes elementos da rede, i.e., muros, taludes e equipamentos da telemática, as restrições são definidas ao nível do seu estado de condição.

### **3.5.3.3.3 Otimização integrada**

A segunda fase da otimização baseia-se na informação resultante da otimização individual de cada um dos elementos da rede viária, com o objetivo de gerir recursos de forma integrada.

Nesta fase, as soluções representam as combinações das estratégias de manutenção. O número das variáveis corresponde ao número dos elementos, i.e., muros, taludes, obras de arte, etc., considerados no processo de otimização. Os objetivos são definidos pelas medidas estatísticas dos estados de condição dos elementos rodoviários e dos custos de manutenção.

Na otimização integrada “multiobjetivos”, foram quatro os objetivos principais considerados, a saber:

- (i) A minimização do valor médio dos estados de condição dos elementos;
- (ii) A minimização do valor médio dos custos de manutenção;
- (iii) A minimização da variância dos estados dos elementos ao longo dos anos;
- (iv) A minimização da variância dos custos ao longo dos anos.

Após o processo da procura, que resulta no conjunto de soluções ótimas, ocorre a tomada de decisão. Este processo consiste na escolha de uma única solução a partir de um conjunto de soluções de compromisso. Para o apoio à tomada de decisão, é usado o método das métricas pesadas. O decisor fornece as suas preferências, atribuindo pesos a cada objetivo considerado. O método devolve uma única solução de compromisso que melhor reflete as preferências definidas, finalizando o processo de otimização.

### **3.5.4 Outras funcionalidades**

A plataforma de gestão possui outras funcionalidades de relevo, tais como:

- (i) Integração de um sistema de informação geográfica que permite identificar, em mapas georreferenciados, a localização dos elementos da infraestrutura e informação relevante associada;



- (ii) Produção de relatórios pré-definidos de qualquer elemento da infraestrutura registado na BD;
- (iii) Ferramenta de planeamento e gestão das inspeções de campo a realizar pelos diferentes técnicos.

## 3.6 Plataforma Móvel

### 3.6.1 Funcionamento

A plataforma móvel, desenvolvida para *tablets*, apoia as atividades de inspeção realizadas *in situ* às infraestruturas, funcionando *offline* e sincronizando com a plataforma de gestão.

O utilizador da plataforma móvel pode, rápida e facilmente, executar uma inspeção *in situ* através do preenchimento de listas de verificação pré-definidas e determinados campos de dados, registando todas as informações sobre o EC dos principais elementos e também as ocorrências ad hoc detetadas na infraestrutura.

### 3.6.2 Características e funcionalidades

Principais características e funcionalidades da plataforma móvel que contribuem para uma otimização de tempo e recursos e informações de qualidade:

- (i) Permite o funcionamento *offline*;
- (ii) Esquemas visuais adaptados à realidade de cada elemento;
- (iii) Informação histórica, acessível através do armazenamento de relatórios de inspeções anteriores;
- (iv) Listas de verificação pré-definidas para um fácil preenchimento;
- (v) Associação de elementos multimédia como fotos, vídeo e som;
- (vi) Georreferenciação automática, que permite identificar a localização de cada elemento num mapa
- (vii) Sincronização com a plataforma de gestão

## 3.7 Sistemas de Monitorização, em tempo real

### 3.7.1 Funcionamento

Estes sistemas, baseados em redes de sensores sem fios (*Wireless Sensor Networks*), podem ser instalados em elementos críticos da infraestrutura para registar e difundir condições de estabilidade e detetar embates em guardas de segurança, através do envio de alertas para diferentes dispositivos de comunicação, em tempo real. Estes eventos são rececionados pelo coordenador da *WSN* (rede) que os envia para um servidor remoto.

### 3.7.2 Embates em guardas de segurança

O sistema de monitorização em contínuo deteta, em tempo real, a ocorrência de embates em guardas de segurança, permitindo uma mais rápida ajuda às vítimas e um aviso imediato aos outros condutores.

O Sistema de Deteção de Colisões (SDC) baseia-se na utilização de um dispositivo designado por *End Device*, que é instalado nas guardas de segurança da infraestrutura e que envia um sinal assíncrono aquando da deteção de uma aceleração (superior ao limite estabelecido). Além desta funcionalidade, o dispositivo envia periodicamente informação, incluindo o nível da bateria, permitindo avaliar o seu bom funcionamento.

### 3.7.3 Monitorização de muros e taludes

O sistema de monitorização de muros e taludes (SMMT) permite, em tempo real, obter informação sobre as condições de estabilidade destes elementos da infraestrutura, detetando movimentações de curto e longo prazo

das estruturas, contribuindo para a prevenção de ocorrências que possam condicionar o normal funcionamento das vias.

No contexto deste sistema, foram definidos dois tipos de eventos de monitorização: assíncronos e síncronos. O evento assíncrono permite detetar acelerações acima de um *threshold* definido, traduzindo-se na deteção de derrocadas. Os eventos síncronos fazem a leitura periódica e obrigatória do nível da bateria e inclinação do dispositivo. Podem existir leituras não obrigatórias de sensores, como humidade, temperatura do solo ou ar, pressão atmosférica, etc.

## 3.8 VISÃO GERAL

O SustIMS apresenta-se como uma solução inovadora e integrada que apoia os gestores de infraestruturas rodoviárias. É apoiada numa Plataforma de Gestão que recebe informação proveniente de uma plataforma móvel, pela forma de sincronização e a partir de sistemas de monitorização em tempo real.

### 3.8.1 Principais características do sistema

Integrado - centraliza várias fontes de informação de dados, como inspeções da plataforma móvel e dados históricos, permitindo uma visão exata e atualizada de todos os elementos de infraestrutura.

Flexível – adapta-se a diferentes modelos de negócio, níveis de qualidade e métodos de cálculo, que mudam de país para país. As estratégias de intervenção recomendadas podem ser ajustadas, tendo presente as necessidades específicas de cada infraestrutura. Permite ainda a análise de cenários multiobjectivos.

Escalável - pode incorporar outros módulos de componentes da infraestrutura e sistemas de monitorização.

### 3.8.2 Principais benefícios

Em primeiro lugar, numa perspetiva económica e de qualidade, a otimização da gestão de ativos da infraestrutura, com base em modelos de previsão e otimização.

Em segundo, o SustIMS permite reduzir os custos de ciclo de vida da infraestrutura e, por meio de previsões mais precisas sobre a necessidade de futuros investimentos, diminui o risco financeiro dos projetos.

## 3.9 REFERÊNCIAS

1. Pinheiro, M., Sanches, S., Miranda, T., Neves, A., Tinoco, J., Ferreira, A., Gomes Correia, A., *Sistema de avaliação de qualidade de taludes rochosos em fase de exploração*, 14º Congresso Nacional de Geotecnia, Covilhã, 2014.
2. Tinoco, J., Sanches, S., Miranda, T., Neves, A., Pinheiro, M., Ferreira, A., Correia, A., *Uso de cadeias de Markov na previsão da degradação de taludes*, 14º Congresso Nacional de Geotecnia, Covilhã, 2014.
3. Ferreira, C., Neves, L., Matos, J., Soares, J., *A degradation and maintenance model: Application to Portuguese Context*, 7<sup>th</sup> IABMAS, Shanghai - China, 2014.
4. Fernandes, S., Matos, J., Cabral, J., *Desenvolvimento de um modelo de desempenho para equipamentos de telemática em auto-estradas*, 5ª JPEE, Lisboa, 2014.
5. Miranda, J., Gomes, M., Abrishambaf, R., Loureiro, F., Mendes, J., Cabral, J. and Monteiro, J., *A Wireless Sensor Network for Collision Detection on Guardrails*, 23rd International Symposium on Industrial Electronics, Istanbul - Turquia, 2014.
6. Berardinelli, U., Neves, L., Matos, J., Guimaraes, H., *An advanced highway asset management system*, 4<sup>th</sup> IALCCE, Tóquio – Japão, 2014.
7. Video institucional em [https://www.youtube.com/watch?v=JO0h\\_OLhfQs](https://www.youtube.com/watch?v=JO0h_OLhfQs)