



# Transition zones in railway tracks: an experimental and numerical study on the structural behaviour

André Luís Marques Paixão

Doutoramento em Engenharia Civil

Orientador: Doutor Eduardo Fortunato (LNEC); Co-orientador: Doutor Rui Calçada (FEUP)

**Resumo:** A via-férrea degrada-se continuamente ao longo do seu ciclo de vida útil. Este aspeto tem consequências negativas para a manutenção e disponibilidade das linhas e é particularmente evidente em locais com alterações bruscas das condições de apoio da via, tais como zonas de transição para pontes e outras obras-de-arte. Para atenuar esse problema, as ferrovias modernas incluem estruturas em aterro concebidas para proporcionar uma adequada aproximação às obras-de-arte, utilizando geomateriais de elevado desempenho, usualmente designados “blocos técnicos”. No entanto, o problema da degradação da via nestas zonas de transição não está ainda completamente resolvido.

No contexto do atual paradigma de redução de custos do ciclo de vida das infraestruturas de transporte, a investigação apresentada nesta Tese visa aprofundar o conhecimento sobre o comportamento estrutural de zonas de transição, utilizando uma abordagem inovadora e integrada para analisar o problema, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos ativos do sistema ferroviário, em particular a via-férrea.

No âmbito de um projeto que envolveu o LNEC, a FEUP e a REFER, foi acompanhada a construção de uma linha férrea com 30 km de extensão. Procedeu-se à caracterização laboratorial de materiais naturais britados ligados e não ligados utilizados nas zonas de transição, nomeadamente recorrendo a ensaios triaxiais cíclicos sobre provetes de grandes dimensões. Foi realizada uma extensa caracterização *in situ* da subestrutura da via, incluindo campanhas específicas realizadas com o equipamento *portancemètre* em zonas de transição. Foram monitorizadas as deformações do aterro de um caso de estudo de zona de transição para uma ponte utilizando diferentes técnicas, incluindo o recurso a inclinómetros sub-horizontais instalados durante a construção. Os resultados obtidos sobre a subestrutura nas zonas de transição indicam que a conceção destas estruturas foi bem-sucedida, minimizando os assentamentos e conferindo um aumento gradual da rigidez vertical na aproximação às obras-de-arte. A análise da evolução da qualidade geométrica da via evidenciou taxas de degradação mais elevadas em algumas zonas de transição e em outras singularidades, principalmente associadas a alterações bruscas verificadas na subestrutura da via.

Para aproximar os estudos numéricos dos trabalhos experimentais, foram desenvolvidos e apresentados extensos trabalhos de campo cujos resultados foram utilizados na calibração e validação de modelos MEF que incluem os elementos relevantes da superestrutura e da subestrutura. Estes modelos também consideram a interação dinâmica veículo-via e são muito precisos na reprodução das medições efetuadas. Os trabalhos experimentais consistiram na caracterização dinâmica da via, recorrendo a ensaios de recetância e a uma nova abordagem usando o defletómetro de impacto portátil. Também foram analisadas em detalhe soluções inovadoras para zonas de transição, como as palmilhas sob as travessas (usualmente designados *under sleeper pads*, USP) em casos de estudo específicos de zonas de transição para passagens inferiores. Os resultados experimentais evidenciaram um aumento na rigidez vertical da via na aproximação às obras-de-arte, o que poderia sugerir a amplificação da interação dinâmica veículo-via. No entanto, devido à existência de uma variação gradual da rigidez vertical conferida pelos aterros de transição e à boa qualidade geométrica da via, as simulações indicaram amplificações dinâmicas limitadas nos cenários testados. Quanto à utilização de USP, as simulações apontam para uma contribuição benéfica na redução de taxas de degradação da via, no entanto, é necessário garantir o adequado dimensionamento destas para minimizar amplificações dinâmicas da solicitação dos veículos que se podem desenvolver na entrada e saída das secções de via com USP.

Posteriormente foi investigado o efeito dos assentamentos diferenciais, que ocorre na aproximação às obras-de-arte, sobre a resposta dinâmica do sistema veículo-via. Para tal, recorreu-se a simulações numéricas em estudos paramétricos exaustivos. Os resultados das simulações foram integrados e utilizados para estabelecer indicadores de desempenho que afetam a interação veículo-via, com base no comprimento e amplitude dos defeitos da via. Foi apresentada e aplicada à linha em estudo uma nova abordagem, numa tentativa de associar os resultados dos estudos paramétricos aos locais da via que evidenciavam degradação mais acelerada ou a outras situações críticas. São sugeridas ferramentas e ações para os gestores das infraestruturas ferroviárias, visando a monitorização do desempenho de zonas de transição e promovendo uma gestão mais eficiente da infraestrutura.

---

**Palavras-chave:** via-férrea; zonas de transição; conceção e construção de blocos técnicos; degradação da qualidade geométrica da via; caracterização *in situ*; ensaios triaxiais cíclicos; instrumentação e monitorização; palmilhas sob as travessas; modelação numérica; interação dinâmica veículo-via.