

Prefácio / Prefacio / Foreword

Eduardo Fortunato

José Estaire

Liedi Bernucci

Editores convidados/Editores invitados/Guest Editors

O presente número temático da revista Geotecnia sobre "A geomecânica de pavimentos rodoviários e ferroviários" apresenta um conjunto de artigos que tratam temas do interesse dos técnicos e investigadores que dimensionam, constroem, mantêm em funcionamento e estudam o comportamento dos pavimentos.

Os pavimentos rodoviários e as vias-férreas são estruturas aparentemente simples, mas que podem exibir comportamentos complexos. O seu desempenho estrutural e funcional depende, em particular, das características intrínsecas e de estado dos geomateriais que constituem as respetivas camadas e fundações.

No trabalho apresentado por **Paiva, Alves, Françaço e Marchena** (Paiva et al., 2022) é discutida a possibilidade de utilizar solos lateríticos não compactados no leito do pavimento rodoviário construído com blocos, de forma a garantir que toda a estrutura exibe uma elevada permeabilidade, para permitir a infiltração da água em épocas de significativa pluviosidade. O assunto é pertinente, nomeadamente pelo facto de a técnica proposta pretender recuperar uma prática antiga, entretanto abandonada, que, segundo os autores, foi utilizada na construção de alguns pavimentos antigos que ainda funcionam adequadamente. Para além disso, a técnica discutida pode permitir tornar mais eficientes os sistemas de drenagem dos pavimentos rodoviários, o que é particularmente relevante quando se consideram os efeitos das alterações climáticas.

Outra questão da maior importância no âmbito da geomecânica de pavimentos prende-se com a utilização de materiais não convencionais e com o melhoramento de materiais inadequados, de forma a potenciar a sua aplicação, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental destas obras.

O trabalho apresentado por **Rios, Panico e Viana da Fonseca** (Rios et al., 2022) apresenta aspetos do comportamento mecânico de um solo misturado com cimento, sujeito a carregamento cíclico. Os autores analisam a influência do teor de cimento, da compactação dos provetes e do nível de tensão quer no módulo resiliente obtido em ensaios triaxiais cíclicos – estes realizados de forma a solicitar o material com tensões semelhantes às que se verificam nas plataformas ferroviárias – quer na velocidade de propagação das ondas sísmicas. Os autores discutem ainda o comportamento a longo prazo dos materiais cimentados submetidos a carregamento cíclico e apontam para a necessidade de alterar protocolos de ensaio normalmente utilizados. Estas questões são muito relevantes, nomeadamente para aumentar o conhecimento relativo ao comportamento dos materiais tratados com ligantes, de modo a promover a sua utilização de forma generalizada.

Num outro trabalho, **Royes, Iribarren e Pujol** (Royes et al., 2022) apresentaram resultados de projetos de investigação que visaram estudar a possibilidade de utilizar subprodutos industriais em camadas de balastro e sub-balastro ferroviário, nomeadamente: i) partículas de balastro cobertas por um revestimento composto por um ligante e pó de borracha de pneus de veículos em fim de vida; ii) agregado siderúrgico. Os resultados de estudos laboratoriais e do comportamento de trechos de vias-

férreas em operação onde esses materiais foram testados evidenciaram os benefícios técnicos, económicos e ambientais que podem advir da sua utilização.

O trabalho apresentado por **Santana e Estaire** (Santana e Estaire, 2022) é dedicado aos resíduos de construção e demolição (RCD). São discutidas questões importantes relacionadas com a respetiva constituição, classificação e utilização em obras rodoviárias. No que se refere, em particular, aos aspetos ambientais, é dado relevo aos ensaios de lixiviação mais comuns para a caracterização dos RCD e aos critérios e respetivos valores nominais com os quais os resultados desses ensaios podem ser comparados para sua correta interpretação. Por fim, é feita uma reflexão sobre possíveis cenários em que os RCD podem ser utilizados em aterro para evitar possíveis efeitos negativos para o meio ambiente.

Nos últimos anos, os métodos empíricos de dimensionamento dos pavimentos têm vindo a ser substituídos por abordagens mecanicistas, as quais permitem considerar, de forma mais adequada, as solicitações e as propriedades dos materiais envolvidos, conduzindo a soluções estruturais economicamente mais eficientes, nomeadamente quando se considera o ciclo de vida da infraestrutura. Nesta ótica, assumem particular destaque os modelos numéricos de análise estrutural, cuja capacidade de representação das estruturas e fenómenos envolvidos, adequada calibração e criteriosa utilização são fundamentais para a obtenção de resultados de qualidade, designadamente em termos de tensões e deformações nas estruturas em análise.

Moraes, Pereira, Neto, Bernucci, Motta e Moura (Moraes et al., 2022), apresentam um trabalho onde discutem a importância da calibração dos parâmetros mecânicos e da forma das partículas de balastro ferroviário, na adequada simulação de um ensaio de corte direto com recurso a um modelo numérico de elementos discretos. Para tal, digitalizaram partículas de balastro e realizaram estudos paramétricos, os quais evidenciaram a necessidade de considerar adequadamente as propriedades dos materiais no modelo numérico.

Finalmente, no trabalho de **Paixão, Varandas e Fortunato** (Paixão et al., 2022) são apresentados resultados da análise estrutural do comportamento da via-férrea balastrada, em particular considerando anomalias e distintos tipos de veículos. Os autores recorreram a um modelo numérico tridimensional por elementos finitos que incorpora, nomeadamente: i) um modelo robusto de acumulação de deformação tridimensional da camada de balastro para muitos ciclos de carga; ii) a interação dinâmica veículo-via; iii) o comportamento resiliente não linear da camada de balastro. Os resultados obtidos permitiram melhorar o conhecimento sobre o comportamento dinâmico e de longo prazo de vias balastradas.

Os estudos apresentados nos artigos que integram o presente número da revista evidenciam bem as possibilidades de investigação em aberto no domínio da geomecânica de pavimentos rodoviários e ferroviários. Os Editores deste número temático agradecem o contributo de todos os autores e esperam que esta publicação seja útil para a comunidade geotécnica.

El presente número temático de la revista Geotecnia sobre "Geomecánica de carreteras y ferrocarriles: rellenos, terraplenes y capas de vía" presenta un conjunto de artículos que tratan temas de interés para los técnicos e investigadores que proyectan, construyen, mantienen en funcionamiento y estudian el comportamiento de los pavimentos.

Los pavimentos de las carreteras y las vías férreas son estructuras aparentemente sencillas, pero que pueden presentar comportamientos complejos. Su comportamiento estructural y funcional depende, en particular, de las características intrínsecas y de estado de los geomateriales que constituyen sus diferentes niveles y del terreno en el que se apoyan.

En el trabajo presentado por **Paiva, Alves, Franoso y Marchena** (Paiva et al., 2022), se discute la posibilidad de utilizar suelos lateríticos no compactados en el lecho del pavimento de la carretera construido con bloques, con el fin de garantizar que toda la estructura presente una alta permeabilidad, para permitir la filtración del agua en momentos de precipitaciones importantes. El tema es pertinente, sobre todo por el hecho de que la técnica propuesta pretende recuperar una antigua práctica, hoy en día abandonada que, según los autores, se utilizaba en la construcción de algunos pavimentos antiguos que todavía funcionan correctamente. Además, la técnica comentada puede permitir hacer más eficientes los sistemas de drenaje de los pavimentos de las carreteras, lo que es especialmente relevante si se tienen en cuenta los efectos del cambio climático.

Otra cuestión de gran importancia en el ámbito de la geomecánica de los pavimentos es la relacionada con el uso de materiales no convencionales y con la mejora de los materiales inadecuados, con el fin de mejorar su aplicación, contribuyendo así a la sostenibilidad medioambiental de estas construcciones.

El trabajo presentado por **Rios, Panico y Viana da Fonseca** (Rios et al., 2022) presenta aspectos del comportamiento mecánico de un suelo mezclado con cemento, sometido a cargas cíclicas. Los autores analizan la influencia del contenido de cemento, la compacidad de la probeta y el nivel de tensión tanto en el módulo de resiliencia obtenido en los ensayos triaxiales cíclicos -realizados para someter al material a tensiones similares a las encontradas en las plataformas ferroviarias- como en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas. Los autores también analizan el comportamiento a largo plazo de los materiales cementados sometidos a cargas cíclicas y señalan la necesidad de cambiar los protocolos de ensayo utilizados habitualmente. Estas cuestiones son muy relevantes, especialmente para aumentar el conocimiento sobre el comportamiento de los materiales tratados con aglutinantes, con el fin de promover su uso generalizado.

En otro trabajo, **Royes, Iribarren, Pujol** (Royes et al., 2022) presentan los resultados de varios proyectos de investigación que estudian la posibilidad de utilizar subproductos industriales en las capas de balasto y subbalasto ferroviario, a saber: i) partículas de balasto cubiertas por un revestimiento compuesto por un aglutinante y polvo de caucho procedente de neumáticos de vehículos fuera de uso; ii) árido de acero. Los resultados de los estudios de laboratorio y del comportamiento de los tramos de vías férreas en funcionamiento en los que se probaron estos materiales ponen de manifiesto las ventajas técnicas, económicas y medioambientales que puede suponer su uso.

El trabajo presentado por **Santana y Estaire** (Santana y Estaire, 2022) está dedicado a los residuos de construcción y demolición (RCD). Se discuten cuestiones importantes relacionadas con su constitución, clasificación y uso en las obras de carretera. En cuanto a los aspectos ambientales, se destacan las pruebas de lixiviación más comunes para la caracterización de los RCD y los criterios y valores nominales respectivos con los que se pueden comparar los resultados de estas pruebas para su correcta interpretación. Por último, se hace una reflexión sobre los posibles escenarios de vertido de los RCD para evitar posibles efectos negativos sobre el medio ambiente.

En los últimos años, los métodos empíricos para el diseño de pavimentos han sido sustituidos por enfoques mecanicistas, que permiten considerar, de forma más adecuada, las tensiones y las propiedades de los materiales implicados, dando lugar a soluciones estructurales más eficientes desde el punto de vista económico, sobre todo si se considera el ciclo de vida de la infraestructura. En esta perspectiva, adquieren especial protagonismo los modelos numéricos de análisis estructural, cuya capacidad para representar las estructuras y los fenómenos implicados, su adecuada calibración y su cuidadosa utilización son fundamentales para obtener resultados de calidad, especialmente en lo que se refiere a las tensiones y deformaciones en las estructuras analizadas.

Moraes, Pereira, Neto, Bernucci, Motta y Moura (Moraes et al., 2022), presentan un trabajo en el que discuten la importancia de la calibración de los parámetros mecánicos y de la forma de las partículas del balasto ferroviario, en la adecuada simulación de un ensayo de cizallamiento directo mediante un modelo numérico de elementos discretos. Para ello, digitalizaron las partículas de balasto y realizaron estudios paramétricos, que pusieron de manifiesto la necesidad de considerar adecuadamente las propiedades del material en el modelo numérico.

Por último, el trabajo de **Paixão, Varandas y Fortunato** (Paixão et al., 2022) presenta los resultados del análisis estructural del comportamiento de la vía sobre balasto, considerando especialmente las anomalías y los diferentes tipos de vehículos. Los autores utilizaron un modelo numérico tridimensional de elementos finitos que incorpora, a saber: i) un modelo robusto de acumulación de deformaciones tridimensionales de la capa de balasto para muchos ciclos de carga; ii) la interacción dinámica vehículo-vía; iii) el comportamiento resiliente no lineal de la capa de balasto. Los resultados obtenidos permiten mejorar el conocimiento sobre el comportamiento dinámico y a largo plazo de las vías férreas en balasto.

Los estudios presentados en los artículos incluidos en el presente número de la Revista son un buen ejemplo de las posibilidades de investigación que siguen abiertas en el campo de la geomecánica de los pavimentos de carreteras y ferrocarriles. Los editores de este número temático agradecen la contribución de todos los autores y esperan que esta publicación sea útil para la comunidad geotécnica.

This issue of the Geotecnia on "The geomechanics of road and rail pavements" presents a set of articles that deal with topics of interest to technicians and researchers, who design, build, maintain and study the behaviour of pavements.

Road pavements and railways are apparently simple structures, but they can exhibit complex behaviours. Its structural and functional performance depends, in particular, on the intrinsic characteristics and state of the geomaterials of the respective layers and foundations.

In the paper presented by **Paiva, Alves, Françaço and Marchena** (Paiva et al., 2022) the possibility of using uncompacted lateritic soils in the capping layer of road block pavement is discussed, in order to ensure that the entire structure exhibits a high permeability, to allow water infiltration during the occurrence of significant rainfall. This matter is relevant, namely because the proposed technique intends to recover an old practice, yet abandoned, which, according to the authors, was used in the construction of some old pavements that still function properly. Furthermore, the technique discussed can make drainage systems for road pavements more efficient, which is particularly relevant when considering the effects of climate change.

Another very important issue in the field of pavement geomechanics is the use of non-traditional materials and the improvement of inappropriate materials, in order to enhance their application, thus contributing to the environmental sustainability of these works.

The article presented by **Rios, Panico and Viana da Fonseca** (Rios et al., 2022) deals with aspects of the mechanical behaviour of a soil mixed with cement, under cyclic loading. The authors analyse the influence of the cement content, the compactness of the specimens and the stress level, both on the resilient module obtained in cyclic triaxial tests – these carried out under stresses similar to those existing on railway platforms – or in the propagation velocity of seismic waves. The authors also discuss the long-term behaviour of cemented materials under cyclic loading and highlight the need to change commonly used test protocols. These issues are very relevant, namely to increase knowledge regarding the behaviour of materials treated with binders, in order to promote their use in a generalized way.

In another paper, **Royes, Iribarren and Pujol** (Royes et al., 2022) presented results of research projects that aimed to study the possibility of using industrial by-products in ballast layer and railway sub-ballast, namely: i) covered ballast particles by a coating composed of a binder and rubber powder from end-of-life vehicle tires; ii) steel slag aggregates. The results of laboratory studies and the behaviour of sections of railways in operation where these materials were tested showed the technical, economic and environmental benefits that can arise from their use.

The paper presented by **Santana and Estaire** (Santana and Estaire, 2022) addresses the topic of construction and demolition waste (CDW). Important issues related to their constitution, classification and use in road works are discussed. Regarding, in particular, environmental aspects, emphasis is given to the most common leaching tests for the characterization of CDW and the criteria and respective nominal values with which the results of these tests can be compared for their correct interpretation. Finally, a reflection is made on possible scenarios in which CDW can be used in embankment layers to avoid possible negative effects on the environment.

In recent years, empirical pavement design methods have been replaced by mechanistic approaches, which allow a more adequate consideration of the loads and the properties of the materials, leading to more economically efficient structural solutions, particularly when considering the life cycle of the infrastructure. In this perspective, numerical models of structural analysis are of particular importance, which ability to represent the structures and phenomena involved, adequate calibration and careful use are essential for obtaining quality results, namely in terms of stresses and deformations in the structures under analysis.

Moraes, Pereira, Neto, Bernucci, Motta and Moura (Moraes et al., 2022), present an article where they discuss the importance of the calibration of mechanical parameters and the way of modelling the particles of railway ballast, in the adequate simulation of a direct shear test using a numerical model of discrete elements. To this end, they digitized ballast particles and performed parametric studies, which highlighted the need to adequately consider the material properties in the numerical model.

Finally, in the paper by **Paixão, Varandas and Fortunato** (Paixão et al., 2022) results of the structural analysis of the behaviour of the ballasted railway track are presented, in particular considering anomalies and different types of vehicles. The authors used a three-dimensional numerical finite element model that incorporates, namely: i) a robust model of three-dimensional deformation accumulation of the ballast layer for many load cycles; ii) the dynamic vehicle-track interaction; iii) the non-linear resilient behaviour of the ballast layer. The results obtained allowed to improve the knowledge about the dynamic and long-term behaviour of ballasted roads.

The studies presented in the articles that make up the present issue of the journal clearly show the different possibilities for research in the field of geomechanics of road and rail pavements. The editors of this thematic issue are grateful for the contribution of all authors and hope that this publication will be useful to the geotechnical community.

Eduardo Fortunato, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal

José Estaire, CEDEX, España

Liedi Bernucci, Universidade de São Paulo, Brasil

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCES

- Moraes, S. T.; Pereira, P.; Neto, A.G.; Bernucci, L.; Motta, R.; Moura, E. (2022). *Cisalhamento direto de lastro ferroviário: modelo numérico e sua calibração*. Geotecnia 155, págs. 103-117.
- Paiva, C. E. L.; Alves, D. M. L.; Françoso, M. T.; Marchena, I. J. P. (2022). *Porosidade dos solos tropicais de subleitos de vias urbanas*. Geotecnia 155, págs. 11-25.
- Paixão, A.; Varandas, J. N.; Fortunato, E. (2022). *Uma abordagem de modelação numérica tridimensional do comportamento de longo prazo de vias-férreas considerando a interação dinâmica veículo-via*. Geotecnia 155, págs. 119-149.
- Rios, S.; Panico, F.; Viana da Fonseca, A. (2022). *Comportamento cíclico e dinâmico de uma areia siltosa artificialmente cimentada*. Geotecnia 155, págs. 27-54.
- Royes, M. M.; Iribarren, J. P.; Pujol, V. F. (2022). *Nuevos materiales sostenibles para balasto, subbalasto y capa de forma en infraestructuras ferroviarias*. Geotecnia 155, págs. 55-75.
- Santana, M.; Estaire, J. (2022)- *El problema de la caracterización ambiental de los RCD para su uso en la construcción de terraplenes en España*. Geotecnia 155, págs. 77-101.