



**3º SIMPÓSIO
ENGENHARIA CIVIL
14.05.2025**

LIVRO DE ATAS



**3º SIMPÓSIO
ENGENHARIA CIVIL
14.05.2025**

Editores

Cristina Fael
Clemente Pinto
Hugo Pinto
Isabel Falorca
João Lanzinha
Jorge Gonçalves
Marisa Almeida

Covilhã, 2025

© 2025, Cristina Fael, Clemente Pinto, Hugo Pinto, Isabel Falorca, João Lanzinha, Jorge Gonçalves e Marisa Almeida.

© 2025, Universidade da Beira Interior.

O conteúdo desta obra está protegido por Lei. A qualidade científica e os conteúdos das comunicações, apesar de processo independente de revisão por pares, são da inteira responsabilidade dos respetivos autores.



3º Simpósio de Engenharia Civil 2025 (3SEC 2025)

LIVRO DE ATAS

FICHA TÉCNICA

Título

3º Simpósio de Engenharia Civil 2025 (3SEC 2025): Livro de Atas

Editores

Cristina Maria Sena Fael
Clemente Martins Pinto
Hugo Alexandre Silva Pinto
Isabel Gonçalves Falorca
João Carlos Gonçalves Lanzinha
Jorge Humberto Gaspar Gonçalves
Marisa Dinis de Almeida

Imagem da Capa

Cristina Fael / Hugo Pinto

Design

Hugo Pinto

Edição e Execução Gráfica

UBI Edições – Universidade da Beira Interior
Rua Marquês d'Ávila e Bolama | 6201-001 Covilhã – Portugal
tipografia@ubi.pt | www.ubi.pt

N.º de Exemplares

Print-on-demand

ISBN

978-989-9239-26-5 (papel)
978-989-9239-25-8 (pdf)

Depósito Legal N.º

558890/26

DOI

<https://doi.org/10.25768/9239-25-8>

Covilhã, 2025

ÍNDICE

PREFÁCIO	XI
ORGANIZAÇÃO	XII
PATROCÍNIOS	XV
 TEMA 01	 1
MATERIAIS E CONSTRUÇÃO	
SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO EM TEMPO DE COVID-19 José Arias, José Santos	3
IMPRESSÃO 3D EM SOLO-CIMENTO João Pegas, Margarida Monteiro, Maria Fernandes, Gonçalo Costa, Rafaela Cardoso	5
SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO 4.0 Gonçalo Brandão, Tiago Pinto, Carlos Oliveira, Cristina Reis	7
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CONSTRUÇÃO Cristóvão Santos, Carlos Oliveira, Cristina Reis	9
 TEMA 02	 11
MECÂNICA ESTRUTURAL E ESTRUTURAS	
HYPERVELOCITY IMPACTS AGAINST CONCRETE MIXED WITH CERAMIC SPHERES David Elias, Hugo Rebelo	13
AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PRÉ-LAJES DE BETÃO COM FIBRAS SINTÉTICAS Daniel Almeida, João Firmo, José Oliveira Pedro	15
ESTUDO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE EDIFÍCIOS COM ISOLAMENTO DE BASE DO TIPO APOIO PENDULAR COM ATRITO – APLICAÇÃO AO NOVO EDIFÍCIO DO H FAR Hugo Santos, Luís Guerreiro	17
RESISTÊNCIA À FLEXÃO COMPOSTA DE COLUNAS MISTAS AÇO-BETÃO Diogo Encarnação, Luís Calado, Pedro Matias	19
ANÁLISE SÍSMICA DE UM EDIFÍCIO CONSTITUÍDO POR ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS DE BETÃO Pedro Ferreira, Humberto Varum, José Melo, A. Monteiro	21
MODELAÇÃO DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS DE COMPRESSÃO UNIAXIAL EM PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA TRADICIONAL ATRAVÉS DE MODELOS DE PARTÍCULAS: INFLUÊNCIA DE MODELOS DE CONTACTO ARGAMASSA-PEDRA Catarina Brás, Ildi Cismasiu, Nuno Monteiro Azevedo	23

IMPACTO DAS ABERTURAS NO DIMENSIONAMENTO DE PAREDES AUTOPORTANTES PREFABRICADAS DE BETÃO ARMADO Gonçalo Marreneca, André Furtado, Ricardo do Carmo	25
CARACTERIZAÇÃO DE ANCORAGENS ADERENTES COM VARÕES NERVURADOS, INSTALADAS À POSTERIORI, SUJEITOS A AÇÕES CÍCLICAS Daniel B. Heleno, Paulo Fernandes, Hugo Rodrigues	27
TUBULAR STEEL TRUSS GIRDERS WITH INNOVATIVE SHS JOINTS USING LASER CUTTING TECHNOLOGY João Damião	29
VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DO SISTEMA DE BETÃO ARMADO MICADO Douglas Alves, Jorge Pinto, Cristina Reis	31
STRUCTURAL ANALYSIS OF TRADITIONAL MASONRY ARCHES AND VAULTS Yash Ramniclul, António Gago	33
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM DISPOSITIVO DE FLEXÃO DE BARRA PLANA EM FORMA DE U PARA DISSIPACÃO DE ENERGIA EM PROTEÇÃO CONTRA EXPLOSÕES Tiago Ferreira, David Lecompte, Pedro Silva Gonçalves Matias	35
TEMA 03 HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS	37
OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA COM ARMAZENAMENTO POR BOMBAGEM EXISTENTE NA ILHA DA MADEIRA Miguel Tavares, Helena Ramos	39
TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS: UMA VISÃO GERAL DA PESQUISA ATRAVÉS DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA Paula Sá, Sérgio Lousada	41
PREDICTING RIVER DISCHARGES WITH DEEP LEARNING MODELS Rafael Francisco, José Pedro Matos	43
PROMOTING SUSTAINABLE WATER CONSUMPTION IN TWO UNIVERSITY STUDENT RESIDENCES Gabriel Ohara, Ana Antão-Geraldes, Maria João Afonso, António Albuquerque, Flora Silva	45
REMOTE SENSING TOOL FOR RESERVOIR VOLUME ESTIMATION João Pimenta, João Fernandes, Alberto Azevedo	47
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA VULNERABILIDADE E PERIGO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO – BRASIL Victor Lima, Fernando Pacheco, Luís Fernandes	49
ANÁLISE DE INTRUSÃO DE ÁGUA DO MAR NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO – BRASIL: DIVULGAÇÃO DE RESULTADOS REGIONAIS E LOCAIS Victor Lima, Fernando Pacheco, Luís Fernandes	51
GESTÃO DA ÁGUA: PORTUGAL E MOÇAMBIQUE, DUAS REALIDADES Hélder Baptista, Isabel Bentes, Tiago Pinto	53

TEMA 04	55
TRANSPORTES, INFRAESTRUTURA E MOBILIDADE	
APLICAÇÃO DE METODOLOGIA BIM A MONITORIZAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS FERROVIÁRIAS	57
Nuno Moreira, José Neves, Alcínia Sampaio	
DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MISTURAS BETUMINOSAS PARA CAMADAS DE DESGASTE INCORPORANDO RESÍDUOS INDUSTRIAIS	59
Hernán Ayala, Marisa Almeida	
APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES - MACHINE LEARNING FOR AIRPORT PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) ASSESSMENT	61
André Studart, Bertha Santos, Pedro Almeida	
IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS EM VEÍCULOS FERROVIÁRIOS DE MERCADORIAS BASEADA NUM SISTEMA <i>WAYSIDE</i> E COM RECURSO A UM <i>AUTOENCODER</i>	63
Tomás Jorge, Diogo Ribeiro, Ruben Silva	
ESPAÇOS VERDES DO PORTO NO CONTEXTO DA CIDADE DOS 15-MINUTOS	65
Maria Almeida, Fernando Fonseca	
TEMA 05	67
GEOTECNIA	
METODOLOGIA DE ESCAVAÇÃO SEQUENCIAL NA VERTICAL (MSV)	69
Antony Pereira, Patrícia Lopes, Cândido Freitas	
TEMA 06	71
GESTÃO E MANUTENÇÃO	
MONITORIZAÇÃO ESTRUTURAL DA COBERTURA DO ESTÁDIO DE LEIRIA ATRAVÉS DE SENSORES DINÂMICOS DE BAIXO CUSTO	73
Isadora D. Estevam, Paulo Fernandes, Hugo Rodrigues, Romain Sousa	
SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS asfálticos URBANOS: proposta de MATRIZ DE DECISÃO DE MANUTENÇÃO FUNDAMENTADA NA AVALIAÇÃO DE PATOLOGIAS	75
Victor Schwandt, Rosário Oliveira, Patrícia Barboza da Silva	
PREVENÇÃO DA QUEDA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS COM RECURSO A APRENDIZAGEM PROFUNDA E VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS	77
Diogo Almeida, António Cunha, Sandra Pereira	
TEMA 07	79
QUALIDADE E SUSTENTABILIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO	
ENERGY PILE-BASED SHALLOW GEOTHERMAL SYSTEMS – APPLICATION IN PORTUGAL	81
Diogo Venâncio, Nuno Martins, Teresa Freitas, Peter Bourne-Webb	

LEVEL(S) APPROACH TO ANALYSIS OF SUSTAINABILITY IN BUILDINGS AN EXPLORATORY STUDY OF LEVEL(S) FRAMEWORK ON A RESIDENTIAL PROJECT Dhruvi Shah, Constança Rigueiro	83
ESTUDO DE EVACUAÇÃO DE UM EDIFÍCIO FAST FOOD MULTINACIONAL EM CASTELO BRANCO Rodencio Mendes, Cristina Calmeiro	85
COMPARISON BETWEEN THE FIRE SAFETY LEGISLATION OF INDIA – ITALY – ENGLAND Nisarg Patel, Cristina Calmeiro	87
TEMA 08 RISCOS E RESILIÊNCIA	89
MODELO DE AVALIAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS EXISTENTES Luís Moreira, João Lanzinha, Paulo Kruger	91
ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF LAMINATED GLASS AGAINST EXPLOSIONS J. Penedos, P. Matias, P. Hála, R. Sovják	93
CONCRETE BEHAVIOUR AGAINST HIGH VELOCITY IMPACTS Miguel Chambino, Hugo Rebelo	95
VALORES DE MERCADO DE IMÓVEIS PARA HABITAÇÃO EM PORTUGAL E ANGOLA Danilson Chimuco, Sandra Pereira	97
RESISTÊNCIA AO FOGO DA CONSTRUÇÃO TRADICIONAL DE VILA POUCA DE AGUIAR João Rodrigues, Jorge Pinto, Cristina Reis	99
TEMA 09 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	101
DA FÁBRICA À ESTRADA: VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MEMBRANAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO EM MISTURAS BETUMINOSAS DE PAVIMENTAÇÃO Júlio Santos, José Neves, Ana Pacheco	103
COMPÓSITOS DE MATRIZ TERMOPLÁSTICA: ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO A TEMPERATURA ELEVADA Mariana Gameiro	105
IMPACT OF MINING WASTE INCORPORATION AS FILLER FOR <i>TOUT-VENANT</i> AS ROAD GEOMATERIAL Maria Vitoria Morais, Luís Pais, Victor Cavaleiro	107
COMPARAÇÃO DE CUSTOS DE EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES (CONSTRUÇÃO MODULAR E TRADICIONAL EM BETÃO) Filipe Cruz, Carlos Oliveira, Cristina Reis	109
IDENTIFICAÇÃO DO PROCESSO DE CONTROLO DA PRODUÇÃO EM FÁBRICA Danyeale Gonçalves, Rosário Oliveira, Cristina Reis	111
PROJETO DE INVESTIGAÇÃO - INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO Davide Pinto, Domingos Ribas, Carlos Oliveira	113

TEMA 10	115
INOVAÇÃO E TECNOLOGIAS DIGITAIS	
BIM PARA GESTÃO E DIAGNÓSTICO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) COM O USO DA TECNOLOGIA LIDAR-IPAD André Targa, Diego Calvetti, Pedro Mêda	117
ROAD CLASSIFICATION USING VIBRATION DATA AND MACHINE LEARNING Raquel Silva, José Neves, Manuel Parente	119
ASSESSMENT OF THE QUALITY OF ROAD PAVEMENTS USING NEW INSPECTION METHODS Wesley Eusébio, Bertha Santos, Pedro Almeida	121
MAPEAMENTO DE ANOMALIAS NA ENVOLVENTE EXTERIOR DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS COM BASE EM MODELOS TRIDIMENSIONAIS FOTOGRAFÉTRICOS Pedro Oliveira, Diogo Ribeiro, Ricardo Santos	123
CONTROLO GEOMÉTRICO DE PRECISÃO NA MONTAGEM DE ESTRUTURAS METÁLICAS COM RECURSO A TECNOLOGIAS DIGITAIS João Ventura, Diogo Ribeiro, Ricardo Santos, Rosário Oliveira	125
DESENVOLVIMENTO DE UMA BIBLIOTECA BIM DE LIGAÇÕES METÁLICAS Eduardo Soares, Diogo Ribeiro, Rui Gavina	127
METODOLOGIA BIM APLICADA A INSPEÇÕES Francisco Andrade, Diogo Ribeiro	129
PROGRAMA DO EVENTO	131
PRÉMIOS ATRIBUÍDOS	134
FOTOGRAFIAS DO EVENTO	135

PREFÁCIO

A Universidade da Beira Interior, em parceria com diversas Escolas de Ensino Superior Universitário e Politécnico, organizou o 3º Simpósio de Engenharia Civil (3SEC 2025), que teve lugar no dia 14 de maio de 2025, em formato híbrido.

O SEC tem vindo a afirmar-se, desde a sua primeira edição, como uma plataforma nacional de excelência para a divulgação, valorização e debate em torno do ensino e da investigação em Engenharia Civil. Esta 3ª edição consolidou essa missão, reunindo um vasto conjunto de instituições, estudantes, docentes, investigadores e empresas do sector.

O evento teve como principais objetivos: divulgar os trabalhos académicos concluídos em 2023 ou 2024 por estudantes de Licenciatura e Mestrado em Engenharia Civil; promover a partilha de experiências, reflexão e debate entre finalistas e recém-diplomados; estimular a colaboração entre escolas de engenharia civil a nível nacional; e facilitar a aproximação entre os estudantes e o tecido empresarial, criando pontes para futuras oportunidades profissionais.

Pretendeu-se, assim, promover uma forte mobilização de estudantes de Engenharia Civil de todas as Escolas do Ensino Superior, dando visibilidade aos melhores trabalhos desenvolvidos em contexto académico ou em articulação com o meio empresarial. O simpósio constituiu também uma oportunidade para as empresas conhecerem de perto o talento emergente e a qualidade dos projetos desenvolvidos nos 1º e 2º ciclos de estudos.

O programa do 3SEC 2025 contou com a participação de dois oradores convidados, que ilustraram a relevância multidisciplinar e o impacto da Engenharia Civil na sociedade contemporânea. As suas intervenções abordaram inovações e tecnologias emergentes com potencial para transformar o exercício profissional da engenharia nos próximos anos.

Estiveram representadas no evento 27 Escolas de Engenharia de Portugal, através de 44 membros da Comissão Organizadora e 27 membros da Comissão Científica. A participação dos estudantes concretizou-se através da submissão de um resumo alargado, sujeito a revisão científica por pares, com base em critérios de qualidade, rigor e relevância temática definidos pela Comissão Científica. Os trabalhos aprovados foram reunidos neste Livro de Atas.

A presente publicação inclui 55 resumos alargados, organizados em 10 áreas temáticas. No decurso do evento foram apresentados 43 trabalhos, distribuídos pelas seguintes modalidades: 36 apresentações orais, 4 vídeos e 3 pósteres.

O 3SEC 2025 contou ainda com o patrocínio de 17 empresas e com os apoios institucionais da Ordem dos Engenheiros, de 3 Unidades de Investigação, da Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas, da Associação dos Estudantes de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico e da Federação Nacional dos Estudantes de Engenharia Civil. Foram atribuídos prémios nas seguintes categorias: Resumo Alargado – Mestrado (1.º e 2.º prémios); Resumo Alargado – Licenciatura (1.º e 2.º prémios); Apresentação (1.º e 2.º prémios); e Prémio + Impacto.

O 3SEC 2025 constituiu uma expressiva manifestação de entusiasmo, envolvimento e compromisso por parte das Escolas de Engenharia de todo o país. A forte adesão ao evento reflete o interesse crescente em destacar o que de melhor se faz em Portugal no domínio da Engenharia Civil e em cada instituição de ensino.

Eventos como o SEC contribuem para a valorização do conhecimento técnico-científico e para o reforço dos laços entre a academia e o sector empresarial — promovendo, assim, uma engenharia mais colaborativa, inovadora e alinhada com os desafios do presente e do futuro.

Covilhã, maio de 2025.

Os Editores.

ORGANIZAÇÃO

Comissão Organizadora Local

Cristina Maria Sena Fael (Coordenadora)

Clemente Martins Pinto

Hugo Alexandre Silva Pinto

Isabel Gonçalves Falorca

João Carlos Gonçalves Lanzinha

Jorge Humberto Gaspar Gonçalves

Marisa Sofia Fernandes Dinis de Almeida



Comissão Organizadora

André Furtado
Universidade de Lisboa



Carlos Oliveira
Instituto Politécnico de
Viana do Castelo



Carlos Silva
Universidade do Algarve



Cristina Costa
Instituto Politécnico de
Tomar



Maria Barros
Universidade dos Açores



Maria Borges
Instituto Politécnico de
Portalegre



Maria Rigueiro
Instituto Politécnico de
Castelo Branco



Maria Valente
Universidade do Minho



Cristina Reis
Universidade de Trás-os-
Montes e Alto Douro



Nuno Garcez
Academia da Força Aérea



Diogo Ribeiro
Instituto Politécnico do
Porto



Nuno Melo
Instituto Politécnico da
Guarda



Elisa Silva
Universidade do Algarve



Nuno Santos
Universidade Lusófona -
Pólo Porto



Elói Figueiredo
Universidade Lusófona -
Pólo Lisboa



Paulo Fernandes
Instituto Politécnico de
Leiria



Fernanda Rodrigues
Universidade de Aveiro



Paulo Mendes
Instituto Politécnico de
Lisboa



Flora Silva
Instituto Politécnico de
Bragança



Paulo Teixeira
Universidade de Lisboa



Hugo Silva
Universidade do Minho



Pedro Matias
Academia Militar



Inês Meireles
Universidade de Aveiro



Ricardo Santos
Instituto Politécnico do
Porto



João Ferreira
Universidade de Lisboa



Rodrigo Gonçalves
Universidade Nova de
Lisboa



José Castro
Universidade do Porto



Rosário Oliveira
Instituto Politécnico do
Porto



José Neves
Universidade de Lisboa



Sandra Monteiro
Universidade de Coimbra



José Matos
Universidade de Lisboa



Susana Lucas
Instituto Politécnico de
Setúbal



José Santos
Universidade da Madeira



Susana Meneses
Instituto Politécnico de
Coimbra



Lígia Silva
Universidade do Minho



Teresa Neto
Instituto Politécnico do
Porto



Manuel Pinto
Instituto Politécnico de
Viseu



Comissão Científica

Alberto Martins
Universidade de Coimbra



Joaquim Macedo
Universidade de Aveiro



Anabela Moreira
Instituto Politécnico de
Tomar



José Almeida
Instituto Politécnico da
Guarda



António Perry da Câmara
Academia Militar



José Silva
Instituto Politécnico de
Viana do Castelo



António Costa
Universidade de Lisboa



Luís Fernandes
Universidade de Trás-os-
Montes e Alto Douro



António Paula
Instituto Politécnico de
Bragança



Luís Santos
Instituto Politécnico de
Coimbra



António Ramos
Universidade Nova de
Lisboa



Maria Barros
Universidade dos Açores



Bertha Santos
Universidade da Beira
Interior



Maria Lima
Universidade do Minho



Carlos Félix
Instituto Politécnico do
Porto



Miguel Ferraz
Universidade do Porto



Cristina Oliveira
Instituto Politécnico de
Setúbal



Nuno Garcez
Academia da Força Aérea



Cristina Santos
Instituto Politécnico de
Castelo Branco



Paulo Martins
Instituto Politécnico de
Lisboa



Fátima Farinha
Universidade do Algarve



Pedro Romano
Instituto Politécnico de
Portalegre



Flávio Arrais
Universidade Lusófona -
Pólo Porto



Sérgio Lousada
Universidade da Madeira



Gilberto Rouxinol
Instituto Politécnico de
Viseu



Vítor Antunes
Universidade Lusófona -
Pólo Lisboa



João Veludo
Instituto Politécnico de
Leiria



PATROCÍNIOS



APOIOS



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO CENTRO
CASTELO BRANCO

Department of Civil Engineering, Architecture and Georesources
Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa

Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa - Portugal | Tel.: (+351) 218 418 238 | ceris.pt

CERIS : Civil Engineering Research
and Innovation for
Sustainability



DECIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
CIVIL, ARQUITECTURA E GEORRECURSOS



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



TEMA 01

MATERIAIS E CONSTRUÇÃO

SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO EM TEMPO DE COVID-19

José Arias¹, José Santos²

¹ Engenheiro Civil. Universidade da Madeira. jose_leonardo-08@hotmail.com

² Departamento de Engenharia Civil e Geologia. Universidade da Madeira. jmmnsantos@uma.pt

Palavras-chave: Contágio, Higiene, Segurança no Trabalho.

1. Materiais e Construção

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

A Construção Civil, à semelhança de outros setores produtivos, foi afetada pelo aparecimento do coronavírus SARS-CoV-2, causador da doença COVID-19. A aparição deste vírus, considerado como uma pandemia em março de 2020, forçou o setor a uma paragem obrigatória, com repercussões na segurança, na produção e na economia das empresas de Construção Civil. Esta pandemia criou uma onda de incertezas quanto às respetivas consequências durante a sua passagem e, inclusive, depois de ultrapassada.

O presente artigo procura avaliar o impacto da doença COVID-19 numa empresa de Construção Civil na Região Autónoma da Madeira (RAM). Este estudo é o primeiro realizado neste setor produtivo na Região, abrindo uma nova janela de investigação relativamente à segurança e higiene na Construção Civil em tempos de pandemia. Com a ajuda da literatura existente, foi possível encontrar informação relevante e necessária, que definiu e orientou o percurso do estudo.

2. METODOLOGIA

O trabalho envolveu diversas etapas: 1) Identificação de metodologias de quantificação de riscos na construção civil, 2) Caracterização da doença COVID-19 e o seu impacto, 3) Levantamento de recomendações e orientações para mitigação da doença COVID-19, 4) Proposta de índice de contágio da doença COVID-19 na construção civil, 5) Quantificação do impacto da doença COVID-19 numa empresa de construção civil da RAM, 6) Proposta de plano de contingência para a doença COVID-19.

Para tentar conhecer o impacto da doença, na etapa 4 foi proposta [1] a criação de um novo índice (Equação 1), denominado Índice de Contágio COVID-19, que permitiu avaliar, em termos estatísticos, o alcance da COVID-19 na Construção Civil, tendo sido aplicado na empresa de estudo. O período de estudo foi de março de 2020 até junho de 2022.

$$I_{\text{COVID-19}} = \frac{\text{Nº contágios COVID-19}}{\text{Nº ativos}} \times 100 \quad (1)$$

3. RESULTADOS

Os resultados mensais [1] demonstram uma semelhança (Figura 1) dos Índices de Contágio COVID-19 na empresa de estudo, na RAM e em Portugal no seu todo, mas salienta-se o facto deste índice ser menor, em termos percentuais, na empresa de estudo, comparativamente aos índices obtidos na RAM e em Portugal. Também merece destaque o facto de os departamentos que desempenham as suas funções no terreno terem apresentado índices de contágio inferiores aos restantes departamentos (Figura 2), podendo estes resultados serem decorrentes do facto de a realização dos trabalhos no terreno ocorrer em espaços abertos. Não se registaram casos de mortes relacionados à COVID-19 na empresa.

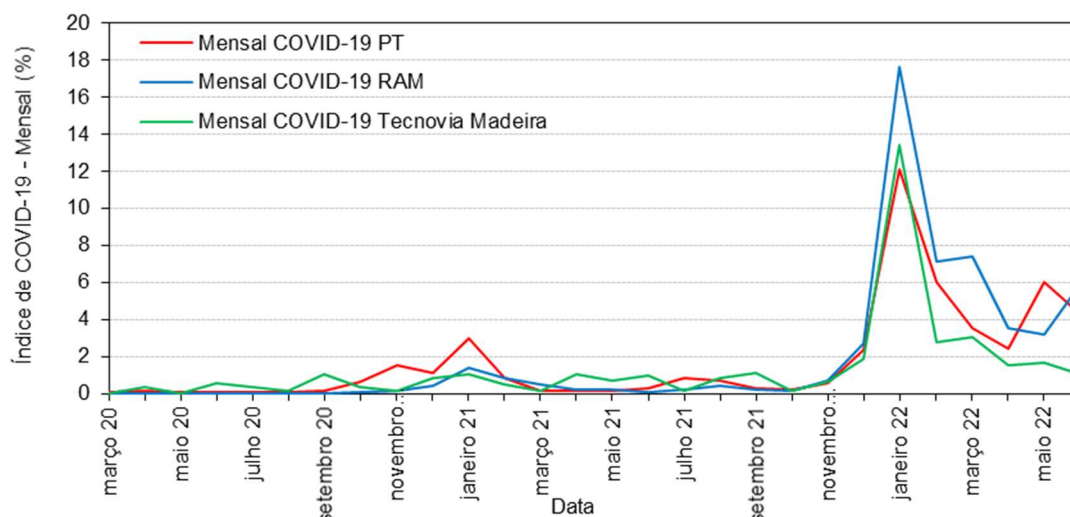


Figura 1 – COVID-19 na empresa, na RAM e em Portugal.

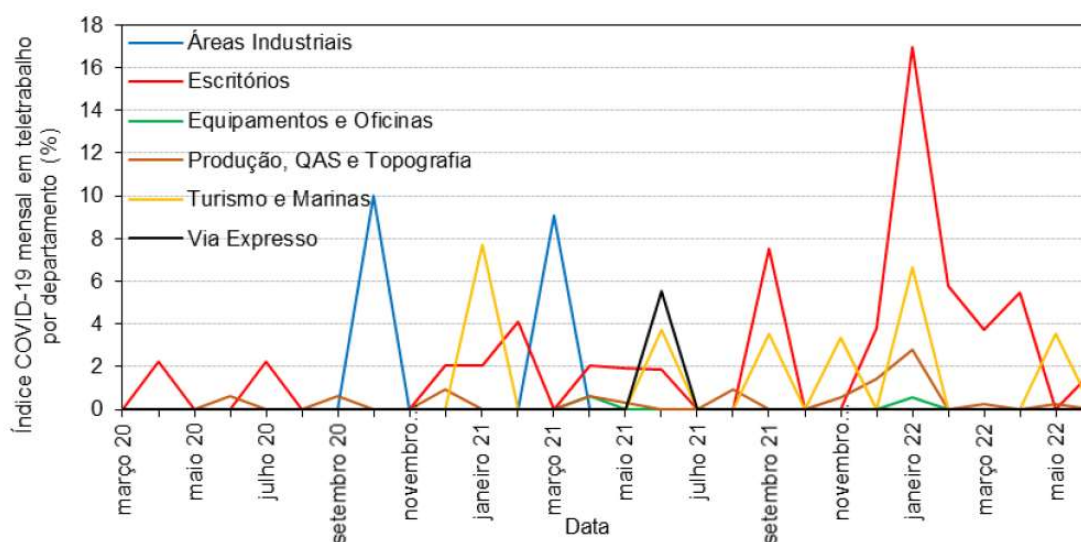


Figura 2 – COVID-19 por departamento.

4. PLANO DE CONTINGÊNCIA

Relativamente à contenção da doença, salienta-se o facto de as medidas adotadas não terem impedido a chegada do vírus aos postos de trabalho, mas reduzirem o seu impacto nos mesmos. Foram propostas várias melhorias ao plano de contingência inicial, relativamente às medidas a adotar, de acordo com os resultados anteriores e das últimas atualizações do vírus.

5. CONCLUSÕES

Com a informação extraída a partir deste estudo, foi proposta uma série de medidas de contenção para ajudar à mitigação da doença COVID-19 na área da construção.

REFERÊNCIAS

- [1] Arias, J. (2023). Segurança na Construção em tempo de COVID-19. Dissertação de Mestrado, Universidade da Madeira.

IMPRESSÃO 3D EM SOLO-CIMENTO

João Pegas¹, Margarida Monteiro², Maria Fernandes³, Gonçalo Costa⁴, Rafaela Cardoso⁵

¹Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. joao.pegas@tecnico.ulisboa.pt

²Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. margarida.manso.monteiro@tecnico.ulisboa.pt

³Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. maria.c.fernandes@tecnico.ulisboa.pt

⁴Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. goncalo.cardoso.costa@tecnico.ulisboa.pt

⁵Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, CERIS – Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability. rafaela.cardoso@civil.ist.utl.pt

Palavras-chave: Estrutura autoportante, consistência solo-cimento, impressão 3D

1.1 Avanços na Ciência da Tecnologia dos materiais

Apresentação Oral

1. INTRODUÇÃO

A construção de estruturas recorrendo a impressão 3D está a ser encarada como uma técnica promissora por ser rápida, versátil e ter potencial para minimizar o desperdício e aumentar a segurança na indústria da construção. No âmbito do Projeto Integrador da Licenciatura em Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, ano letivo 2023/2024, unidade curricular do 3º ano, realizou-se o trabalho apresentado no presente resumo com o objetivo principal de conceber uma estrutura autoportante para ser impressa com uma impressora 3D para argamassa, utilizando uma mistura de solo-cimento.

2. DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA

Foram analisadas diferentes geometrias antes de ser selecionada a estrutura a ser impressa. Como critérios de seleção foram consideradas características estruturais (capacidade autoportante), a facilidade de impressão, quantidade de material e tamanho máximo imposto pela impressora [1]. Selecionou-se uma geometria em forma de cúpula, com arco do tipo catenário e 8 nervuras radiais. Este tipo de estrutura apresenta uma grande eficiência na distribuição das tensões verticais, maioritariamente devidas ao peso próprio, com forças de compressão horizontais na proximidade do topo, e forças de tração horizontais na proximidade da base. As forças de tração na proximidade da base da cúpula originam fendas de tração que põem em causa a integridade da estrutura, uma vez que a impressão 3D não possibilita a implementação de armaduras. Tendo estes aspetos em consideração, implementou-se uma solução de confinamento basal recorrendo a uma sapata circular rígida, que impossibilitará as deformações da base e consequentes fendas de tração. A geometria final adotada encontra-se ilustrada na Figura 1.

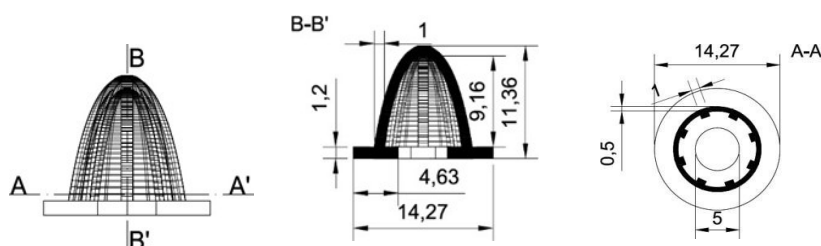


Figura 1 – Geometria da cúpula [cm].

A necessidade de confinamento basal foi comprovada através de implementação da estrutura, com e sem este elemento, no Software SAP2000 [2].

3. ESTUDO DA CONSISTÊNCIA SOLO-CIMENTO

Os materiais utilizados para a argamassa foram um solo fino (argila caulinite branca), devido ao reduzido diâmetro do injetor, e cimento Portland classe IV. A impressão exigiu que a mistura fosse fluida e que ao mesmo tempo tivesse resistência suficiente para manter a geometria desejada e suportar o peso próprio da estrutura durante a fase de impressão. A proporção dos materiais utilizados foi determinada com base na avaliação de cinco diferentes combinações de cimento e argila

(%cimento/%argila: 0%/100%, 15%/85%, 25%/75%, 35%/65% e 50%/50%). Para isso, foram realizados ensaios de limites de consistência (Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade) e o ensaio de mesa de espalhamento. Os limites de consistência foram utilizados para definir o teor de água inicial da argamassa, calculado através da média entre o limite de liquidez e o de plasticidade. Os ensaios de mesa de espalhamento permitiram concluir que as misturas com percentagens de cimento acima dos 15% tinham tempos de presa incompatíveis com a extrusão da impressora. Definiu-se assim a mistura 15% Cimento – 85% Caulinite, com teor em água gravimétrico de 50%. De modo a avaliar a influência da adição de cimento à mistura foram preparados provetes prismáticos para ensaios de resistência à flexão e compressão, com 3 e 28 dias de cura, verificando-se que a adição de cimento permitiu aumentar cerca de quatro vezes a resistência à compressão e flexão dos provetes face aos constituídos unicamente por argila.

4. IMPRESSÃO 3D

Para a impressão, foi necessário desenvolver o modelo tridimensional a partir da geometria ilustrada na Figura 2a, seguido do processo de slicing realizado no software UltiMaker CURA (Figura 2b).

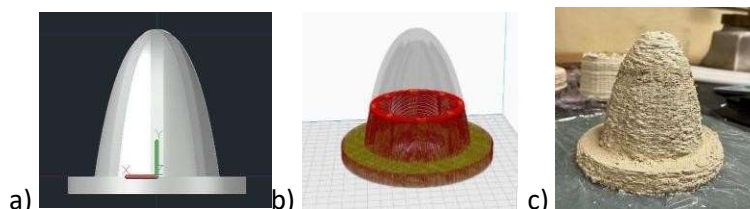


Figura 2 – a) Implementação da cúpula em AutoCAD 3D b) Slicing da estrutura no Software UltiMaker CURA c) Estrutura impressa.

Foi utilizada a impressora TRONXY Moore 2 Pro Ceramic Clay Printer. Durante os testes, surgiram dificuldades que exigiram o aumento gradual do teor de água até permitir a extrusão da mistura sem sobrecarregar o motor. Foram também efetuados vários ajustes na altura e na velocidade de impressão para reduzir recargas da mistura e evitar a perda de calibração ao remover o tubo com a argamassa. A Figura 2.c apresenta um dos modelos finais impressos, comprovando o sucesso do projeto.

5. CONCLUSÕES

A construção de uma cúpula com arco catenário demonstrou ser eficaz relativamente à capacidade autoportante da estrutura, apesar da possibilidade de aparecimento de fendas de tração na base, que foi solucionada com a introdução de uma sapata para confinamento. A consistência do material é relevante: enquanto o betão convencional exige alta fluidez para moldagens com armaduras, na impressão 3D é necessário que a mistura mantenha a forma após a extrusão. O uso de cimento, apesar de dificultar a trabalhabilidade, aumentou significativamente a resistência mecânica em comparação com a argila pura. O processo exigiu a monitorização rigorosa de variáveis como a consistência da mistura, altura e velocidade de impressão para garantir qualidade, precisão e o menor tempo de impressão possível. No decurso do trabalho foram realizadas diversas impressões cada uma com duração média de 3 horas.

REFERÊNCIAS

- [1] FREITAS, Brenda Alves de. *3D Printing Vaults and Domes*. Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC). Disponível em: <https://shorturl.at/dstx8>. Acesso em: 31 mai. 2024.
- [2] COMPUTERS AND STRUCTURES, INC. SAP2000 – Integrated Structural Analysis and Design Software. Disponível em: <https://shorturl.at/wzMOX>. Acesso em: 31 mai. 2024.

SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO 4.0

Gonçalo Brandão¹, Tiago Pinto², Carlos Oliveira³, Cristina Reis⁴

¹ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. email: cat.campos99@gmail.com

² Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. email: tiago@utad.pt

³ Instituto Politécnico de Viana do Castelo. email: carlosoli@estg.ipvvc.pt

⁴ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. email: crisreis@utad.pt

Palavras-chave: Construção 4.0; Segurança; Tecnologia; Inovação.

Código da Área Temática: 1.4

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

Dada a elevada taxa de acidentes registada no setor, a segurança na construção assume um papel fundamental. Para minimizar os acidentes de trabalho, devem-se cumprir os princípios gerais de prevenção. Neste caso, em particular, no contexto da Construção 4.0, deve-se ter em conta a evolução da tecnologia [1]. A adoção de novas tecnologias no âmbito da Construção 4.0 tem vindo a desempenhar um papel crucial na mitigação dos riscos e na promoção de ambientes de trabalho mais seguros e eficientes [3]. Soluções inovadoras, como sensores inteligentes, dispositivos vestíveis, automação e digitalização, permitem não só reduzir o número de acidentes, mas também otimizar os processos construtivos, garantindo maior produtividade e sustentabilidade [4].

2. METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo principal: compreender o impacto das novas tecnologias na segurança na construção, explorar soluções inovadoras que aumentam a segurança dos trabalhadores, apresentar casos de sucesso da aplicação da Construção 4.0 no setor e incentivar a adoção de tecnologias para a criação de um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente. Tendo-se estudado o que de novo existe, como é utilizado, qual a diminuição dos riscos que se consegue com estas novas tecnologias e quais os novos riscos existentes.

A metodologia adotada baseou-se numa revisão sistemática da literatura científica recente (2018-2024) sobre tecnologias emergentes aplicadas à Construção 4.0. Foram consultadas bases de dados como Scopus, SpringerLink e IEEE Xplore, de modo a identificar as inovações mais relevantes no contexto da segurança.

Paralelamente, analisaram-se estudos de caso e relatórios técnicos sobre a aplicação prática de dispositivos como sensores inteligentes, exoesqueletos, drones e tecnologias de digitalização.

Com base nesta análise, foi elaborado o Quadro 1, que relaciona os tipos de acidentes mais frequentes no setor da construção com as respetivas soluções tecnológicas atualmente disponíveis.

Equipamentos Vestíveis

Os equipamentos vestíveis, como sensores de movimento e monitores fisiológicos, permitem identificar sinais de fadiga e prevenir acidentes [1]. Capacetes inteligentes, equipados com sensores e câmaras, garantem comunicação segura e deteção de riscos em tempo real.

Exoesqueletos

Os exoesqueletos proporcionam suporte físico adicional, permitindo a redução do esforço muscular e a prevenção de lesões [5]. Estes dispositivos melhoram a ergonomia e aumentam a produtividade dos trabalhadores.

Digitalização e Monitorização

A digitalização dos processos de construção através do BIM (Building Information Modeling), Realidade Aumentada (AR), Realidade Virtual (VR) e Internet das Coisas (IoT) permite simulações, deteção de riscos e monitorização remota das obras, melhorando a segurança e a eficiência [4].

Inspeção Automatizada

A utilização de drones e robôs na inspeção de estruturas, como pontes e viadutos, reduz a necessidade de intervenção humana em ambientes de risco, permitindo a identificação de anomalias estruturais de forma eficiente e segura [2].

Quadro 1 – Quadro de acidentes e Soluções Tecnológicas.

Tipo de Acidente	Soluções Tecnológicas
Quedas em altura	Sensores de proximidade e capacetes inteligentes
Sobrecarga muscular	Exoesqueletos e sensores fisiológicos
Choques elétricos	Monitorização em tempo real e vestuário inteligente
Colisões com máquinas	Automação e sistemas de detecção de presença
Exposição a ambientes perigosos	Drones e monitorização remota via IoT

3. CONCLUSÃO

A adoção das tecnologias associadas à Construção 4.0 representa uma mudança fundamental no setor da construção, permitindo ganhos significativos em segurança, produtividade e qualidade. O uso de soluções inovadoras, como drones [2], exoesqueletos [5] e sensores inteligentes [1], reduz a exposição dos trabalhadores a riscos e aumenta a eficiência dos processos construtivos. Este avanço estabelece um novo paradigma para a modernização sustentável da indústria.

REFERÊNCIAS

- [1] Naticchia, B., Corneli, A., & Carbonari, A. [2021]. Technological Innovations in Construction: A Safety Perspective. Construction Innovation Journal.
- [2] Javadian, R., & Wahab, M. [2020]. Applications of Drones and Sensors in Modern Construction. Journal of Advanced Engineering.
- [3] Singh, A., & Misra, S. [2019]. Digital Transformation in Construction Industry. Springer.
- [4] Ashby, M. [2018]. The Role of IoT in Enhancing Construction Safety. IEEE Transactions.
- [5] Smith, J., & Taylor, K. [2022]. Exoskeletons in the Construction Industry. International Robotics Review.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CONSTRUÇÃO

Cristóvão Santos¹, Carlos Oliveira², Cristina Reis³

¹ INEGI-LAETA. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. clsantos@utad.pt

² Prometheus. Instituto Politécnico de Viana do Castelo. carlosoli@estg.ipv.pt

³ Construct. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. crisreis@utad.pt

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Tecnologia; Automação; Segurança.

Código da Área Temática: 1.2

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

A substituição de operários da construção civil por robots é um tema complexo e muito debatido no âmbito da engenharia civil, pois envolve aspetos de natureza tecnológica, económica, social e ética. Embora a automação e o uso de robots na construção civil já se encontrem em desenvolvimento e sejam já uma tendência crescente, é pouco provável que os operários humanos sejam completamente substituídos por robots num futuro próximo. Em termos de avanços tecnológicos, já existem robots programados para realizar tarefas específicas, como assentamento de tijolos, soldadura, impressão 3D de estruturas, demolição, pintura e transporte de materiais. Por exemplo, máquinas como o Hadrian X®, que é um robot que assenta tijolos, e impressoras 3D para construção de casas têm mostrado que a automação pode ser aplicada a tarefas repetitivas ou de elevada precisão. Os drones também são usados para inspeções de estruturas e mapeamento de terrenos. Como principais vantagens dos robots, pode-se salientar a maior precisão e consistência, nas tarefas; operações em contínuo e; redução de acidentes em tarefas perigosas. Contudo, existem ainda algumas limitações associadas ao uso de robots na construção civil. Por exemplo a complexidade das obras, pois cada projeto de construção tem singularidades próprias; exige soluções criativas, de adaptabilidade e capacidade de resolver problemas imprevistos, algo que os robots ainda não conseguem fazer de forma eficaz. Outro inconveniente, é o custo inicial elevado, uma vez que a implementação e o desenvolvimento e da tecnologia robótica avançada é dispendioso, o que pode ser proibitivo para muitas empresas de construção, especialmente instaladas em países em desenvolvimento [1,2].

2. METODOLOGIA

Este trabalho teve como objetivo principal ver quais os avanços tecnológicos que a inteligência artificial pode trazer ao sector da construção. E quais os desafios que o sector atravessa. Para tal leu-se bibliografia existente nesta matéria. Há também a questão de os ambientes de obra serem dinâmicos, isto é, os locais de construção são altamente dinâmicos e imprevisíveis, com condições meteorológicas variáveis, terrenos irregulares e a necessidade de trabalho em equipa; sabe-se que os robots ainda enfrentam bastantes dificuldades em ambientes que não são controlados. E por fim, a falta de habilidades humanas, uma vez que os robots não conseguem substituir o comportamento humano, desenvolver trabalhos em equipa, promover a comunicação e transmitir o conhecimento prático adquirido pelos anos de experiência [1].

Relativamente ao futuro, embora a automação possa substituir algumas tarefas repetitivas ou perigosas, os operários humanos continuarão a desempenhar tarefas essenciais. Em especial, na área da supervisão e controle, onde os humanos serão responsáveis por gerir e supervisionar os robots no local de trabalho; em tarefas complexas e criativas, tais como construções personalizadas, remodelações, acabamentos e outras tarefas que exigem sensibilidade e adaptação; manutenção dos robots, pois terão de ser os humanos a procederem à reparação e manutenção dos sistemas automatizados destas máquinas. É natural que se assista a uma série de impactos sociais e económicos. A começar pela extinção de determinados empregos vs. a criação de novos postos de trabalho. Algumas funções operacionais poderão ser substituídas, contudo

novas oportunidades de emprego irão surgir na programação, manutenção e supervisão dos robots. No geral, poderá assistir-se a uma requalificação da força de trabalho, através de uma necessidade crescente de requalificação profissional para que os operários possam trabalhar lado a lado com as máquinas. Em termos globais, em muitos países, a construção civil é uma das maiores empregadoras de mão de obra, a adesão a uma automação completa poderia gerar crises sociais significativas nesses locais [3]. A pergunta que se faz é: então, os robots irão substituir os operários?

3. CONCLUSÃO

É mais provável que a automação complemente o trabalho humano, em vez de o substituir completamente. Os robots deverão ser usados para executar tarefas específicas, especialmente aquelas perigosas ou repetitivas, enquanto os humanos continuarão sendo indispensáveis em tarefas que exijam habilidade, adaptação, criatividade e gestão. Em suma, o futuro da construção civil, provavelmente passará por uma parceria entre humanos e máquinas, onde a tecnologia irá servir de ferramenta para aumentar a eficiência e a segurança, mas jamais eliminará completamente a necessidade de trabalhadores humanos.

REFERÊNCIAS

- [1] Melenbrink, N.; Werfelb, J.; Menges, A. (2020). On-site autonomous construction robots: Towards unsupervised building. *Automation in Construction* Vol. 119, pp. 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103312>.
- [2] Shahinmoghdam, M. ; Motamedi, A. (2019). Review of BIM-centred IoT Deployment: State of the Art, Opportunities, and Challenges. 36 th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. IAARC publications, pp. 1268–1275. <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0170>.
- [3] Branco-Teixeira, M. (2022). Manual de Inovação e Sustentabilidade. Os Desafios e as Soluções na Reabilitação Urbana 4.0. Editora Vida Económica. ISBN 9789897689949.

TEMA 02

MECÂNICA ESTRUTURAL E ESTRUTURAS

HYPERVELOCITY IMPACTS AGAINST CONCRETE MIXED WITH CERAMIC SPHERES

David Elias¹, Hugo Rebelo^{2,3}

¹ CINAMIL, Academia Militar, Instituto Universitário Militar, Lisboa, Portugal. Elias.dtp@exercito.pt

² CINAMIL, Academia Militar, Instituto Universitário Militar, Lisboa, Portugal. rebelo.hmb@academiamilitar.pt

³ CERIS, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal

Keywords: shaped charge, hypervelocity, numerical models, ceramic spheres.

ABSTRACT

Extreme events, whether natural occurring or manmade can have catastrophic consequences, endangering people. Given the current geopolitical situation, there is a need to better protect structures against these threats, minimizing damage to critical infrastructure and safeguarding human lives. Due to this necessity, the “Protection of Infrastructures Subjected to Extreme Actions” (PrISAEx) project from the Centre of Competence for infrastructure Protection (CCPI) was created and funded by the Research, Development, and Innovation Centre of the Military Academy (CINAMIL), to better understand this phenomena typology and to study ways to mitigate its effects. Within extreme events, hypervelocity impacts, a collision that occurs at a speed greater than 2 km/s or 3 km/s [1] must be considered.

Due to its structural capacity and cost effectiveness, concrete is the most used construction material, including in protective structural components and critical infrastructure [2]. Therefore, this dissertation will study the behaviour of concrete when faced with hypervelocity impacts, with the objectives of evaluating the protective capabilities of concrete structures with the addition of 3 layers of ceramic spheres.

In some conflicts, high-explosive anti-tank (HEAT) warheads are being used not only against armour targets but buildings as well. The high effectiveness of HEAT warheads results from the presence of shaped charges in their design [3]. The rocket propelled grenade (RPG) series of antitank projectors, the most widely used shoulder-fired antitank weapons in the world, is used by armies, militias, insurgents and terrorists [4]. Therefore, the hypervelocity will be achieved using a shaped charge inspired by the RPG-7 warhead, the PG-7VM, see Figure 1.

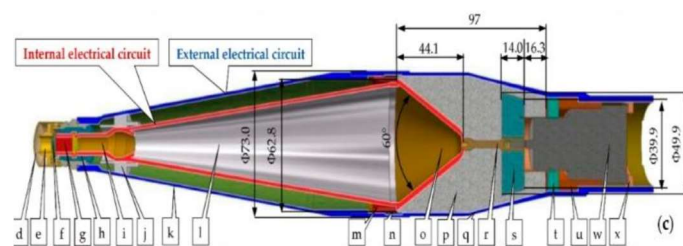


Figure 1 – PG-7VM warhead [3].

For this purpose, LS-DYNA was used to create 2D ALE axisymmetric numerical models of the shaped charge impacting plain concrete targets, illustrated by Figure 2.



Figure 2 – Plain concrete model.

The specimens developed for the experimental campaign possessed 3 layers of ceramic spheres, covering the entire surface close to the top of the target. However, with the elaboration of a 2D ALE axisymmetric model, this could not be exactly replicated, due to the lack of axisymmetry of the experimental specimen. Hence, the following model displays only the centred ceramic spheres, as created and presented in Figure 3.



Figure 3 – Concrete with 2 ceramic spheres model.

These models were validated with an experimental campaign, conducted at the Santa Margarida military camp, where penetration, affected diameter, entry diameter and loss of volume of the different targets were analysed. Furthermore, it was possible to retrieve liner after opening the targets, which provided additional data regarding the loss of their mass. For the experimental campaign 3 types of targets were used, as illustrated by Figure 4, with dimensions in mm.

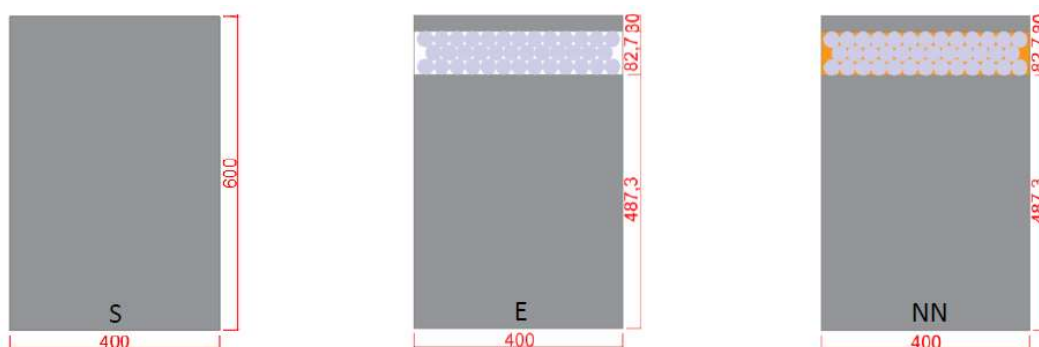


Figure 4 – Target types.

S type targets, filled with plain concrete, E type targets were filled with concrete with 3 layers of ceramic spheres. NN targets have the same composition as E targets with the addition of a non-Newtonian fluid, filling the gaps between the spheres, this target type was only experimentally tested. With the experimental campaign, it was found that the addition of the spheres resulted in decreasing penetration on target by 0,38%, therefore an insignificant reduction, and that combining spheres and non-Newtonian fluid caused a 20% reduction in penetration. Furthermore, the plain concrete model overestimated penetration by 14,87% whereas the concrete with ceramic spheres model overestimated penetration by 8,09%, on average. Variations between experimental and numerical results were to be expected, mainly due to difficulties in translating the behavior of a brittle and non-homogeneous material.

REFERENCES

- [1] Signetti, S., & Heine, A. (2022). Transition regime between high-velocity and hypervelocity impact in metals.
- [2] Esteban, B., Lenhart, L. M., Rüdiger, L., & Gebbeken, N. (2015). An evaluation of shaped charge experiments using concrete components. *International Journal of Protective Structures*, 6(3), 439–455.
- [3] Żochowski, P., Warchoń, R., Miszczak, M., Nita, M., Pankowski, Z., & Bajkowski, M. (2021). Experimental and numerical study on the pg-7vm warhead performance against high-hardness armor steel. *Materials*, 14(11).
- [4] Rottman, G. L. (2011). *The Rocket Propelled Grenade*. Osprey.

AValiação DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PRÉ-LAJES DE BETÃO COM FIBRAS SINTÉTICAS

Daniel Almeida¹, João Firmo², José Oliveira Pedro³

¹ Direção de Ensino. Academia Militar. almeida.dtfed@exercito.pt

² Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Ambiente. Instituto Superior Técnico.
joao.firmo@tecnico.ulisboa.pt

³ Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Ambiente. Instituto Superior Técnico.
jose.oliveira.pedro@tecnico.ulisboa.pt

Palavras-chave: Betão reforçado com fibras, propriedades mecânicas, pré-lajes, ensaios à flexão.

Código da Área Temática: 2.1

Apresentação oral

1. RESUMO

Esta dissertação avalia experimentalmente o uso de pré-lajes de betão reforçado com fibras sintéticas como cofragem perdida para a betonagem da laje de tabuleiro de uma ponte a construir em ambiente marítimo. Foram testadas pré-lajes de betão simples (BF0) e com fibras de poliolefinas (6 kg/m³ - BF6 e 10 kg/m³ - BF10) com dimensões 100x50x5 cm³ definidos a partir de um caso de estudo numa laje do tabuleiro de uma ponte, submetidas a ensaios de flexão. Os resultados indicaram que o aumento da dosagem de fibras melhora a carga máxima e a resistência pós-fissuração, confirmando a viabilidade destas pré-lajes para suportar as ações da betonagem.

2. INTRODUÇÃO

O betão é amplamente utilizado na construção devido à sua versatilidade e compatibilidade com outros materiais, como o aço e as fibras sintéticas, que melhoram sua resistência à tração e ductilidade [1]. O Betão Reforçado com Fibras Sintéticas (BRFS), com fibras de polipropileno, polietileno ou poliolefinas, oferece vantagens como maior resistência à corrosão, menor peso, melhor aderência e controle de fissuração. Seu uso já se estende a pavimentos industriais, túneis e elementos pré-fabricados [2,3]. Esta dissertação investiga o comportamento mecânico de pré-lajes finas (5 cm), sem armadura convencional, para aplicação como cofragem perdida em tabuleiros de pontes.

3. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

A campanha experimental foi conduzida no LERM (IST) para estudar o comportamento estrutural de pré-lajes de betão pré-doseado (C30/37) com fibras sintéticas, destinadas a cofragens perdidas para o tabuleiro de uma ponte em ambiente marítimo. Os ensaios de flexão avaliaram a resposta “Carga-Deslocamento”, focando na resistência residual e ductilidade na fase fendilhada. Foram testadas 9 pré-lajes (3 por dosagem de fibras), utilizando quatro esquemas de ensaio (Setups 0, 1, 2 e 3) ilustrados na Figura 2, para analisar o efeito da dosagem das fibras sob diferentes carregamentos.

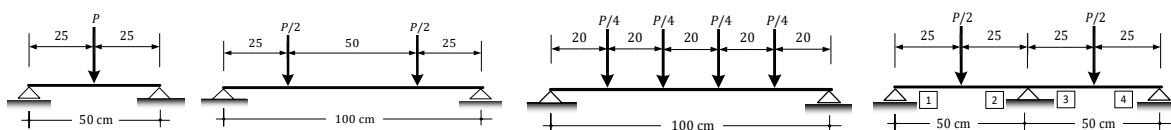


Figura 1 – Dimensões em centímetros dos diferentes Setups.

A Figura 2 ilustra as curvas Carga total vs. Deslocamento nos ensaios de flexão nas pré-lajes, onde à esquerda é ilustrado o comportamento para os Setups 0, 1 e 2, respetivamente, à direita os gráficos para o Setup 3, nas diferentes dosagens de fibras para os vãos do próprio Setup.

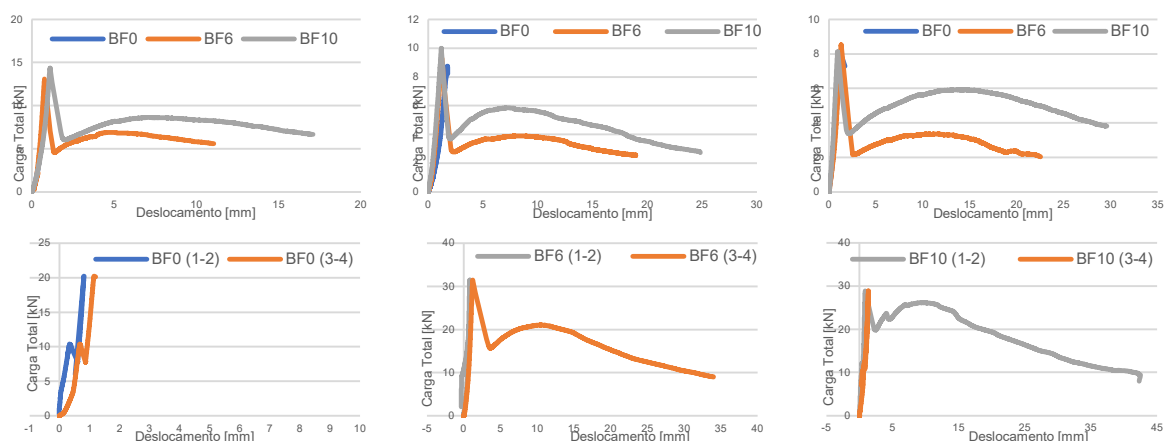


Figura 2 – Curvas Carga total vs. Deslocamento Dimensões em centímetros dos diferentes Setups.

Nos ensaios de flexão, a capacidade de carga não apresentou um aumento significativo com a adição de fibras. O principal benefício foi a melhoria do comportamento pós-pico, com maior deformação associada ao aumento da dosagem de fibras. Em todos os Setups, verificou-se que o índice de recuperação aumentou com a dosagem de fibras, e todas as pré-lajes apresentaram um modo de rotura por flexão, conforme ilustrado na Figura do Setup 3.



Figura 3 – Resultados dos ensaios no Setup 3, para as diferentes dosagens de fibras.

O estudo determinou a espessura máxima da laje de betão armado que pode ser betonada sobre as pré-lajes, sem considerar efeitos dinâmicos. Foi simulada uma laje altamente armada ($\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$) sobre as pré-lajes, aplicando uma carga uniformemente distribuída, além de uma sobrecarga de $1,5 \text{ kN/m}^2$ e o peso próprio das pré-lajes ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$). Os resultados mostraram que as pré-lajes de betão simples (BF0) e com 6 kg/m^3 de fibras (BF6) suportaram $0,68 \text{ m}$ de laje, enquanto as de 10 kg/m^3 (BF10) permitiram até $0,82 \text{ m}$. Concluiu-se que o aumento da dosagem de fibras melhora a capacidade de suporte, sendo que todas as pré-lajes testadas foram resistentes para a betonagem de uma laje com espessura alvo de $0,24 \text{ m}$. No entanto, a análise considerou valores médios dos materiais e ações não majoradas.

4. CONCLUSÕES

Esta dissertação contribuiu para o desenvolvimento do BRFS em engenharia civil, avaliando a viabilidade de pré-lajes de BRFS de 5 cm como cofragem perdida em pontes marítimas. Ensaio de flexão em diferentes tipos de betão mostraram que a adição de fibras aumentou a carga máxima, a resistência última e a ductilidade, devido à melhoria na resistência à tração por flexão. A estimativa da espessura máxima do tabuleiro indicou que todas as pré-lajes testadas eram suficientemente resistentes, com melhor desempenho das que continham fibras.

REFERÊNCIAS

- [1] J.B. Aguiar, "Reabilitação de Estruturas de Betão Armado", Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, pp. 23-38, 2002.
- [2] E. Ulrix, N. Ferreira, "State of The Art - Betões com Fibras em Aplicações Subterrâneas", 1^{as} jornadas de materiais da construção, Porto, Faculdade de Engenharia do Porto, pp. 15-43, 2011.
- [3] A. Laning, "Synthetic Fibres", Concrete Construction, The Aberdeen Group, Publication #C920525, 1992.

ESTUDO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE EDIFÍCIOS COM ISOLAMENTO DE BASE DO TIPO APOIO PENDULAR COM ATRITO – APLICAÇÃO AO NOVO EDIFÍCIO DO HJAR

Hugo José Fontes dos Santos^{1,2}, Luís Manuel Coelho Guerreiro²

¹ Academia Militar & CINAMIL, Instituto Universitário Militar, Lisboa, Portugal. santos.hjf@exercito.pt

²DECivil. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

luís.guerreiro@tecnico.ulisboa.pt

Palavras-chave: Isolamento de base, apoios do tipo pendular com atrito, análise não linear.

Código da Área Temática: 2.2

Apresentação oral

1. RESUMO

No decorrer da vasta história portuguesa registamos a ocorrência de fortes sismos. Face à inevitabilidade da ocorrência dos mesmos, impõe-se a necessidade de adotar medidas que limitem as consequências do sismo, permitindo o funcionamento das infraestruturas críticas. A utilização da técnica de isolamento de base em edifícios é uma das soluções mais eficazes para salvaguardar as infraestruturas. Na dissertação em causa pretende-se estudar o desempenho sísmico de um edifício dotado de isolamento de base recorrendo a apoios do tipo pendular com atrito. Neste trabalho, será utilizado o projeto estrutural do novo edifício do Hospital das Forças Armadas (Lumiar- Lisboa), sendo a partir do mesmo desenvolvido um modelo de análise numérica tridimensional para avaliar o desempenho da estrutura.

2. CONCEITO DE ISOLAMENTO DE BASE

O isolamento sísmico de base é uma tecnologia de proteção sísmica especialmente relevante para edifícios que devem manter a sua operacionalidade aquando da ocorrência de eventos sísmicos. O objetivo primordial consiste em diminuir a transmissão das acelerações horizontais do solo para a estrutura, efeito que é alcançado através da criação de uma superfície horizontal de descontinuidade, dotada de grande flexibilidade estrutural, com o intuito de restringir a transmissão de movimentos de translação entre a fundação e a estrutura a proteger [1].

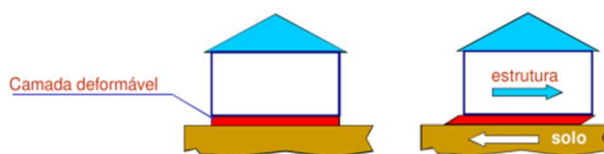


Figura 1 – Esboço representativo de um sistema de isolamento de base [2].

3. ESTUDO DE CASOS

Serão apresentados três casos que exemplificam a aplicação de sistemas de isolamento de base no mesmo edifício. Os três casos encontram-se resumidos na Tabela 1.

Quadro 1 – Casos Estudados.

Casos Estudados	
Caso 1	Solução com apoios FPS
Caso 2	Solução com apoios HDRB e apoios deslizantes sem atrito
Caso 3	Solução com apoios HDRB e apoios deslizantes com atrito

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para os diferentes casos apresentados, os objetivos principais são a determinação dos deslocamentos e acelerações da estrutura em função da altura, bem como a força de corte basal. Na Figura 1 é apresentada a evolução em altura dos deslocamentos horizontais máximos, relativos a todos os casos

registados, para as respetivas direções X e Y.

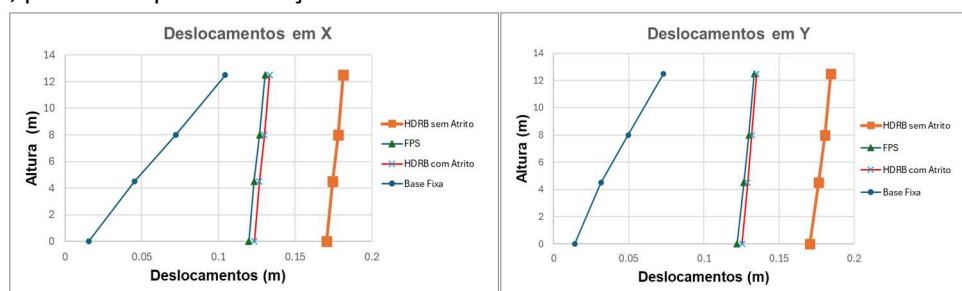


Figura 2 – Evolução em altura dos deslocamentos, segundo a direção X e Y, para os casos estudados.

Através da análise dos gráficos anteriores evidencia-se que a solução com apoios HDRB e apoios deslizantes sem atrito apresentam maiores valores de deslocamentos na direção X e Y. Em relação aos restantes casos, as soluções compostas por apoios HDRB e apoios deslizantes com atrito e a solução de apoios FPS, permitem a ocorrência de menores deslocamentos entre os pisos. Relativamente aos deslocamentos em altura, os resultados permitem afirmar que a estrutura com isolamento de base comporta-se, essencialmente, como um corpo rígido. É relevante salientar que esta redução dos deslocamentos acontece simultaneamente com a redução das acelerações sísmicas induzidas na estrutura, garantindo uma maior proteção ao conteúdo do edifício. Os sistemas de isolamento sísmico constituídos por apoios FPS revelam-se mais adequados para o controlo dos deslocamentos, em comparação com os sistemas compostos por apoios HDRB e apoios deslizantes sem atrito, uma vez que apresentam uma maior capacidade de dissipação de energia. Geralmente, os apoios FPS exibem uma capacidade de dissipação de energia superior à dos apoios HDRB. Uma vez que o edifício é caracterizado por uma elevada rigidez estrutural, constatou-se que o mesmo se comporta praticamente como um corpo rígido em translação sobre os sistemas de isolamento, exibindo, em altura, uma distribuição de acelerações aproximadamente constante. O atrito permite o controlo dos deslocamentos, evidenciado pela Figura 2. Contudo, ao considerar o efeito do atrito, as acelerações vão ser significativamente superiores como é demonstrado pela Figura 3.

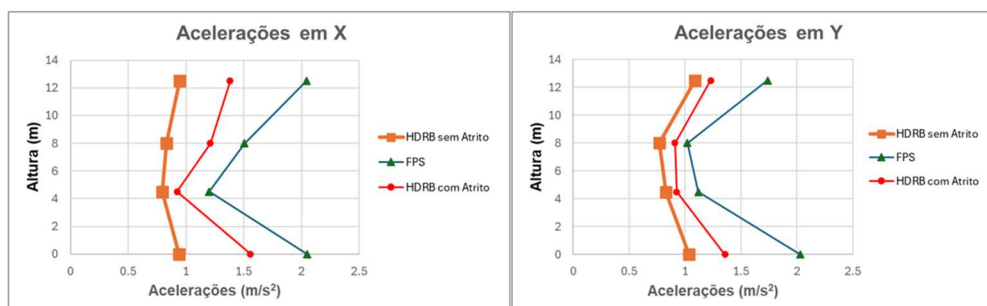


Figura 3 – Evolução em altura das acelerações, segundo a direção X e Y, para os casos estudados.

5. CONCLUSÃO

Convém realçar que a escolha adequada de um sistema de isolamento depende dos objetivos que se pretendam atingir durante o processo de dimensionamento da estrutura isolada, ou seja, uma vez que as principais preocupações podem ser relativas ao controlo dos deslocamentos ou à limitação das acelerações transmitidas à estrutura, poderá acontecer que a solução mais adequada a cada um destes pontos corresponda a um sistema de isolamento diferente.

REFERÊNCIAS

- [1] Santos, M. (2008). *Proteção Sísmica de Equipamentos com Isolamento de Base* (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior Técnico.
- [2] Guerreiro, L. (2020). *Isolamento de Base* [Apresentação PowerPoint]. Instituto Superior Técnico.

RESISTÊNCIA À FLEXÃO COMPOSTA DE COLUNAS MISTAS AÇO-BETÃO

Diogo Encarnação¹, Luís Calado², Pedro Matias³

¹ Direção de Ensino. Academia Militar. encarnacao.dem@gnr.pt

² Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Ambiente. Instituto Superior Técnico.
luis.calado@tecnico.ulisboa.pt

³ Direção de Ensino. Academia Militar. matias.pjsg@exercito.pt

Palavras-chave: Colunas mistas aço-betão, Secções bi-simétricas, Secções mono-simétricas, Eurocódigo 4, Curvas de interação, Modelo numérico.

Código da Área Temática: 2.1

Apresentação oral

1. RESUMO

Este estudo realça as vantagens das estruturas mistas de aço-betão, incluindo uma construção mais rápida, maior rigidez e maior capacidade de carga em comparação com edifícios tradicionais. O objetivo principal do estudo é desenvolver um programa de cálculo em Excel para analisar a resistência de colunas mistas com secções transversais bi-simétricas e mono-simétricas (que não podem ser analisadas pelo método simplificado do Eurocódigo 4). O estudo analisa quatro secções diferentes do tipo tubulares cheias de betão (CFST) e realiza estudos paramétricos para avaliar o impacto da resistência dos materiais e das propriedades geométricas nas curvas de interação. Além disso, é desenvolvido um modelo numérico em ABAQUS para analisar de forma global as colunas mistas, validando os resultados do programa de cálculo através do cálculo dos respetivos pares de esforços N-M e estudando a influência das imperfeições iniciais no momento fletor total.

2. INTRODUÇÃO

As estruturas mistas de aço e betão são conhecidas como tal desde meados do século XIX, sofreram um desenvolvimento substancial e ganharam uma popularidade crescente, especialmente na construção de edifícios altos e pontes. A sua atração reside na capacidade de aproveitar eficazmente as propriedades únicas do aço e do betão. Isto resulta não só em períodos de construção mais curtos, mas também num peso próprio reduzido para elementos estruturais com capacidade de carga semelhante, oferecendo vantagens económicas e estruturais.

O Eurocódigo 4 fornece dois métodos distintos para a análise destas colunas: uma abordagem simplificada e um método geral que pode ser aplicado a todo o tipo de secções [1], mais trabalhoso, envolvendo softwares de modelação numérica.

No âmbito deste estudo foi elaborado um programa de cálculo, com o objetivo de calcular as curvas de interação de duas secções bi-simétricas e duas secções mono-simétricas, todas do tipo CFST.

3. RESULTADOS

Foram realizados vários estudos paramétricos em cada uma das secções, nomeadamente: variação da resistência dos materiais; variação das propriedades geométricas de cada uma das secções (espessura e diâmetro ou largura); comparação entre as diferentes secções com as mesmas propriedades; comparação entre as diferentes secções, mantendo constante o valor do parâmetro δ (contribuição das secções de aço na resistência total da secção).

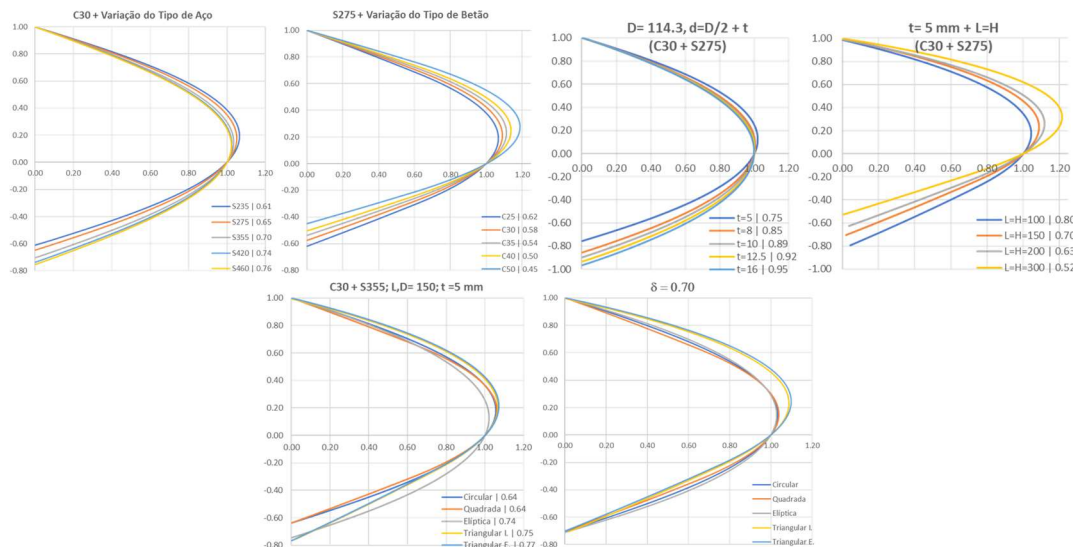


Figura 1 – Comparação das curvas de interação obtidas para cada estudo realizado.

A análise global da coluna consiste na análise de seis colunas mistas, com uma secção transversal circular de 150 mm de diâmetro, 2,5 mm de espessura e resistências do betão e do aço de 30 MPa e 355 MPa, respetivamente. As alturas das colunas variam entre 500 mm e 8000 mm, permitindo o estudo da influência dos momentos de segunda ordem devido às imperfeições iniciais com o aumento da altura. Em cada coluna foi aplicado um deslocamento de 5mm com uma excentricidade de 50 mm no topo e introduzida uma imperfeição inicial de $L/300$, com o objetivo de para cada altura encontrar a posição da LN e consequentemente calcular os respetivos pares de esforços M-N. Os pares de esforços são depois comparados com os esforços obtidos através do programa de cálculo e é ainda calculada a parcela do momento fletor devido às imperfeições iniciais com o objetivo de avaliar a sua evolução à medida que se aumenta a altura.

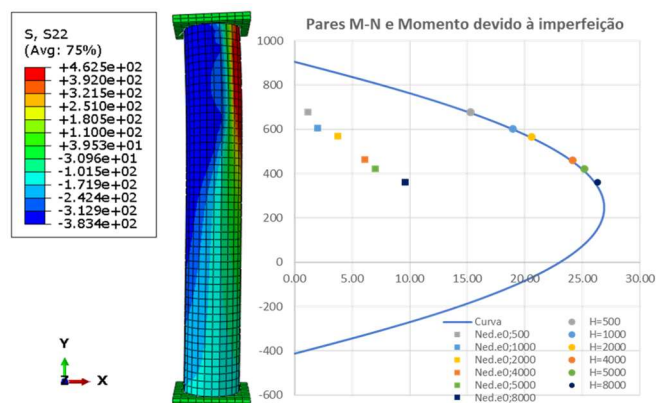


Figura 2 – Análise global da coluna e pares de esforços obtidos, devido à imperfeição inicial.

4. CONCLUSÕES

O programa de cálculo desenvolvido em EXCEL pode ser usado para colunas mistas com secção transversal mono-simétrica e bi-simétrica. O andamento da curva de interação está diretamente relacionado com o parâmetro $\bar{\lambda}$, bem como dependente da perda gradual da resistência da secção ao baixar a posição da LN. Além disso, é demonstrado que, à medida que a altura da coluna aumenta, o impacto das imperfeições iniciais no momento total também aumenta. Como propostas de trabalho futuro sugere-se a: validação experimental do programa de cálculo desenvolvido; extensão do estudo a colunas com outros tipos de secções transversais assimétricas.

REFERÊNCIAS

[1] L. Calado e J. Santos, Estruturas Mistas de Aço e Betão. IST Press, 2010.

ANÁLISE SÍSMICA DE UM EDIFÍCIO CONSTITUÍDO POR ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS DE BETÃO

P. Ferreira¹, H. Varum², J. Melo³, A. Monteiro⁴

¹ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Ex-aluno: pedrondcferreira@gmail.com)

² CONSTRUCT, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. hvarum@fe.up.pt

³ CONSTRUCT, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. josemelo@fe.up.pt

⁴ A400 - Projetistas e Consultores de Engenharia, Lda. amonteiro@a400.pt

Palavras-chave: pré-fabricação, ligações, comportamento sísmicos, Eurocódigo 8.

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade tem assumido um papel cada vez mais relevante na engenharia civil, incentivando a adoção de elementos estruturais pré-fabricados como uma alternativa eficaz para reduzir as emissões de CO₂ associadas à construção. Esses componentes apresentam diversas vantagens em comparação com as estruturas tradicionais moldadas *in situ*. No entanto, é fundamental assegurar a segurança e a fiabilidade estrutural dos edifícios constituídos por estes elementos.

Para garantir que as estruturas pré-fabricadas sejam adequadas a zonas sísmicas, é crucial analisar detalhadamente o seu comportamento e desenvolver soluções que otimizem o seu desempenho. Em Portugal, a pré-fabricação surge como uma tendência promissora no setor da construção civil e por isso é essencial aprofundar o conhecimento do seu comportamento às ações sísmicas.

2. PRÉ-FABRICAÇÃO EM BETÃO EM EDIFÍCIOS

É possível distinguir as estruturas pré-fabricadas de betão das estruturas moldadas *in situ* uma vez que os elementos que as constituem são produzidos num local distinto daquele que irão ocupar na estrutura final. O impacto da construção nas emissões globais de CO₂ é bastante significativo, representando cerca de 30% das emissões e por isso, é necessário implementar técnicas mais sustentáveis como a pré-fabricação para reduzir o impacto negativo da construção [1].

As ligações entre os elementos desempenham um papel crucial nas estruturas pré-fabricadas de betão, visto que o seu papel principal é a transmissão de forças entre os elementos e proporcionar a estabilidade necessária para a estrutura. Nas estruturas, a capacidade de dissipação de energia a uma ação sísmica é muito afetada pelas tipologias de ligações existentes e da sua localização na estrutura.

As ligações entre elementos estruturais distinguem-se pela sua capacidade de transmissão de forças como: ligações rígidas (continuidade total), ligações semirrígidas (continuidade parcial) e ligações articuladas. [2] O comportamento destas ligações é evidenciado na Figura 1.

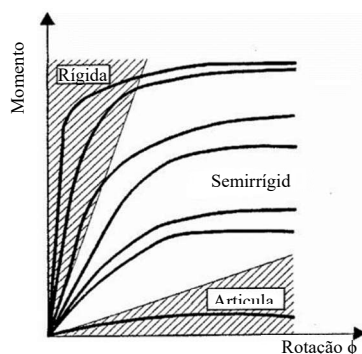


Figura 1 – Classificação das ligações [2].

3. CASO DE ESTUDO

3.1 Apresentação

Para analisar a influência das ligações na resposta sísmica de uma estrutura, foi estudado um

edifício habitacional, constituído por um corpo retangular em planta, bastante regular, com dimensões de 30 x 15 m² e contabilizando 12 pisos acima do solo, com um pé-direito de 3 metros cada, totalizando 36 metros de altura. As ligações entre as vigas e os pilares foram concebidas como ligações simplesmente apoiadas onde a transmissão de momentos entre estes elementos é nula, contudo a excentricidade do apoio da viga no pilar foi modelada para ter em consideração os esforços adicionais nos pilares. No modelo de cálculo foram consideradas todas as ações relevantes que atuam na estrutura, tais como o peso próprio dos materiais, restantes cargas permanentes, sobrecargas de utilização, vento e sismo. Para caracterização da ação sísmica foi considerado um terreno tipo B e acelerações de 0,35 m/s² para o tipo 1 e 0,80 m/s² para o tipo 2.

3.2 Análise sísmica

Inicialmente procedeu-se à análise da regularidade em altura e planta do edifício, tendo-se verificado que a estrutura não era regular em planta. Analisando a deformada do primeiro modo de vibração foi possível verificar que o edifício apresentava uma componente torsional significativa, tendo-se classificado o edifício como sistema torsionalmente flexível.

Posteriormente, foram analisados os *drift's*, deslocamentos e forças de corte por piso para verificar as condições relativas à limitação de danos face ao deslocamento por piso e determinar a importância dos efeitos de segunda ordem, tendo-se constatado que estes parâmetros eram pouco condicionantes e que cumpriam os limites estabelecidos pela norma.

Com o objetivo de analisar o efeito das ligações na resposta da estrutura, foram realizados 2 modelos numéricos: um modelo com ligações viga-pilar articuladas (caso de estudo anteriormente descrito) e um modelo com ligações semelhantes a monolíticas. Face aos resultados obtidos, foi possível verificar que na estrutura com nós articulados, os efeitos de segunda ordem ganham expressão (Figura 2).

Ao analisar o modelo com ligações monolíticas, verificou-se que a condição de flexibilidade torsional é cumprida em cerca de 20%, em ambas as direções, sendo possível classificar a estrutura como um sistema de paredes ao invés de um sistema torsionalmente flexível. A análise modal dos modelos revelou uma diferença significativa no valor do período fundamental das estruturas bem como das deformadas associadas e devido ao aumento de rigidez global da estrutura, obtiveram-se deslocamentos por piso menores na estrutura com nós semelhantes a monolíticos.

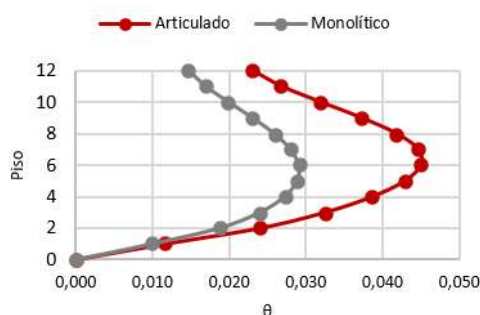


Figura 2 – Comparativo dos efeitos de segunda ordem dos modelos Articulado e Monolítico (AS tipo 2) [3].

Por fim, foram realizadas medições em obra através de acelerómetros e foram comparados com os resultados obtidos pelos modelos de cálculo efetuados para simular a estrutura à data das medições, tendo-se verificado uma variação relativamente baixa no período fundamental [3].

REFERÊNCIAS

- [1] F. Torgal e S. Jalali, A sustentabilidade dos materiais de construção. TecMinho.
- [2] International Federation for Structural Concrete, Ed., Structural connections for precast concrete buildings. em Bulletin / International Federation for Structural Concrete Guide to good practice, no. 43. Lausanne: International Federation for Structural Concrete (fib), 2008.
- [3] P. Ferreira, «Análise sísmica de um edifício constituído por elementos pré-fabricados de betão», Universidade do Porto, 2023.

MODELAÇÃO DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS DE COMPRESSÃO UNIAXIAL EM PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA TRADICIONAL ATRAVÉS DE MODELOS DE PARTÍCULAS: INFLUÊNCIA DE MODELOS DE CONTACTO ARGAMASSA-PEDRA

Catarina Brás¹, Ildi Cismasiu², Nuno Monteiro Azevedo³

¹ Nova School of Science and Technology. ca.bras@campus.fct.unl.pt

² CERIS e Nova School of Science and Technology. ildi@fct.unl.pt

³ Laboratório Nacional de Engenharia Civil. LNEC. nazevedo@lnec.pt

Palavras-chave: Paredes de alvenaria de pedra tradicional, Ensaio de compressão uniaxial, Modelo de Partículas, Modelos constitutivos do contacto argamassa-pedra.

Código da Área Temática 2

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

Os edifícios antigos representam cerca de 50% do património edificado português, muitos dos quais classificados como património cultural. A previsão do comportamento estrutural das paredes de alvenaria de pedra tradicional é uma tarefa complexa devido à heterogeneidade dos materiais, como a argamassa e a pedra, e à variabilidade na geometria das unidades de pedra. Para abordar essa complexidade, adotou-se um modelo 2D baseado no Método dos Elementos Discretos [1, 2], com base num modelo experimental desenvolvido por [3].

2. OBJETIVOS

Na ausência de resultados experimentais existe uma grande incerteza à cerca das propriedades dos contactos argamassa-pedra (a-p). Dado estudos anteriores terem indicado a importância das propriedades do contacto a-p e do modelo de contacto sob compressão [1,2], este trabalho teve como objetivo compreender e avaliar o impacto do modelo de contacto na resposta numérica obtida. Pretendeu-se ainda, mostrar que os modelos de partículas são capazes de prever a evolução do dano, os modos de rotura, a formação de fendas, o comportamento elástico inicial e o valor de tensão máxima de compressão uniaxial em paredes de alvenaria antiga.

3. MÉTODOS

No modelo numérico de partículas 2D, a pedra e a argamassa foram representadas como conjuntos de partículas que interagem entre si, o que permite a representação da sua heterogeneidade física e material. O modelo MP exige a definição da topologia e dos parâmetros elásticos e resistentes de todos os contactos, nomeadamente pedra-pedra (p-p), argamassa-argamassa (a-a) e argamassa-pedra (a-p), através de um processo de calibração com base em dados experimentais. O modelo calibrado permitiu avaliar o impacto de diferentes modelos de contacto sob compressão uniaxial no comportamento macroscópico global, incluindo um bilinear, dois multilíneares e três do tipo microplano.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 apresenta-se a distribuição de fendilhação em quatro pontos do gráfico tensão-deslocamento, obtidas durante a execução do ensaio numérico para o modelo de contacto de base vetorial com patamar de cedência à compressão (C-Y). Este modelo foi o que melhor reproduziu os resultados experimentais, com uma redução de resistência da ordem de 50% nos contactos argamassa-pedra, para o modelo numérico representativo do lado B. Observa-se que a evolução do mecanismo de rotura final é muito semelhante ao observado experimentalmente [1], ocorrendo duas fendas macroscópicas diagonais em X. Verificou-se também, que o modelo de contacto C-Y de base vetorial tem um desempenho próximo do modelo tipo microplano com enfraquecimento suave em compressão-corte (MC -0,01) a um custo computacional muito inferior [4].

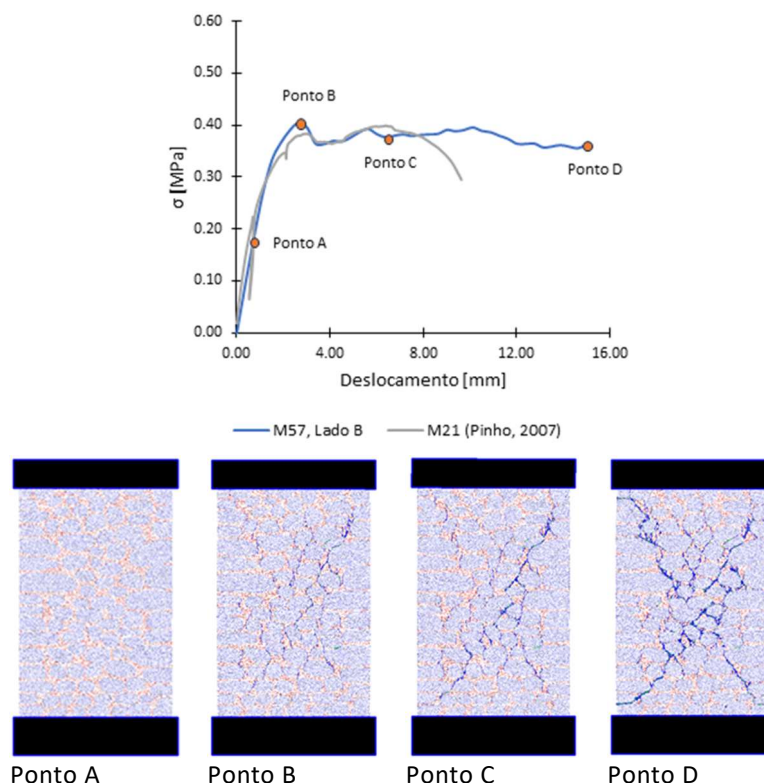


Figura 1 – Diagrama de tensão-deslocamentos e distribuição de contactos fendilhados - modelo C-Y.

5. CONCLUSÕES

Verifica-se assim que o modelo de contacto de base vetorial tem um desempenho próximo de um modelo de contacto do tipo microplano com enfraquecimento sob compressão. Os ensaios numéricos de compressão uniaxial realizados, permitiram avaliar a importância da ligação argamassa-pedra na resposta global do modelo numérico. Os ensaios mostraram que a redução de 50% na resistência do contacto argamassa-pedra permite que os modelos de contacto bilinear de base vetorial, com patamar de cedência à compressão, e o modelo de contacto do tipo microplano reproduzam com precisão os resultados experimentais. Os dados obtidos contribuem para uma melhor compreensão e previsão do comportamento estrutural de paredes de alvenaria antiga.

REFERÊNCIAS

- [1] Azevedo, N. M., Pinho, F. F. S., Cismaşiu, I., & Souza, M. (2022). Prediction of Rubble-Stone Masonry Walls Response under Axial Compression Using 2D Particle Modelling. *Buildings*, 12(8), 1–21. <https://doi.org/10.3390/buildings12081283>.
- [2] Azevedo, N. M., Pinho, F. F. S., & Cismaşiu, I. (2023). Numerical Evaluation of Transverse Steel Connector Strengthening Effect on the Behavior of Rubble Stone Masonry Walls under Compression Using a Particle Model. *Buildings*, 13(9), 13–27. <https://doi.org/10.3390/buildings13040987>.
- [3] Pinho, F. F. S. (2007). Paredes de alvenaria ordinária - Estudo experimental com modelos simples e reforçados. Tese de Doutoramento. Universidade Nova de Lisboa. Disponível em <http://hdl.handle.net/10362/12065>.
- [4] Brás, C. A. C. R. (2024) Modelação de ensaios experimentais de compressão uniaxial em modelos de alvenaria de pedra tradicional através de modelos de partículas, Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa.

IMPACTO DAS ABERTURAS NO DIMENSIONAMENTO DE PAREDES AUTOPORTANTES PREFABRICADAS DE BETÃO ARMADO

Gonçalo Marreneca¹, André Furtado², Ricardo do Carmo³

¹ Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal. goncalo.marreneca@tecnico.ulisboa.pt

² CERIS. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal. andre.furtado@tecnico.ulisboa.pt

³ Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, Portugal. carmo@isec.pt

Palavras-chave: paredes prefabricadas, *IDEA StatiCa*, taxa de abertura.

Código da Área Temática

Apresentação oral

1. ESTUDO PARAMÉTRICO E METODOLOGIA

O objetivo deste estudo é avaliar o impacto das aberturas no comportamento estrutural das paredes prefabricadas determinando qual a maior taxa de abertura possível, sem diminuir significativamente a sua capacidade resistente, de maneira a poderem-se considerar como elementos estruturais. Para o efeito realizou-se um estudo paramétrico variando: (i) dimensão de aberturas; (ii) tipos de ligação; (iii) percentagem mecânica da armadura de distribuição; e (iv) carga vertical aplicada. Foram analisadas as ligações secas (realizadas através de parafusos) e as húmidas (realizadas com varões de espera) [1]. O estudo foi realizado usando o software *IDEA StatiCa Detail* [2]. A parede modelada tem 4 m de largura e 3 m de altura, betão C30/37 e aço A500.

Analisaram-se as tensões principais máximas no betão e no aço, além da largura das fendas, limitada a 0,40 mm segundo o Eurocódigo 2 [3]. A carga máxima admissível foi definida como aquela que atingia os valores de resistência do betão ou do aço em ELU ou a largura de fendas em ELS. A carga máxima foi também definida pela ocorrência de divergência não linear no modelo de cálculo. A Figura 1 ilustra a metodologia adotada.

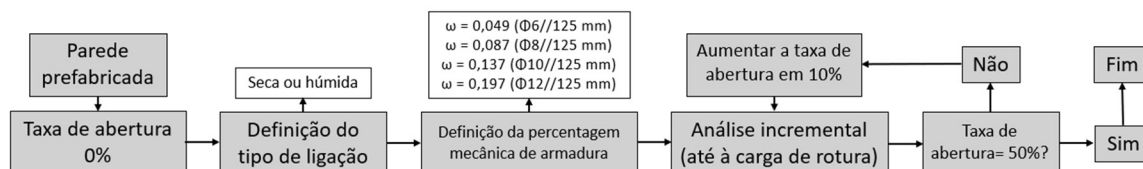


Figura 1 – Fluxograma da metodologia adotada.

2. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

2.1 Estado limite último (ELU) sem ações sísmicas

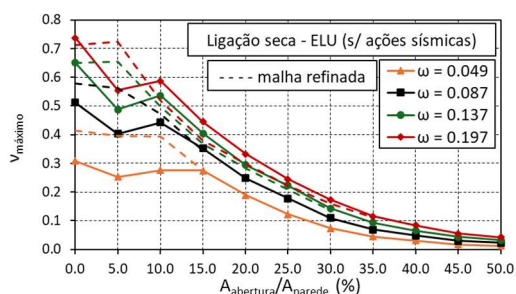


Figura 2 – Curva de dimensionamento de paredes c/ ligações secas (ELU s/ ação sísmica).

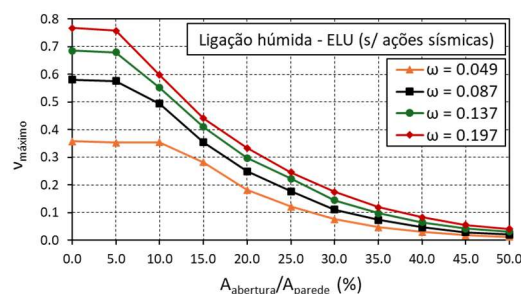


Figura 3 – Curva de dimensionamento de paredes c/ ligações húmidas (ELU s/ ação sísmica).

Nas Figuras 2 e 3 observam-se curvas de dimensionamento de paredes prefabricadas para o ELU, notando-se um andamento não linear. Esse efeito ocorre, pois, com o aumento da abertura, o vão da banda horizontal também aumenta, gerando momentos fletores elevados nessa região. Simultaneamente, a altura da seção transversal diminui, originando tensões de tração elevadas.

2.2 Estado limite último (ELU) com ações sísmicas

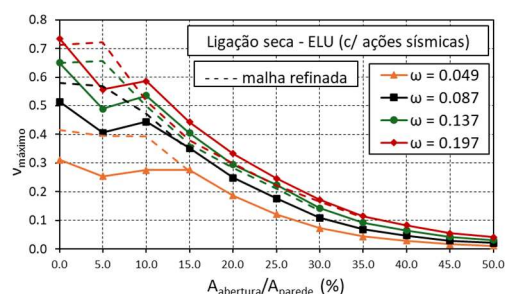


Figura 4 – Curva de dimensionamento de paredes c/ ligações secas (ELU c/ ação sísmica).

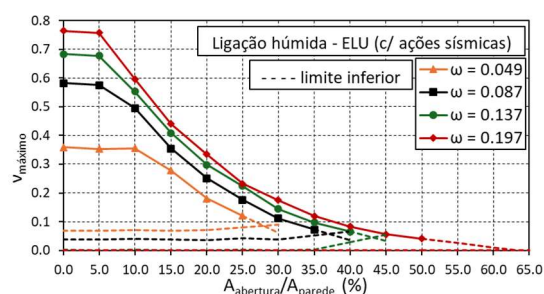


Figura 5 – Curva de dimensionamento de paredes c/ ligações húmidas (ELU c/ ação sísmica).

As curvas das Figuras 4 e 5 têm um desenvolvimento semelhante aos casos sem ações sísmicas, porém, há uma maior limitação da resistência no caso das ligações húmidas pois, ao contrário das ligações secas, estas não incluem os quatro varões $\Phi 12$ para transmitir a carga sísmica entre as faces horizontais da parede. Assim, com carga vertical aplicada baixa, o esforço de tração gerado pelo binário sísmico torna-se tão elevado que deixa de ser resistido apenas pela armadura de distribuição. Para cargas atuantes mais altas, o comportamento das ligações húmidas é semelhante ao caso sem ações sísmicas (limite superior).

2.3 Estado limite de serviço (ELS)

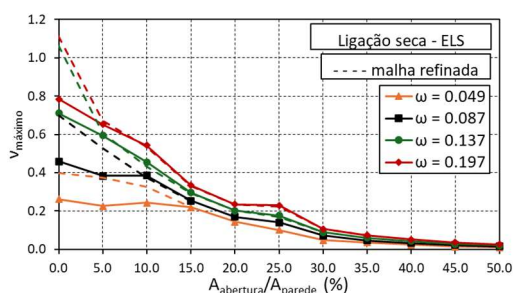


Figura 6 – Curva de dimensionamento de paredes c/ ligações secas (ELS).

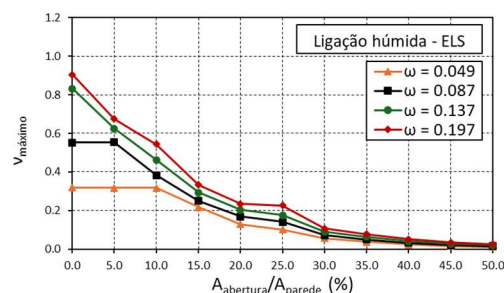


Figura 7 – Curva de dimensionamento de paredes c/ ligações húmidas (ELS).

Observou-se que, na ausência de aberturas, independentemente da ligação utilizada, a localização das fendas com maior largura é nos cantos das paredes. A aplicação dos quatro varões $\Phi 12$ nas ligações secas proporciona um maior reforço nessa região, resultando também num maior controlo da fendilhação. Para aberturas maiores, a região mais crítica passa a ser acima das aberturas, onde o tipo de ligação não tem influência significativa, tal como se observa nas Figuras 6 e 7.

3. CONCLUSÕES

As principais conclusões são: i) até 5% de taxa de abertura a resistência da parede permanece praticamente inalterada; ii) acima de 20% de abertura, o tipo de ligação tem pouca influência; iii) acima de 30% de abertura, a quantidade de armadura tem pouca relevância; e iv) paredes com até 20% de abertura mantêm mais de 40% de sua resistência original, podendo ser consideradas no cálculo estrutural.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Martins, R. do Carmo, H. Costa, and E. Júlio, "A review on precast structural concrete walls and connections," *Advances in Structural Engineering*, vol. 0(0), pp. 1–21, 2023.
- [2] "IDEA StatiCa Detail versão 23.1," 23.1. Accessed: Oct. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.ideastatica.com/>
- [3] Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, Março de 2010., vol. 1–1. 2010.

CARACTERIZAÇÃO DE ANCORAGENS ADERENTES COM VARÕES NERVURADOS, INSTALADAS À POSTERIORI, SUJEITOS A AÇÕES CÍCLICAS

Daniel B. Heleno¹, Paulo Fernandes², Hugo Rodrigues³

¹ Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Instituto Politécnico de Leiria. danielbheleno@gmail.pt

² CERIS, Instituto Politécnico de Leiria. paulo.fernandes@ipleiria.pt

³ RISCO. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Aveiro. hrodrigues@ua.pt

Palavras-chave: Ancoragens aderentes, varões de reforço instalados à posteriori, ações cíclicas.

2. Mecânica Estrutural e Estruturas

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

O uso de varões de reforço instalados à posteriori (VRIP) têm, nas últimas décadas, ganho grande importância na área da construção, devido sobretudo, à grande flexibilidade na fase de projeto e simplicidade na sua aplicação. Este tipo de técnica tem o objetivo de assegurar a ligação de elementos estruturais e não estruturais a elementos estruturais de betão existentes e são, normalmente, empregues em obras de reabilitação e de reforço de estruturas existentes. Mas também podem ser utilizadas na construção de novos edifícios com a finalidade de otimização e flexibilidade nos processos de construção.

A resistência dos VRIPs dependem essencialmente da aderência entre o varão metálico e o betão (Figura 1). No entanto, quando o betão se encontra fissurado, como pode suceder na sequência de um evento sísmico, a capacidade de aderência pode ser comprometida significativamente, resultando numa redução drástica da sua capacidade de carga.

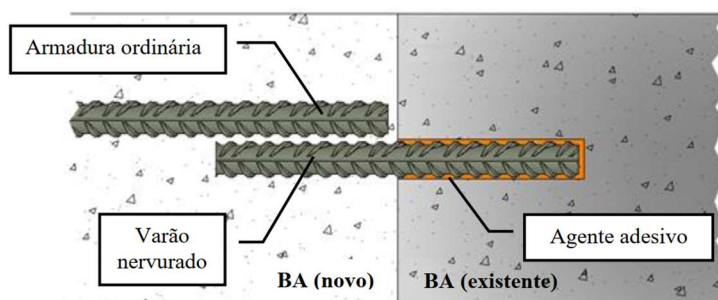


Figura 1 – Sistema de VRIPs.

Neste contexto, o trabalho caracterizou experimentalmente o comportamento de VRIPs em elementos de betão armado fissurados, sujeitos a ações da categoria de desempenho sísmico do tipo C2.3, utilizando o agente adesivo “SPIT VIPER XTREM” [1] e seguindo o procedimento definido no relatório técnico TR049 da Organização Europeia para Aprovações Técnicas (EOTA) [2].

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental compreendeu a realização de vinte e dois ensaios de arrancamento do varão (“pull-out”), dos quais onze foram conduzidos em regime monotónico e os restantes em regime semi-cíclico de carga até à rotura.

Os provetes de ensaio foram pré-fissurados até apresentarem uma largura de fenda de 0,8 milímetros. Posteriormente, os VRIPs foram tracionados até à rotura, enquanto se monitorizavam, durante o ensaio de arrancamento, a largura da fenda e o deslocamento do VRIP.

O sistema de ensaio utilizado no programa experimental foi composto pelos elementos apresentados na Figura 2.

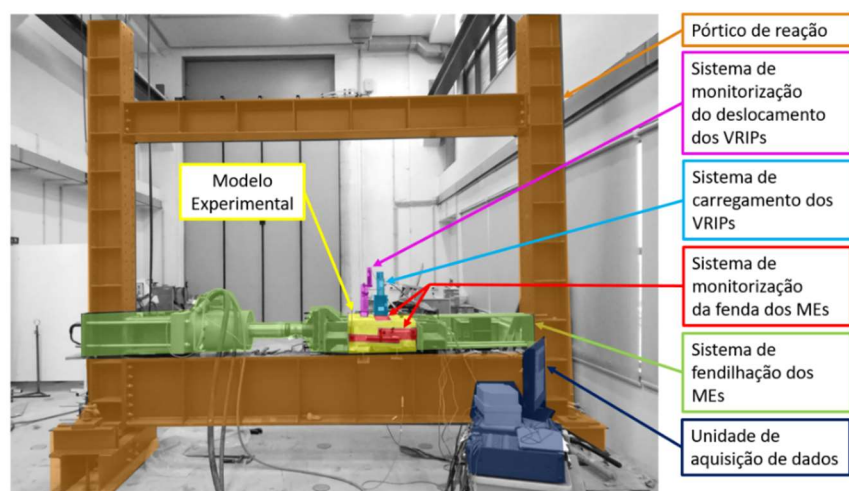


Figura 2 – Esquemática do sistema de ensaio.

Os provetes de ensaio (modelos experimentais) consistiram em blocos de BA, de dimensões de 56×56×21 centímetros cúbicos em betão C25/30. O betão C25/30 foi escolhido por representar a classe de resistência mais utilizado nas construções de edifícios correntes e por possuir uma baixa tensão de rotura à tração.

Como VRIP foram ensaiados varões nervurados de 12 e 20 milímetros, com um comprimento de amarração ao betão de 7 vezes o seu diâmetro.

3. RESULTADOS DOS ENSAIOS SEMI-CÍCLICOS PARA A AVALIAÇÃO PARA CATEGORIA SÍSMICA C2

Na tabela 1, apresentam-se os resultados dos ensaios semi-cíclicos na fase de capacidade residual, relativos à dispersão dos deslocamentos e das cargas últimas.

Tabela 1 – Dispersão dos deslocamentos e das cargas últimas.

VRIPs	Dispersão dos deslocamentos			Dispersão das cargas últimas		
	$\delta_{m0,5(N/Nu,m,C2.3)}$ [mm]	[%]	Verificação <40%	$Nu,m,C2.3$ [kN]	[%]	Verificação <20%
Ø12mm	2,01	33	Verifica	16,83	26	Não Verifica
Ø20mm	4,79	31	Verifica	38,62	10	Verifica

4. CONCLUSÕES

Como principais conclusões dos ensaios realizados destaca-se a semelhança entre a carga última nos ensaios monotónicos e semi-cíclico, por vezes mesmo com valores máximos superiores nos últimos.

A dispersão nos resultados relativamente às cargas últimas para o VRIP Ø12mm não permitiu a classificação do adesivo “SPIT VIPER XTREM” [2], uma resina vinil éster, para a categoria de desempenho sísmico C2.

O estudo proporcionou ainda *insights* valiosos e perspetivas relevantes acerca das ancoragens aderentes com VRIP e do seu comportamento em elementos de BA fissurados após um evento sísmico.

REFERÊNCIAS

- [1] Aprovação Técnica Europeia. (2017, dezembro). *SPIT VIPER XTREM / SPIT VIPER XTREM TR* (Aprovação Técnica Europeia). Bruxelas: Autor.
- [2] European Organisation for Technical Approvals (EOTA). (2016, agosto). *TR049: Post-installed fasteners in concrete under seismic action* (Relatório técnico). Bruxelas: Autor.

TUBULAR STEEL TRUSS GIRDERS WITH INNOVATIVE SHS JOINTS USING LASER CUTTING TECHNOLOGY

João Maria Damião¹

¹ Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. joaomariadamico@tecnico.ulisboa.pt

Keywords: Laser cutting technology, Hollow sections joints, FEM Analysis, Parametric studies.

Código da Área Temática 2.1

Apresentação oral

1. CASE STUDY AND EXPERIMENTAL TESTING

This MSc dissertation [1] is part of the LASTTS project [2], which focuses on the study of innovative solutions for hollow section joints, using laser cutting technology (LCT). Our research examines the behaviour of a planar truss girder with square hollow section (SHS) profiles and LCT-reinforced joints, Figure . Both experimental and numerical studies were conducted on three design variations:

- **Reference Design (REF)** – A conventional K gap joint configuration.
- **Alternative Design 1 (AD1)** – A joint reinforced with a rectangular steel plate inserted through the compression chord, as shown in Figure a).
- **Alternative Design 2 (AD2)** – A Y-shaped steel plate fitted and welded inside the joint through the chord and diagonal braces, as shown in Figure b).

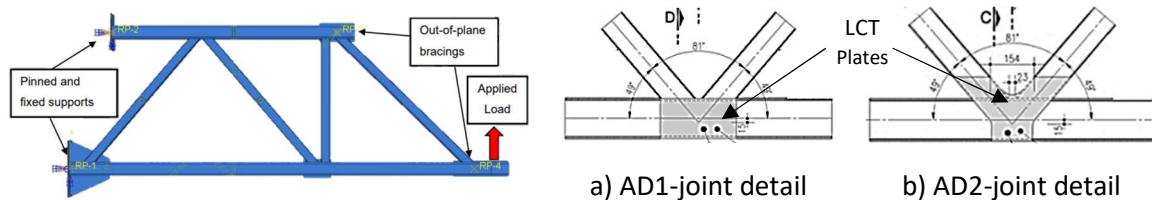
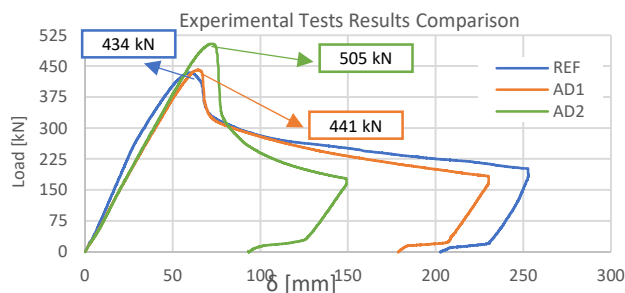
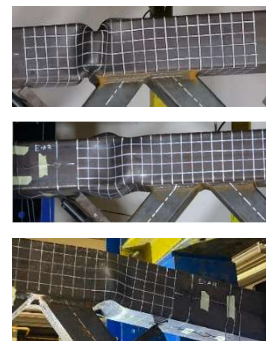


Figure 1 – Case study's truss model and joint reinforcement solutions.



a) Load-displacement curves of the experimental tests



b) Truss failure modes

Figure 2 – Experimental test results.

The REF joint exhibited greater resistance than anticipated, due to the substantial weld volume in the joint connection. Even so, LCT-reinforced joints further enhanced structural resistance, showing a higher load-bearing capacity. The reinforcement plates prevented chord face failure by increasing joint stiffness, leading to plastic failure of the chord's cross-section under higher compressive forces.

2. NUMERICAL MODELLING AND PARAMETRIC STUDIES

2.1. Numerical Calibration

The numerical model was developed in ABAQUS, combining shell elements for the joint, and beam elements for the rest of the structure, ensuring computational efficiency. Boundary conditions and loading mechanisms replicated the laboratory setup, with elastic supports ensuring consistency with the experimental behaviour. The model used to perform the parametric study was calibrated with

high accuracy based on the experimental test results, and the calibration is summarised in Table 1.

Table 1 – Resume of the numerical model calibration.

	Experimental test		Calibrated FEM model		Difference
REF	$P_{\max} = 434 \text{ kN}$	$\delta(P_{\max}) = 60.0 \text{ mm}$	$P_{\max} = 435 \text{ kN}$	$\delta(P_{\max}) = 62.7 \text{ mm}$	+0.23% / +4.50%
AD1	$P_{\max} = 441 \text{ kN}$	$\delta(P_{\max}) = 64.5 \text{ mm}$	$P_{\max} = 446 \text{ kN}$	$\delta(P_{\max}) = 65.2 \text{ mm}$	+1.34% / +1.07%
AD2	$P_{\max} = 500 \text{ kN}$	$\delta(P_{\max}) = 72.6 \text{ mm}$	$P_{\max} = 505 \text{ kN}$	$\delta(P_{\max}) = 71.5 \text{ mm}$	+1.00% / -1.52%

2.2. Parametric Studies

For the parametric studies the model uses S355 steel and rigid supports, showing the expected impact of the LCT reinforcements. The REF failure mode corresponds to a typical joint failure, whereas in AD1 and AD2, the failure occurred due to plastic deformation of the chord's section, as seen in Figure .

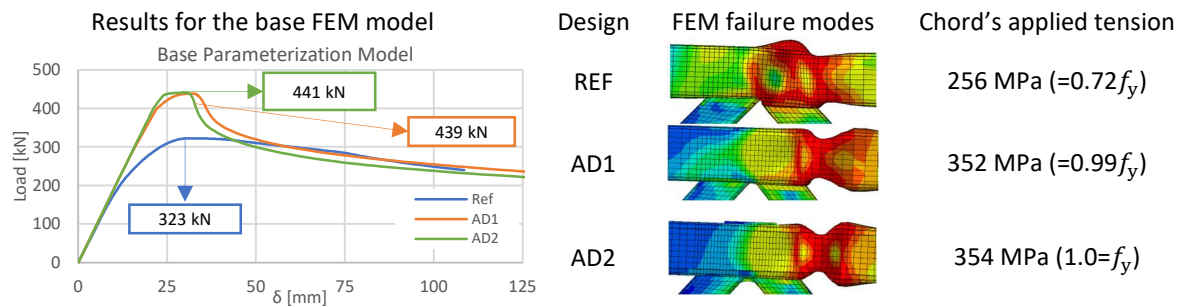
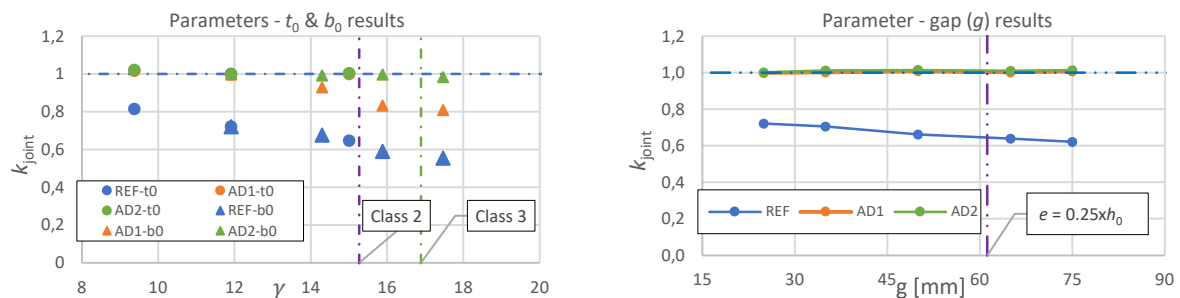


Figure 3 – Results of the base FEM model for the parametric studies.

The relevant parameters analysed were the chord's thickness, t_0 , and width, b_0 , and the gap's width, g , based on the formula for the design of K gap joints, from the EN 1993-1-8. The results show the ratio of the acting axial force and the resistance of the chord $k_{joint} = N_{Ed} / (A_{chord} f_y)$ as function of the gamma factor: $\gamma = N_{Ed} / (2t_0)$, and gap width, showing that the AD2 joint always attains $k_{joint} = 1.0$.



a) Chord thickness (t_0) and width (b_0) parameterization.

b) Gap dimension (g) parameterization.

Figure 4 – k_{joint} charts for parameters t_0 , b_0 and gap comparison.

3. CONCLUSIONS

This work confirmed that LCT-detailed joints outperformed conventional ones, meeting a key objective of the LASTTS research project. The introduction of the plates eliminated the typical chord face failure, and through the k_{joint} analysis, most trusses failed when the chord's maximum compression was reached. Therefore, the passing-through plates enabled full utilisation of the chord's bearing capacity. This innovative solution promotes more efficient, sustainable, and cost-effective steel structures.

REFERENCES

- [1] Damião, J. M. (2024). *Tubular Steel Truss Girders with Innovative SHS Joints using Laser Cutting Technology: Numerical Modelling and Parametric Studies*. Master Dissertation, IST, ULISBOA
- [2] LASTTS Project. Accessed April 2025 [Online]. Available <https://www.lastts.eu/>

VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DO SISTEMA DE BETÃO ARMADO MICADO

Douglas Alves¹, Jorge Pinto¹, Cristina Reis¹

¹ Departamento de Engenharia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

Palavras-chave: Construção Modular, Sistemas Construtivos, Sistema MICADO, Betão Armado.

Código da Área Temática 2

Apresentação Oral

1. INTRODUÇÃO

A implementação da construção modular representa uma padronização paradigmática de elementos ou mesmo de todo o sistema construtivo, visando simplificar a fase construtiva, e conferir maior dinamismo e flexibilidade à estrutura global. Neste contexto, este trabalho de pesquisa tem como objetivo avaliar a viabilidade da aplicação da solução de betão armado MICADO, sob a perspetiva estrutural e construtiva, projetada para uma estrutura modular devidamente dimensionada. Com base nos ensaios realizados e nos resultados obtidos, este estudo oferece uma análise crítica dos componentes construtivos e do sistema como um todo, evidenciando sua viabilidade, ainda que permeada por algumas dificuldades identificadas. Além disso, são propostas sugestões para pesquisas futuras com o objetivo de aprimorar o sistema proposto e superar os desafios observados.

2. CONCLUSÃO

Os ensaios realizados em laboratório apontaram a presença de algumas anomalias, como vazios e fissuras apresentadas no betão após a descofragem dos tubos de PVC, que se devem à dificuldade de compactação, devido ao espaço limitado da secção circular do pilar (incluindo a armadura, o que torna o espaço ainda menor) e ao não cumprimento do recobrimento mínimo exigido pelo Eurocódigo 2 [17]. Portanto, é importante destacar que a parte da estrutura modular que será descofrada (alguns pilares) poderá apresentar esses problemas e patologias descritos acima, mas que não serão possíveis de serem verificados, devido à própria cofragem que será mantida na estrutura. Portanto, deve-se seguir as normas vigentes e tomar todas as precauções possíveis para evitar esses obstáculos, auxiliando assim na durabilidade da estrutura. Apesar disso, os ensaios apresentaram resultados positivos, pois não houve vazamentos significativos e nem rompimento dos tubos, o que comprova que os tubos de PVC podem ser utilizados como cofragem perdida.

Portanto, três pontos podem ser destacados. Primeiro, em relação às fissuras nas áreas dos estribos, decorrentes do não cumprimento do recobrimento mínimo exigido pelo Euro código 2 [17]. Segundo, quanto aos vazios e zonas porosas devido à dificuldade de compactação. E terceiro, o excesso de barras de aço para pequenas secções, especialmente no caso de áreas de emenda e cravação entre elementos, uma vez que o requisito de um percentual máximo de armadura também não foi atendido. Para pilares circulares, sabe-se que o Euro código 2 [17] define o número mínimo de barras de aço em pilares com secção circular, que são seis. Portanto, uma alternativa viável seria aumentar as secções dos pilares circulares.

Em relação ao modelo em escala real, é possível destacar que se trata de um sistema que pode ser executado, mas com algumas ressalvas, como a dificuldade de compactação dos pilares, devido à pequena secção dos pilares e ao excesso de barras de aço dos elementos, especialmente nas zonas de emenda, conforme destacado anteriormente.

REFERÊNCIAS

- [1] Kamali M, Hewage K. Life cycle performance of modular buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 62:1171–83. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.031>.
- [2] Thai H-T, Ngo T, Uy B. A review on modular construction for high-rise buildings. *Structures* 2020; 28:1265–90. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.070>.

- [3] Navaratnam S, Ngo T, Gunawardena T, Henderson D. Performance review of prefabricated building systems and future research in Australia. *Buildings* 2019; 9:1–14.
<https://doi.org/10.3390/buildings9020038>.
- [4] Ly DH, Le QH, Hoang Nhat Nguyen TD, Ahn Y, Kim K, Kwon N. Advancing modular construction through circular economy: Insights from semi-automated PRISMA analysis and topic modeling. *Journal of Building Engineering* 2024; 98:111232. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111232>.
- [5] Dalalbashi A, Pinto J, Reis C, Pimenta F, Ferreira NO, Pereira NB. A proposal for an alternative structural modular solution. *Journal of Building Engineering* 2024; 2:108709.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108709>.
- [6] Dalalbashi A, Reis C, Pinto J, Pimenta F, Ferreira NO, Pereira NB. Technical Aspects Concerning the MICADO Modular Construction. *Practice Periodical on Structural Design and Construction* 2024;29.
<https://doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-1427>.
- [7] Nguyen TDHN, Moon H, Ahn Y. Critical Review of Trends in Modular Integrated Construction Research with a Focus on Sustainability. *Sustainability (Switzerland)* 2022; 14:1–23.
<https://doi.org/10.3390/su141912282>.
- [8] Ryan ES, Timberlake J. *Prefab architecture: A guide to modular design and construction*. 2010.
- [9] Lopez D, Froese TM. Analysis of costs and benefits of panelized and modular prefabricated homes. *Procedia Eng* 2016; 145:1291–7. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.166>.
- [10] Alves Â. *Desenvolvimento e análise de um sistema modular para a construção de edifícios*. University of Minho, 2021.
- [11] Rocha PF, Ferreira NO, Pimenta F, Pereira NB. Impacts of Prefabrication in the Building Construction Industry. *Encyclopedia* 2022; 3:28–45.
<https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010003>.
- [12] Dalalbashi A, Reis C, Pinto J, Pimenta F, Oliveira N, Bento N. Two modular architectural solution of MICADO. *Alexandria Engineering Journal* 2023; 78:576–83.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.07.009>.
- [13] Dalalbashi A, Reis C, Pinto J, Pimenta F, Ferreira NO, Pereira NB. Architectural MICADO Modular Construction. II: Parametric Study of Rectangle-Shape Structural Behavior. *Practice Periodical on Structural Design and Construction* 2024;29. <https://doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-1428>.
- [14] Dalalbashi A, Reis C, Pinto J, Pimenta F, Ferreira NO, Pereira NB. Architectural MICADO Modular Construction. I: Parametric Study of L-Shape Structural Behavior. *Practice Periodical on Structural Design and Construction* 2024;29. <https://doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-1415>.
- [15] Standardization EC for. EN 1991-1: Eurocode 1- Actions on structures. Part 1-1: Denisties, self-weight, imposed loads for buildings 2022:1–43.
- [16] Standardization EC for. EN 1998-1: Eurocode 8- Design of structures for earthquake resistance- Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. vol. 1. 2004.
- [17] European Committee for Standardization. EN 1992-1-1: 2004, Eurocode 2- Design of concrete structures- Part 1-1: General rules and rules for buildings. 2006.
<https://doi.org/10.1201/b18121-18>.

STRUCTURAL ANALYSIS OF TRADITIONAL MASONRY ARCHES AND VAULTS

Yash Dipac Ramnicl¹, António Sousa Gago²

¹ University of Lisbon. Instituto Superior Técnico. yash.dipac@tecnico.ulisboa.pt

² DECivil, University of Lisbon. Instituto Superior Técnico. antonio.gago@tecnico.ulisboa.pt

Palavras-chave: masonry, vaults, arches, discrete element method.

Mecânica Estrutural e Estruturas

Apresentação oral

1. INTRODUCTION

Masonry arches and vaults show a very complex structural behaviour, not only due to their geometry, but also to the non-homogeneous nature of masonry. The importance of preserving historical masonry structures has led to a growing interest on studying their behaviour. Advancements in computational technology have significantly transformed this field of study, [1]. This work applies the Discrete Element Method, implemented in the 3DEC software, to analyse structural behaviour under different load and geometric configurations, assess the stability of an existing masonry church, and propose a reinforcement solution for its unstable condition.

2. PHYSICAL AND NUMERICAL MODELS

Several small-scale physical models (Figure 1) made in plastic (PLA), were developed by Professor Manuel Fortea, [2]. Blocks with re-entrances were designed to ensure a collapse mechanism by block rotation and not by slippage. The compressive strength of each model greatly exceeds the stresses induced by the acting loads, therefore, crushing doesn't occur. These models represent reasonably well the structural behaviour of masonry arches and vaults. The collapse loads were measured experimentally, and these values were taken as reference for the calibration of the 3DEC numerical models.

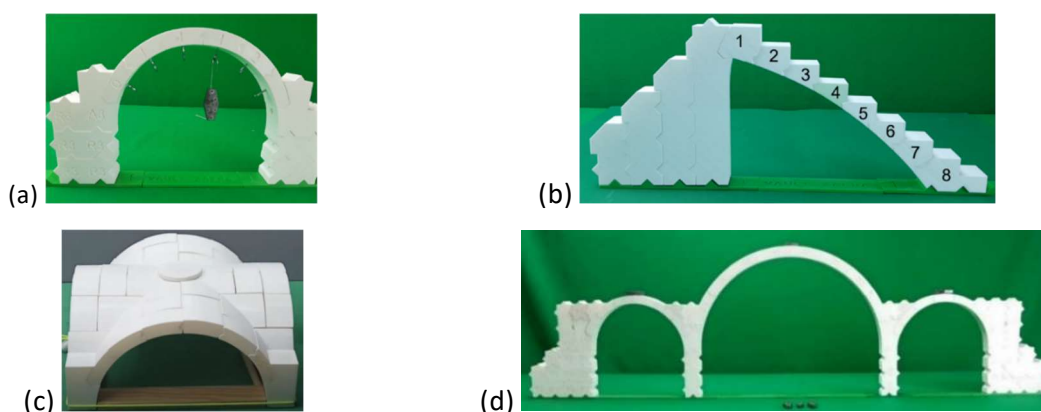


Figure 1 – Physical models: (a) circular arch; (b) stair; (c) vault; (d) three aligned arches.

2.1. Circular arch

The circular arch model revealed the influence of density on the stability of the structure. As expected, higher density leads to a greater collapse load due to increased compression and friction between blocks. In the 3DEC model, accurately calibrating the contact mechanical properties is essential. If the normal stiffness (JK_n) at the contact points between blocks is too low, the blocks may interpenetrate, compromising the stability of the model.

Without re-entrance between blocks, low material density results in low compression and possible collapse by slippage. By assigning high values of shear stiffness (JK_s) and joint cohesion (J_{coh}) in the 3DEC model, collapse by slippage can be prevented.

2.2. Stair

The stair model permitted to understand that imposed loads can enhance the structural stability. The experiment consisted in applying a load at the top of the stair, which has a stabilizing effect on the model, and another on the fourth block, which has a destabilizing effect. It was observed that the structure collapsed after removing the load at the top of the stair.

2.3. Vault

The results showed that the groins have a major structural importance in a cross vault, as their collapse load was similar to the complete vault. 3DEC allowed more precise load application, confirming these conclusions.

2.4. Three aligned arches

The three aligned arches model, permitted to understand that imposed loads in the lateral arches have a stabilizing effect on the model. The experiment consisted in loading the structure on top of each arch and posteriorly removing the load from the left-side arch. With the 3DEC model, it was possible to simulate the simultaneous removal of lateral loads, allowing for observation of deformations.

3. STUDY CASE: THE CHURCH OF BUCELAS

The main structural issue at the Church of Bucelas was the significant increase in the central vault's span, caused by deformation over time due to the partial removal of the infill at the extrados of the central vault (Figure 2a), [3]. To address this, a reinforcement solution was proposed to limit further expansion of the spans and improve the structure's load-bearing capacity. This involved increasing the thickness of the central vault and adding six tie rods (Figure 2b), resulting in a 225% increase in the structure's capacity to support the applied loads.



Figure 2 – (a) Church of Bucelas; (b) Reinforcement solution.

4. CONCLUSION

The use of Discrete Element Method permitted to understand relevant concepts of masonry arches and vaults structural behaviour. Additionally, the results obtained from the 3DEC models of the Church of Bucelas allowed the identification of the damage origin and the evaluation of the effect of structural reinforcement.

REFERENCES

- [1] J. Lemos et al., "Numerical modeling of historic masonry structures," Handbook of Research on Seismic Assessment and Rehabilitation of Historic Structures, 2015.
- [2] M. Fortea, "Vault Zafra." Accessed: Oct. 21, 2024. [Online]. Available: <http://www.youtube.com/@vaultzafraelp>.
- [3] A. Gago, "Estudo das Patologias Estruturais da Abóbada da Igreja Matriz de Bucelas," Report ICIST EP 04/09, ICIST - IST, Lisbon, 2009.

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM DISPOSITIVO DE FLEXÃO DE BARRA PLANA EM FORMA DE U PARA DISSIPAÇÃO DE ENERGIA EM PROTEÇÃO CONTRA EXPLOSÕES

Tiago José Basílio Ferreira¹, David Lecompte², Pedro José Da Silva Gonçalves Matias³

¹ Academia Militar, Lisboa, Portugal. ferreira.tjb@exercito.pt

² Royal Military Academy, Bruxelas, Bélgica. david.lecompte@gmail.com

³ Diretor do CCPI. Academia Militar, Lisboa, Portugal. matias.pjsg@exercito.pt

Palavras-chave: UFBD, deformação plástica, campanha experimental, modelação numérica.

1. RESUMO

Os "contentores marítimos" comerciais provocaram uma revolução na logística militar. Inicialmente reconhecidos como valiosos a nível logístico, estas estruturas podem ser adaptadas para melhorar as condições de vida dos soldados durante as operações. O aumento dos ataques terroristas e a elevada utilização de engenhos explosivos como arma típica, torna importante a investigação de soluções resistentes a explosões para estruturas, baseadas em métodos de dissipação de energia, que possam proteger os ocupantes e o conteúdo dos efeitos da explosão e permitir uma rápida reparação e reocupação após um ataque explosivo. Este trabalho centra-se no estudo e na caracterização de um dispositivo dissipativo de energia denominado de Dispositivo de Flexão de Barra Plana em Forma de U (UFBD) sujeito a condições de carga de explosão. O UFBD é composto por uma barra plana de alumínio e uma caixa de mecanismo com um pino no interior, sendo a barra plana posicionada em contacto direto à volta do pino. Quando é aplicada uma força, a barra plana é forçada a dobrar em torno do pino, dissipando energia através da sua deformação plástica. O estudo e caracterização do UFBD sujeito a condições de carga de explosão foi efetuado através de uma campanha de ensaios experimentais e de modelação numérica no software LS-Dyna.

O design escolhido para o UFBD foi submetido a testes quase-estáticos para avaliar o seu desempenho. A barra plana foi submetida a uma velocidade transversal de 50 cm/min (equivalente a 500 mm/min), sob condições de temperatura normais (1 atm e 25 °C).



Figura 1 – Configuração de teste quase estático.

O set-up adotado para os ensaios experimentais de carga de explosão encontra-se representado na Figura 2.

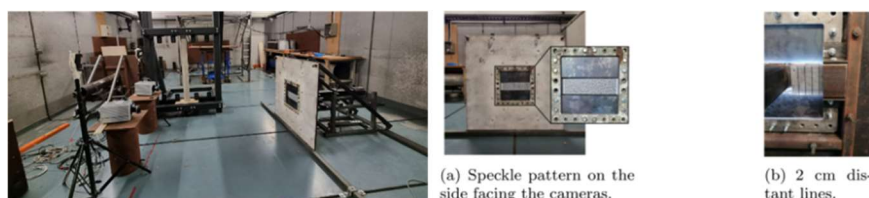


Figura 2 – Detalhe de configuração de teste de carga de explosão.

Uma massa de 10g de C4 (equivalente a 13,4g de TNT) foi preparada e posicionada a 50 mm da entrada do EDST. Para o estudo de caso, foi posicionado perfeitamente no centro da barra plana a uma distância de 4 mm da sua extremidade um EDST com secção quadrada de 80x80 mm². Foram realizados três ensaios experimentais. Para o primeiro ensaio não foi considerado o uso de

lubrificação. O objetivo foi ter um termo de comparação em relação ao comportamento do mecanismo quando considerado o uso de lubrificação. O segundo e terceiro ensaios consideraram o uso de lubrificação no seu funcionamento.

Todas as três amostras de barra plana têm as mesmas medidas, e um movimento prescrito de 50 cm/min foi aplicado para cada barra plana. Na seguinte figura encontram-se ilustrados os resultados de cada teste bem como os resultados numéricos.

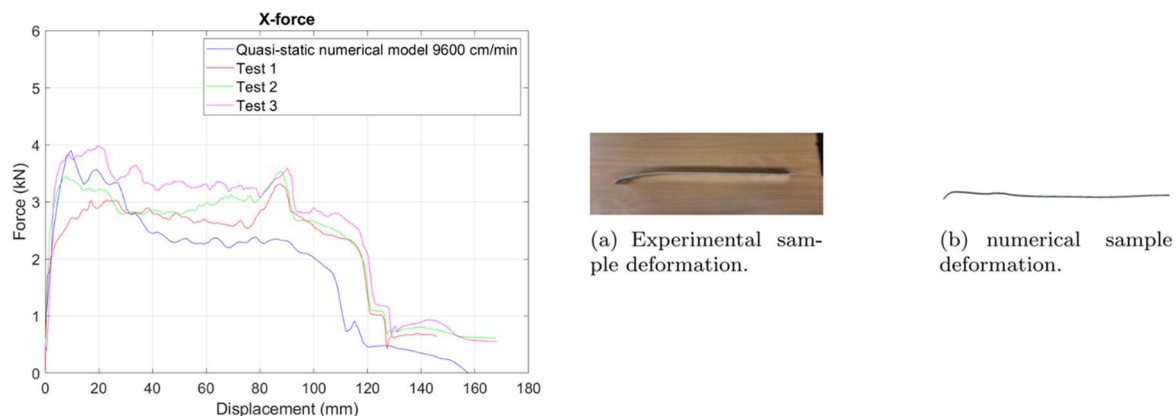


Figura 3 – Resultados experimentais e numéricos dos testes quase estáticos.

Nas seguintes imagens e na seguinte tabela estão ilustrados os resultados obtidos para o deslocamento da barra plana dentro da caixa do mecanismo.



Figura 4 – Resultados dos testes de carga de explosão.

Os resultados do modelo numérico desenvolvido para caracterizar o design de alumínio adotado foram validados pelos resultados dos testes quase-estáticos. O pico inicial de força descrito no modelo numérico está em conformidade com os resultados experimentais. Os resultados numéricos subestimam o valor da força de patamar em relação aos resultados experimentais em 18,74%; no entanto, o modelo numérico consegue representar relativamente bem o comportamento do UFBD. Os testes experimentais dinâmicos de carga explosiva confirmaram que o UFBD funciona conforme pretendido quando submetido à carga explosiva, produzindo o fenómeno de desdobramento/envergadura, bem como um deslocamento fora do plano. Esses indicativos demonstram que o UFBD pode dissipar energia da explosão na forma de deformação plástica devido ao fenómeno de desdobramento/envergadura da barra plana ao redor do pino.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Basto. Performance assessment of a u-shaped dissipative flat bar bending device for blast protection. Research project, Department of Civil Engineering of NOVA University, 2022.
- [2] M. Walker. An energy-dissipating system for blast mitigation in structures. Master's thesis, University of Toronto, 2012.

TEMA 03

HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS

OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA COM ARMAZENAMENTO POR BOMBAGEM EXISTENTE NA ILHA DA MADEIRA

Miguel Tavares¹, Helena Margarida Ramos²

¹ Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Ambiente, DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal; miguelsousatavares@tecnico.ulisboa.pt

² Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Ambiente, DECivil, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal; hramos.ist@gmail.com

Palavras-chave: Sistemas Híbridos, Sistemas Hidroelétricos, Energia Eólica, Energia Solar.

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação de mestrado tinha como principal objetivo, o estudo da solução técnica e economicamente mais rentável para um sistema hidroelétrico com armazenamento por bombagem existente na ilha da Madeira. O sistema é composto por três reservatórios: Covão, Socorridos e Santa Quitéria. O primeiro situa-se no ponto mais elevado do sistema, no qual a água entra através de um canal com um caudal de 0.3 m³/s. Na proximidade do segundo reservatório existem quatro turbinas e três bombas, com uma potência máxima total de 25 MW e 16.2 MW, respetivamente. Em Santa Quitéria está instalada uma turbina com uma potência máxima de 1.6 MW. A água flui desde o Covão até Socorridos e ao chegar a este último reservatório, parte flui para Santa Quitéria, enquanto a restante é armazenada temporariamente em Socorridos, para posteriormente ser bombeada para o Covão [1]. Dada a existência de uma única conduta entre Covão e Socorridos, foram realizadas otimizações para determinar os melhores períodos para bombear e turbinar a água, de forma a maximizar o Valor Atualizado Líquido (VAL).

Para compensar os custos, durante as operações de bombagem, foi estudada a introdução de fontes de energia renovável (turbinas eólicas e painéis fotovoltaicos), numa área com 5ha, próxima da região do Covão. Foram analisados quatro cenários diferentes (Hidroelétrica (H), Hidroelétrica (H) + Eólica (E), Hidroelétrica (H) + Solar (S) e Hidroelétrica (H) + Eólica (E) + Solar(S)) e em cada um deles foram estudadas seis soluções distintas, em que se variava o volume diário turbinado em Socorridos ($V = 35\,167\text{ m}^3$, $V = 38\,260\text{ m}^3$, $V = 40\,000\text{ m}^3$, $V = 80\,000\text{ m}^3$, $V = 100\,000\text{ m}^3$ e $V = 130\,000\text{ m}^3$). Para os três últimos cenários foi também analisada a integração de baterias. As otimizações foram feitas recorrendo ao algoritmo de otimização GRG-Non Linear do MS Excel.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Cenário 1 (Hidroelétrica), sem a integração das energias renováveis, o VAL sem os benefícios provenientes do consumo de água é negativo, em todas as soluções apresentadas, o que demonstra que esta operação não é economicamente rentável (Quadro 1).

Quadro 1 – VAL em 2025 e 2030 para as soluções do Cenário 1 (Hidroelétrica).

Volume diário turbinado Socorridos (m ³)	35 167	38 260	40 000	80 000	100 000	130 000
VAL 2025 (sem consumo de água)	-20	-21	-23	-48	-58	-82
VAL 2030 (sem consumo de água)	-19	-21	-23	-47	-57	-81
VAL 2025	150	148	146	122	112	88
VAL 2030	150	149	147	122	112	88

Com a integração das turbinas eólicas e/ou dos painéis fotovoltaicos e para um igual volume diário turbinado em Socorridos, os períodos de funcionamento das bombas e das turbinas em Socorridos diferem nos vários cenários. A partir de uma análise histórica de dados, verifica-se que a velocidade do vento é considerável ao longo de todo o dia e a incidência da radiação solar ocorre apenas durante as horas de luz, atingindo o seu pico, próximo do meio-dia. Desta forma no Cenário 2 e 4 (Hidroelétrica + Eólica e Hidroelétrica + Eólica + Solar, respetivamente), a água é bombeada durante várias horas do dia, enquanto no Cenário 3 (Hidroelétrica + Solar), a água é apenas

bombeada durante as horas de luz. Em todos os cenários, as turbinas operam ao final do dia, quando a tarifário de venda de energia é mais elevado (Figura 1).

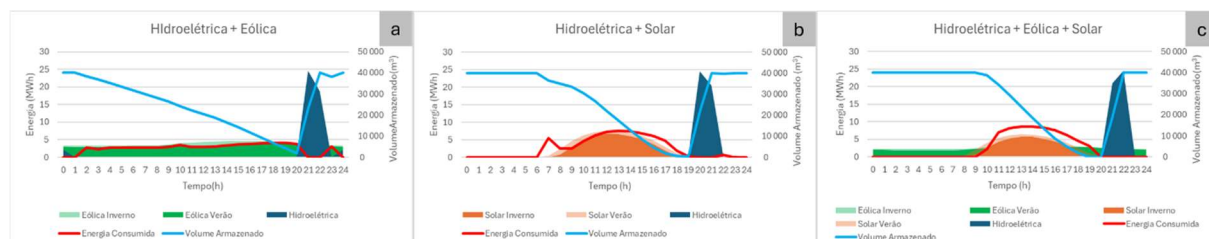


Figura 1 – Período de funcionamento das bombas e turbinas instaladas em Socorridos e a variação do reservatório de Socorridos, ao longo de um dia, para diferentes cenários: a) Cenário 2 (Hidroelétrica (H) + Eólica (E)); b) Cenário 3 (Hidroelétrica (H) + Solar (S)); c) Cenário 4 (Hidroelétrica (H) + Eólica (E) + Solar (S)).

O cálculo do VAL, mostra que as soluções do Cenário 3 (Hidroelétrica (H) + Solar (S)) são as menos rentáveis, dado o número insuficiente de painéis fotovoltaicos para cobrir a totalidade do consumo. Contrariamente, as soluções do Cenário 2 e 4 (Hidroelétrica (H) + Eólica (E) e Hidroelétrica (H) + Eólica (E) + Solar (S), respetivamente), permitem vender uma grande quantidade de energia em excesso à rede, durante várias horas do dia, o que aumenta significativamente o VAL. Verificou-se que a integração de baterias reduziu o número de turbinas eólicas necessárias para satisfazer a totalidade do consumo em todas as horas nas soluções do Cenário 2 e 4 (Hidroelétrica (H) + Eólica (E) e Hidroelétrica (H) + Eólica (E) + Solar (S), respetivamente). Contudo, verificou-se que na grande maioria das soluções, o VAL diminui com a incorporação de baterias no sistema, pois reduz o excesso de energia vendido à rede (Figura 2).

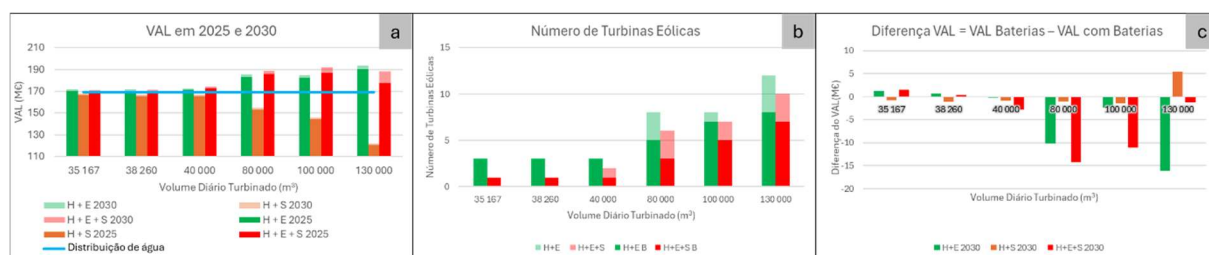


Figura 2 – Análise Económica e técnica para diferentes soluções e cenários: a) VAL em 2025 e 2030 para soluções sem baterias; b) Número de turbinas eólicas em soluções com e sem baterias; c) Diferença do VAL entre soluções com e sem baterias.

3. CONCLUSÕES

A operação do Cenário 1 (Hidroelétrica) não é rentável, apresentado sempre um VAL negativo, para um período de operação de 20 anos. As soluções do cenário 3 (Hidroelétrica (H) + Solar (S)), também não são economicamente rentáveis, dado o número insuficiente de painéis fotovoltaicos, para satisfazer a totalidade do consumo das bombas. Contrariamente, soluções que integram turbinas eólicas nos cenários 2 e 4 (Hidroelétrica (H) + Eólica (E) e Hidroelétrica (H) + Eólica (E) + Solar (S), respetivamente), são rentáveis economicamente, dado o excesso de energia vendido à rede. Com a integração de baterias o VAL diminuiu na grande maioria das soluções.

REFERÊNCIAS

- [1] Covas DIC, Ramos HM, Almeida AB. Hydraulic Transients in Socorridos Pump-Storage Hydropower System. In: Stephen Hunt, editor. Proceedings of the 10th International Conference on Pressure Surges: Surge Analysis - System Design, Simulation, Monitoring and Control, Edinburgh, Scotland, UK: 2008, p. 47–63.

TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS: UMA VISÃO GERAL DA PESQUISA ATRAVÉS DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Paula Liliana Sá¹, Sérgio Lousada²

¹ Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia. Universidade da Madeira. plilianasa.eng@gmail.com

² Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia. Universidade da Madeira. slousada@staff.uma.pt

Palavras-chave: Análise Bibliométrica, Desinfecção da Água, Tratamento de Águas Residuais, Visão Geral da Literatura.

3. Hidráulica e Recursos Hídricos

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

Eruditos de que o acesso à água potável e ao saneamento de águas residuais ainda é limitado ou inexistente para milhões de pessoas, persiste a devolução, de grande percentagem de águas residuais, à natureza, sem o tratamento adequado e sem o necessário aproveitamento para reutilização. Os efluentes industriais são caracterizados por contaminantes complexos que dificultam a sua remoção, exigindo da comunidade académica, empresas e estado, o investimento em tecnologias de tratamento de águas residuais ou alternativas mais económicas e eficientes e que promovam a economia circular, principalmente nos países em desenvolvimento, [1][2].

2. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Selecionando a amostra na *Web of Science*, apresenta-se o estado atual sobre o tratamento de águas residuais através de uma análise bibliométrica para uma visão geral da literatura. Constata-se o aumento do interesse da comunidade académica no tema, sendo a China o país com maior número de publicações e a revista *Water Science and Technology*, o difusor predileto. A maioria dos artigos analisados estão identificados no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 06 Água Potável e Saneamento, destacando o interesse da comunidade académica na investigação sobre este tema e salientando a necessidade de intervenção urgente para melhorar e providenciar as populações de sistemas adequados de distribuição de água e de saneamento de águas residuais.

3. VISÃO GERAL DA LITERATURA

Apoiada na análise bibliométrica, a visão geral da literatura incide sobre os tópicos da absorção, eletrocoagulação, floculação e hidroxidação, relativamente ao tratamento de águas residuais e sobre os temas dos tratamentos por cloração e por ultravioleta, destinados à reutilização. Na área da absorção, os biofloculantes naturais tais como diversos resíduos de biomassa [3] têm sido investigados como adsorventes, tanto isoladamente quanto em combinação com outros compostos. A eletrocoagulação apresenta-se como uma tecnologia promissora para tratar diversos tipos de águas residuais, removendo uma ampla gama de contaminantes, sendo eficiente em diversos tipos de efluentes industriais tais como têxtil [4] e hospitalar [5]. A pesquisa na área de floculação concentra-se no desenvolvimento de biofloculantes à base de plantas [6] que se revelam alternativas promissoras. Esses materiais apresentam um grande potencial para a melhoria dos processos de tratamento de águas residuais, contribuindo para a proteção do meio ambiente e a promoção da economia circular. Na hidroxidação, destaca-se o desenvolvimento de partículas de ferro “verde”, produzidas a partir de extrato de folhas de uva, para a remoção de corantes têxteis reativos [7]. Verificou-se que a cloração foi mais eficaz para a inativação de bactérias, quando comparada com a combinação de ultravioleta (UV) com persulfato e ferro, mais eficaz para remover pesticidas [8]. No tratamento por UV verifica-se que o cloro e seus derivados aumentam a presença de subprodutos de desinfecção (DBP) enquanto o uso de ácido peracético e UV os elimina, sendo essencial escolher as tecnologias de desinfecção que minimizem a formação de DBP, principalmente quando se almeja reutilizar a água [9].

4. CONCLUSÕES

Com este trabalho pretendeu-se conhecer o estado atual sobre o tratamento de águas residuais. Verificou-se um aumento do interesse da comunidade académica nos temas analisados, constatado pelo aumento acentuado de publicações nos últimos 10 anos. Analisadas as publicações objeto da visão geral da literatura, comprovou-se ser essencial proporcionar e melhorar o acesso à água potável e saneamento a todas as comunidades. A pesquisa orienta-se para a adaptação dos recursos disponíveis na natureza, na sua forma original ou como resíduos da ação humana, às tecnologias já existentes, além do desenvolvimento de novas tecnologias. O aproveitamento destes recursos naturais, permite o desenvolvimento da economia circular, beneficiando principalmente os países em desenvolvimento que dispõem dos mesmos, permitindo a sua exploração e utilização e diminuindo os custos associados à importação de substâncias para tratamento de águas residuais. Não é de descurar também que o aproveitamento destes recursos naturais permite poupanças significativas no encaminhamento dos mesmos para deposição em aterros. É necessário investimento, de meios e recursos, na transposição dos estudos laboratoriais para a sua aplicação na realidade em tecnologias que garantam a qualidade da água, a saúde pública e o meio ambiente, [1][2][10][11][12].

REFERÊNCIAS

- [1] Sá, P.L. (2024). Tratamento de Águas Residuais: Uma Visão Geral da Pesquisa através da Análise Bibliométrica. Dissertação de Mestrado. Universidade da Madeira.
- [2] Sá, P.L., Lousada, S., Teixeira, H. (2024). Tratamento de Águas Residuais: Uma Visão Geral da Pesquisa através da Análise Bibliométrica. *Journal of Lifestyle & SDG'S Review*, 5 (e03641), 1-25. <https://doi.org/10.47172/2965-730X.SDGsReview.v5.n02.pe03641>
- [3] Kasera, N., Kolar, P., & Hall, S. G. (2022). Nitrogen-doped biochars as adsorbents for mitigation of heavy metals and organics from water: A review. *Biochar*, 4(1).
- [4] Bilińska, L., & Gmurek, M. (2021). Novel trends in AOPs for textile wastewater treatment. Enhanced dye by-products removal by catalytic and synergistic actions. *Water Resources and Industry*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2021.100160>
- [5] De Witte, B., Van Langenhove, H., Demeestere, K., Saerens, K., De Wispelaere, P., & Dewulf, J. (2010). Ciprofloxacin ozonation in hospital wastewater treatment plant effluent: Effect of pH and H₂O₂. *Chemosphere*, 78(9), 1142–1147. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.12.026>
- [6] Makhtar, N. S. M., Idris, J., Musa, M., Andou, Y., Hamid, K. H. K., & Puasa, S. W. (2020). Plant-based *Tacca leontopetaloides* biopolymer flocculant (TBPF) produced high removal of turbidity, TSS, and color for leachate treatment. *Processes*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/PR8050527>
- [7] Raman, C. D., Sellappa, K., & Mkandawire, M. (2021). Facile one step green synthesis of iron nanoparticles using grape leaves extract: Textile dye decolorization and wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 83(9), 2242–2258. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.140>
- [8] Miralles-cuevas, S., De la Olla, I., Gualda-alonso, E., Soriano-molina, P., Casas López, J. L., & Sánchez Pérez, J. A. (2021). Simultaneous disinfection and organic microcontaminant removal by uvc-led-driven advanced oxidation processes. *Water (Switzerland)*, 13(11).
- [9] Albolafio, S., Marín, A., Allende, A., García, F., Simón-Andreu, P. J., Soler, M. A., & Gil, M. I. (2022). Strategies for mitigating chlorinated disinfection byproducts in wastewater treatment plants. *Chemosphere*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132583>
- [10] Lousada, S., Cabezas, J., Castanho, R. A., & Gómez, J. M. N. (2022). Land-use changes in insular urban territories: A retrospective analysis from 1990 to 2018. The case of Madeira Island—Ribeira Brava. *Sustainability*, 14, 16839. <https://doi.org/10.3390/su142416839>
- [11] Lousada, S., & Castanho, R. A. (2022). The role of ports in tourism: Porto Santo Harbour. *Water*, 14, 3176. <https://doi.org/10.3390/w14193176>
- [12] Lousada, S., Silva, P., Castanho, R. A., & Naranjo Gomez, J. (2019). Modelação de sistemas de abastecimento de água. O caso de Ilha da Madeira. *Bitacora Urbano Territorial*, 29(2), 89–98.

PREDICTING RIVER DISCHARGES WITH DEEP LEARNING MODELS

Rafael Francisco¹, José Pedro Matos²

¹ Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. rafael.francisco@tecnico.ulisboa.pt

² Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability (CERIS), Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. jose.matos@tecnico.ulisboa.pt

Keywords: river discharge, hydrological prediction, deep learning, Temporal Fusion Transformer

3.1 Water resources management

Oral presentation

1. AIM AND SCOPE

Recent advancements in large language models, such as ChatGPT, have shown the potential of machine learning in identifying patterns from large datasets. These models can be useful for applications in water resources, including predicting hydraulic variables to assist in decision-making during floods and droughts. This dissertation evaluates the effectiveness of Temporal Fusion Transformers (TFTs) [1] for predicting daily discharge in natural rivers in Portugal and compares their performance to classical hydrological models. Predicting river discharges accurately is essential for sound water resources management. However, this is a complex task due to the dynamic nature of hydrological processes, meteorological data imprecision, and measurement challenges.

The TFT is a deep neural network architecture that can handle dense and multivariate data, being a promising tool for time series prediction. Combining Long-Short Term Memory (LSTM) networks with the "transformer" architecture, TFTs rely on self-attention mechanisms to capture relationships between time steps in sequential data. They introduce gating mechanisms to control the information flow, select relevant inputs, and capture short- and long-term dependencies [1]. Unlike classical hydrological models, TFTs provide probabilistic predictions with uncertainty estimation without requiring additional post-processing tasks.

2. METHODOLOGY

The adopted method consists of the following: (a) Data collection, validation, and feature engineering: Daily discharge data were obtained from the National Water Resources Information System (SNIRH) for hydrometric stations with over 10 years of records. Meteorological hourly data (precipitation and temperature) were collected from the ERA5-Land reanalysis dataset. All data span from 1980 to 2022, and inconsistent values were removed. (b) Model calibration: TFT hyperparameters such as learning and dropout rates were refined iteratively in Python to replicate the observed river discharges accurately. The training and validation of the model occurred using distinct datasets. (c) Performance evaluation: Accuracy was assessed through plot comparison and error metrics, including Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), Kling-Gupta efficiency (KGE), and Continuous Ranked Probability Score (CRPS).

3. CASE STUDY

The model was trained on data from seventy-four natural catchments, incorporating additional geomorphological input features such as area, centroid coordinates, land cover, and mean elevation. Meteorological and hydrological data were aggregated daily for each catchment. Table 1 provides essential information on the four catchments selected for performance evaluation. Among the experiments conducted, the following were assessed: (i) employment of the Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning (HBV) classical hydrological model for the four selected catchments, (ii) calibration of the TFT with data from all catchments, excluding the selected four, and prediction for those same four (equivalent to ungauged catchments), and (iii) individual retraining of the previous model with data from the four catchments (specialised TFT model).

Table 1 – Significant information on the considered stations.

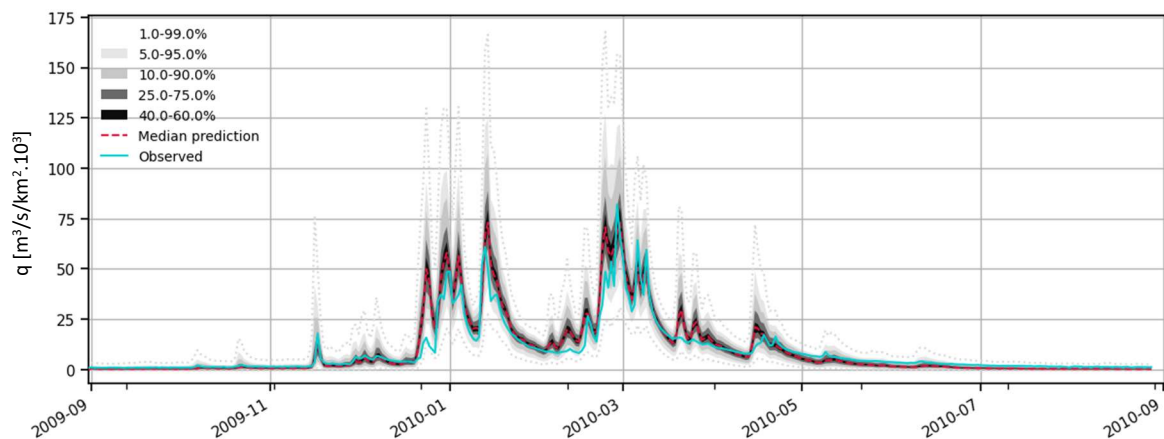
Station	SNIRH ID	Lat. (°)	Long. (°)	A (km ²)	$\bar{Q}$ (m ³ /s)	P_a (mm/y)	$\bar{T}$ (°C)
Santa Marta do Alvão	05K/01H	41.498	-7.754	48.76	1.42	1058.07	11.80
Fábrica da Matrena	16G/01H	39.532	-8.379	1047.15	7.33	797.20	14.99
Torrão do Alentejo	24H/03H	38.299	-8.229	468.35	1.62	539.03	16.77
Vascão	28L/02H	37.520	-7.579	409.89	1.71	460.23	16.84

4. RESULTS AND DISCUSSION

Following over 600 simulations and 400 hours of computation, time series plots with the predictions, associated probabilities, and error metrics were obtained (Table 2 and Figure 1). Globally, the results demonstrate that (i) TFT models for ungauged catchments outperform classical HBV models, showing generally better predictive accuracy, and (ii) retraining the TFT model with specialised information about each catchment provides more reliable results, as expected.

Table 2 – Some calculated error metrics for each catchment and experiment.

Metric	Model	05K/01H	16G/01H	24H/03H	28L/02H	Interpretative note
CRPS	HBV (classical model)	9.41	2.79	1.48	3.22	CRPS $\in [0, +\infty]$, in m ³ /s/km ² .10 ³ , optimal value is 0
	TFT ungauged	7.98	1.87	1.80	2.22	
	TFT specialised	5.12	2.10	0.79	1.93	
KGE	HBV (classical model)	0.74	0.77	0.40	0.54	KGE $\in [0,1]$, unitless, optimal value is 1
	TFT ungauged	0.65	0.66	0.38	0.57	
	TFT specialised	0.84	0.79	0.62	0.64	
NSE	HBV (classical model)	0.62	0.71	0.30	0.48	NSE $\in [0,1]$, unitless, optimal value is 1
	TFT ungauged	0.66	0.71	0.44	0.47	
	TFT specialised	0.74	0.68	0.38	0.42	

**Figure 1** – Example of a probabilistic prediction of specific discharge for the ungauged catchment monitored by the hydrometric station 16G/01H (Fábrica da Matrena).

5. CONCLUSIONS

This work establishes a framework for using TFTs for river discharge prediction, paving the way for their use in operational forecasting contexts with larger datasets, and eventually on a global scale. This study proves the capacity of TFTs to surpass traditional models in various catchments. While the results are promising, challenges remain, particularly in managing the complexities of ungauged catchments and integrating high-resolution meteorological data.

REFERENCES

- [1] Lim, B., Arık, S. Ö., Loeff, N., Pfister, T. (2021). Temporal Fusion Transformers for interpretable multi-horizon time series forecasting. *International Journal of Forecasting*, 37(4), 1748 – 1764. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.03.012>.

PROMOTING SUSTAINABLE WATER CONSUMPTION IN TWO UNIVERSITY STUDENT RESIDENCES

Gabriel Ohara ^{1,2*} Ana M. Antão-Geraldes ^{3*}, Maria João Afonso ¹,
António Albuquerque ^{4,5,6} and Flora Silva ^{1,5,7}

¹ESTiG, Instituto Politécnico de Bragança, 5300-253 Bragança, Portugal (flora@ipb.pt; mjafonso@ipb.pt, gabrielohara100@gmail.com)

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, Campo Mourão, Brazil

³CIMO, LA SusTEC, Instituto Politécnico de Bragança, 5300- 253 Bragança, Portugal (geraldes@ipb.pt)

⁴ Department of Civil Engineering and Architecture, University of Beira Interior, 6201-001 Covilhã, Portugal (antonio.albuquerque@ubi.pt); ⁵ GeoBioTec-UBI, 6201-001 Covilhã, Portugal;

⁶ FibEnTech, 6201-001 Covilhã, Portugal; ⁷GICoS, IPG, 5300-253, Bragança, Portugal.

Keywords: water efficiency, students' university residence, rainwater harvesting system (RWHS), water and electricity bill reduction.

1. INTRODUCTION

Buildings are among the largest consumers of potable water worldwide. While residential water use has been widely studied, research on public buildings and schools remains limited. Higher education institutions rank among the top urban water consumers, often leading to significant waste [1]. Given their intellectual influence, they can propose and implement sustainable water management strategies, setting an example for society [2]. However, barriers such as limited knowledge, academic workload, staff resistance, and weak societal pressure hinder progress. Additionally, diverse water and energy end-uses complicate water conservation efforts. Despite these challenges, research indicates substantial water-saving potential in universities worldwide [2]. The present research is the first at the Polytechnic University of Bragança (Portugal) to address water sustainability, focusing on two student residences – one for male and the other for female students. Its main objectives are (a) to determine the water demand in both buildings; (b) to propose water use efficiency measures and analyze their feasibility and costs; (c) to evaluate the feasibility and viability of the combination of the proposed measures in (b) with RWHS installation for the flushing cisterns recharge.

2. MATERIAL AND METHODS

Surveys and measurements of flushing cisterns, taps, and shower flows were conducted to understand water use behaviors. Scenario 1 proposed replacing washbasin and kitchen taps and installing flow reducers in showers, while Scenario 2 combined Scenario 1 with a rainwater harvesting system for recharging flush cisterns. Further details about the features of the residences and the methodologies used can be found in [3].

3. RESULTS AND DISCUSSION

The estimated current average total annual water consumption in Residence I and II were 325.67 and 318.80 m³/year, respectively. The most water-consuming devices were showers, accounting for 46% and 61.41% of water consumption in Residences I (male) and II (female), respectively, followed by kitchen taps (31.51% in Residence I and 11.52% in Residence II). Although the flushing cisterns were water consumption-efficient, the consumption concerning these devices was still 7.02% in Residence I and 13.22% in Residence II (Figure 1). Therefore, the data on water consumption indicated a potential to reduce water consumption in both residences. The implementation of Scenario 1 anticipates a 13% reduction in total water consumption in Residence I and a 10% reduction in Residence II. The reduction in hot water consumption would decrease annual electricity consumption by 27.8% and 23.06% in Residence I and II, respectively. The anticipated annual reduction in water bills is €228.54 for Residence I and €214.20 for Residence II. Additionally, the expected annual decrease in electricity bills is €772.99 for Residence I and €460.61 for Residence II. Therefore, the expected payback period for the investment is 1.55 years for Residence I and 3.57 years for Residence II.

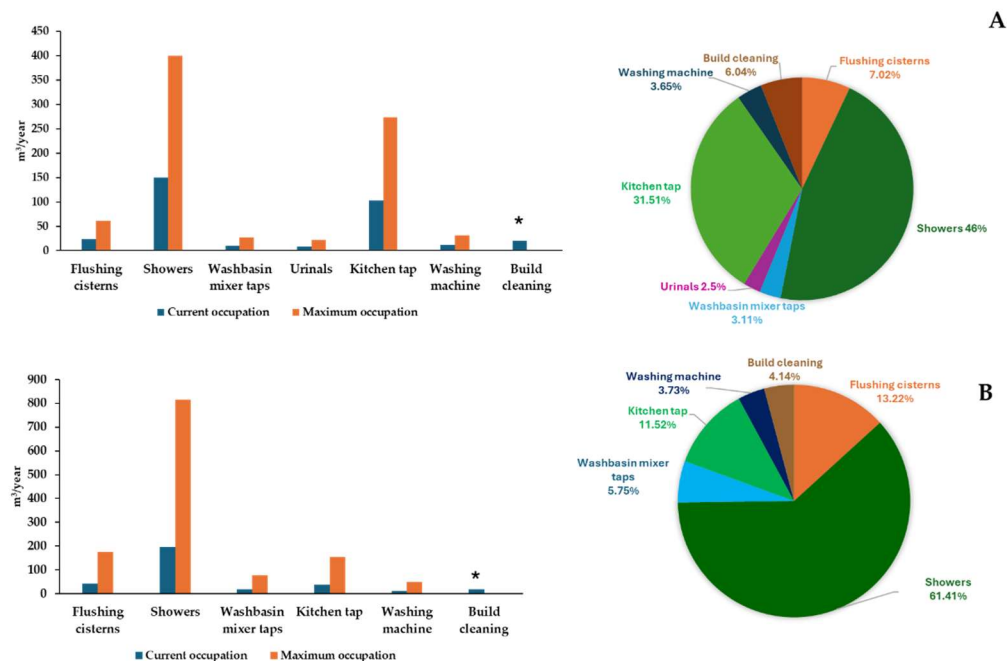


Figure 1 – Average annual water consumption by use category in Residence I (A) and II (B).

For Residence I, a RWHS cistern with a volume of 1.5 m³ will enable the collection of 33.32 m³ (98.45%) of rainwater, with the need for public water supply only in August (0.52 m³). Similarly, a RWHS cistern with the same volume for Residence II will allow for a total rainwater harvesting of 45.77 m³ (98.31%), requiring only water from the public supply in August (0.79 m³). The cost of installing the RWHS network was not estimated due to the lack of relevant plans. The estimated cost for the required equipment includes the cistern, pumps, filters, valves, drainage pipes, and rainwater distribution network. Without detailed information on the water network, it is difficult to determine the necessary pumping system and the cost of the rainwater distribution network.

4. FINAL REMARKS

The main strength of this research lies in proposing measures for more efficient water devices. These measures have the potential to be financially and environmentally viable, making them suitable for immediate broad implementation. Furthermore, this approach can be easily replicated elsewhere. Another strength is that the data collected on students' water usage behavior can shape future educational programs that can be expanded to the entire institutional population and society.

5. ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to the Foundation for Science and Technology (FCT, Portugal) for financial support by national funds FCT/MCTES (PIDDAC) to CIMO (UIDB/00690/2020 and UIDP/00690/2020), SusTEC (LA/P/0007/2020), FibEnTech (UIDB/00195/2020), and GeoBioTec (UIDB/04035/2020 and UIDP/04035/2020).

REFERENCES

- [1] Bao, K.; Padsala, R.; Thrän, D.; Schröter, B. (2020). Urban Water Demand Simulation in Residential and Non-Residential Buildings Based on a CityGML Data Model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 9, pp. 642.
- [2] Soares, A.E.P.; Silva, J.K.D.; Nunes, L.G.C.F.; Rios Ribeiro, M.M.; Silva, S.R.D. (2023). Water Conservation Potential within Higher Education Institutions: Lessons from a Brazilian University. *Urban Water Journal*, Vol. 20, pp. 1429–1437
- [3] Antão-Geraldes, A.M.; Ohara, G.; Afonso, M.J.; Albuquerque, A.; Silva, F. (2024). Towards Sustainable Water Use in Two University Student Residences: A Case Study. *Appl. Sci.*, Vol. 14, pp.7559.

REMOTE SENSING TOOL FOR RESERVOIR VOLUME ESTIMATION

João Pimenta¹, João Nuno Fernandes² and Alberto Azevedo³

¹ NOVA School of Science and Technology (FCT NOVA). jpimenta@lnec.pt

² National Laboratory for Civil Engineering (LNEC). jnfernandes@lnec.pt

³ National Laboratory for Civil Engineering (LNEC). aazevedo@lnec.pt

Abstract:

Efficient reservoir management is essential for water security, flood control, and hydroelectric power generation. Traditional volume measurement methods, such as in situ surveys, are often costly and impractical. This study presents a novel remote sensing tool that leverages high-resolution Sentinel-2 satellite imagery, official storage capacity data, and the GLOBathy dataset to estimate reservoir volumes accurately. The tool enables users to select reservoirs, date ranges, and cloud cover thresholds via an intuitive interface, generating time-series data of water levels and volumes. Machine learning algorithms refine water surface delineation and volume calculations, mitigating challenges posed by cloud cover and artificial structures. Testing across reservoirs in Portugal and California demonstrated high accuracy, with a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 5.35% and an R^2 correlation coefficient of 0.90 against official records. This cost-effective, scalable, and remote monitoring solution enhances global water resource management, improving sustainability and resilience in reservoir operations.

Keywords: remote sensing, reservoir volume, satellite imagery, machine learning.

1. INTRODUCTION

Water stress is a critical global concern, impacting quality of life, food production, and political stability [1]. Reservoirs play a vital role in water resource regulation, yet monitoring their storage remains challenging, particularly in developing regions. Advanced remote sensing techniques can bridge this gap by providing consistent and high-accuracy data. This research introduces a remote sensing tool designed to estimate reservoir volume worldwide using automated satellite image processing and machine learning methodologies. The following images on the figure 1 represent the user interface of this tool developed during the study.

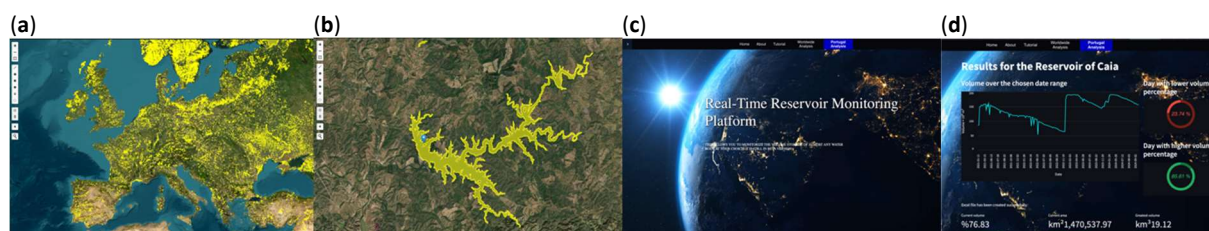


Figure 1 – (a) Screenshot of the tool with the reservoirs to be selected in Europe (from HydroLakes dataset); (b) example of one reservoir (Odivelas Reservoir, Portugal); (c) screenshot of the web app UI; (d) Time series output

2. METHODOLOGY

The tool utilizes Google Earth Engine (GEE) and Sentinel-2 imagery to analyze water surface area. The workflow includes Image processing such as automated cloud removal, leveraging a technique which combines the implementation of the S2Cloudless [2] algorithm to mask clouds and Bathymetry data and an optimization function to reconstruct water extent, filtering images based on user-defined parameters such as region and cloud coverage. Water Body Identification through the application of the Normalized Difference Water Index (NDWI)[3] for surface water detection, refined by unsupervised learning techniques and lastly volume Calculation with the utilization of predefined area-volume relationships from official databases (SNIRH, GRanD), or GLOBathy[3] data or even through interpolation from digital elevation models (DEM) which is also available in the developed tool.

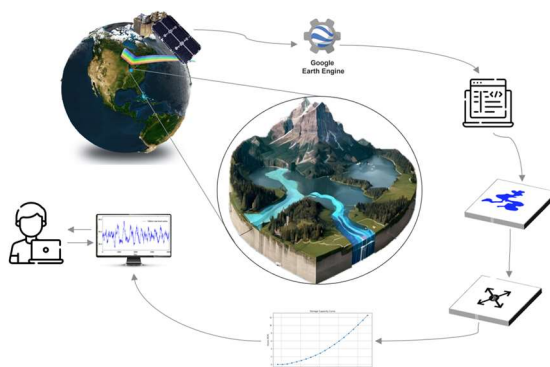


Figure 2 – Workflow of the remote sensing tool.

3. RESULTS

The tool was tested on 21 reservoirs in Portugal and California, demonstrating high performance. Comparative analysis with official records yielded: MAPE of 5.35%, indicating a low deviation from official measurements, a R^2 Value: 0.90, confirming high correlation with actual storage data and a Bias score of (0.0.4), very close to zero, indicating minimal systematic error.

The tool accurately reconstructed water surfaces in cloud-covered conditions and successfully excluded artificial structures like bridges from calculations. Figure 3 shows official (in red) against estimated (in black) time series of reservoir volumes.

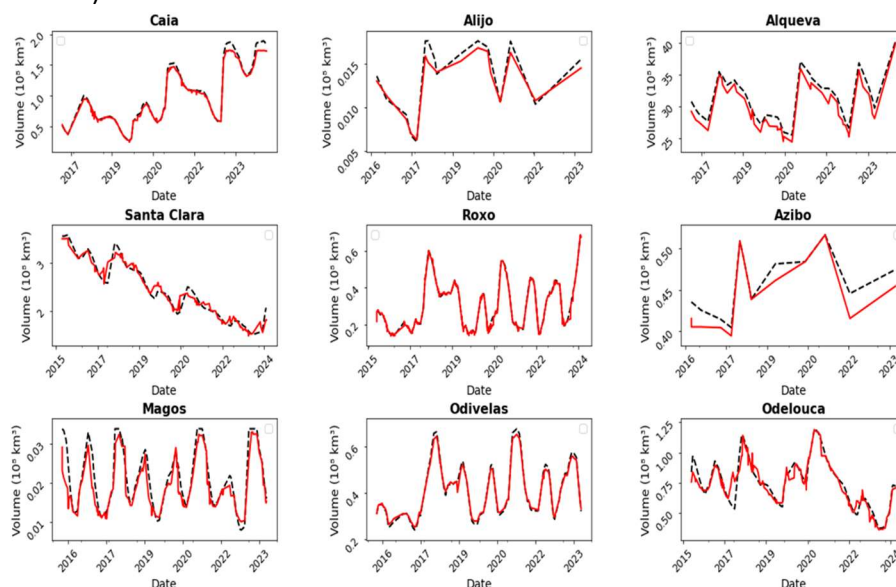


Figure 3 – Example of comparison charts of volume values output from the model (red line) and the published volume by SNIRH (black line).

4. DISCUSSION & CONCLUSION

This study demonstrates the feasibility of using remote sensing for reservoir volume estimation at a global scale. The tool provides timely, accurate, and cost-effective data, enabling improved water management decisions. Future work will focus on integrating additional data sources, refining machine learning algorithms, and enhancing predictive modeling for climate adaptation. By expanding its database and improving computational efficiency, this tool can significantly contribute to global water security efforts.

REFERÊNCIAS

- [1] United Nations, The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. UNESCO, Paris.
- [2] Sentinel-2 Cloud Masking with s2cloudless | Google Earth Engine. (n.d.). Google for Developers. <https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/community/sentinel-2-s2cloudless>
- [3] Khazaei, B. et al. (2022). "GLOBathy: A global database of lake and reservoir bathymetry". Scientific Data.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA VULNERABILIDADE E PERIGO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO – BRASIL

Victor Lima¹, Fernando Pacheco², Luís Fernandes³

¹. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000-598, Vila Real, Portugal.

victorsl98sarrazin@gmail.com

². CQVR – Centro de Química de Vila Real, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Ap. 1013, 5001-801 Vila Real, Portugal, fpacheco@utad.pt

³. CITAB – Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Ap. 1013, 5001-801 Vila Real, Portugal, lfilipe@utad.pt; jpmoura@utad.pt

Palavras-chave: DRASTIC, águas subterrâneas, vulnerabilidade, perigo.

Código da Área Temática 3

Vídeo

1. INTRODUÇÃO

O objetivo do estudo foi de avaliar o Estado do Espírito Santo, com foco na cidade de Vitória, o possível risco de contaminação das águas subterrâneas, com base na metodologia Vulnerabilidade e Perigo. A metodologia aplicada consiste na avaliação do potencial risco de contaminação da água subterrânea, utilizando da vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas e das principais atividades humanas, denominados de perigos [1].

2. METODOLOGIA

Foi aplicada um sistema de quadrantes que categoriza diferentes níveis de risco associados a diferentes prioridades, facilitando a adoção de medidas apropriadas em resposta ao nível de risco identificado. A adaptação do método consistiu na implementação de um risco dominante, onde identificou-se o valor máximo entre o perigo classificado das principais atividades (Indústria, infraestrutura e agricultura), e avaliação desse potencial risco de contaminação numa área pormenorizada, Figura 1.

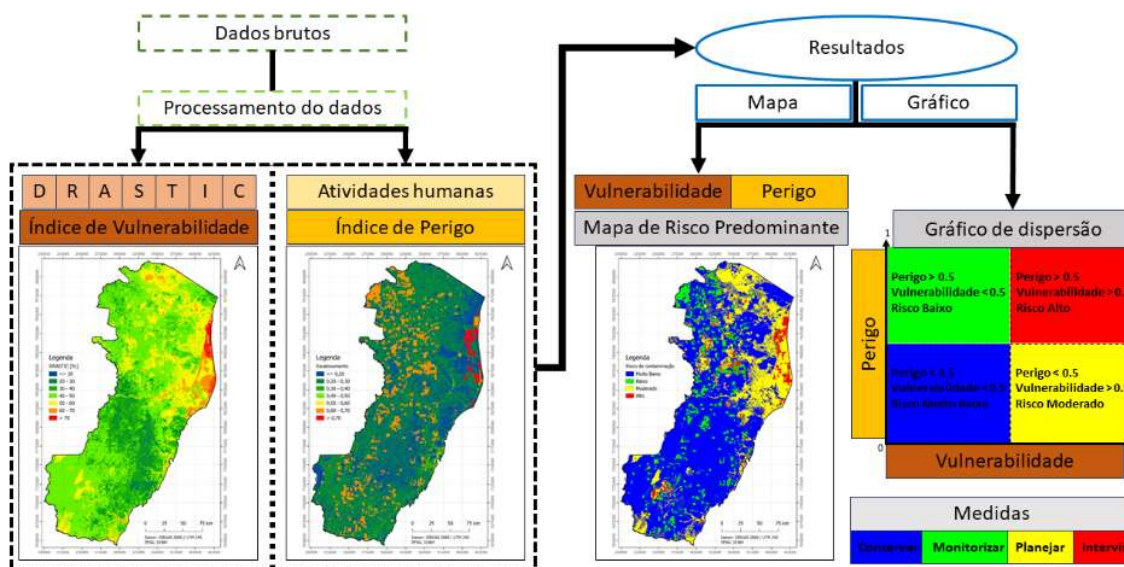


Figura 1 – Estudo do risco de contaminação das águas subterrâneas no Estado do Espírito Santo, utilizando uma adaptação do método Vulnerabilidade e Perigo.

Por meio dessa adaptação, resultou também no gráfico que destaca a dimensão dominante de ações prioritárias em diferentes territórios, através da análise do conceito de risco dominante. Essa abordagem é primordial na tomada de decisões estratégicas, envolvendo a identificação e implementação de prioridades para o desenvolvimento sustentável.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos resultados, revelaram um Mapa de Risco Dominante de contaminação das águas subterrâneas, Figura 2, com níveis significativos Alto e Moderado nas regiões Norte e ao longo do litoral do Estado do Espírito Santo, atribuídos à concentração de atividades humanas. No contexto do aquífero do Rio Doce, a análise destacou uma preocupação, devido ao desastre ambiental da Barragem de Fundão e ao modelo evidenciar valores moderados de risco de contaminação nessa área. Nas regiões Metropolitana e Sul do Estado, observou-se menor o risco de contaminação, devido as características do solo e a presença de aquíferos fissurais, atuando como barreiras naturais. No entanto, há exceções, como entre Alegre e Castelo, indicando riscos de saúde pública devido as atividades humanas. Analisando o município de Vitória, constatou-se que 46,9% da região apresenta Risco Muito Baixo, 5,5% Risco Baixo, 35% Risco Moderado e 12,6% Risco Alto. Notavelmente, 47,6% do município já está em níveis de risco moderados ou altos, destacando desafios ambientais significativos ao redor do Rio Santa Maria, na região do aeroporto de Vitória e Praia de Camburi [1].

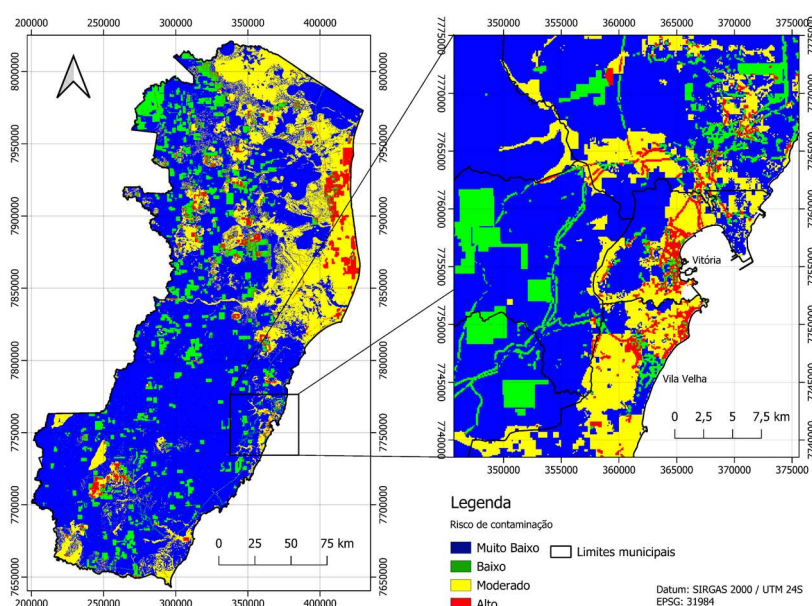


Figura 2 – Mapa de risco de contaminação dominante das águas subterrâneas.

4. CONCLUSÕES

Portanto, A metodologia aplicada mostrou-se eficaz para identificar áreas críticas e apoiar a gestão ambiental estratégica. O estudo sobre a contaminação das águas subterrâneas no Estado do Espírito Santo, com foco em Vitória, revela um cenário desafiador, evidenciando a urgência de ações efetivas para preservar o aquífero do Rio Doce e promover a resiliência ambiental em Vitória, destacando a importância de análises mais detalhadas para entender a propagação da contaminação e implementar medidas sustentáveis ainda mais específicas [2].

REFERÊNCIAS

- [1] Pacheco, F.; Lima, V; Moura, J.; Oliveira, M; Akabassi, L; Fernandes, L. (2025). A framework model to prioritize groundwater management actions based on the concept of dominant risk: An application to the state of Espírito Santo, Brazil, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, Vol. 11, 101032, ISSN 2666-0164, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.101032>.
- [2] Lima, V; Fernandes, L; Moura, J; Oliveira, M; Akabassi, L; Pacheco, F. (2024). A framework for analyzing seawater intrusion in coastal areas: An adapted GALDIT model application for Espírito Santo, Brazil, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, Vol. 10, 100887, ISSN 2666-0164, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100887>.

ANÁLISE DE INTRUSÃO DE ÁGUA DO MAR NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO – BRASIL: DIVULGAÇÃO DE RESULTADOS REGIONAIS E LOCAIS

Victor Lima¹, Fernando Pacheco², Luís Fernandes³

¹. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000-598, Vila Real, Portugal.

victorsl98sarrazin@gmail.com

². CQVR – Centro de Química de Vila Real, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Ap. 1013, 5001-801 Vila Real, Portugal, fpacheco@utad.pt

³. CITAB – Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Ap. 1013, 5001-801 Vila Real, Portugal, lfilipe@utad.pt; jpmoura@utad.pt

Palavras-chave: GALDIT, intrusão de água do mar, água subterrânea, contaminação.

Código da Área Temática 3

Vídeo

1. INTRODUÇÃO

O objetivo do estudo foi de avaliar o Estado do Espírito Santo, com foco na cidade de Vitória, a possível intrusão de água do mar nas águas subterrâneas, com base na metodologia GALDIT. A metodologia GALDIT consiste em um sistema de avaliação que visa determinar a vulnerabilidade de aquíferos costeiros à intrusão de água do mar. Com o avanço do mar e a captação de água subterrânea nos períodos de seca no Estado do Espírito Santo, há a possibilidade de que algumas áreas de recarga possam ser afetadas pela intrusão de água do mar.

2. METODOLOGIA

A partir disso adaptou-se o método GALDIT com a integração dos dados de precipitação e dos dados de evapotranspiração da área em estudo, para calcular a disponibilidade hídrica e estimar a recarga potencial, juntamente com os dados de extração de água fornecidos pelas entidades competentes, originando um novo parâmetro (E), e assim o índice GALDITE [1].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam que, em Vitória, as áreas com maior extração de água subterrânea, especialmente em regiões urbanas e agrícolas, são mais suscetíveis à intrusão de água do mar. A intrusão pode ser intensificada pela presença de poços abandonados, que atuam como canais para a contaminação das águas subterrâneas. O estudo também destaca que, em um cenário de aumento da pressão sobre os recursos hídricos, como o crescimento urbano e a redução das precipitações, o risco de intrusão de água tende a aumentar [2]. Entre 2015 e 2017, a alta demanda por água e a baixa precipitação no Rio São Mateus (Figura 1) causaram uma redução no fluxo, facilitando a intrusão atípica de água salgada, que pode se estender por mais de 50 km durante a seca. Isso compromete o abastecimento público com altos níveis de cloreto, acima de 10.000 mg/L. Já o Rio Doce (Figura 1) enfrenta não só o risco de intrusão salina, mas também os impactos do desastre ambiental de Mariana, que causou a perda de vidas, destruição de comunidades e a contaminação de água e solo. Além disso, o estudo analisou as regiões administrativas de Vitória, incluindo áreas ambientais, costeiras e com corpos d'água, avaliando o risco de intrusão de água do mar nas águas subterrâneas (Figura 2). Com extração de baixo impacto (pesos 1 e 2), corpos d'água apresentaram risco moderado, enquanto zonas de proteção ambiental e bairros adjacentes tiveram baixo risco. Já nas regiões costeiras, o risco foi moderado, mas controlável. Com extração de alto impacto (pesos 3 e 4), todas as áreas foram classificadas com risco moderado, indicando maior suscetibilidade à intrusão de água do mar, inclusive em áreas próximas a zonas protegidas [2].

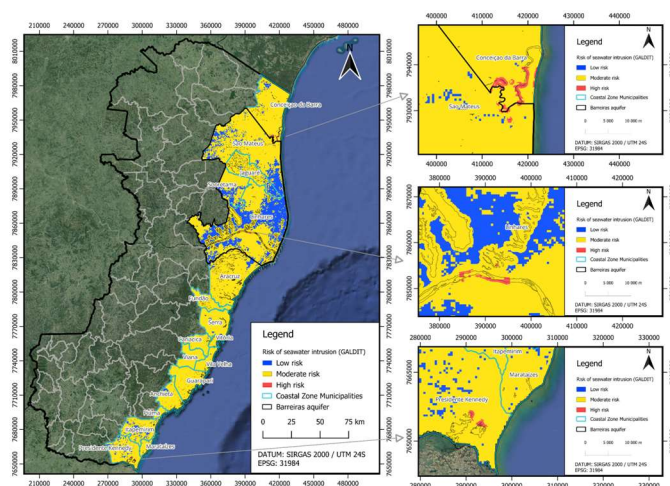


Figura 1 – Mapa de intrusão de água do mar, peso 4 para o parâmetro E.

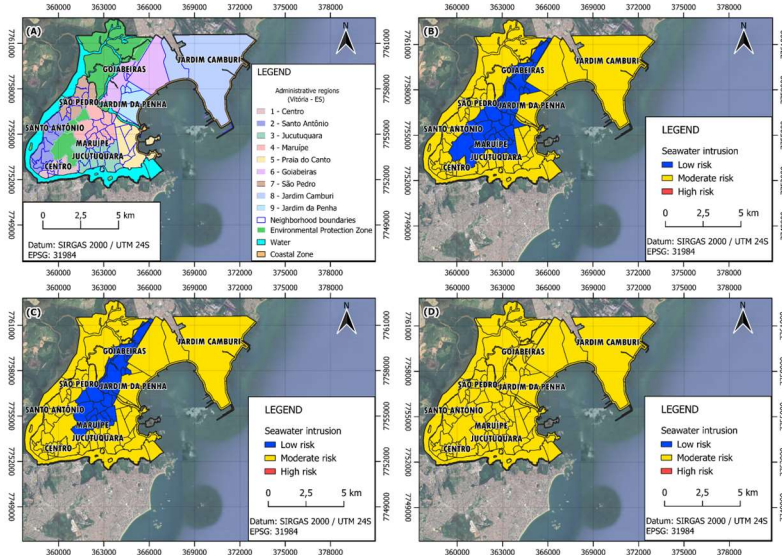


Figura 2 – (A) Regiões administrativas de Vitória. (B) Risco de intrusão de água do mar em Vitória, parâmetro E, peso 1. (C) Risco de intrusão de água do mar em Vitória, parâmetro E, peso 2. (D) Risco de intrusão de água do mar em Vitória, parâmetro E, peso 3 e 4.

4. CONCLUSÕES

Portanto, a análise do risco de intrusão de água do mar em Vitória, com base na metodologia GALDITE, revela áreas de grande vulnerabilidade, especialmente nas zonas costeiras e nas áreas adjacentes aos corpos d'água, como o Rio Doce. A combinação de fatores como a alta demanda por água subterrânea, períodos de seca e a proximidade com o mar contribui para a intrusão de água do mar nos aquíferos subterrâneos, comprometendo a qualidade das águas e o abastecimento público.

REFERÊNCIAS

- [1] Pacheco, F.; Lima, V; Moura, J.; Oliveira, M; Akabassi, L; Fernandes, L. (2025). A framework model to prioritize groundwater management actions based on the concept of dominant risk: An application to the state of Espírito Santo, Brazil, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, Vol. 11, 101032, ISSN 2666-0164, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.101032>.
- [2] Lima, V; Fernandes, L; Moura, J; Oliveira, M; Akabassi, L; Pacheco, F. (2024). A framework for analyzing seawater intrusion in coastal areas: An adapted GALDIT model application for Espírito Santo, Brazil, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, Vol. 10, 100887, ISSN 2666-0164, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100887>.

GESTÃO DA ÁGUA: PORTUGAL E MOÇAMBIQUE, DUAS REALIDADES

Hélder Baptista¹, Isabel Bentes², Tiago Pinto³

¹ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000-598, Vila Real, Portugal, baptistahelder1@gmail.com

² Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000-598, Vila Real, Portugal. ibentes@utad.pt

³ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000-598, Vila Real, Portugal. tiago@utad.pt

Palavras-chave: Gestão da água, inundações, águas pluviais, aproveitamento.

Código da Área Temática 3

Apresentação oral

RESUMO

A gestão eficiente da água é fundamental para garantir o abastecimento e a sustentabilidade dos recursos hídricos, especialmente diante dos desafios impostos pelas alterações climáticas. Estas mudanças podem afetar tanto a disponibilidade quanto a qualidade da água, tornando essencial a implementação de estratégias de adaptação. Além disso, redes de drenagem adequadas desempenham um papel crucial na prevenção de inundações e na garantia de um escoamento eficiente [1]. Em áreas rurais, compreender as fontes de água disponíveis é essencial para um planeamento eficaz, influenciando diretamente o acesso e a gestão hídrica. O aproveitamento das águas pluviais surge como uma solução viável para mitigar os impactos das secas e fornecer uma fonte adicional de abastecimento para as comunidades.

A análise do mapa de pluviosidade permite compreender a distribuição espacial e temporal da água, auxiliando no desenvolvimento de políticas hídricas mais eficientes. Apesar da distância geográfica, Moçambique e Portugal compartilham vulnerabilidades semelhantes em relação às inundações, o que demanda estratégias de prevenção e mitigação adaptadas às especificidades de cada país (Figura 1). O crescimento populacional, a rápida urbanização e a escassez hídrica agravada pelas mudanças climáticas representam desafios significativos para o abastecimento de água em áreas urbanas, exigindo soluções sustentáveis e planejadas para garantir a segurança hídrica no futuro.



Figura 1 – Inundações na cidade da Beira, Moçambique (foto: afp photo / mercy air switzerland).

Figura 2 – Inundações no Alentejo, Portugal. (EU VI, Paulo Marques).

Uma gestão eficiente das redes de abastecimento, incluindo manutenção, redução de perdas e uso racional da água, é essencial para garantir o acesso universal a água de qualidade [2]. Além disso, é fundamental adotar estratégias que assegurem a sustentabilidade dos recursos hídricos e minimizem desperdícios. Em áreas rurais, a disponibilidade de água é frequentemente mais limitada, levando a uma maior dependência de fontes alternativas, como poços, nascentes e captação de águas pluviais. No entanto, a qualidade da água nessas regiões pode ser comprometida por diversos fatores, incluindo a contaminação por agrotóxicos, a falta de tratamento adequado e condições precárias de saneamento. Esses desafios tornam necessária uma atenção redobrada para garantir que a água

consumida seja segura e adequada ao uso humano. A retirada de água imprópria para consumo representa um risco significativo à saúde pública, exigindo medidas eficazes de monitoramento e tratamento para prevenir doenças e impactos negativos na qualidade de vida da população (Figura 2).



Figura 3 – Água imprópria para o consumo (Abdul Raaf Mohammed - March 01, 2015).

O aproveitamento de águas pluviais desempenha um papel fundamental na mitigação dos efeitos das secas e no fornecimento de uma fonte adicional de água para as comunidades, fortalecendo a segurança hídrica. Essa prática contribui para a redução da dependência de fontes convencionais e promove uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos. Em Moçambique, a implementação de projetos voltados para a construção de cisternas e reservatórios tem sido essencial para a captação e armazenamento de águas pluviais, especialmente em áreas rurais. Essas iniciativas melhoram significativamente o acesso à água durante períodos de escassez, garantindo um suprimento mais estável para as populações vulneráveis. Já em Portugal, programas de incentivo à instalação de sistemas de captação de águas pluviais em edifícios e residências vêm sendo adotados como uma solução eficaz para reduzir a pressão sobre os mananciais e promover o uso sustentável da água. Essas medidas não apenas ampliam a disponibilidade hídrica, mas também incentivam práticas mais conscientes de consumo e conservação. A gestão eficiente da água é essencial para garantir sua disponibilidade e qualidade, especialmente diante das mudanças climáticas. Medidas como o aproveitamento de águas pluviais, a proteção das fontes e políticas públicas eficazes são fundamentais. Além disso, é fundamental melhorar o acesso à água em áreas rurais, onde a dependência de fontes alternativas é maior [3]. Soluções inovadoras e uma gestão responsável são indispensáveis para assegurar esse recurso às futuras gerações [1].

REFERÊNCIAS

- [1] Sacadura, Francisco (2011), Análise de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edifícios.
- [2] Fernandes, Nuno (2023), Planeamento e gestão de recursos hídricos num contexto de alterações climáticas: sistemas de retenção de águas pluviais, Portugal.
- [3] Silva, Pedro (2013), Aproveitamento de águas Pluviais, Implantação de um Sistema na FCUP, Porto.

TEMA 04

TRANSPORTES, INFRAESTRUTURA E MOBILIDADE

APLICAÇÃO DE METODOLOGIA BIM A MONITORIZAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS FERROVIÁRIAS

Nuno Moreira¹, José Manuel Coelho das Neves², Alcínia Zita de Almeida Sampaio³

¹ Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos. Instituto Superior Técnico.

nunoalexandremoreira@tecnico.ulisboa.pt

² Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos. Instituto Superior Técnico.

jose.manuel.neves@tecnico.ulisboa.pt

³ Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos. Instituto Superior Técnico.

zita.sampaio@tecnico.ulisboa.pt

Palavras-chave: BIM, Dynamo, Infraestrutura Ferroviária, Inspeção Geométrica.

4. Transportes, Infraestrutura e Mobilidade

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

A adoção de tecnologias digitais emergentes oferece soluções melhoradas para enfrentar a crescente necessidade de equilibrar o desafio de assegurar recursos adequados para o desenvolvimento do projeto. Através da implementação da metodologia Building Information Modelling (BIM) e das tecnologias relacionadas, é possível obter melhorias significativas na eficiência do fluxo de trabalho dentro da engenharia ferroviária [1].

O principal objetivo do presente estudo é “centralizar” a inspeção geométrica ferroviária dentro de um modelo BIM e, possivelmente, abrir caminho para a adoção necessária da metodologia inovadora que apoie a introdução de mais processos relacionados com o setor ferroviário na mesma base, visando criar um modelo mais eficiente ao longo de todo o ciclo de vida da infraestrutura.

2. BIM: CONCEITO E APLICAÇÃO

2.1 Conceito e características

O BIM é um processo colaborativo que gera modelos 3D digitais, armazenando informações geométricas e de propriedades ao longo do ciclo de vida da infraestrutura [2]. Estes modelos organizam informações num banco de dados estruturado, acessível através de um Ambiente Comum de Dados (CDE).

2.2 Aplicação de BIM em infraestruturas ferroviárias: Contexto nacional

No contexto nacional, os contratos públicos em Portugal estão a começar a exigir BIM, com o objetivo de alcançar a adoção total até 2024 [3].

3. INSPEÇÃO GEOMÉTRICA DE VIAS FERROVIÁRIAS

A superestrutura ferroviária inclui componentes como carris, travessas e balastro. Normas como a EN 13848 regulam os parâmetros geométricos das vias, como bitola, nivelamento longitudinal, torção e alinhamento. Em Portugal, veículos como o EM 120 utilizam sistemas GPS e sensores óticos para recolher dados de inspeção, que são analisados e categorizados por níveis de ação, garantindo intervenções atempadas.

4. MODELAÇÃO DE VIA

No Revit, foi modelada uma via-férrea focada nas travessas e nos carris, capaz de suportar o input de dados oriundos das inspeções geométricas feitas pelo veículo EM120, ilustrado na figura 1. Para este efeito foram criados *Project Parameters* na família dos carris para ser possível a introdução dos seguintes parâmetros da inspeção geométrica: Alinhamento dos carris direito e esquerdo, bitola, empeno em 3 metros, nivelamento longitudinal dos carris direito e esquerdo, e escala.



Figura 1 – Modelo Revit 3D.

5. PROGAMAÇÃO DYNAMO

Através da plataforma *open-source* Dynamo, que está integrada no Revit, foi criada uma script com o objetivo de importar os dados recolhidos na inspeção geométrica de via, inseri-los nos *Project parameters* respetivos, categorizar os dados recolhidos de acordo com os níveis de alerta especificados pelos normativos IP, e realizar uma codificação de cores de cada secção onde é feita uma leitura, no modelo Revit. Os níveis de alerta, intervenção, e intervenção imediata são representados pelas cores amarelo, laranja, e vermelho respetivamente. Caso não haja nível de alerta detetado, a secção apresenta-se com a cor verde.

6. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para testar o funcionamento e eficácia da script foi fornecido pela IP um conjunto de dados obtidos numa inspeção geométrica feita na rede ferroviária nacional, do qual se utilizou uma amostra. O resultado da aplicação do script aos dados não alterados mostrou todos os carris coloridos a verde, indicando que não foram identificados níveis de alerta na amostra. No entanto, para uma compreensão mais abrangente das capacidades do script, foram feitas alterações nos valores das primeiras quatro secções da via. Na primeira secção, três dos sete parâmetros foram modificados para indicar níveis de ação imediata, intervenção e alerta, representados respetivamente pelas cores vermelho, laranja e amarelo. Ajustes semelhantes foram feitos nos valores da segunda e terceira secções para refletir diferentes níveis de alerta. Com estas modificações, a script representou de forma correta e eficaz os níveis de alerta de cada secção no modelo 3D, como é possível verificar na Figura 2.

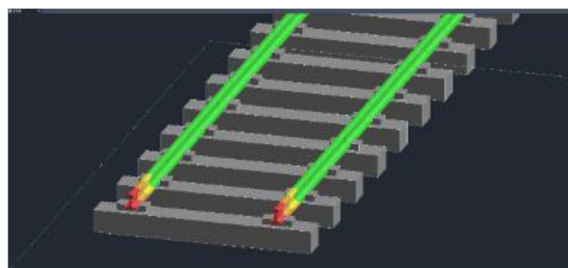


Figura 2 – Modelo final com script aplicada.

A aplicação bem-sucedida desta metodologia demonstra o potencial que a metodologia BIM pode ter no futuro em inspeções de manutenção de vias ferroviárias, com muitos benefícios, tais como, a centralização de informação e automatização de procedimentos, que levam a uma gestão mais rápida e eficiente no controlo de qualidade de infraestruturas.

REFERÊNCIAS

- [1] Suchocki, M. (2017). The BIM-for-rail opportunity. In WIT Transactions on the Built Environment (Vol. 169, pp. 37–44).
- [2] Alqatawna, A., Sánchez-Cambronero, S., Gallego, I., & Rivas, A. (2023). BIM-centered high-speed railway line design for full infrastructure lifecycle. *Automation in Construction*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105114>.
- [3] BIM: publicada a Portaria 255/2023. (2023).

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MISTURAS BETUMINOSAS PARA CAMADAS DE DESGASTE INCORPORANDO RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Hernán Patricio Moyano Ayala¹, Marisa Dinis Almeida²

¹ DECA. Universidade da Beira Interior. hernan.moyano.ayala@ubi.pt

² DECA. Universidade da Beira Interior. marisa.dinis@ubi.pt

Palavras-chave: Misturas Betuminosas Recuperadas, Resíduos de Mineração, Sustentabilidade.

4.3 Mobilidade urbana e sustentável

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

A indústria de pavimentação rodoviária tem procurado alternativas sustentáveis e economicamente viáveis para a construção e manutenção de pavimentos, visando mitigar a degradação ambiental. A incorporação de resíduos industriais nas misturas betuminosas surge como uma solução promissora, pois reduz a extração de agregados naturais e diminui o volume de resíduos enviados para aterros sanitários [1-4]. A utilização de Mistura Betuminosa Recuperada (MBR) e resíduos da mina da Panasqueira nas misturas betuminosas representa uma oportunidade para a construção sustentável de pavimentos, oferecendo uma alternativa aos materiais naturais [5], enquanto contribui para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 9 da ONU: construir infraestruturas resilientes e promover a industrialização inclusiva e sustentável.

O objetivo principal deste estudo foi desenvolver e avaliar misturas betuminosas sustentáveis incorporando resíduos da mina da Panasqueira (agregados grauvaques) e MBR substituindo os agregados graníticos tradicionais. O estudo visa analisar o desempenho dessas misturas por meio de ensaios de laboratório, nomeadamente, ensaio de sensibilidade à água, rigidez e deformação permanente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste estudo, têm origens distintas. Utilizaram-se agregados naturais graníticos e dois resíduos industriais: resíduos da mina da Panasqueira e MBR. Os resíduos da mina da Panasqueira são resíduos de rocha local provenientes das operações de mineração, sendo classificados como agregados grauvaques. Utilizaram-se 3 granulometrias distintas: Pó 0/4, brita 2/10 e brita 8/14. A MBR é um resíduo extraído da camada de desgaste da autoestrada A23, nó de Castelo Branco. Apresenta 5,6% de ligante envelhecido, com um alto grau de envelhecimento, tendo uma penetração de 11×10^{-1} mm e uma temperatura de amolecimento de 77,8 °C. O ligante utilizado nas misturas betuminosas foi um betume 35/50, sendo indicado para aplicação em camadas de desgaste. Após caracterização dos materiais, procedeu-se à formulação de 3 misturas betuminosas para aplicação em camada de desgaste com diferentes teores de betume, com base no Ensaio Marshall. Uma mistura de referência (MR) produzida apenas com agregados naturais e duas misturas com resíduos (agregados grauvaques e MBR). Estas tinham diferentes percentagens de MBR, 15% e 20%, denominando-se de M15 e M20, respetivamente. Com base nos resultados, escolheu-se 5,2% de teor ótimo de betume para a MR enquanto para M15 e M20 foi de 4,4%. Com estes valores de teor ótimo de betume procedeu-se à avaliação do desempenho das misturas à sensibilidade à água (EN 12687-12), rigidez (EN 12697-26) e resistência às deformações permanentes (EN 12697-22:2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios dos ensaios efetuados para as 3 misturas apresentam-se na Quadro 1.

Quadro 1 – Resultados e Discussão.

Mistura	Betume [%]	Módulo Rigidez [MPa]	ITS [kPa]		ITSR [%]	R _D [mm]	WTS _{air} [mm/10 ³ ciclos]
			Seco	Imerso			
MR	5,2	7195	2246	1184	53	5,9	0,31
M15	4,4	11343	2549	1437	56	9,6	0,80
M20	4,4	11739	2486	1558	63	3,3	0,19

A MR apresentou um módulo de rigidez menor em comparação com as M15 e M20, indicando maior flexibilidade. A maior rigidez das M15 e M20 é atribuída à presença do ligante envelhecido da MBR, que possui baixa penetração, resultando em menor elasticidade nessas misturas e, consequentemente, mais resistente a deformações permanentes. Este facto pode verificar-se pelo resultado obtido para a M20 que teve uma melhoria de 44% em relação à MR e 65% em relação à M15 no valor da profundidade de rodeira - R_D. Quanto ao ensaio de sensibilidade à água M15 e M20 apresentaram valores de ITS (Resistência à Tração Indireta (kPa)) mais altos do que a MR, indicando que a incorporação de MBR melhora a estabilidade. Em condições secas, o ITS da M15 aumentou em 11,9% e o da M20 em 9,7%, em comparação com a MR. Em condições húmidas, o ITS aumentou em 17,6% e 24,0%, respetivamente. Observações: ITSR - Resistência conservada de tração indireta. WTS - Wheel Tracking Slope.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho confirma que o uso dos resíduos MBR e da mina da Panasqueira em misturas betuminosas é uma opção viável e sustentável para pavimentos. A M20 destaca-se pela resistência à água e deformação permanente, aumentando a durabilidade e segurança. O estudo evidencia o potencial dos materiais reciclados na pavimentação, reduzindo impactos ambientais e promovendo a economia circular. A adoção dessas práticas sustentáveis é essencial para infraestruturas ecológicas e resilientes.

REFERÊNCIAS

- [1] Kumar Gautam, P., Pawan, K., Singh Jethoo, A., Agrawal, R., & Singh, H. (2018). Sustainable use of waste in flexible pavement: A review. *Construction and Building Materials*(180), 239 - 253. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.067>
- [2] Victory, W., 2022. A review on the utilization of waste material in asphalt pavements. *Environmental Science and Pollution Research*. 29, 27279–27282. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18245-0>
- [3] Dinis-Almeida, M., & Afonso, M. (2015). Warm Mix Recycled Asphalt – a sustainable solution. *J. Clean. Prod.* 107, 310-316. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.065>
- [4] Choudhary, J., Kumar, B., Gupta, A., 2020. Utilization of solid waste materials as alternative fillers in asphalt mixes: A review. *Construct. Build. Mater.*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117271>
- [5] Chu, H.-H., Almohana, A., QasMarrogy, G., Almojil, S., Alali, A., Almoalimi, K., Raise, A., 2023. Experimental investigation of performance properties of asphalt binder and stone matrix asphalt mixture using waste material and warm mix additive. *Construct. Build. Mater.*, 368, 130397. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130397>

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES - MACHINE LEARNING FOR AIRPORT PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) ASSESSMENT

André Studart¹, Bertha Santos², Pedro Almeida³

¹ Civil Engineering and Architecture Department. University Beira Interior. andre.studart@ubi.pt

² Civil Engineering and Architecture Department. University Beira Interior. bsantos@ubi.pt

³ Civil Engineering and Architecture Department. University Beira Interior. galmeida@ubi.pt

Palavras-chave: Airport pavements; Pavement distress; Pavement Condition Index (PCI); Machine Learning

4. Transportes, Infraestrutura e Mobilidade

Apresentação oral

1. INTRODUCTION

Pavement condition assessment is an integral part of Airport Pavement Management Systems (APMS) as it supports maintenance strategies aimed at ensuring adequate service levels and the safety of operations and users. Pavement condition is assessed using various methods, depending on budget, complexity, and the maintenance plan's timing. These methods can be time-consuming, from *in-situ* inspections to complex calculations. The recent 4.0 industrial revolution has introduced the world to concepts such as Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML), highlighting the ability of machines to learn from analysing and processing data obtained from *in-situ* inspections [1]. Since determining the Pavement Condition Index (PCI) is time-consuming, these concepts can be used to predict PCI values based on basic pavement distress data (type, severity, and density), thus reducing the time and complexity involved in calculating PCI [2].

2. METHODOLOGY

The pavement distress dataset was obtained from three international airport runways. 39 models were built based on five machine learning algorithms to predict both numerical (0-100 scale) and categorical 3 (good, fair, and poor) and 7 classes of PCI (good, satisfactory, fair, poor, very poor, serious, and failed). Figure 1 shows the relationship between numeric and categorical 3 and 7 class PCI. The algorithms used were Linear Regression (LR), Decision Tree (DT), Random Forest (RF), Artificial Neural Network (ANN), and Support Vector Machine (SVM), which are widely used algorithms for numerical and categoric outputs [3][4].



Figure 1 – PCI Categorical classification [5].

For the 7 class PCI worst performing models, 4 random oversampling (ROS) and 4 random undersampling (RUS) models were created.

3. STUDY CASE

The study fills a knowledge gap by testing and identifying the best algorithms for predicting numerical and categorical PCI. To improve reliability, balancing techniques like ROS and RUS were

also applied to evaluate different test scenarios. ROS increased cases to 739, improving model performance, while RUS reduced cases, worsening results. Based on correlation, kappa statistics, and error values, the algorithms ranked from worst to best are: LR, SVM, ANN, DT, and RF. Tables 1 and 2 show the results for the top-performing model (Random Forest).

Table 1 – Metrics for the best performing model for numerical (left) and 3 classes of PCI (right).

Parameters	RF	Parameters	RF
Sample units	261	Sample units	261
Test option	CV10	Test option	CV10
CC	0.93	Kappa statistics	0.88
R ²	0.86	MAE	0.10
MAE	5.81	RMSE	0.21
RMSE	8.73	RAE (%)	25.58
RAE (%)	27.97	RRSE (%)	48.15
RRSE (%)	38.02	Error (%)	6.51
Actual PCI (aPCI)	58.58	(Incorrectly Classified)	
Predicted PCI (pPCI)	60.10		
Error (= aPCI-pPCI)	-1.51		

Table 2 – Metrics for the best performing models for categoric 7 classes of PCI (left) and ROS (right).

Parameters	7 Classes (RF)	Parameters	ROS 7 Classes (RF)
Sample Units	261	Sample Units	739
Test option	CV10	Test option	CV10
Kappa statistics	0.58	Kappa statistics	0.91
MAE	0.10	MAE	0.05
RMSE	0.23	RMSE	0.14
RAE (%)	51.34	RAE (%)	22.55
RRSE (%)	72.83	RRSE (%)	39.64
Error (%)		Error (%)	
(Incorrectly Classified)	29.11	(Incorrectly Classified)	7.17

4. CONCLUSIONS

The results show that machine learning algorithms accurately predict PCI values and classes, with RF models using 10-fold cross-validation achieving kappa statistics up to 0.88 and correlation coefficients up to 0.93. The ROS technique improved kappa statistics by 56.89% for the 7-class PCI models. This research suggests that integrating ML-driven PCI predictions into maintenance plans can enhance airport pavement management, reducing costs and improving performance. Future work could focus on refining models using confusion matrices and ROC curves, while a universal database could improve collaboration and algorithm learning.

REFERENCES

- [1] I.H. Sarker, Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions, SN Comput. Sci. 2 (2021) 160. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x>.
- [2] A. Issa, H. Sammaneh, K. Abaza, Modeling Pavement Condition Index Using Cascade Architecture: Classical and Neural Network Methods, Iran. J. Sci. Technol. - Trans. Civ. Eng. 46 (2022) 483–495. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00678-9>.
- [3] A. Ali, M. Eskebi, M. Sreg, Predicting Pavement Condition Index Using Machine Learning Algorithms and Conventional Techniques, J. Pure Appl. Sci. 21 (2022) 304–309. <https://doi.org/10.51984/jopas.v21i4.2267>.
- [4] A. Studart, Application of Artificial Intelligence techniques. Machine Learning for airport pavement condition index (PCI) assessment, University of Beira Interior, 2024.
- [5] ASTM International, Standard test method for airport pavement condition index surveys (D5340), (2023).

IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS EM VEÍCULOS FERROVIÁRIOS DE MERCADORIAS BASEADA NUM SISTEMA *WAYSIDE* E COM RECURSO A UM *AUTOENCODER*

Tomás Jorge¹, Diogo Ribeiro², Ruben Silva³

¹ Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto. 1180479@isep.ipp.pt

² CONSTRUCT, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto. drd@isep.ipp.pt

³ CONSTRUCT, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto. rubensilva@fe.up.pt

Palavras-chave: Identificação de defeitos, comboio de mercadorias, sistemas de monitorização *wayside*, inteligência artificial.

Código da Área Temática 4.1

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

O setor ferroviário tem assumido um papel cada vez mais relevante, com ênfase na segurança e na redução de custos de manutenção [1]. Embora os sistemas de monitorização *wayside* forneçam dados em tempo real sobre a condição dos veículos, não são capazes de distinguir entre rodas danificadas e não danificadas. Para colmatar essa limitação, foi desenvolvida uma metodologia inovadora baseada em inteligência artificial (IA), capaz de detetar e classificar automaticamente defeitos de não circularidade da roda (OOR), incluindo lisos e rodas poligonais. A metodologia foi validada em cenários realistas com diferentes velocidades, cargas e irregularidades, representando um avanço significativo na monitorização ferroviária.

2. METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE DANOS OOR

A metodologia automática proposta compreende várias fases, resumidas no fluxograma apresentado na Figura 1.

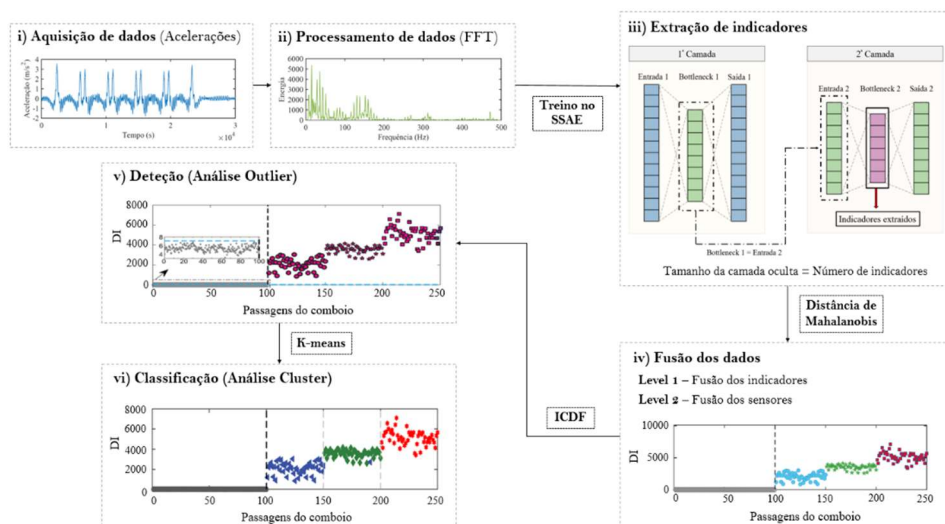


Figura 1 – Etapas da metodologia para a deteção e classificação de danos OOR.

Após a obtenção de registos de aceleração das simulações numéricas geradas através do *software* VSI (*Vehicle-Structure Interaction Analysis*) [2], aplica-se a *Fast Fourier Transform* (FFT) para converter o sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência. Em seguida, um *Stacked Sparse Autoencoder* (SSAE) extrai as principais características dos dados e reduz a sua dimensionalidade recorrendo à camada *bottleneck layer*. Para aumentar a sensibilidade ao dano, a fusão de dados é realizada em dois níveis utilizando a distância de *Mahalanobis*, gerando um índice de dano por sensor e por passagem. A deteção automática ocorre por uma análise de *outliers*, com um limite estatístico de confiança baseado na distribuição Gaussiana inversa. Por sua vez, a classificação do tipo e severidade do dano é obtida pela análise de *clusters*, com recurso ao algoritmo *k-means*, com o número de grupos definido automaticamente.

3. RESULTADOS

A Figura 2 ilustra que os valores do índice de dano (DI) de todas as passagens de comboios com rodas poligonais e lisos situam-se acima dos valores de DI para as passagens de comboio de *baseline* (sem danos), demonstrando uma deteção com 100% de eficiência. São ainda observáveis 21 falhas na classificação do tipo de dano, resultando numa eficiência de 90%.

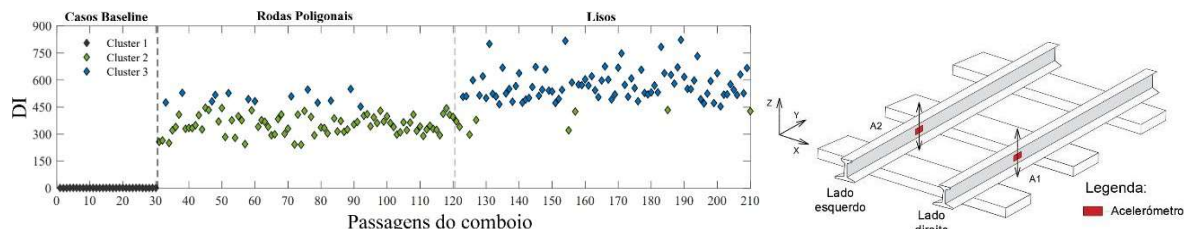


Figura 2 – Classificação automática do tipo de dano OOR baseada na análise de clusters para múltiplas velocidades utilizando 2 acelerómetros (1 de cada lado).

A classificação da severidade das rodas poligonais baseou-se na amplitude do defeito (Figura 3a), registando-se 17 falhas na classificação (A2 [0.25-0.35 mm] atribuídas como A1 [0.65-0.75 mm]), resultando numa eficiência de 80%. Na classificação do comprimento dos lisos (Figura 3b), ocorreram 19 falhas (6 falhas na severidade [10-20 mm], 10 falhas na severidade [25-50 mm] e 3 falhas na severidade [55-100 mm]), obtendo-se uma eficiência de 80%.

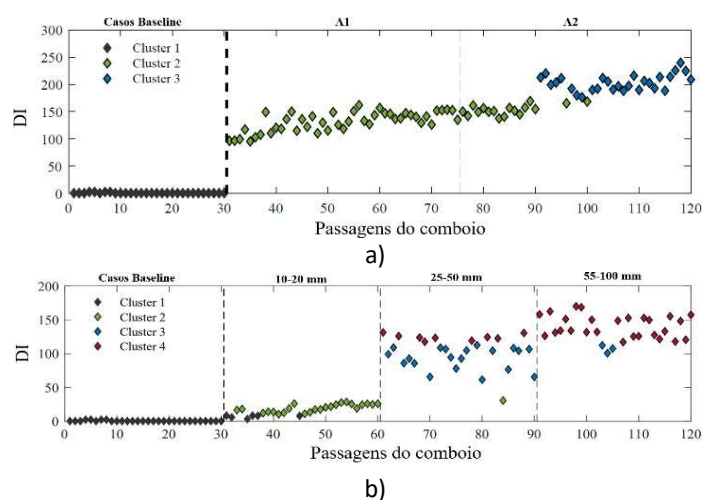


Figura 3 – Classificação automática da severidade do dano para múltiplas velocidades: a) amplitude da roda poligonal (A1-A2), b) comprimento do liso (10-20 mm, 25-50 mm e 55-100 mm).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia de IA mostrou-se altamente eficaz na identificação do tipo e severidade dos danos OOR mais comuns em veículos ferroviários. Destaca-se o uso de uma técnica não linear baseada numa rede neuronal SSAE na etapa de extração de indicadores, superando abordagens lineares tradicionais. Esta técnica demonstrou elevado potencial para normalizar efeitos operacionais, como variações de velocidade e irregularidades da via, que poderiam comprometer a identificação dos danos.

REFERÊNCIAS

- [1] Jorge, T., Magalhães, J., Silva, R., Guedes, A., Ribeiro, D., Vale, C., Meixedo, A., Mosleh, A., Montenegro, P., Cury, A. (2024). Early identification of out-of-roundness damage wheels in railway freight vehicles using a wayside system and a stacked sparse autoencoder. *Vehicle System Dynamics*, 63(2), 232–257.
- [2] Magalhães, J., Jorge, T., Silva, R., Guedes, A., Ribeiro, D., Meixedo, A., Mosleh, A., Vale, C., Montenegro, P., Cury, A. (2024). A strategy for out-of-roundness damage wheels identification in railway vehicles based on sparse autoencoders. *Railway Engineering Science*, 32, 421–443.

ESPAÇOS VERDES DO PORTO NO CONTEXTO DA CIDADE DOS 15-MINUTOS

Maria José Almeida¹, Fernando Fonseca²

¹Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Minho. pg50613@alunos.uminho.pt

²Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Minho. ffonseca@civil.uminho.pt

Palavras-chave: Cidade dos 15 Minutos, Espaços Verdes Urbanos, Mobilidade de bicicleta, Mobilidade pedonal.

Código da Área Temática: 4

Apresentação oral remota

1. INTRODUÇÃO

Durante décadas, as cidades foram planeadas para a utilização do automóvel, enquanto os modos não motorizados foram negligenciados. Em Portugal, o automóvel representa 68% das deslocações pendulares, enquanto andar a pé representa 15% [1]. Reduzir a utilização do automóvel é necessária para descarbonizar o setor dos transportes, diminuir poluentes e tornar a população mais ativa [2]. O conceito da cidade dos 15 minutos (C15M) pugna pela reorganização das cidades, assente em princípios de proximidade, densidade e diversificação, tornando os modos ativos mais convenientes. Isso inclui as deslocações aos espaços verdes urbanos (EVU), que desempenham funções ambientais e socioeconómicas cruciais. No trabalho de mestrado desenvolvido [3] e que aqui se apresenta, avaliou-se a oferta e a acessibilidade a pé e de bicicleta aos EVU do Porto, segundo o conceito da C15M.

2. MÉTODOS

O estudo baseou-se numa abordagem mista, combinando uma componente objetiva e uma subjetiva. A componente objetiva foi desenvolvida com recurso a Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para analisar a cobertura territorial e acessibilidade a pé e de bicicleta aos EVU. A análise foi feita através da rede viária, obtida a partir da plataforma OpenStreetMap e posteriormente analisada e corrigida tendo em conta a topologia da rede. Para tal, utilizou-se a ferramenta Network Analyst do ArcGIS, que gerou áreas de serviço de 15 minutos a partir dos pontos de entrada e/ou centróides dos EVU. Considerou-se uma velocidade de 4,5 km/h a pé e de 15 km/h de bicicleta através de toda a rede viária onde é permitida a circulação de peões e bicicletas, tendo-se assumido que toda a rede pedonal possuía passeios. Na análise foram incluídos os EVU da cidade com dimensão ≥ 2 ha, pois estes estão associados a maiores benefícios ambientais e sociais. No total, foram identificados 18 EVU com ≥ 2 ha na cidade. A componente subjetiva envolveu a realização de um inquérito entre maio e agosto de 2024 para se compreender, entre outros aspetos, a perceção da população sobre as condições de acesso por modos ativos aos EVU. No total, 137 pessoas responderam de forma válida ao inquérito.

3. RESULTADOS

Através da análise SIG foi possível identificar que os EVU com ≥ 2 ha estão razoavelmente distribuídos pela cidade. Mais especificamente, verificou-se que 83% da população reside a <15 minutos a pé de um EVU. Porém, algumas áreas residenciais de Paranhos, Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde, estão a uma maior distância-tempo (Figura 1). No referente às deslocações por bicicleta verificou-se que todas as áreas da cidade se encontram a <15 minutos de um desses EVU (Figura 1). No entanto, é de salientar que a maior parte destes EVU, como os Jardins do Palácio de Cristal, Parque Oriental e Covelo, não têm ligação por ciclovias, o que pode levantar questões de segurança e conforto para os ciclistas. Em relação à componente subjetiva, o inquérito, através de uma avaliação feita numa escala de 1 a 5, sendo 1 *muito mau* e 5 *muito bom* , indicou que os parâmetros relacionados com a acessibilidade pedonal aos EVU foram avaliados com nota ligeiramente superior a 3, enquanto todos os parâmetros relacionados com a acessibilidade por bicicleta foram inferiores a 3 (Figura 2). A falta de ciclovias nos EVU e de uma rede conectada de ciclovias foram os parâmetros com menor avaliação.

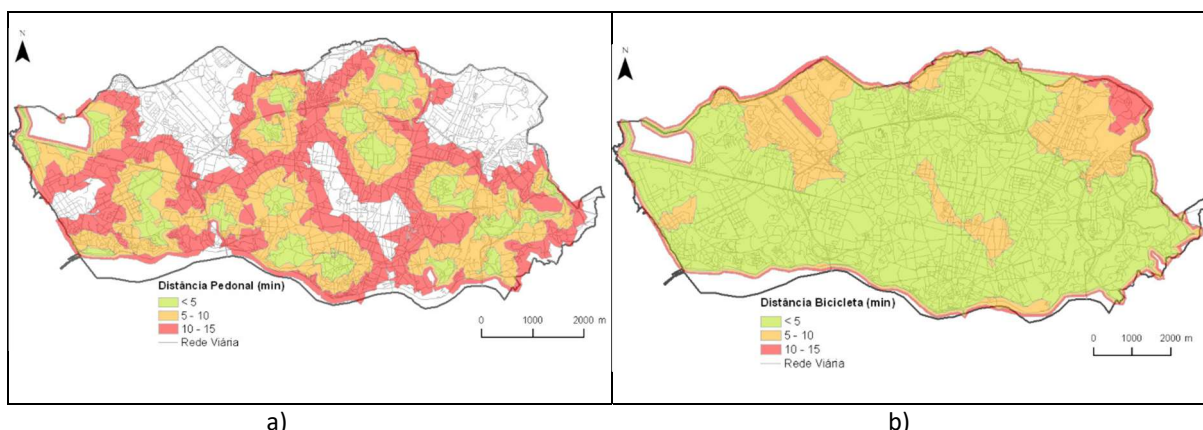


Figura 1 – Áreas de serviço das a) deslocações pedonais e b) deslocações por bicicleta.

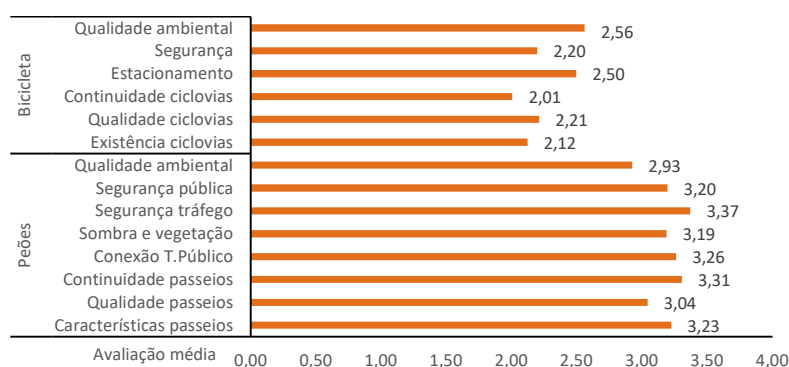


Figura2 – Avaliação das condições a pé e de bicicleta nos percursos até aos EVU.

4. CONCLUSÕES

A realização deste estudo permitiu concluir que, apesar da boa distribuição de EVU com mais de 2 ha pelas diversas áreas da cidade, há ainda desafios no que diz respeito à acessibilidade por modos ativos a estes espaços, segundo o conceito da C15M. Apesar de 83% da população residir a menos de 15 minutos a pé de um destes espaços verdes, há diversas áreas residenciais em que os EVU se encontram a uma maior distância-tempo. Melhorar a qualidade dos passeios e o sombreamento dos percursos são aspetos que, de acordo com os inquiridos, podem melhorar o conforto dos percursos para os EVU. No caso da acessibilidade por bicicleta, apesar de todas as áreas da cidade estarem a menos de 15 minutos de um EVU, verificou-se que a infraestrutura e a rede ciclável têm lacunas que comprometem a segurança, o conforto e a própria utilização da bicicleta nas deslocações para os EVU da cidade. A resolução destes problemas é crucial para que os EVU do Porto sejam mais acessíveis e frequentados por modos ativos à luz do conceito da C15M.

REFERÊNCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estatística (2022). Censos 2021, INE, Lisboa.
- [2] Fonseca, F., Ribeiro, P., Conticelli, et al. (2022). Built environment attributes and their influence on walkability. *Int. J. Sustain. Transp.*, 16(7), 660-679.
- [3] Almeida, M. (2024) O planeamento de espaços verdes no contexto da cidade dos 15-minutos: o caso do Porto. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães.

TEMA 05

GEOTECNIA

METODOLOGIA DE ESCAVAÇÃO SEQUENCIAL NA VERTICAL (MSV)

Antony Pereira¹, Patrícia Lopes², Cândido Freitas³

¹ ISEP, Politécnico do Porto. 1181450@isep.ipp.pt

² Departamento Engenharia Civil. ISEP, Politécnico do Porto. cpl@isep.ipp.pt

³ Departamento Engenharia Civil. ISEP, Politécnico do Porto. jcf@isep.ipp.pt

Palavras-chave: Método sequencial vertical, poços de grande diâmetro, Metro do Porto.

5.2. Estruturas geotécnicas

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta a metodologia de escavação sequencial na vertical (MSV) para poços de grande diâmetro, com ênfase no estudo de caso do poço de saída de emergência da Estação Hospital Santo António do Metro do Porto. O objetivo principal é divulgar a aplicação do MSV em ambiente urbano, destacando as soluções construtivas, o enquadramento geotécnico e o desempenho do maciço e da estrutura de suporte durante a execução da obra.

2. ESTADO DA ARTE DAS ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS EM AMBIENTE URBANO

A evolução das metodologias de construção subterrânea levou à adoção de diferentes técnicas, como a vala a céu aberto (VCA), a metodologia com recurso a tuneladora (TBM) e o “New Austrian Tunneling Method” (NATM). Cada uma destas metodologias apresenta vantagens e desafios, sendo a escolha do método dependente das condições geológicas e do contexto urbano. O NATM é caracterizado pela escavação em fases sucessivas e introduziu o conceito de suporte provisório imediato para permitir que o maciço envolvente contribuísse para a estabilidade da estrutura. Essa abordagem foi posteriormente adaptada para a construção de poços de grande diâmetro, dando origem ao método sequencial vertical (MSV). A transposição do NATM para a execução de poços verticais surgiu na década de 1980 como uma solução inovadora para escavações profundas em ambientes urbanos densamente construídos. A aplicação inicial do MSV utilizava suportes estruturais compostos por cambotas metálicas e betão projetado, sendo posteriormente aprimorada pela engenharia brasileira com a introdução da malha eletrosoldada, proporcionando uma solução mais leve, segura e económica [1]. No contexto português, a metodologia foi implementada pela primeira vez nas obras do Metro do Porto e do Metro de Lisboa, marcando um avanço significativo na engenharia subterrânea nacional.

3. EXECUÇÃO DE POÇOS DE GRANDE DIÂMETRO SEGUNDO O MSV

A execução de poços de grande diâmetro utilizando o MSV requer um planeamento detalhado para garantir a segurança estrutural e a estabilidade do maciço. O projeto de execução envolve a caracterização geológica do terreno, a definição da geometria do poço e a implementação de medidas de suporte adequadas. O processo construtivo é realizado de forma sequencial, com a escavação e a instalação do suporte primário em simultâneo para evitar deformações excessivas do maciço [2]. O MSV é um método de escavação que se baseia numa abordagem flexível e adaptável às condições geológicas encontradas durante a escavação e à evolução da instrumentação geotécnica. Assim sendo, o método observacional é o tipo de dimensionamento geotécnico mais compatível com o MSV, porque vai permitir o ajuste do método executivo de acordo com as condições reais encontradas durante o acompanhamento dos trabalhos [2].

4. CASO DE ESTUDO: POÇO DE SAÍDA DE EMERGÊNCIA DA ESTAÇÃO HOSPITAL SANTO ANTÓNIO

O poço de saída de emergência da Estação Hospital Santo António insere-se na expansão da linha rosa do Metro do Porto e desempenha uma função crucial na evacuação de emergência e na ventilação do túnel de via e da própria estação. Localiza-se no Jardim do Carregal, no centro do Porto, próximo ao Hospital Santo António e ao túnel de Ceuta, o que exigiu cuidados especiais de

implantação para minimizar impactos no trânsito e no ambiente circundante. A região é caracterizada por terrenos graníticos, com a presença de aterros e aluviões. O maciço granítico apresenta diferentes graus de alteração e fracturação e por isso o projeto de execução preconizou uma solução construtiva de forma a preservar, ao máximo, a estabilidade do maciço e das estruturas adjacentes [3]. O poço possui uma geometria circular, com diâmetro médio de 24 m (correspondendo a uma área de aproximadamente 450 m²) e profundidade de 27 m [3]. A construção foi realizada seguindo o método sequencial vertical. Inicialmente, foram efetuados tratamentos no maciço, na perimetria do poço, para garantir a impermeabilização e a estabilidade do terreno, recorrendo a colunas verticais de jet-grouting. De seguida, foi executada a viga de borda em betão armado. Posteriormente, iniciou-se a escavação em fases sucessivas, com painéis de 6 m de largura e 1 m de altura, acompanhada da aplicação imediata de suporte provisório, composto por betão projetado e malha eletrosoldada [2] (Figura 1).



Figura 1 – Vista aérea do poço de saída de emergência (Metro do Porto, 2022).

Durante todo o processo foi utilizada instrumentação geotécnica, como marcas de superfície, inclinómetros e indicadores de nível de água para monitorizar o desempenho do maciço e alvos reflexivos, para medição de cordas, com o objetivo de acompanhar a evolução da deformação na estrutura de suporte. Isto garantiu que os deslocamentos se mantivessem dentro dos limites admissíveis e de referência, sem afetar as estruturas vizinhas, como o túnel de Ceuta. Os resultados demonstraram a eficácia do MSV, com deformações reduzidas da estrutura de suporte e comportamento satisfatório do maciço em redor do poço [2].

5. CONCLUSÕES

A aplicação do MSV na construção de poços de grande diâmetro em ambiente urbano revelou-se uma solução eficaz, combinando segurança estrutural com eficiência económica. A metodologia permite a construção de infraestruturas subterrâneas minimizando impactos na superfície, tornando-se uma alternativa viável para projetos urbanos.

REFERÊNCIAS

- [1] Cortizo, P.T. (2015). Análise de poços de grande diâmetro executados pelo método de escavação sequencial na vertical. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- [2] Pereira, J.A. (2023). Metodologia de Execução de Poços de Grande Diâmetro em Ambiente Urbano. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- [3] Sener/CJC/NSE. (2019). Memória descritiva da Estação Hospital Santo António da linha circular do Metro do Porto.

TEMA 06

GESTÃO E MANUTENÇÃO

MONITORIZAÇÃO ESTRUTURAL DA COBERTURA DO ESTÁDIO DE LEIRIA ATRAVÉS DE SENSORES DINÂMICOS DE BAIXO CUSTO

Isadora D. Estevam¹, Paulo Fernandes², Hugo Rodrigues³, Romain Sousa⁴

¹ Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Instituto Politécnico de Leiria. isadoradesiree@gmail.com

² CERIS. Instituto Politécnico de Leiria. paulo.fernandes@ipleiria.pt

³ RISCO. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Aveiro. hrodrigues@ua.pt

⁴ RISCO. Instituto Politécnico de Leiria. romain.sousa@gmail.com

Palavras-chave: monitorização da integridade estrutural, sensor de baixo custo, vibração estrutural.

Código da área temática: 6.3. Monitorização, inspeção e experimentação

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de engenharia são vulneráveis a acidentes e degradação ao longo do tempo, o que pode comprometer a sua funcionalidade e estabilidade. A monitorização da integridade estrutural é um processo *in situ*, não destrutivo, contínuo ou periódico, que utiliza sensores externos ou embutidos para identificar danos. Os dados coletados são processados e analisados para definir padrões de comportamento da estrutura e caracterizá-la [1]. As suas vantagens incluem redução de custos de inspeção, aumento da segurança da estrutura e melhor perceção do comportamento e da durabilidade. No entanto, apresenta desafios como alto custo e complexidade de instalação [2].

A sensorização através de equipamentos sem fios tem potencial para a monitorização de estruturas existentes pois permitem a realização de medições de forma mais flexível com mais simplicidade de implementação [3]. Porém há dificuldades como a perda de dados e a limitação de bandas de frequências [4].

Neste contexto, o presente trabalho estudou a viabilidade de utilização de um equipamento de baixo custo, com acelerómetros e sensores de parâmetros ambientais, para monitorizar através da medição da frequência da estrutura principal do Estádio Municipal Dr. Magalhães Pessoa em Leiria, as suas alterações estruturais ou degradação.

2. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO E SOFTWARE UTILIZADO

Utilizou-se no presente trabalho o equipamento STWIN (Sensor Tile Wireless Industrial Node) - STEVAL-STWINK1B, com vários sensores, incluindo um acelerómetro em 3 direções (X, Y e Z), sensor de temperatura e humidade ambiental, relógio sincronizado, bateria com autonomia para vários dias, porta de comunicação WI-FI e placa de ligação a cartão de memória micro SD e memória interna para carregamento de programa de registos. O equipamento é programável em Python e o registo de dados faz-se em arquivo binário.

Os registos obtidos foram convertidos para formato “.csv” através de um programa desenvolvido no software PyCharm e linguagem Python 3.7. Os resultados foram processados em MatLab gerando gráficos Aceleração × Tempo e Amplitude × Frequência para identificação das frequências da estrutura por excitação ambiental.

Os elementos estruturais instrumentados, as vigas principais metálicas da cobertura do estádio, foram ainda modeladas por modelos de elementos finitos no software de análise estrutural intitulado Projeto Galileu, para determinação das suas frequências modais e comparação com os registos da instrumentação.

3. ESTUDO DE SENSIBILIDADE DOS SENSORES

Realizaram-se estudos de sensibilidade do sensor para compreender o seu desempenho em diferentes condições de excitação. Efetuaram-se medições em três cenários diferentes e concluiu-se que quanto mais flexível a estrutura, maior a precisão do sensor. O sensor demonstrou ainda não ser adequado para medir estruturas mais rígidas com baixa excitação (menor que 0,05g).

4. ENSAIO NA COBERTURA DO ESTÁDIO DE LEIRIA

O ensaio foi realizado em duas fases. Primeiro, o sensor de baixo custo foi testado junto com um acelerómetro piezoelétrico *PCB Piezotronics* para validar a sua capacidade de medir as propriedades

dinâmicas da cobertura. Em seguida, múltiplas medições foram feitas para monitorizar a estrutura e avaliar as potencialidades do sensor.

4.1. Primeira fase

A figura 1 representa o resultado obtido pelo acelerómetro piezoelétrico e pelo sensor de baixo custo, na direção vertical. Observou-se que ambos os sensores foram capazes de registar a primeira frequência natural da viga, em torno de 1Hz, comprovando-se a validade do sensor de baixo custo para registar a frequência desta estrutura.

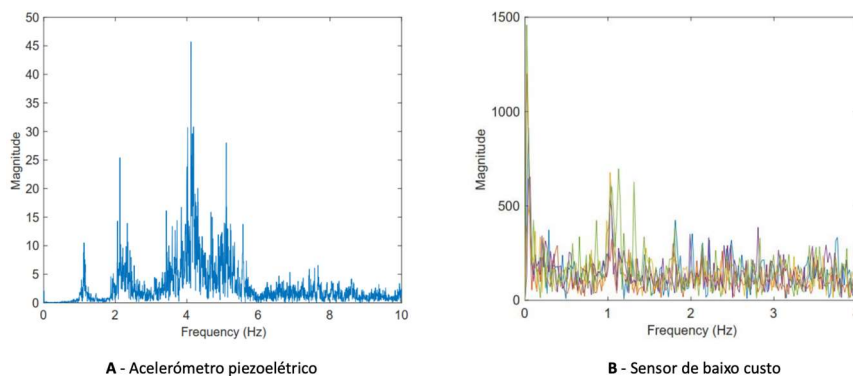


Figura 1 – Comparação do espectro de potência do acelerómetro piezoelétrico com o sensor de baixo custo.

4.2. Segunda fase

Foram realizadas medições em diferentes vigas e horários com três sensores idênticos e mesma programação, para avaliar a variação das frequências próprias em função da localização, do suporte e da temperatura ambiente. As medições mostraram que a frequência natural das vigas laterais (de maior vão) ficou em torno de 1,1 Hz, enquanto as vigas do topo (de menor vão) apresentaram cerca de 3 Hz. A frequência natural obtida no MEF da viga lateral (Figura 2) foi de 1,17 Hz, tendo-se concluído pela capacidade do sensor de baixo custo para a monitorização estrutural de elementos com estas características.

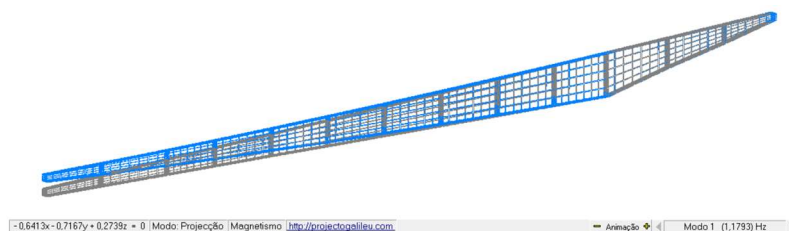


Figura 2 – Frequência de uma das vigas da cobertura no Galileu.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que o sensor de baixo custo STWINKT1B não possui capacidade suficiente para medir a vibração de estruturas rígidas e de baixa excitação (aceleração inferior a 0,05g) mas que para estruturas como a da cobertura do Estádio Dr. José Magalhães Pessoa tem potencial de utilização.

REFERÊNCIAS

- [1] Figueiras, J. A. (2008). Monitorização da integridade estrutural de obras de arte, BE2018 – Encontro Nacional de Betão Estrutural, 5-7 Novembro, Guimarães, Univ. Minho/GPBE.
- [2] Bisby, L.A.; Briglio, M.B. (2005). An Introduction to Structural Health Monitoring, ISIS Canada and SAMCO Network of the European Commission, Aug 2005.
- [3] Xu, N. et al (2004). A wireless sensor network for structural monitoring. In Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems (SenSys '04). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 13–24. <https://doi.org/10.1145/1031495.1031498>
- [4] Júnior, E. G. T. (2018). Acelerómetro sem fio de baixo custo para monitoramento dinâmico estrutural, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Minas Gerais, Brasil.

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS URBANOS: PROPOSTA DE MATRIZ DE DECISÃO DE MANUTENÇÃO FUNDAMENTADA NA AVALIAÇÃO DE PATOLOGIAS

Victor Celestino Schwandt¹, Rosário Oliveira², Patrícia Barboza da Silva³

¹ Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 1220476@isep.ipp.pt

² Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia do Porto. mro@isep.ipp.pt

³ Engenharia Civil - Escola de Engenharia - Universidade Presbiteriana Mackenzie. patricia.silva1@mackenzie.br

Palavras-chave: Sistema de gerenciamento de pavimentos; Patologias; Manutenção e Reabilitação.

Código da Área Temática: 1.6; 6.2

Vídeo

1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura viária urbana é um elemento fundamental para a mobilidade, segurança e desenvolvimento econômico das cidades [1]. Entretanto, a deterioração precoce dos pavimentos urbanos é um desafio recorrente, agravado pela ausência de um planejamento sistemático de manutenção. A predominância de medidas corretivas emergenciais, como operações de tapa-buracos e recapeamentos superficiais, em detrimento de estratégias preventivas, resulta em um ciclo ineficiente de intervenções, que eleva os custos operacionais e compromete a qualidade das vias [2]. Para reverter esse cenário, torna-se indispensável o uso de ferramentas de apoio à gestão que possibilitem monitorar as condições dos pavimentos, prever falhas e direcionar ações de forma estratégica.

Os Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos (SGP) atendem a essa demanda ao permitir a coleta, organização e análise de dados técnicos sobre o estado das vias, subsidiando decisões relativas à manutenção, reabilitação ou reconstrução [3]. No entanto, a maioria desses sistemas foi desenvolvida para rodovias, com foco em parâmetros estruturais e de irregularidade longitudinal, pouco eficazes em áreas urbanas [4], onde fatores como severidade dos defeitos, qualidade da superfície e impacto na trafegabilidade são mais relevantes, exigindo modelos específicos e adaptados à realidade urbana.

2. OBJETIVOS E DESENVOLVIMENTO

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi desenvolver um SGP para vias urbanas (SGPU), a partir da análise de patologias e em uma matriz de decisão adaptada para o cenário urbano, fornecendo uma ferramenta objetiva e prática para a implementação de estratégias de manutenção eficientes.

Após coleta de dados e medições de patologias das vias conforme critérios definidos, realiza-se o cálculo do Índice de Condição do Pavimento (ICP) para definir a priorização de intervenções. Foi adotado o método da Departamento de Transportes de Ohio (ODOT) que define um peso para cada patologia e fatores de ponderação para diferentes gravidades e extensões. Para obter o índice, desconta-se de uma pontuação de 100 a somatória dos pesos e suas ponderações, definidos com base na medição de campo, permitindo a classificação das vias conforme seu estado de conservação de maneira objetiva e lógica desde 0-40 (muito ruim), 40-55 (ruim), 55-65 (aceitável a ruim), 65-75 (aceitável), 75-90 (boa) e 90-100 (muito boa).

A via definida como prioritária para intervenção terá a terapia definida com base na matriz de decisão proposta neste trabalho, que foi concebida como um instrumento prático e aplicável à realidade das vias urbanas brasileiras, visando relacionar os tipos de deteriorações dos pavimentos às intervenções de manutenção e reabilitação (M&R) mais adequadas. A matriz tem como base as patologias do pavimento e associa, conforme o grau de severidade, às técnicas recomendadas de intervenção, considerando parâmetros de deterioração funcional, fundamentado em uma revisão bibliográfica abrangente, que identificou os principais defeitos de pavimentos flexíveis como trincas, afundamentos, buracos e suas causas. A partir desse mapeamento, os defeitos foram classificados em níveis de severidade baseados exclusivamente em critérios funcionais,

dispensando o uso de ensaios estruturais. A classificação adotada varia de 1 (falha total do pavimento) a 10 (pavimento em condição ótima), e cada nível está associado a uma técnica de M&R específica, desde ações simples como preenchimento de trincas, até medidas de reconstrução. Essa lógica de associação direta permite uma tomada de decisão ágil, eficiente e condizente com os recursos e limitações normalmente presentes em contextos urbanos.

Os quadros a seguir apresentam uma amostra do funcionamento da matriz, na qual a partir dos dados do inventário, tem-se um nível de degradação (Quadro 1) que, por sua vez, possui uma técnica de M&R indicada (Quadro 2).

Quadro 1 – Amostra de funcionamento da matriz.

Nível	10	5	4
Avaliação	Nova construção	Envelhecimento mais graves da superfície, mas boas condições estruturais	Envelhecimento significativo e primeiros sinais de necessidade de reforços
Trincas longitudinais	Nova construção	Abertas 13 a 25 mm; Erosão e trincas secundárias; Fissuração longitudinal das extremidades do pavimento	Trincas abertas > 25mm; Múltiplas Trincas com desgaste; Trincas na trilha de roda

Quadro 2 – Amostra de níveis de deterioração adotados x técnica de reabilitação.

Nível	Avaliação	M&R
10	Nova construção	Não fazer nada
5	Envelhecimento mais graves da superfície, mas boas condições estruturais	Microrrevestimento / Lama Asfáltica / Recapeamento
4	Envelhecimento significativo e primeiros sinais de necessidade de reforços	Reciclagem ou remendo superficial

Foi realizado um estudo de caso em uma pequena rede viária composta por cinco vias locais de baixo tráfego. O método proposto foi aplicado integralmente na via prioritária, definida com base no índice ICP. O inventário foi conduzido com poucos recursos e os cálculos mostraram-se simples e eficazes, demonstrando a viabilidade da metodologia para diagnosticar e tratar patologias em pavimentos urbanos. Complementarmente, analisaram-se composições de preços unitários das intervenções propostas, evidenciando que os custos aumentam conforme a deterioração se agrava. Estudos indicam que manutenções preventivas, como selagens, são mais econômicas que reconstruções e aumentam a durabilidade do pavimento [5][6]. Como a matriz prioriza soluções otimizadas e preventivas, o método mostrou-se eficiente também do ponto de vista econômico, reduzindo os custos de manutenção ao longo do ciclo de vida do pavimento.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo resultou em um método completo de inventário, priorização e decisão de manutenção baseado na identificação e severidade das patologias, permitindo transformar dados facilmente obtidos em campo em planos específicos de intervenção para cada via. A metodologia considera a heterogeneidade dos defeitos e as particularidades de cada pavimento, indicando com precisão as manutenções mais adequadas e promovendo ações rotineiras e preventivas que contribuem para a preservação da vida útil do pavimento e a redução dos custos ao longo do seu ciclo.

REFERÊNCIAS

- [1] Bernucci, Liedi Légi B. et al. (2008). *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: ABEDA.
- [2] Zanchetta, Fábio (2017). *Sistema de gerência de pavimentos urbanos: avaliação de campo, modelo de desempenho e análise econômica*. (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo.
- [3] Ismail, Norlela; Ismail, Amiruddin; Atiq, Riza (2009). An overview of expert systems in pavement management. *European Journal of Scientific Research*, v. 30, n. 1, p. 99-111.
- [4] La Torre, Francesca; Ballerini, Lorenzo; Di Volo, Neri (2002). Correlation between longitudinal roughness and user perception in urban areas. *Transportation Research Record*, p. 131-139.
- [5] Zulu, Kelvin; Singh, Rajendra P.; Shaba, Farai Ada (2020). Environmental and economic analysis of selected pavement preservation treatments. *Civil Engineering Journal*, v. 6, n. 2, p. 210-224.
- [6] Helali, K. et al. (2005). Potential benefits of integrating preventive maintenance into New Jersey pavement management system. In: *Transportation Research Board, Annual Meeting CD-ROM*.

PREVENÇÃO DA QUEDA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS COM RECURSO A APRENDIZAGEM PROFUNDA E VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

Diogo Almeida¹, António Cunha², Sandra Pereira³

¹ Departamento de Engenharias. ECT, UTAD. eng.dmma@gmail.com

² Departamento de Engenharias. ECT, UTAD, ALGORITMI. acunha@utad.pt

³ Departamento de Engenharias. ECT, UTAD, CMADE. spereira@utad.pt

Palavras-chave: Queda revestimentos cerâmicos, VANT, *Deep Learning*.

6. Gestão e Manutenção

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

Manter edifícios é crucial para assegurar a segurança, funcionalidade e valorização dos imóveis a longo prazo. Entre as patologias mais frequentes, destaca-se a queda de elementos cerâmicos, que pode causar danos materiais e físicos. Para prevenir estes problemas, é imprescindível monitorizar e efetuar manutenções preventivas e corretivas dos revestimentos. Contudo, as inspeções tradicionais, baseadas em análises visuais, são complexas e arriscadas, estando sujeitas a erros humanos. Fatores como a acessibilidade e a visibilidade agravam a deteção de patologias, podendo conduzir a tratamentos inadequados e aumentar os riscos.

Neste contexto, a procura de estratégias que melhorem a eficácia das inspeções no setor da construção é fundamental. A Revolução Industrial 4.0 tem proporcionado avanços significativos, destacando-se a popularização da Inteligência Artificial (IA) e o uso de *drones* (Veículos Aéreos Não Tripulados, VANTs). Estas tecnologias permitem realizar tarefas complexas com maior precisão e aceder a áreas de difícil alcance, reduzindo os riscos durante as inspeções. Além de identificar patologias já desenvolvidas, é vital detetar sinais iniciais de degradação por abordagens preventivas, semelhantes ao diagnóstico precoce na medicina. Este projeto investiga práticas de prevenção da queda de elementos cerâmicos, identificando lacunas e sugerindo direções para futuras investigações, com base numa revisão de literatura recente.

2. PREVENÇÃO DE QUEDA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS

2.1. Manutenção de edifícios e prevenção de patologias

Preservar a funcionalidade e prolongar a vida útil dos ativos é um desafio para os *stakeholders*, especialmente no caso dos edifícios. A manutenção adequada é crucial para garantir a operacionalidade dos ativos, cumprindo exigências regulamentares e expectativas dos utilizadores. A identificação de patologias nas edificações é frequentemente feita por inspeções visuais, mas esse método é subjetivo, dependendo da experiência do profissional. Testes *in situ* ajudam, mas também são limitados por fatores como erro humano. A padronização de processos e a aplicação de novos sistemas de diagnóstico melhoram a precisão e reduzem as limitações, tornando a deteção de patologias mais eficiente e fiável.

2.2. Queda de revestimentos cerâmicos e termografia infravermelha

Para detetar precocemente patologias, métodos inovadores são essenciais. A termografia infravermelha, técnica não destrutiva, permite medir a energia térmica emitida pelas superfícies e convertê-la em imagens térmicas, revelando anomalias através dos gradientes de temperatura (Delta-T). Esta abordagem facilita intervenções preventivas, oferecendo medições remotas, resultados rápidos e precisão, contribuindo para a melhoria da manutenção preventiva. Adicionalmente, esta técnica promove uma gestão mais sustentável e económica dos edifícios, ao permitir intervenções pontuais que prolongam a vida útil das estruturas. Este método inovador não só permite a deteção precoce de defeitos, mas também otimiza os custos de manutenção e prolonga a durabilidade dos edifícios.

2.3. Deep learning como ferramenta de apoio à prevenção

Durante a década de 90, com o surgimento das redes neurais, desenvolveram-se os primeiros métodos de aprendizagem automática, que evoluíram para a aprendizagem profunda (AP). A AP permite resolver problemas complexos de forma rápida e precisa, através de múltiplas camadas de processamento. Em análise de imagem, as Redes Neurais Convolucionais (CNN) destacam-se na visão computacional, sendo base para modelos como YOLO, AlexNet, VGG16, VGG19 e GoogLeNet.

No estudo desenvolvido por [1], é explicada a aplicação da rede YOLO para detecção de fachadas com ausência de ladrilhos. Outro estudo [2] apresentou a detecção automática de fissuras em fachadas através de uma abordagem em duas fases: inicialmente, as imagens são divididas em fragmentos e analisadas por um modelo CNN para identificar a presença de fissuras; posteriormente, o modelo U-Net segmenta os pixels correspondentes às fissuras.

Adicionalmente, um terceiro estudo [3] combinou termografia infravermelha e inteligência artificial para detetar fissuras em pavimentos de asfalto. Em suma, os modelos de aprendizagem profunda demonstram ser ferramentas práticas, rápidas e seguras para a detecção de patologias, embora a detecção precoce, que permita intervenções preventivas, constitua um desafio futuro.

2.4. Drones (Veículos aéreos não tripulados) como ferramenta de apoio à prevenção

Os VANTs, ou *drones*, têm-se revelado essenciais na inspeção de edifícios e infraestruturas, sobretudo em zonas de difícil acesso e com riscos para os profissionais. Permitem registar imagens e produzir termogramas de alta qualidade, superando limitações dos métodos tradicionais. Popularizados inicialmente em contextos militares, passaram a ser usados civilmente devido ao seu custo reduzido e elevada usabilidade, classificando-se em categorias de passatempo, profissional e comercial. Apesar das vantagens, surgem desafios relacionados com a segurança, privacidade e regulamentação, sobretudo em espaços aéreos congestionados. Na construção, os *drones* prometem reduzir custos e aumentar a segurança e rapidez nas inspeções e manutenções.

3. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Esta revisão demonstrou que, embora existam tecnologias de apoio à inspeção de defeitos em revestimentos cerâmicos na construção (IA, termografia e *drones*), figura 1, nenhum estudo as integrou simultaneamente na prevenção da queda de revestimentos cerâmicos. O desafio futuro consiste em desenvolver métodos combinados que detetem sinais iniciais de manifestação do defeito, mediante bases de dados robustas, permitindo uma manutenção preventiva eficaz, segura e sustentável.

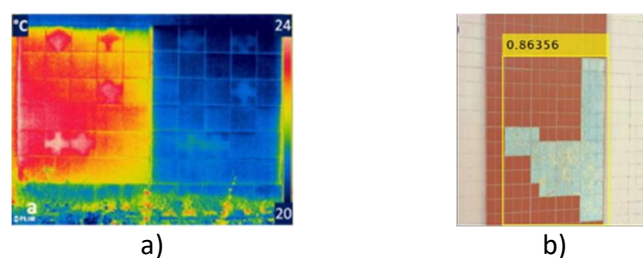
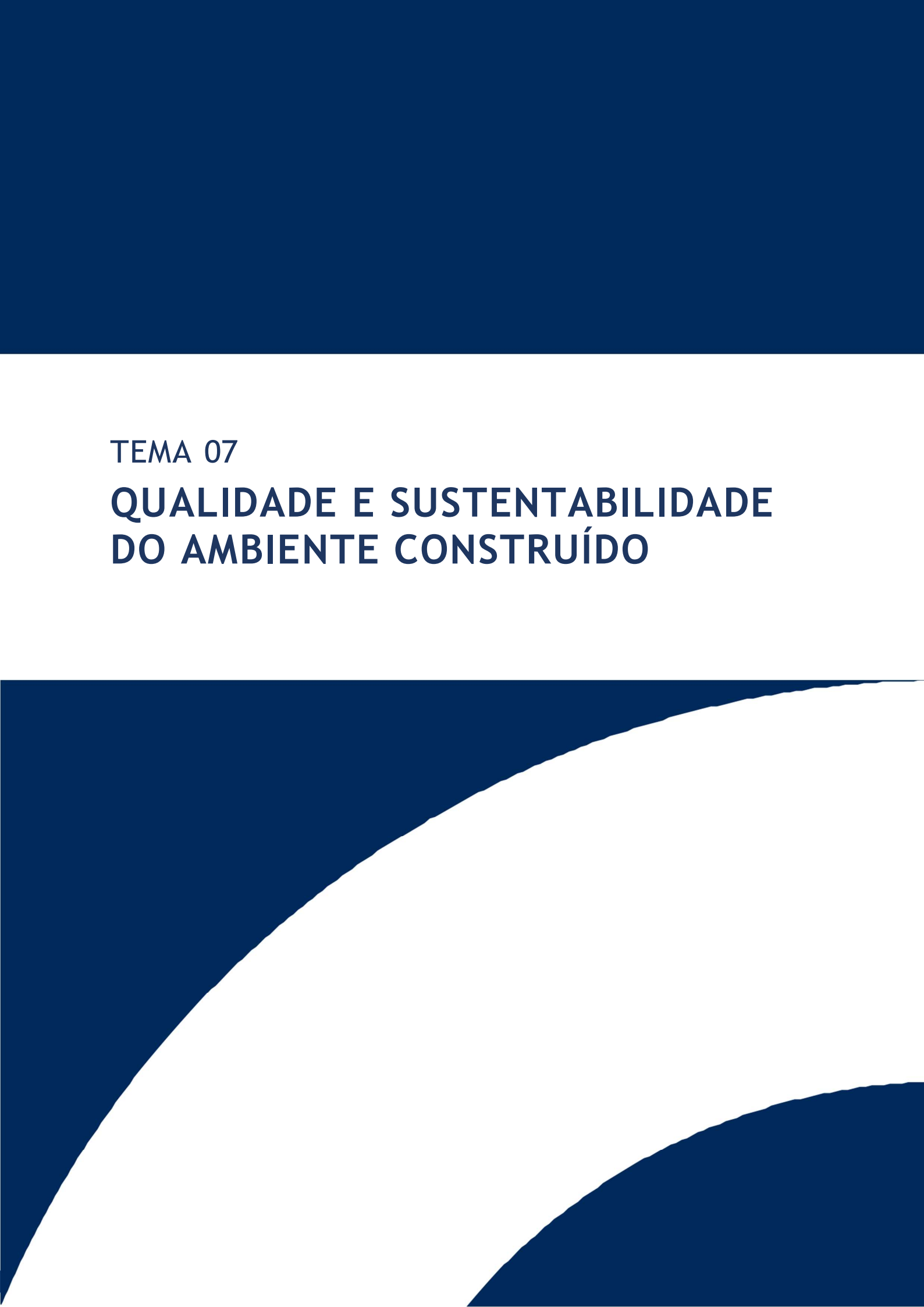


Figura 1 – Exemplos de aplicação de tecnologias para inspeção de edifícios: a) Termografia, b) *Deep Learning* e *drones*.

REFERÊNCIAS

- [1] De Sousa, A. D. P., De Sousa, G. C. L., & Maués, L. M. F. (2022). Using digital image processing and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for identifying ceramic cladding detachment in building facades. *Ambiente Construído*, 22(2), 199–213.
- [2] Chen, K., Reichard, G., Xu, X., & Akanmu, A. (2021). Automated crack segmentation in close-range building façade inspection images using deep learning techniques. *Journal of Building Engineering*, 43, 102913.
- [3] Liu, F., Liu, J., & Wang, L. (2022). Deep learning and infrared thermography for asphalt pavement crack severity classification. *Automation in Construction*, 140, 104383.



TEMA 07

QUALIDADE E SUSTENTABILIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

ENERGY PILE-BASED SHALLOW GEOTHERMAL SYSTEMS – APPLICATION IN PORTUGAL

Diogo Venâncio¹, Nuno R. Martins², Teresa Maria Bodas Freitas³, Peter Bourne-Webb⁴

¹ Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. diogovenancio@tecnico.ulisboa.pt

² Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. nmmartins@ciencias.ulisboa.pt

³ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. teresabodas@tecnico.ulisboa.pt

⁴ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. peter.bourne-webb@tecnico.ulisboa.pt

Palavras-chave: fundações energéticas, sistemas geotérmicos superficiais, sustentabilidade, eficiência energética.

Código da Área Temática: 7.2

Apresentação oral

1. INTRODUCTION

This dissertation explores the feasibility of using a Shallow Geothermal Energy (SGE) system with energy piles for heating, cooling, and domestic hot water at Prata Riverside Village (PRV) in Lisbon, Portugal. The study aims to provide a low-carbon energy source for a large residential development, addressing climate change and leveraging Portugal's investment in renewable energy 0. It evaluates the benefits, challenges, and long-term performance of an SGE system, contributing to carbon emission reduction and sustainable energy practices.

Portugal's geothermal energy experience mainly involves electricity production in the Azores and hot springs; despite this, its implementation in the built environment is reduced. SGE, available almost everywhere, uses heat exchangers, typically vertical boreholes, and ground-source heat pumps (GSHP) to interact with buildings. The ground's stable temperature at depths over 8-10 meters allows efficient heating in winter and cooling in summer. Despite high initial costs, these can be mitigated by using structural elements such as retaining walls and foundations as heat exchangers, with thermo-activated piles being a common solution (Figure).

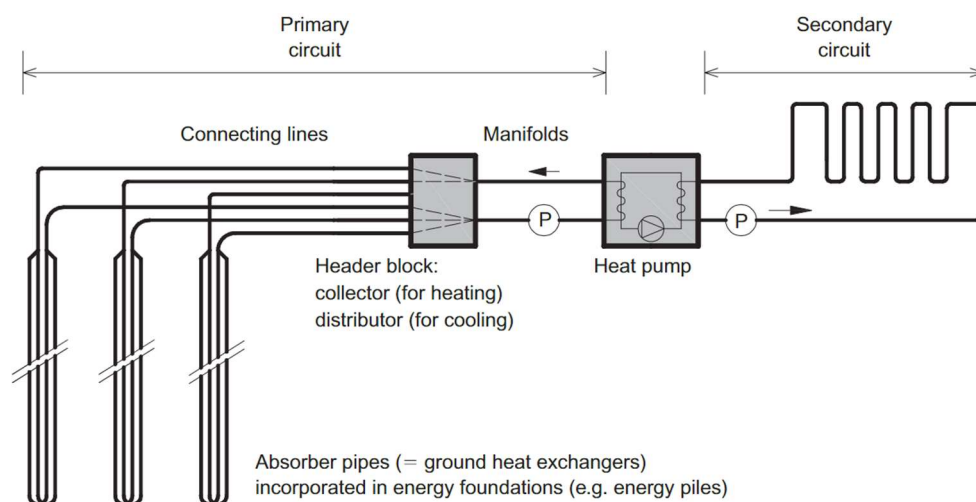


Figure 1 – Scheme of a geothermal energy plant with energy piles 0.

2. METHODOLOGY

This study was achieved by employing a three-step methodology. Initially, a single-floor 3D model of the building was created to conduct a building energy simulation (BES), to assess both heating and cooling (H&C) demands. The long-term performance of the GSHP system and the ground were evaluated to ensure efficiency was maintained over a 25-year operational period. This analysis incorporated the H&C demands from the BES, weather conditions, heat pump specifications, ground thermal properties, and 72 thermo-activated piles. The results provided an overview of

annual heating and cooling efficiency and coverage, ground and heat exchange fluid temperature changes over 25 years. Finally, the thermo-mechanical response of the foundation elements to the predicted heating and cooling was evaluated through finite element analysis, simulating a single pile over a 10-year period.

3. RESULTS

The BES initially revealed highly unbalanced heating and cooling demands which was addressed by including domestic hot water (DHW) which increased the heating demand to 258 MWh while the cooling demand was 210 MWh per year (Figure). Analysis of the thermal field indicated that the ground temperature stabilised after the 5th year and increased by about 5 °C. The heating demand was fully met and cooling coverage decreased to 99% after 25 years, with a 10% reduction in the coefficient of performance. Analysis of the thermal actions resulted in cyclic deformation with an amplitude of 3 to 4 mm, an initial settlement of 10 mm, and cyclic axial stress change with an amplitude of 800 kPa.

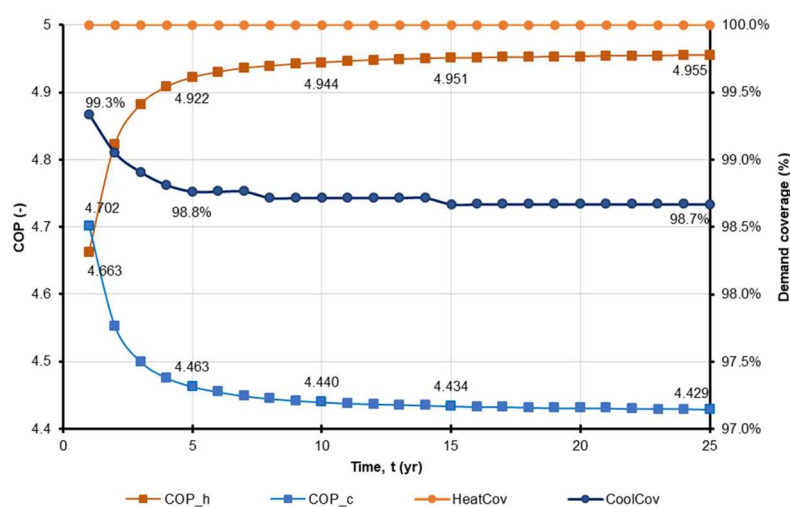


Figure 2 – COP and coverage evolution through time.

4. CONCLUSION

This technical assessment found that a pile-based shallow geothermal energy system was indeed feasible and could function sustainably and efficiently in a residential development in Lisbon, Portugal. The study also highlighted how important internal loads and systems to limit solar gains were in the evaluation of thermal loads. In this instance, the use of blinds and the addition of DHW supply were crucial for maintaining a better thermal balance. The analyses of the long-term temperature field and the thermo-mechanical response of the pile heat exchangers were sensitive to various factors and underlined the need for further study of the best way to describe and transfer thermal loads between different types of analysis.

REFERENCES

- [1] Direção Geral de Energia e Geologia. (2022). Energia em Números 2022. <https://www.dgeg.gov.pt/media/zuffmfm4/dgeg-aen-2022e.pdf>
- [2] Brandl, H. (2006). Energy foundations and other thermo-active ground structures. *Geotechnique*, 56(2), 81–122. <https://doi.org/10.1680/GEOT.2006.56.2.81>.

LEVEL(S) APPROACH TO ANALYSIS OF SUSTAINABILITY IN BUILDINGS AN EXPLORATORY STUDY OF LEVEL(S) FRAMEWORK ON A RESIDENTIAL PROJECT

Dhruvi Shah¹, Constança Rigueiro²

¹ Instituto Politécnico de Castelo Branco. CEPT University. dhruvi.ug190372@cept.ac.in

² ISE. Instituto Politécnico de Castelo Branco. constanca@ipcb.pt

Palavras-chave: sustainability assessment, level(s), building lifecycle, global warming potential.

Código da Área Temática

Apresentação oral ou Poster ou Vídeo

1. INTRODUCTION

In recent years, sustainable building practices have gained significant attention due to the increasing global concern for environmental preservation and resource efficiency. As a result, various assessment tools have been developed to evaluate the sustainable performance of buildings. This paper presents part of an analysis of the sustainability of a residential building using the Level(s) tool, a comprehensive framework developed by the European Commission [1].

2. METHODS AND RESULTS

2.1 Understanding Level(s)

Level(s) is the common EU framework of core sustainability parameters for buildings. The framework provides a set of indicators and common metrics for measuring the sustainability performance of buildings along their life cycle, assessing the following aspects: environmental performance; health and comfort; life cycle cost and value, and potential risks to future performance. It provides a standardized methodology, which enables the identification of key sustainability indicators and performance parameters for different stages of a building's development, from design and construction to operation and renovation, [2].

2.2 Case Study: Residential Building

To conduct the analysis, a case study of a single-family residential building, located in Alcanena, Portugal, was selected. The Level(s) tool was applied to evaluate its performance in areas such as energy efficiency, resource use, indoor environmental quality, and circular economy principles. The analysis included the gathering of relevant data on the building's materials, energy consumption, water usage and occupancy comfort and applying it to assess Level(s) performance indicators. The structure will be a mixture of reinforced concrete and wood panels type X-LAM with other specified materials for ceilings, wall and floor finishes including insulation, weather proofing and differentiation of materials for load bearing and non-load bearing elements. The house has a Gross Area of 238.98 m² (ground floor 182.14 m² and 1st floor 56.84 m²) and has two floors with a total height of 6.05 m. Here only Life Cycle Global Warming Potential is presented.

2.3 Results

Macro-objective 1: Greenhouse gas and air pollutant emissions along a building's life cycle

Level(s) indicator 1.2: Life Cycle Global Warming Potential (GWP) - **Level 1: Conceptual Design Assessment.** a) Purpose of the level: To assess and incorporate design concepts that will help reduce the carbon impact to nearly zero of the building by optimising the use of materials, reducing waste; promoting circularity, ensuring minimum use of energy and maximising renewable energy. It also takes into consideration the construction, design form and the structural system of the building specific to its site context. b) Life cycle design concept: 1. Efficient building shape and form: The footprint of the assessed building is 238.98 m², the height of the building is made up of 2 floors totalling to 6.05 m (with a clear height of 2.75 m each floor, kept to minimum required) and the building plan is rectangular aligned to best fit the shape of the available land. The total exposed surface area has been reduced as much as possible. There is a small Surface area/Volume ratio (less exposed surface area) which minimises heat gain and heat loss as the surface- volume ratio is optimised. 2. Optimised NZEB construction: The major material palette, 'wood materials'

used have an Environment Product Declaration (EPD) and the building is designed to reduce CO₂ emissions through façade by providing insulation on walls which reduces heating and cooling loads, windows with glazed glass provided with curtains from inside. Use of renewable energy (solar powered systems for sanitary hot water). 3. Optimised material utilisation and circular value: Use of insulating materials contribute to reduction in energy loads. Optimum usage and minimal waste during production of construction materials. Use of concrete limited to structural requirements, insulation materials and false ceiling provided where necessary. 4. Extending building and component service lives: The proposal of the building complies with accessibility to sanitary installations, flooring and coverings. The components can be maintained/replaced without having to demolish the structural system. 5. Design for adaptability: The structural elements are of standard sizes and may be adapted as per future generation needs. There is also possibility of more efficient use of space if need arises. 6. Design for deconstruction: Not applicable. **Level 2: Detailed Design Construction** a) The purpose of this level is to assess the carbon emissions in terms of kg CO₂eq. of the life cycle of a building from 'cradle to grave' process. This boundary includes both the assessment of use stage greenhouse gas emissions (those directly associated with the energy used for heating, cooling and supplying electricity to a building), and 'embodied' greenhouse gas emissions (those that are indirectly the result of the construction, repair, maintenance, renovation and eventual deconstruction of a building). The calculations are made using a software tool that is pre-programmed with calculation routines from the EN 15978 standard. Hence, OneClick LCA software [oneclicklca.com] has been chosen to perform LCA for this indicator. It offers a simplified and an interactive structure for Level(s) assessments and comes with extensive built-in LCA material database. Figure 1 shows the global warming potential. The production stage (A1-A3) contributes to 77% of the emissions produced throughout its life cycle.

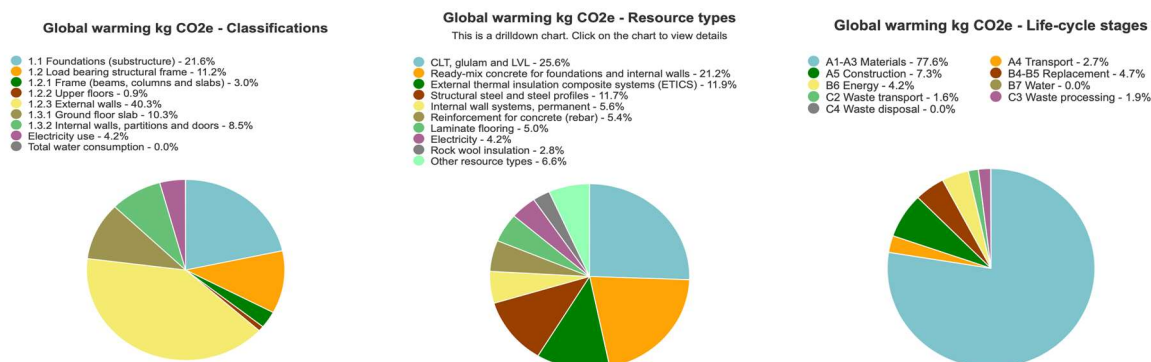


Figure 1 – Global warming potential according the life cycle stages, resource types and elements type.

3. CONCLUSIONS

The results suggest that the production stage (A1-A3) emits most kg CO₂ eq. emissions, which is in line with the inference obtained from [3]. Concerning the elements of the building, it shows that the external walls contribute to 40% of the global emissions followed by the substructure. This paper contributes to the growing body of knowledge on sustainable building design by demonstrating the practical application of the Level(s) tool in evaluating the performance of a residential building.

REFERENCES

- [1] Dhruvi Shah, (2023). Level(s) approach to analysis of sustainability in buildings - An exploratory study of level(s) framework on a residential project. Project II for the degree in Civil Engineering, IPCB.
- [2] Dodd N., Donatello S. & Cordella M., (2021). Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings, (Publication version 1.1).
- [3] Gibbons O.P., Orr J.J., Archer-Jones C., Arnold W., Green D., (2022), How to calculate embodied carbon, The Institution of Structural Engineers International, United Kingdom.

ESTUDO DE EVACUAÇÃO DE UM EDIFÍCIO FAST FOOD MULTINACIONAL EM CASTELO BRANCO

Rodencio Albino Mendes¹, Cristina Calmeiro²

¹ Instituto Politécnico de Castelo Branco. rodenciomendes@gmail.com

² Instituto Politécnico de Castelo Branco. ccalmeiro@ipcb.pt

Palavras-chave: evacuação, segurança, incêndios, Pathfinder.

**7.3 Térmica, acústica, ventilação e segurança
contra incêndios**

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

Com este trabalho pretende-se efetuar um estudo abrangente sobre evacuação de um edifício de restauração em Castelo Branco bem como a organização da gestão da segurança num contexto prático. Serão examinados os protocolos existentes, identificando áreas de vulnerabilidade, com recurso a cálculo analítico e com recurso a simulações numéricas através do software de simulação - o PathFinder. Os resultados obtidos pela aplicação dos métodos analíticos e das simulações numéricas permitiram analisar e comparar os cenários em estudo nas vertentes de variação de temperatura e evacuação dos ocupantes. O presente caso de estudo tem uma área de cerca de 330m² (área do espaço interno do restaurante).

2. MÉTODO DE CÁLCULO - PREDTECHENSKII-MILINSKII

Existem métodos analíticos que permitem obtenção do tempo de evacuação. O método de cálculo de Predtechenskii-Milinskii [1] é um dos métodos de cálculo analítico com maior aplicação. Os valores que se obtém da aplicação deste método derivam dos parâmetros de velocidade, de densidade e do fluxo sendo função da área dos corredores, da largura das portas e da distância percorrida em situação de emergência. Para o efeito considerou-se que o foco de incêndio estava localizado na Cozinha (figura 1). A cozinha localiza-se no piso 0, quando o incêndio se inicia na cozinha, a área encontra-se ocupada por apenas 20 pessoas, todas consideradas em perfeitas condições de movimento. O tempo total de evacuação (equação 1) será obtido pela soma dos tempos parciais – tempo de percurso e tempo de atravessamento dos vãos (tempo de estrangulamento), considerando que o objetivo é estimar o tempo total de evacuação para cada uma das três situações distintas de caminhos de evacuação a serem percorridos.

$$T_{TE} = \sum T_P + T_V \quad (1)$$



Figura 1 – Localização do foco de incêndio e das saídas utilizadas pelos ocupantes.

Para calcular o tempo de percurso considera-se três situações distintas de distâncias a serem percorridas até que o último ocupante abandone completamente o edifício. A primeira situação considera a saída pela porta de emergência perto da cozinha indicada como saída 1, a segunda opção pela porta lateral indicada como 2 e a outra situação, sair pela porta do restaurante, número 3. Assim, para cada situação referida anteriormente, o tempo total de evacuação vem referido no

quadro 1.

Quadro 1 – Tempo total de evacuação.

Situação	T_P (tempos parciais) (s)	T_V (tempo de atravessamento de vãos) (s)	T_{TE} – tempo total de evacuação (s)
1	2,85	36,23	39,08
2	6,11	36,23	42,34
3	10,31	36,23	46,54

3. SIMULAÇÃO PATHFINDER

O PathFinder [2, 3] considera-se uma ferramenta essencial para profissionais de segurança que precisam garantir a eficácia e segurança dos planos de evacuação, utilizando simulações pormenorizadas e precisas para tomar decisões informadas. A figura 2 apresenta o caso prático: o foco de incêndio localizado na cozinha do restaurante e os possíveis cenários da saída dos ocupantes.

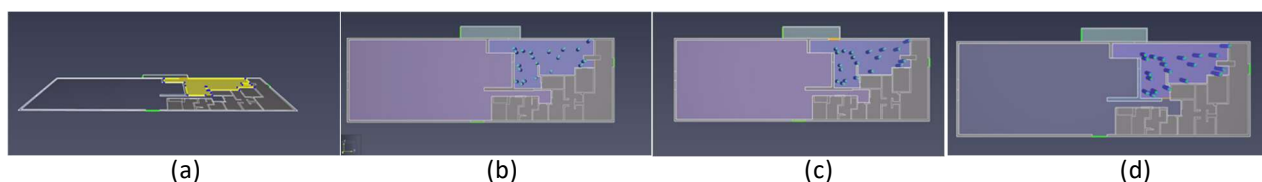


Figura 2 – Caso prático. (a) Localização do foco de incêndio. (b) Todos os ocupantes usam a saída 1, a mais perto da cozinha. (c) Todos os ocupantes usam a saída 2. (d) Todos os ocupantes usam a saída 3.

4. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

A comparação dos resultados obtidos através do método analítico Predtechenskii-Milinskii com os obtidos através do software de simulação Pathfinder apresentam-se no quadro 2.

Quadro 2 – Tempo total de evacuação.

Situação	<i>Método Predtechenskii-Milinskii</i>	<i>PathFinder</i>	diferença
	Tempo de percurso (s)	Tempo de percurso (s)	
1	39,08	21,3	17,78
2	42,34	22,0	20,34
3	46,54	35,0	11,54

Com base nos resultados deste estudo, verifica-se que as simulações realizadas com o software PathFinder registam valores menores de movimento comparativamente ao Método analítico Predtechenskii-Milinskii. Consideram-se os valores obtidos no PathFinder mais confiáveis, pois eles representam com maior precisão os percursos. Tal facto justifica-se porque o software tem um algoritmo avançado que simula de maneira mais realista os percursos dos ocupantes em determinado ambiente, considerando não apenas a distância direta entre dois pontos, mas também a disposição espacial dos obstáculos.

REFERÊNCIAS

- [1] Ono, R. (2010). The Impact of Means of Egress on High-Rise Building Design: critical analysis and improvements. 457 p.
- [2] Glasa, J., et al. (2012). Use of PyroSim for Simulation of Cinema Fire. International Journal on Recent Trends in Engineering & Technology, Vol. 7, pp. 51-56.
- [3] Pathfinder Technical Reference. USA: Thunderhead Engineering.
<https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/latest/technical-reference-manual/>.

COMPARISON BETWEEN THE FIRE SAFETY LEGISLATION OF INDIA – ITALY – ENGLAND

Nisarg Patel¹, Cristina Calmeiro²

¹ Instituto Politécnico de Castelo Branco. patelnisarg1204@gmail.com

² Instituto Politécnico de Castelo Branco. ccalmeiro@ipcb.pt

Palavras-chave: fire, safety, legislation, comparison.

**7.3 Térmica, acústica, ventilação e segurança
contra incêndios**

Apresentação em Vídeo

1. INTRODUCTION

Fire safety regulation is critical to safeguarding the protection of people and property in structures. The laws and regulations in force differ amongst countries, reflecting their respective cultural, economic, and social situations. This research analyzes fire safety regulations in India, Italy, and England, noting important similarities and variations. The fire safety legislation is a combination of laws, regulations, codes, and standards that are intended to avoid and mitigate the risks connected with fire events, assuring the protection of people and property. In India, the National Building Code [1] is critical in establishing regulations for fire prevention, life safety, and fire protection in structures. It addresses issues like as occupancy categorization, construction regulations, egress provisions, and fire protection elements. Furthermore, the Model Building Bye Laws of 2003 delegate responsibility for fire clearance to the Chief Fire Officer, highlighting the need of adherence to fire safety measures throughout construction. In Italy, fire safety rules are governed by the Fire Prevention and Control Code [2], which requires fire risk assessments, fire safety plans, and specific standards for fire safety equipment in structures. The National Fire Corps (Vigili del Fuoco) enforces these restrictions. In England, the Regulatory Reform (Fire Safety) [3] is a crucial piece of legislation that applies to all non-domestic properties and common areas of residential structures. It necessitates fire risk assessments, fire safety plans, and adherence to specified fire safety measures such as fire extinguishers, alarms, emergency lights, and escape routes. The Fire Safety Act 2021 [4] strengthens fire safety standards by establishing new provisions for multi-occupancy residential buildings. The objective of fire safety law is to create a framework that guarantees buildings have the required safeguards in place to successfully prevent, detect, and respond to fire accidents, thereby protecting lives and properties. Compliance with these regulations is critical for reducing fire hazards and improving overall safety standards in public places. Fire safety legislation refers to the rules, regulations, codes, and standards put in place to avoid and limit the hazards of fire incidents, thereby assuring the safety of people and property. These regulations specify the standards for fire prevention, fire protection, and emergency response procedures that buildings and enterprises must meet. Fire safety law often includes requirements for fire risk assessments, fire safety plans, fire detection and suppression systems, equipment maintenance, evacuation procedures, and occupant training. Compliance with fire safety rules is critical for reducing the impact of fires and protecting people and property from harm. Comparing fire safety legislation in India, Italy, and England reveals significant differences and similarities shaped by each country's legal frameworks, governance structures, and fire safety priorities.

2. COMPARISON OF FIRE SAFETY LEGISLATION

This comparison highlights the similarities and differences in fire safety legislation across these three countries, emphasizing the importance of comprehensive fire safety measures and regular enforcement to ensure occupant safety (Table 1).

Table 1 – Fire safety legislation in three countries: India – Italy – England.

Aspect	India	Italy	England
Primary Legislation	National Building Code (NBC) 2016	Codice di Prevenzione Incendi	Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005 (FSO)
	Factories Act, 1948	Ministerial Decrees (e.g., DM 3 August 2015)	Building Regulations 2010 (Part B)
	State-Specific Fire Safety Acts	Legislative Decree 81/2008	Fire and Rescue Services Act 2004
Enforcement Authority	State Fire Services	Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (National Fire Brigade)	Local Fire and Rescue Services
Enforcement Approach	Decentralized, state-specific enforcement	Centralized, national standards with specific decrees	Centralized, risk-based approach
Key Compliance Requirements	Compliance with NBC mandatory for new constructions	Fire safety certificates and regular audits	Fire risk assessments and fire safety management plans
	Fire safety audits and inspections	Detailed evacuation procedures and fire safety systems	Compliance overseen by "responsible person"
Fire Protection Systems	Required for high-rises, public buildings, industries	Mandatory installation of fire alarms, sprinklers, etc.	Mandatory detection and alarm systems
	Fire alarms, sprinklers, hydrant systems	Fire-resistant construction materials	Emergency lighting and clearly marked escape routes
Building Design and Construction	Guidelines on fire-resistant materials, fire exits	Stringent requirements for fire-resistant materials	Structural fire resistance, means of escape
Emergency Preparedness	Regular fire drills and training	Mandatory risk assessments and safety plans	Regular fire safety training and drills
Evacuation Plans	Detailed provisions for escape routes and exits	Detailed guidelines for evacuation routes	Adequate escape routes and emergency lighting
Challenges	Inconsistent enforcement across states	Managing and updating complex regulations	Ensuring all responsible persons understand their duties

The comparison the Maximum Distance to Travel demonstrates that all three countries highlight the need of shorter travel distances in higher-risk scenarios while allowing longer distances in the presence of effective fire protection equipment. Each code seeks to ensure safe evacuation during a fire by adapting travel distances to the unique conditions and risks associated with various building kinds and uses (table 2).

Table 2 – Maximum Distance to Travel.

Building Use/Category	Italy	India (NBC 2016)	ENGLAND (BS 9999)
Residential Buildings	30 meters	30 meters	30 meters
Offices	60 meters	45 meters	45 meters
Assembly Buildings	60 meters	30 meters	45 meters
Industrial Buildings	45 meters	45 meters	45 meters
Hospitals	30 meters	30 meters	30 meters
Schools	60 meters	30 meters	45 meters
Hotels	30 meters	30 meters	35 meters

3. CONCLUSION

To summarize, while each country's fire safety legislation are tailored to individual demands, the shared commitment to strong standards indicates a worldwide grasp of key fire safety principles. Continuous improvement and international collaboration in fire safety can provide better protection for building inhabitants around the world. This comparative study offers useful insights for politicians, architects, and fire safety professionals who want to raise worldwide fire safety standards and create safer built environments.

REFERÊNCIAS

- [1] National Building Code of India (2016). Bureau of Indian Standards. P 4 Fire and Life Safety, p 88.
- [2] Codice di prevenzione incendi (2021). Technical fire prevention standards. p. 357.
- [3] Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005. Londres: UK Government, p. 44.
- [4] The Fire Safety Act (2021). CHAPTER 24, p. 8.

TEMA 08

RISCOS E RESILIÊNCIA

MODELO DE AVALIAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS EXISTENTES

Luís C. F. Moreira¹, João C. G. Lanzinha², Paulo G. von Kruger³

¹ Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Universidade da Beira Interior. luis.moreira@ubi.pt

² Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Universidade da Beira Interior. jcgl@ubi.pt

³ Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo. Universidade Federal de Minas Gerais. paulovonkruger@gmail.com

Palavras-chave: risco de incêndio, segurança contra incêndios, modelo de avaliação de risco, certificação de segurança contra incêndio.

8.1 Análise e gestão de riscos

Vídeo

1. INTRODUCTION

A Segurança Contra Incêndio em edifícios é um assunto que, pela sua vasta e complexa matéria, pretende contínua atualização. Desde a criação de regulamentos, que vieram trazer exigências na fase de projeto ou de implementação de medidas autoproteção, ocorreram poucas alterações em objeto de exigências, no entanto, o fogo, o comportamento da estrutura, dos materiais e o comportamento humano é um conjunto de temas que devem estar harmonizados neste âmbito, de forma a garantir que se protegem pessoas e bens, sendo estes pilares morais da Proteção Civil. Em edifícios construídos antes da entrada em vigor destes regulamentos são identificados vários problemas ao nível da Segurança, criando, por consequência, um conjunto edificado degradado e em risco de ocorrências de incêndio [1]. A criação de um Método de Avaliação de Segurança Contra Incêndio em Edifícios Existentes vem na necessidade de confirmar e mitigar os Riscos e os Perigos que um determinado Edifício manifesta, e que os seus proprietários, utilizadores ou exploradores não têm a valência técnica para constatar, permitindo uma quantificação perceptível.

2. CONCEPÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO

2.1. Estudo de Modelos de Avaliação de Risco Existentes e Regulamentação

Realizou-se inicialmente o levantamento das exigências regulamentares portuguesas (RT-SCIE e RJ-SCIE). As caracterizações dos vários aspetos e exigências relativas ao edifício, facilitou a escolha dos critérios a ter em conta numa avaliação no âmbito da SCI.

Seguidamente estudaram-se modelos existentes de avaliação ao risco de incêndio em edifícios. Após uma análise concreta das suas funcionalidades, critérios e resultados obtidos a partir de cada um, organizou-se uma lista de critérios que cada um deles inclui e avalia. Constatou-se que todos eles teriam omissões quanto à consideração de aspetos essenciais à Segurança Contra Incêndio, outros seriam vagos e outros métodos seriam de muito difícil leitura e interpretação de resultados.

2.2. Estudo estatístico em Incêndios Urbanos

Foi necessário considerar aspetos estatísticos relativos aos incêndios urbanos, com os quais se poderiam aprimorar, posteriormente, os critérios tidos em conta no Modelo. Tendo em conta os dados fornecidos pela ANEPC, no Anuário SCIE de 2022, recolheram-se alguns critérios que se puderam ter em consideração de forma a polir os processos que fornecem resultados concretos quanto à classificação do edifício. Foram tidos em conta também um conjunto de relatórios técnicos de ocorrências reais de incêndios urbanos, desde 2021, que permitiram materializar alguns valores de importância para a avaliação, como os tempos de ocorrência e fitas de tempo, modos de operar nas ocorrências, potenciais razões das ignições e a organização dos Teatros de Operações.

2.3. Definição do Modelo de Avaliação de Risco de Incêndio

A partir de um Modelo inicial denominado EBRAFire, criado e testado anteriormente pelo autor em 2018 [1], e no qual se verificaram potenciais melhorias e reformulações, foi criado o Modelo de

Avaliação melhorado, denominado EBRAFire 2.0, que, tal como o Modelo inicial, estimula o uso simples, rápido e de fácil leitura da Avaliação da Segurança Contra Incêndios em Edifícios Existentes. Consideram-se ainda os critérios que estariam omissos e a correção de outros que estariam excessivos ou residuais em função da sua real importância num cenário de incêndio urbano.

Definiu-se um fluxograma, que fez entender as necessidades de programação da rotina de cálculo, triangulando as várias exigências e critérios, catalogados em função do seu papel num edifício em estudo. Com as bases capitulares bem definidas, foram-se pormenorizando os critérios que se pretendiam caracterizar nos edifícios. A partir dessa lista de critérios criaram-se as possibilidades de escolha múltipla, atribuindo um valor de gravidade ou de benefício, consoante o seu contributo à SCI. O Modelo de Avaliação EBRAFire 2.0 é criado em função da harmonia destas variáveis, percebendo de que forma é que estas se equilibram numa ótica de suporte à Segurança Contra Incêndio do Edifício e do seu utilizador [2]. A interface e a introdução dos dados registados em folha de campo criada, traz um conjunto de dados não vistos noutros métodos, dados estes consideravelmente importantes numa ótica de Proteção Civil, Engenharia e Arquitetura, tais como uma linha de tempo de ocorrência e evacuação, estimativa de tempos de evacuação, riscos de ocorrência de explosões de fumo e ainda a consideração de usos temporários em eventos, que alteram as utilizações de frações ou partes delas.

3. CERTIFICADO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

O Modelo de Avaliação EBRAFire 2.0 permite a emissão de um Certificado SCI [2], que avalia o edifício numa escala clara de A1 a G (de melhor para pior desempenho), formatado num documento único que reúne todos os dados essenciais ao estudo das potenciais melhorias, onde se permite ponderar cada critério e avaliar de que forma contribui para os resultados obtidos no Certificado SCI. Este documento pode ser oficial e fazer parte do dossier técnico do edifício, acompanhando outros documentos como licenças de habitação, certificados energéticos, cadernetas prediais, fichas de manutenção de equipamentos, protocolos de emergência e registo, ou integrar outros procedimentos menos técnicos, como avaliações imobiliárias, prestação de serviço a seguradoras, suporte especializado em casos judiciais, fator de decisão na compra ou venda de um imóvel e fator de decisão na reabilitação e escolha de medidas de mitigação de Risco de Incêndio numa ótica mais economizadora. O uso do Modelo numa vasta malha urbana permite também criar uma rede de informação em formato de cartas de risco, com a localização de pontos sensíveis, podendo assim gerir esses riscos numa ótica de planeamento urbano e de Proteção Civil.



Figura 1 – Certificado de Segurança Contra Incêndio de um Edifício.

REFERÊNCIAS

- [1] Silva, F.; Moreira, L.; Lanzinha, J.; Krüger, P. (2020). EBRAFire: Fire Safety Assessment and Classification of Buildings. Int. Journal of Engineering Research and Application, Vol.10, Issue 12, (Series-II), pp.57-65.
- [2] Moreira, L. (2024). Modelo de Avaliação e Certificação da Segurança Contra Incêndios em Edifícios Existentes. <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/14788> Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal.

ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF LAMINATED GLASS AGAINST EXPLOSIONS

J. Penedos¹, P. Matias², P. Hála³ and R. Sovják⁴

¹ Academia Militar, penedos.jalp@academiamilitar.pt

² Academia Militar, matias.pjsg@exercito.pt

³ Czech Technical University, petr.hala@cvut.cz

⁴ Czech Technical University, radoslav.sovjak@cvut.cz

Palavras-chave: Vidro laminado; Explosões; Tubo de choque.

Código da Área Temática: 8.2

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

O vidro laminado é amplamente utilizado em construções devido às suas propriedades estéticas e funcionais, mas a sua resistência a explosões continua a ser um tema relevante para a segurança de infraestruturas críticas. Inserida no projeto SAERFA (Sistemas de Absorção de Energia com Recurso ao Fabrico Aditivo), esta dissertação visa compreender o comportamento dinâmico do vidro laminado sob cargas explosivas através de campanhas experimentais.

2. CAMPANHA EXPERIMENTAL

Os ensaios decorreram no CCPI (Centro de Competências de Proteção de Infraestruturas), localizado na Academia Militar. O objetivo principal foi avaliar a resposta do vidro laminado sob cargas explosivas em condições controladas. Para isso, recorreu-se a um tubo de choque, capaz de gerar ondas de explosão com intensidade ajustável, como na Figura 1, que ilustra o setup experimental utilizado. O tubo de choque utilizado permite reproduzir perfis de pressão-tempo semelhantes à onda de Friedlander, garantindo uma replicação consistente dos efeitos de uma explosão real em ambiente controlado [1,2].

A primeira fase focou-se na caracterização da onda de choque através da medição da pressão e do impulso, garantindo um controlo rigoroso sobre as condições dos ensaios. Na fase seguinte, analisou-se o comportamento de amostras de vidro laminado de diferentes espessuras sob cargas explosivas. O vidro laminado foi fornecido pela Saint-Gobain e as cargas explosivas utilizadas foram compostas por PE-4A, um explosivo plástico utilizado em investigações sobre os efeitos das explosões.

Sensores de pressão e câmaras de alta velocidade registaram os efeitos da explosão nos vidros, permitindo avaliar a distribuição das deformações e os deslocamentos máximos ao longo do tempo. Como ilustrado na Figura 2, as imagens captadas ao longo dos ensaios mostram a progressão dos efeitos da explosão sobre as amostras, permitindo uma análise mais detalhada da sua resposta.

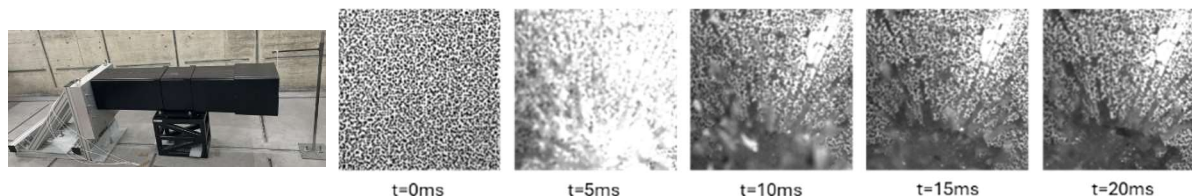


Figura 1 – Setup experimental do tubo de choque.

Figura 2 – Efeitos de uma carga de 40g num painel de vidro laminado 1010.4.

3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os ensaios revelaram uma relação direta entre a espessura do vidro laminado e o seu desempenho face a cargas explosivas. Configurações com menor espessura exibiram deslocamentos máximos

mais elevados para a mesma carga explosiva, enquanto as mais espessas apresentaram menor deformação. Como demonstrado no Gráfico 1, o deslocamento máximo aumenta proporcionalmente à carga explosiva aplicada, destacando a influência da espessura na resposta dinâmica do material.

Além disso, a análise dos diagramas de pressão-impulso permitiu estabelecer limites de resistência para as diversas configurações de vidro laminado, aprofundando o entendimento sobre o comportamento destas estruturas sob diferentes condições de carga.

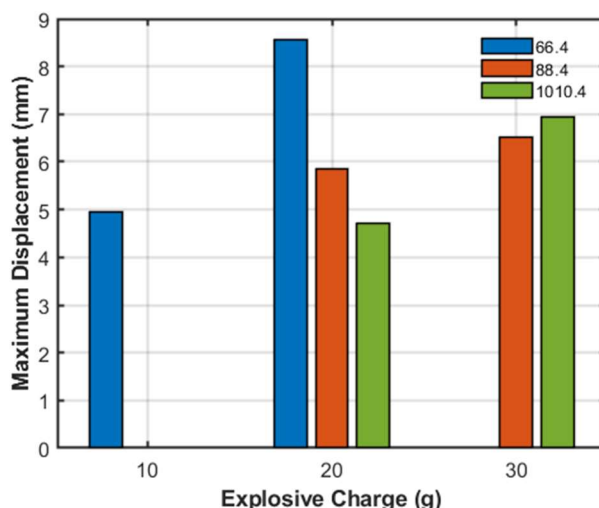


Gráfico 1 – Deslocamento máximo para cada tipo de vidro laminado e carga explosiva.

4. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que o vidro laminado, dependendo da sua espessura e composição, pode resistir melhor os efeitos de explosões, exibindo menor deslocamento e maior resistência à fragmentação. Os resultados dos ensaios experimentais revelaram-se fundamentais para compreender o comportamento do material. Estes resultados contribuem para o desenvolvimento de soluções mais seguras e adequadas na concepção de infraestruturas sujeitas a este tipo de carregamento.

REFERÊNCIAS

- [1] Ousji, H., Veyssiere, P., Mazabraud, Y., & Lambert, R. (2016). Parametric Study of an Explosive-Driven Shock Tube as Blast Loading Tool. *Experimental Techniques*, Vol.40(4), pp.1307–1325.
- [2] Wang, Y., Ma, J., Zhang, P., Ma, C., & Cai, Z. (2011). Tightly Coupled Repetitive Blast-Induced Traumatic Brain Injury: Development and Characterization in Mice. *Journal of Neurotrauma*, Vol.28(10), pp.2171–2183.

CONCRETE BEHAVIOUR AGAINST HIGH VELOCITY IMPACTS

Miguel Chambino¹, Hugo Rebelo^{2,3}

¹ CINAMIL, Academia Militar, Instituto Universitário Militar, Lisboa, Portugal. chambino.mfl@exercito.pt

² CINAMIL, Academia Militar, Instituto Universitário Militar, Lisboa, Portugal. rebelo.hmb@academiamilitar.pt

³ CERIS, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal

Keywords: high velocity, numerical modelling, impact, dynamic behaviour.

ABSTRACT

Protecting critical structures against high-velocity impacts is a growing concern in modern security and infrastructure resilience. Extreme events, such as explosions and ballistic attacks, pose significant threats, necessitating the development of advanced protective solutions [1]. This research work focuses on understanding the behavior of concrete under high-velocity impacts (>1000 m/s), specifically those induced by Explosively Formed Penetrators (EFPs). The study is part of the *Proteção de Infraestruturas Sujeitas a Ações Extremas (PrISAEx)* project, funded by the Military Academy's Research, Development, and Innovation Center (CINAMIL), aiming to enhance the design and material selection for impact-resistant structures. A multi-phase approach was employed, combining numerical modeling and experimental validation.

To initiate the research, a 2D axisymmetric numerical model was developed to simulate the formation and acceleration of the EFP. This model was crucial in predicting whether the projectile would achieve the necessary velocity before impact. Using LS-DYNA, the simulation accounted for the detonation of the explosive charge, the deformation of the metal liner into a projectile, and the subsequent acceleration process (Figure 1). By verifying that the simulated EFP could reach speeds exceeding 1000 m/s where the model in question obtained a speed of 1223 m/s, the study established a solid foundation for the subsequent experimental campaign.



Figure 1 – Schematic view of the numerical model.

Following the numerical predictions, an **experimental campaign** was conducted to analyze the real-world performance of the EFP impacting concrete blocks, the setup used can be seen in Figure 2.

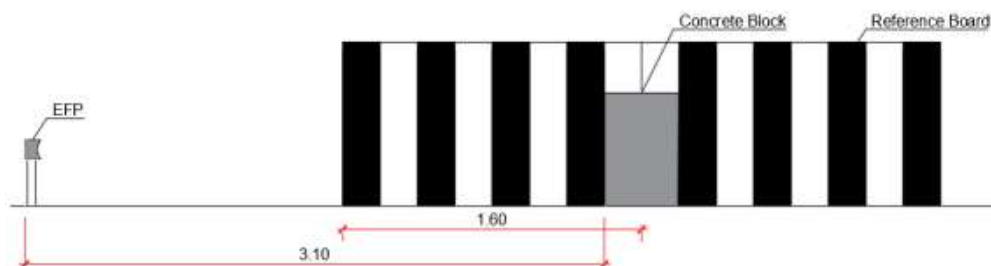


Figure 2 – Side view of the setup. (units in meters).

Two types of concrete were tested: one using basalt aggregate with a compressive strength of 54.7 MPa, and the other using limestone aggregate with a strength of 41.2 MPa. Both had similar water-cement ratios, aggregate sizes, and workability, ensuring controlled conditions for comparison. High-speed cameras were deployed to capture the precise moment of penetration,

allowing for an in-depth examination of crack formation, fragmentation patterns, and penetration depth. The experimental results provided critical validation for the numerical models, Figure 3 shows the impact of the projectile on the concrete block and the moment of scabbing and cone cracking. It was observed that basalt-based concrete blocks had, on average, 11% less penetration depth compared to limestone blocks, with fewer longitudinal cracks and less fragmentation.

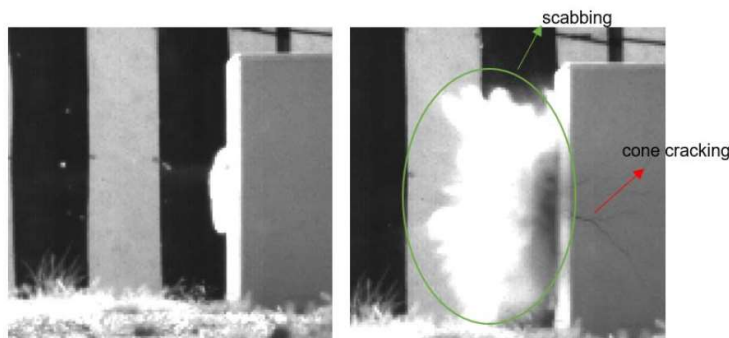


Figure 3 – Frames of the high-speed cameras with the precise moment when impact occurs.

To achieve a more detailed and realistic analysis, a **3D numerical model** was then developed. Unlike the 2D approach, the 3D model allowed for the simulation of complex stress distributions and crack propagation throughout the concrete structure (**Figure 4**). This model provided a comprehensive view of penetration dynamics, showing how concrete fractures and ejecta disperse upon impact. Additionally, it allowed researchers to study variations in projectile angle and material properties, offering valuable insights for designing protective solutions.

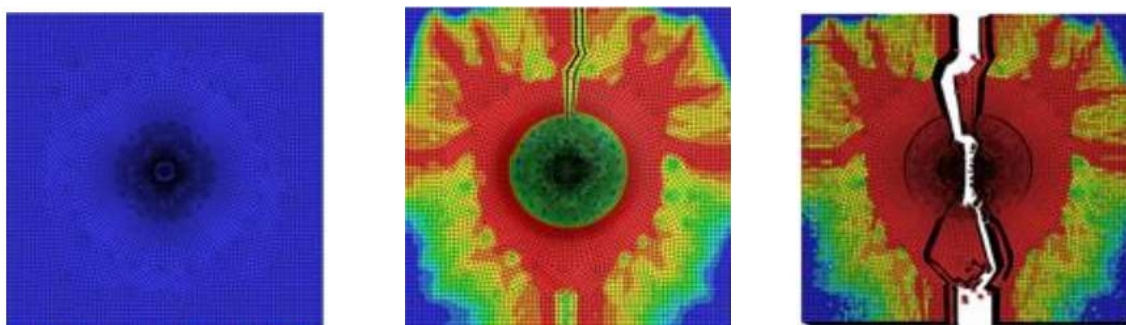


Figure 4 – Impact sequence.

The findings highlight that concrete composition plays a crucial role in impact resistance. Blocks with basalt aggregates exhibited greater resistance to penetration compared to those with limestone aggregates. This difference is attributed to the higher hardness and density of basalt, which helps dissipate impact energy more efficiently and delays crack propagation. The validated numerical models demonstrated high accuracy in predicting impact behavior, offering a robust tool for designing protective concrete structures. The findings contribute significantly to the military and civil engineering field, providing data for optimizing infrastructure protection against high-velocity impacts.

REFERENCES

- [1] B. M. Jenkins, "The New Age of Terrorism," *The McGraw-Hill Homeland Security Handbook*, pp. 117–130, 2006.

VALORES DE MERCADO DE IMÓVEIS PARA HABITAÇÃO EM PORTUGAL E ANGOLA

Danilson Chimuco¹, Sandra Pereira²

¹ Departamento das Engenharias. ECT, UTAD. danilsonchimuco19@gmail.com

² Departamento de Engenharias. ECT, UTAD, CMADE. spereira@utad.pt

Palavras-chave: Valores de Mercado, Avaliação de Imóveis, Angola, Portugal.

8. Riscos e Resiliência

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

O mercado imobiliário tem um impacto significativo na economia, movimentando diversos recursos e gerando emprego (Miranda,2020). Este estudo visa comparar os valores €/m² dos imóveis em Angola e Portugal, analisando as diferentes realidades económicas, políticas e sociais que influenciam o setor em cada país (Chaves,2015). A investigação foca-se na avaliação de fatores que determinam a flutuação dos preços, bem como nos métodos de avaliação imobiliária mais utilizados em cada contexto. A relevância deste estudo prende-se com a necessidade de compreender as dinâmicas imobiliárias de ambos os países e identificar estratégias para a melhoria da transparência e acessibilidade do mercado.

2. METODOLOGIA

O estudo baseia-se numa análise bibliográfica, com dados estatísticos provenientes dos institutos nacionais de estatística de ambos os países. Foram examinadas questões como distribuição populacional, custos dos imóveis, legislação aplicável e fatores determinantes na formação dos preços. Para um entendimento mais aprofundado do mercado, foi elaborado um questionário dirigido às imobiliárias e especialistas do setor, permitindo a obtenção de uma visão prática sobre os critérios de avaliação e de determinação de preços de imóveis (INE,2023). Além disso, foram analisados relatórios económicos que abordam a evolução histórica dos preços dos imóveis e a influência de políticas habitacionais nos diferentes contextos geográficos.

3. ESTADO DA ARTE

A avaliação imobiliária desempenha um papel crucial no setor, sendo essencial para processos de compra e venda, obtenção de financiamento, tributação e desenvolvimento urbano. Em Portugal, observa-se um mercado imobiliário diversificado, com um equilíbrio entre oferta e procura em diferentes regiões (INE,2023). Em Angola, o setor imobiliário é altamente concentrado em Luanda, onde os preços são significativamente elevados devido à escassez de habitações e ao crescimento populacional acelerado (BNA,2023).

A análise da literatura evidencia que os preços dos imóveis são influenciados por diversos fatores, tais como localização, infraestrutura, acessibilidade, políticas de crédito e crescimento demográfico (Chaves,2015). Em Portugal, a procura por imóveis tem sido impulsionada por programas como os Vistos Gold e os benefícios fiscais para residentes não habituais. Em Angola, a falta de regulamentação e a dependência da economia do setor petrolífero geram grande volatilidade nos preços dos imóveis (WBG,2023).

4. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS

Os métodos de avaliação imobiliária aplicam-se conforme o tipo de imóvel e o objetivo da avaliação (INE,2023). Entre os principais métodos utilizados, destacam-se:

Método Comparativo de Mercado: baseia-se na comparação entre imóveis similares vendidos recentemente na mesma região, sendo o mais utilizado para habitações.

Método da Renda: avalia a rentabilidade futura do imóvel, sendo amplamente usado para imóveis comerciais e de investimento.

Método do Custo de Reprodução ou Substituição: estima o custo necessário para reconstruir o

imóvel, considerando fatores de depreciação e atualização de materiais e mão de obra.

Método Evolutivo: avalia terrenos e imóveis em desenvolvimento, projetando o seu potencial de valorização futura.

Método Residual: amplamente utilizado na avaliação de terrenos urbanos, determinando o valor do imóvel com base no seu potencial de edificação e retorno financeiro esperado.

5. DIFERENÇAS E SEMELHANÇAS ENTRE OS MERCADOS IMOBILIÁRIOS DE PORTUGAL E ANGOLA

A principal diferença entre os mercados imobiliários de Portugal e Angola prende-se com a maturidade e regulação dos setores. O mercado português está mais estruturado, beneficiando de transparência, acesso facilitado a financiamento e estabilidade económica. Em Angola, a informalidade ainda domina parte do setor, dificultando a obtenção de dados fiáveis e prejudicando a previsão de tendências de preços.

Em termos de semelhanças, ambos os mercados são fortemente influenciados por fatores externos, como investimentos estrangeiros, flutuações da economia global e mudanças na legislação. Adicionalmente, em ambos os países, a localização do imóvel continua a ser o fator preponderante na determinação dos preços, com uma maior valorização nas áreas urbanas e turísticas.

A comparação entre os mercados imobiliários de Portugal e Angola evidenciou disparidades significativas, com o mercado português apresentando valores mais altos e custos por metro quadrado superiores. Em contrapartida, o mercado angolano enfrenta desafios estruturais, como a falta de avaliadores qualificados, a discrepância entre os preços dos imóveis e o poder de compra da população, além da deficiência em infraestrutura e acessibilidade. Apesar disso, o mercado imobiliário angolano mostra sinais de crescimento e desenvolvimento, o que indica um potencial promissor, desde que políticas públicas e investimentos adequados sejam aplicados para superar as barreiras existentes.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa demonstrou que, apesar das diferenças estruturais, os mercados imobiliários de Angola e Portugal partilham algumas dinâmicas semelhantes. A estabilidade económica, a disponibilidade de crédito e o nível de desenvolvimento urbano são fatores determinantes na valorização dos imóveis.

A falta de dados estatísticos confiáveis em Angola continua a ser um grande entrave para a avaliação imobiliária, destacando-se a necessidade de maior transparência e regulamentação no setor (BNA, 2023). Para futuras investigações, sugere-se aprofundar a análise sobre o impacto das políticas habitacionais, a digitalização do setor imobiliário e a influência da economia global na valorização dos imóveis. A implementação de estratégias que promovam maior acessibilidade e competitividade pode beneficiar ambos os mercados, fomentando um crescimento mais sustentável e equilibrado (EMF, 2023).

REFERÊNCIAS

- [1] Marco A.C. Miranda, *Evolução dos Preços da Habitação em Portugal: Fundamentos Económicos* (2020), p 1-24, MESTRADO ECONOMIA E ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS. U.Porto.
- [2] Zoraima P. S. Chaves, *O Investimento Imobiliário em Angola: Aspetos da Procura de Habitação em Luanda* (2015), p 7-47, Mestrado em Economia e Gestão Aplicadas. Universidade de Évora.
- [3] Instituto Nacional de Estatística (INE, 2021) - Dados sobre preços imobiliários e distribuição populacional.
- [4] Banco Nacional de Angola (BNA, 2021) - Relatórios sobre a economia e o mercado imobiliário angolano.
- [5] World Bank Group (WBG, 2021) - Relatórios sobre o impacto do financiamento imobiliário em países em desenvolvimento.
- [6] European Mortgage Federation (EMF, 2021) - Relatórios sobre a evolução dos mercados de crédito à habitação na União Europeia.

RESISTÊNCIA AO FOGO DA CONSTRUÇÃO TRADICIONAL DE VILA POUCA DE AGUIAR

João Rodrigues¹, Jorge Pinto², Cristina Reis³

¹ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, email: rodrigues-joao7@hotmail.com

² Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, email: tiago@utad.pt

³ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, email: crisreis@utad.pt

Palavras-chave: fogo, madeira, construção tradicional, Vila Pouca de Aguiar.

Código da Área Temática 8

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho está centrado no estudo da resistência ao fogo das construções tradicionais de Vila Pouca de Aguiar, em particular, no que diz respeito às estruturas de madeira. Tendo em conta que estes edifícios são antigos, têm elementos estruturais de madeira e que se encontram em zona rural, apresentam uma maior vulnerabilidade ao incêndio. Esta temática reverte-se de grande relevância e tem motivado diversos estudos [1-3]. Para o efeito, foi usado um edifício de caso de estudo (Figura 1) e diversas amostras de madeiras locais que foram ensaiadas ao fogo.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo consiste em dar um contributo na avaliação da resistência ao fogo da madeira em cenário de incêndio, estimando de forma simplificada, a sua respetiva taxa de carbonização. Além disto, também se pretende aferir a vantagem da existência da casca da árvore em cenário de incêndio. Paralelamente, também se pretende aferir a vantagem de aplicar uma pré-queima à peça de madeira antes de a aplicar em obra.

3. RESULTADOS

Os ensaios laboratoriais mostraram que as madeiras com maior densidade, como o carvalho, apresentam menor taxa de carbonização e maior resistência estrutural. A presença de casca nos provetes também mostrou um efeito protetor adicional contra a ignição rápida. A análise de um caso real de incêndio na região evidenciou a vulnerabilidade das construções e a importância de métodos de proteção passiva.

4. CONCLUSÕES

Os resultados sugerem que a escolha adequada de materiais, a aplicação de tratamentos preventivos e o uso de técnicas como a pré-queima poderão aumentar significativamente a resistência ao fogo das construções tradicionais. Além disto, a implementação de sistemas de deteção e resposta a emergências é essencial para minimizar os impactos dos incêndios. Este estudo reforça a necessidade de estratégias integradas de proteção, garantindo maior segurança para edificações históricas e comunidades vulneráveis.



Figura 1 – Edifício de caso de estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] NP EN 1995-1-2; Resistência ao fogo de materiais e elementos de construção; CT 115 - [2] EUROCÓDIGOS ESTRUTURAIS.
- [2] M. E. Silva, A. Dias e J. L. Lousada. Madeira de Pinho - Características e Utilização. Tipografia Lessa. Maia. 2013.
- [3] Filipe Silva. Construção tradicional de Vila Pouca de Aguiar. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UTAD. Vila Real. 2023.

TEMA 09

CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

DA FÁBRICA À ESTRADA: VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MEMBRANAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO EM MISTURAS BETUMINOSAS DE PAVIMENTAÇÃO

Júlio Santos¹, José Neves², Ana Pacheco³

¹ Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. julio.dos.santos@tecnico.ulisboa.pt

² CERIS, DECivil. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. jose.manuel.neves@tecnico.ulisboa.pt

³ Imperialum. apacheco@imperialum.pt

Palavras-chave: avaliação de desempenho, membrana betuminosa, mistura betuminosa, resíduo.

Código da Área Temática: 9.2

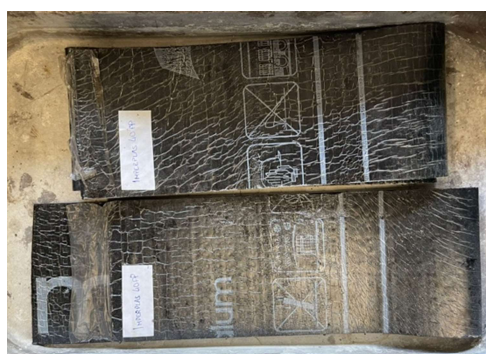
Vídeo

1. INTRODUÇÃO

O Pacto Ecológico Europeu estabelece uma estratégia para uma economia neutra em carbono, eficiente em recursos e competitiva. A agenda prioriza a redução do impacto ambiental do consumo e o aumento da circularidade dos materiais nos próximos anos, sendo a transição sustentável essencial para a nova estratégia industrial da União Europeia [1]. A gestão eficaz dos resíduos industriais é vital para a sustentabilidade, uma vez que promove os princípios da economia circular e a simbiose industrial. Neste contexto, a indústria de pavimentação tem vindo a adotar cada vez mais práticas de sustentabilidade com vista, nomeadamente, à redução do consumo de energia, de recursos não renováveis e de emissões de gases de efeito de estufa. O objetivo principal da investigação consistiu no estudo experimental em laboratório do desempenho de uma mistura betuminosa para camada de desgaste, com incorporação por via seca do resíduo proveniente do processo de fabrico de membranas de sistemas de impermeabilização. Este foi o primeiro estudo inovador realizado não só em Portugal, mas também internacionalmente sobre este tema [2].

2. METODOLOGIA

A mistura betuminosa a quente – AC 14 surf 35/50 – foi utilizada como referência neste estudo por ser a mais corrente em Portugal na construção e manutenção de pavimentos rodoviários como camada de desgaste. Para atender aos objetivos propostos, o estudo foi inteiramente realizado em laboratório onde amostras do resíduo de membranas de impermeabilização (Figura 1a) foram submetidas a um processo mecânico de trituração reduzindo-as a partículas com dimensões compatíveis com a sua posterior incorporação na mistura betuminosa por via seca (Figura 1b). A mistura betuminosa foi submetida a ensaios de caracterização do comportamento mecânico e funcional. Para além dos ensaios Marshall, sensibilidade à água (através da resistência à tração indireta), deformabilidade e fadiga em flexão de quatro pontos, e resistência à deformação permanente (ensaio de pista), foi ainda realizado o ensaio de propagação de fratura, por flexão em provete semicircular, não corrente na investigação em Portugal (Figura 2a). Na avaliação do comportamento funcional, foram realizados ensaios de medição da resistência à derrapagem (ensaio de pêndulo) e de avaliação da textura pelo método volumétrico da mancha.



a) Amostras de membrana



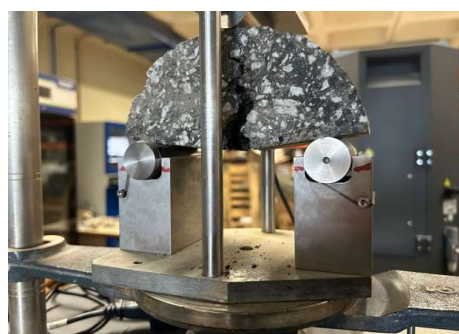
b) Partículas finais do resíduo após trituração

Figura 1 – Resíduo da membrana de impermeabilização [2].

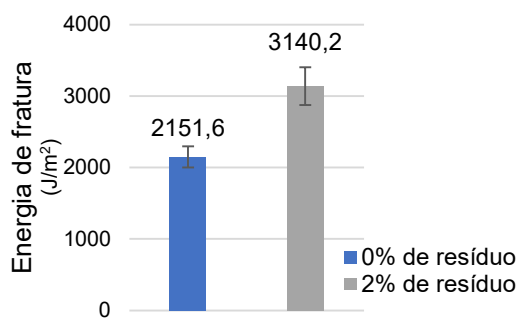
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados focou-se na comparação de comportamentos entre a mistura betuminosa de referência (0% de resíduo) e a mistura betuminosa que incorporou 2% de resíduo de membranas betuminosas de impermeabilização (2% de resíduo). De um modo geral, foi constatado um efeito positivo do resíduo, favorável ao desempenho da mistura betuminosa. Também se comprovou que o processo de adição do resíduo por via seca foi eficiente [2].

Nos ensaios de propriedades volumétricas, a incorporação do resíduo reduziu a porosidade em 11% e os vazios na mistura de agregado (VMA) em 3% comparativamente à mistura betuminosa de referência. Esses resultados confirmaram a expectativa de uma composição mais densa, mantendo-se, contudo, dentro dos limites exigidos. Para as características Marshall, na mistura betuminosa com resíduo houve um aumento de 22% na deformação e uma redução de 11% na estabilidade. A mistura betuminosa de referência demonstrou um desempenho superior na estabilidade, deformação e quociente Marshall, indiciando que a adição de resíduo provocou maior suscetibilidade à deformação. No estudo da mecânica da fratura, a mistura betuminosa com resíduo demonstrou uma capacidade de absorção de fratura superior em relação à mistura betuminosa de referência, em que a energia de fratura apresentou um valor superior, na ordem de 32%, tal como se ilustra na Figura 2b. Este efeito foi muito favorável e, provavelmente, foi consequência do efeito do betume modificado do resíduo. Em relação às características de superfície, os ensaios evidenciaram mesmo uma ligeira melhoria. Este comportamento sugere que ocorreu um aperfeiçoamento favorável da textura da superfície.



a) Provete em ensaio



b) Resultados da energia de fratura

Figura 2 – Ensaio de fratura [2].

4. CONCLUSÃO

Este estudo confirmou a viabilidade prática da incorporação de resíduos de membranas de impermeabilização em misturas betuminosas por via seca, mantendo a formulação inicial da mistura betuminosa. Através de ensaios laboratoriais, verificou-se que a inclusão deste resíduo, rico em betume modificado, contribuiu a melhoria das propriedades da mistura betuminosa. Nomeadamente, a mistura betuminosa apresentou uma maior flexibilidade na deformação, uma melhor resistência à fratura e uma maior vida à fadiga, sugerindo uma melhor durabilidade sob tensão. Estes efeitos indicam que o resíduo influenciou o comportamento da mistura betuminosa ao lhe conferir um comportamento mais flexível e resiliente, o que pode ser benéfico para o desempenho em camadas de desgaste. Também se verificou que para algumas propriedades, como a estabilidade e a resistência à deformação, houve uma redução em relação à mistura betuminosa de referência devido à maior riqueza em betume o que no futuro deve ser otimizado. Contudo, foi constatado que a mistura betuminosa com o resíduo exibiu sempre resultados dentro das especificações exigidas em Portugal.

REFERÊNCIAS

- [1] Comissão Europeia, Direção-Geral da Comunicação. (2020). Plano de Ação para a Economia Circular: para uma Europa mais limpa e competitiva. Serviço das Publicações da União Europeia. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/848855>.
- [2] Santos, J. (2024). Misturas betuminosas com resíduos de membranas de sistemas de impermeabilização. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/mec21/dissertacao/1409728525633443>.

COMPÓSITOS DE MATRIZ TERMOPLÁSTICA: ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO A TEMPERATURA ELEVADA

Mariana de Sousa Aquino da Silva Gameiro

CERIS. Instituto Superior Técnico (IST). mariana.gameiro@tecnico.ulisboa.pt

Palavras-chave: compósitos de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP), resina termoplástica, temperatura elevada, fator de conversão da temperatura

9.1. Tecnologias emergentes e materiais inovadores

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

Os compósitos de polímero reforçados com fibras de vidro (GFRP) termoendurecíveis são cada vez mais utilizados na Construção como alternativa não corrosível ao aço, destacando-se pela sua leveza e elevada resistência à tração. Porém, as dificuldades associadas ao reprocessamento e reciclagem destes materiais suscitam preocupações face à sua sustentabilidade, visto que não podem ser reprocessados após a cura, sendo geralmente incinerados ou depositados em aterro no fim de vida útil (Figura 1). Recentemente, surgiu interesse na utilização de resinas termoplásticas na produção de compósitos de GFRP para Engenharia Civil. Estes são potencialmente mais sustentáveis do que os termoendurecíveis por poderem ser reprocessados, facilitando a sua reciclagem e possibilitando a sua dobragem e soldadura [1]. Todavia, o conhecimento acerca do comportamento destes materiais é ainda muito limitado, impedindo o desenvolvimento de recomendações de dimensionamento estrutural. Além disso, sabe-se que o comportamento mecânico de FRP a temperatura elevada é um aspeto crítico no seu desempenho estrutural, sobretudo a temperaturas próximas e superiores à temperatura de transição vítrea (T_g). Embora estes aspetos estejam bem documentados para compósitos de matriz termoendurecível, ainda não existem dados disponíveis para os de matriz termoplástica.



Figura 1 – Aterro de pás de turbinas eólicas feitas de compósitos termoendurecíveis não recicláveis (Energy Industry Review (2024)).

2. OBJECTIVOS DO ESTUDO

Este estudo teve dois objetivos principais: (i) avaliar o efeito da temperatura elevada na degradação da resistência e rigidez de um laminado de GFRP produzido por infusão a vácuo com mantas de fibra de vidro orientadas a $0^\circ/\pm 45^\circ$, embebidas numa resina acrílica termoplástica ($T_g = 80.3^\circ\text{C}$) e (ii) comparar o seu desempenho com o de um laminado com a mesma arquitetura de fibras, mas produzido com uma resina termoendurecível de poliéster isoftálico insaturado (T_g de 84.9°C). Para tal, os laminados foram ensaiados à tração, flexão, corte no plano e corte interlaminar, a temperatura constante e numa gama de temperaturas de 20°C a 100°C , que incluiu a temperatura máxima de serviço dos laminados (60°C , definida de acordo com a Especificação Técnica CEN/TS 19101:2022 [2]) e temperaturas superiores às suas T_g . Por fim, a degradação das propriedades mecânicas do laminado termoplástico a temperatura elevada foi comparada com as previsões do fator de conversão da temperatura da CEN/TS 19101:2022, calibrado para compósitos termoendurecíveis, permitindo aferir a sua adequação para compósitos de matriz termoplástica.

3. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

As propriedades mecânicas dominadas pela matriz - resistência à flexão, módulo de distorção e resistência ao corte interlaminar, apresentaram reduções severas a temperaturas próximas e superiores à T_g devido ao amolecimento e aumento da viscosidade da matriz que ocorre durante o processo de transição vítrea. De forma geral, as propriedades do laminado termoplástico dominadas pela matriz apresentaram degradações superiores às do laminado termoendurecível, inclusive na gama de temperaturas de serviço. Estes resultados mostram que a resina acrílica termoplástica é mais suscetível à degradação térmica do que a resina de poliéster tipicamente utilizada na produção de compósitos GFRP. Tal como se exemplifica na Figura 2, a 60 °C, as reduções das propriedades acima referidas variaram entre 21% e 64% no laminado termoplástico, enquanto no termoendurecível essas reduções variam entre 28% e 34%. Por outro lado, as propriedades dos laminados dominadas pelas fibras, especificamente os módulos de elasticidade à tração e à flexão, apresentaram reduções máximas de 18% no laminado termoplástico, e de 24% no laminado termoendurecível.

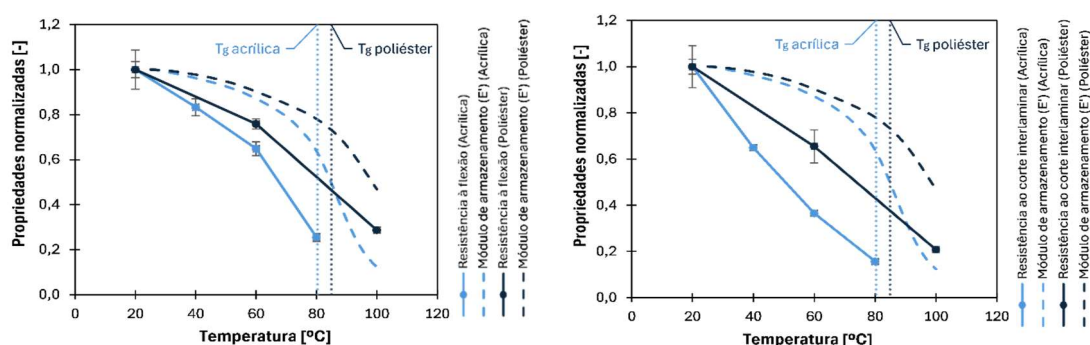


Figura 2 – Resistência à flexão (à esquerda) e resistência ao corte interlaminar (à direita) normalizadas em função da temperatura (valor médio $\pm$ desvio padrão).

Conforme se mostra na Figura 3, o fator de conversão da temperatura calibrado na CEN/TS 19101:2022 para compósitos termoendurecíveis conduziu a estimativas ligeiramente não conservativas da redução das propriedades do laminado termoplástico dominadas pelas fibras e ligeiramente conservativas para as dominadas pela matriz. Este estudo reforça a necessidade de desenvolver modelos de previsão mais fiáveis e seguros para este tipo de compósito inovador.

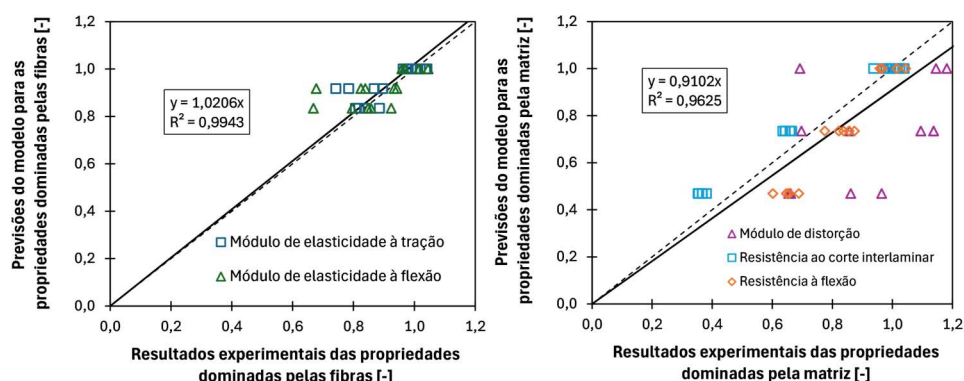


Figura 3 – Previsões do modelo do fator de conversão da CEN/TS 19101:2022 vs. resultados experimentais obtidos para o compósito termoplástico.

REFERÊNCIAS

- [1] Biron M (2018). Thermoplastics and thermoplastic composites, William Andrew Publishing.
- [2] CEN (2022). CEN/TS 19101:2022. Design of fibre-polymer composite structures. European Committee for Standardization. Brussels. Belgium.

IMPACT OF MINING WASTE INCORPORATION AS FILLER FOR *TOUT-VENANT* AS ROAD GEOMATERIAL

Maria Vitoria Morais¹, Luís Andrade Pais¹, and Victor Cavaleiro¹

¹ GeoBioTec, Department of Civil Engineering and Architecture, University of Beira Interior.

vitoria.morais@ubi.pt

Palavras-chave: mining waste, geotechnical characterization, granular subbase, circular economy.

5.1, 9.1

Vídeo

1. INTRODUCTION

Mining generates a large quantity of waste, known as tailings, not reused or recycled. Therefore, the only alternative is to send them to landfills. However, there are inert products resulting from mines classified as waste with the potential to be valuable resources [1, 2]. In addition to the environmental risks associated with the disposal of mining waste, such as soil erosion, water contamination and ecological destruction, there are also significant economic costs related to your disposal [3]. To face this challenge, methods and practices for reusing mining waste must be developed. Thus, feasible mining waste utilization as a mixture in road materials is a sustainable strategy for the construction industry [4].

2. OBJECTIVES

This research aims to incorporate granitic mining residue (without contaminants), such as filing for granular road materials, in large-grained crushed aggregate (ABGE) or *tout-venant*, using different weight percentages of waste introduction (0%, 25%, 50%, 100%), and varying the particle size of the waste (>0.063 mm, >0.400 mm). Table 1 presents the samples designation, e.g., MW25% (0.063) which corresponds to 75% *tout-venant* + 25% mining waste passed through a sieve <0.063.

Table 1 – Materials tested in this investigation.

SAMPLES	ACRONYM
100% <i>tout-venant</i>	TV100%
75% <i>tout-venant</i> + 25% mining waste passed through a sieve <0.063	MW25% (0.063)
75% <i>tout-venant</i> + 25% mining waste passed through a sieve <0.400	MW25% (0.400)
50% <i>tout-venant</i> + 50% mining waste passed through a sieve <0.063	MW50% (0.063)
50% <i>tout-venant</i> + 50% mining waste passed through a sieve <0.400	MW50% (0.400)
100% mining waste	MW100%

3. METHODOLOGY

The methodology for characterization of mining waste from Pedreira da Devesa, Guarda – João Tomé Saraiva comprises chemical composition (X-ray fluorescence, X-ray diffraction, pH and leaching) and physical identification (index, density, Atterberg limits, particle size distribution, Proctor and hydraulic conductivity), in addition to mechanical testing (expansibility, oedometer and California bearing ratio) of samples from Figure 1. All tests were based on EN ISO 17892, BS 1377 and AASHTO T193 standards.



Figure 1 – Pure materials and mixtures, from the left (TV100%) to the right (MW100%).

4. RESULTS

The results characterize the mixtures as silty or poorly graded sands (according to USCS) and classified as A-1-b and A-2-4 (following AASHTO), these mixtures have potential in geotechnical applications due to the presence of quartz, kaolinite and muscovite. In terms of granulometric composition, mixtures MW25% (0.063), MW25% (0.400) and MW50% (0.063) are recommended for sub-base, while only MW25% (0.063) meets the Atterberg limits for sub-base, being the other mixtures more suitable for landfill bodies, established by “Estradas de Portugal”.

For the oedometric, MW25% (0.063) presented the best results, and in the CBR test, only MW25% (0.063) exceeded the minimum of 20% required for sub-base, with higher values in mixtures with fines of 0.063. Mixtures with fine materials significantly reduced permeability. MW25% (0.063) is the best option for granular subbase, while the other mixtures, except MW50% (0.063), are suitable for regularization and berm filling layers.

5. CONCLUSION

In general, it can be concluded that the MW25% (0.063) mixture presented the best parameters according to the established by “Estradas de Portugal” for application in granular sub-base layers. The other mixtures, except for MW50% (0.063), can be applied in a leveling layer and filling berms. In terms of practical application, the environmental advantages of reusing granitic mining waste are emphasized, instead of giving it the traditional destination (deposition in landfills). With this, it is expected that the results can contribute to the circular economy, promoting the reuse of waste in construction, creating a balance between economic development and environmental conservation.

REFERÊNCIAS

- [1] Wurie, N., Zheng, J., & Traore, A. (2022). Mechanical, Leaching, and Microstructure Properties of Mine Waste Rock Reinforced and Stabilised with Waste Oyster Shell for Road Subgrade Use. *Materials*, Vol. 15 (2916), 21. doi: 10.3390/ma15082916.
- [2] RachidaMalaoui, Harkati, E., Soltani, M., Djellali, A., Soukeur, A., & Kechiched, R. (2023). Geotechnical Characterization of Phosphate Mining Waste Materials for Use in Pavement Construction. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, Vol. 13(1), pp.10005-10013.
- [3] Aguiar, M., Fernandes, M. S., Sant'Ana, M. K., Sagrillo, V. P., Anastácio, A. S., & Gadioli, M. B. (2024). Eco-Efficient Artificial Stones Produced Using Quartzite Quarry Waste and Vegetable Resin. *Sustainability*, Vol. 16(247), 18. doi: 10.3390/su16010247.
- [4] Marchiori, L., Albuquerque, A., & Cavaleiro, V. (2022). Granitic Mining Waste Feasibility for Liner Material Production. *Proceedings of the 7th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'22)*, pp. 1-5. doi: 10.11159/iceptp22.203.

COMPARAÇÃO DE CUSTOS DE EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES (CONSTRUÇÃO MODULAR E TRADICIONAL EM BETÃO)

Filipe Cruz¹, Carlos Oliveira², Cristina Reis³

¹ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, ffitascruz76@gmail.com

² Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo, Portugal/Prometheus, carlosoli@estg.ipv.pt

³ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal/Construct, crisreis@utad.pt

Palavras-chave: Sistemas de construção, modular, tradicional, custos.

Código da Área Temática 09

Apresentação oral

1. INTRODUCTION

A crise habitacional que atualmente se verifica em Portugal constitui um dos desafios sociais e económicos mais urgentes, sendo amplamente reconhecida por todos os setores da sociedade. Este fenómeno não é exclusivo do território nacional, mas sim uma manifestação de uma tendência mais ampla, observada em grande parte da Europa. Em termos gerais, os preços das habitações, bem como os valores das rendas, têm registado um aumento significativo que ultrapassa, de forma substancial, o crescimento médio dos rendimentos das famílias [1].

Diante dos desafios persistentes desta crise, torna-se imperativo adotar sistemas e soluções de construção inovadoras que possam transcender as limitações tradicionais do setor. Estas inovações devem ser capazes de responder à procura crescente, oferecendo maior eficiência operacional, acessibilidade económica e, simultaneamente, alinhando-se com os princípios de sustentabilidade. O objetivo deve ser não apenas mitigar os efeitos da crise habitacional, mas também criar um impacto positivo mais amplo, contribuindo para a construção de um país mais produtivo, competitivo e resiliente [2].

Neste contexto os sistemas de construção modular e/ou pré-fabricado têm ganho alguma popularidade nos últimos anos, devido ao cumprimento dos objetivos pretendidos e à capacidade de se adaptar. Estes sistemas envolvem a fabricação e a moldagem de componentes de um edifício numa fábrica e a sua montagem é feita no local de implantação. Esses componentes, também conhecidos como módulos, são projetados e pré-fabricados com precisão antes de serem transportados e instalados no local [3]. As vantagens, que os promotores e empresas construtoras, deste tipo de sistemas apresentam é a redução do tempo de execução, redução dos custos, possibilidade de reutilização dos módulos em futuros projetos, minimização de resíduos de construção e maior eficiência energética, além disso, envolve redução de recursos de produção, ou seja, a mão-de-obra [3].

2. OBJETIVOS

Analisar e comparar os custos das diferentes soluções das fundações de um edifício de habitação unifamiliar construído em sistema de construção tradicional (em betão armado) e em construção modular. De uma forma geral, os objetivos desta investigação são o estudo das características e soluções das fundações do sistema construtivo modular em painéis isotérmicos e estrutura de aço galvanizado que se apresenta como uma solução para o mercado do setor da construção, fazendo a comparação dos custos de execução das diferentes soluções das fundações do sistema de construção tradicional e modular.

3. METODOLOGIA

O método utilizado para o principal objetivo neste trabalho é proceder à comparação da diferença de custos da construção ou execução das fundações para os dois sistemas de construção. Baseado no projeto de estruturas apresentado no ato do pedido de licenciamento em sistema de construção modular em painéis isotérmicos e na execução e apresentação de um projeto de estruturas de fundações para o sistema de construção tradicional em betão armado, para o mesmo

edifício (habitação térrea unifamiliar) implantado no mesmo local. Através dos projetos de fundações dos dois sistemas construtivos serão elaborados os mapas de quantidades com todos os trabalhos discriminados em tarefas e quantificadas, seguindo-se os respetivos orçamentos com preços unitários e respetivas comparações, de custos, por tarefas e globais. Como a solução construtiva envolve todo um conjunto de etapas, descrevem-se os processos desde a execução do projeto à construção, integrando os projetos de fundações e pormenores construtivos. O desenvolvimento deste trabalho baseou-se num caso prático.



Figura 1 – Construção Modular em Estudo.

4. CONCLUSÃO

No âmbito do objetivo principal, conclui-se que valor da execução da solução das fundações do sistema de construção modular, que corresponde ao fornecimento de materiais, mão-de-obra e todos os equipamentos e trabalhos necessários para a execução dos elementos que as constituem, são geralmente mais económicos em relação ao sistema de construção tradicional em betão armado. A diferença das soluções é resultado da distribuição e do menor peso da estrutura que resulta em soluções estruturais diferentes, que podem variar de projetista para projectista (cada projetista pode idealizar a estrutura de forma diferente) e das características do solo onde o edifício é implantado. O estudo de caso no âmbito deste trabalho sustenta a diferença de custos das soluções, sendo a solução das fundações do sistema de construção modular mais económica em relação à solução da construção tradicional (quadro 1).

Quadro 1 – Mapa Comparativo Orçamentos Resumo da Construção Modular e Tradicional.

		Construção Modular	Construção Tradicional	
Art.	Descrição	Sub Total	Sub Total	Diferença
1.	TRABALHOS PREPARATÓRIOS	428,50 €	428,50 €	0,00 €
2.	MOVIMENTO DE TERRAS	746,72 €	1 144,57 €	-397,86 €
3.	PAVIMENTOS TERREOS	5 226,27 €	3 612,10 €	1 614,17 €
4.	BETÃO, BETÃO ARMADO	18 164,44 €	20 513,09 €	-2 348,66 €
5.	IMPERMEABILIZAÇÕES	397,20 €	1 136,59 €	-739,39 €
6.	PAVIMENTOS INTERIORES		5 006,41 €	-5 006,41 €
Total=		24 963,12 €	31 841,27 €	-6 878,13 €

REFERÊNCIAS

- [1] Pedro Sisa Vieira (2023). *A crise da habitação, um fenómeno europeu agravado em Portugal*. Jornal ECO.
- [2] Campos, M. Reis (2023). *Falta de mão-de-obra impõe soluções urgentes*. Jornal Publico. AICCOPN.
- [3] Almeida, J. Nogueira de (2020). *Construção modular, o único concorrente das novas impressoras de casas 3d*. ENGENHO & ARTE.

IDENTIFICAÇÃO DO PROCESSO DE CONTROLO DA PRODUÇÃO EM FÁBRICA

Danyelee Maciel Gonçalves¹, Rosário Oliveira², Cristina Reis³

¹ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. email: danyelemaciel18@gmail.com

² Instituto Superior de engenharia do Porto. email: mro@isep.ipp.pt

³ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro/ Construct. email: crisreis@utad.pt

Palavras-chave: Marcação CE, Pré-lajes, BubbleDeck.

Código da Área Temática: 09

Apresentação oral

1. INTRODUCTION

O certificado de qualidade é um documento oficial que comprova a capacidade de uma empresa em fabricar produtos ou prestar serviços em conformidade com normas e padrões estabelecidos por órgãos reguladores. Ele representa um reconhecimento formal da padronização e da eficiência dos processos internos da organização, com foco na qualidade, na segurança e na satisfação do cliente.

Empresas certificadas demonstram um forte compromisso com boas práticas desde as etapas iniciais de planeamento até a entrega final de seus produtos ou serviços. Essa certificação reflete uma cultura organizacional voltada à melhoria contínua, à inovação e à conformidade com exigências técnicas e legais, tanto em âmbito nacional quanto internacional [4].

Para conquistar esse reconhecimento, é essencial que a empresa implemente sistemas de gestão da qualidade, controles internos eficientes e padrões alinhados a normas internacionais, como a ISO 9001. Um exemplo relevante no cenário europeu é a marcação CE, que assegura que um produto atende aos requisitos legais de segurança, saúde e proteção ambiental, permitindo sua livre circulação dentro da União Europeia [5].

Nesse contexto, tecnologias construtivas inovadoras, como o sistema BubbleDeck, também se beneficiam de certificações de qualidade. O BubbleDeck é uma solução estrutural que utiliza esferas de plástico reciclado inseridas em lajes de concreto, reduzindo o peso da estrutura sem comprometer sua resistência. Esse sistema contribui para construções mais sustentáveis, econômicas e seguras características que são valorizadas por certificações internacionais. A conformidade do BubbleDeck com normas técnicas e de sustentabilidade demonstra como a inovação pode caminhar lado a lado com o controle de qualidade, promovendo avanços significativos na engenharia civil [1] [2].

2. METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo levantar, de forma detalhada, todas as etapas do processo de controlo da fabricação de pré-lajes de betão armado aligeiradas, com foco na obtenção da certificação da competência da empresa e da conformidade técnica das lajes para pavimentos. Busca-se identificar os procedimentos e os documentos necessários para a marcação CE, requisito fundamental para a comercialização do produto no mercado europeu.

O estudo foi motivado pela necessidade de garantir a certificação da qualidade na construção de uma nova fábrica. Ao mapear o processo produtivo, pretende-se assegurar a padronização, a conformidade dos produtos com as normas vigentes e o fortalecimento da competitividade da empresa por meio de uma gestão mais eficiente e alinhada com exigências internacionais [3].

2. CONCLUSÃO

Conclui-se que a tecnologia BubbleDeck se destaca pela facilidade de transporte, simplicidade construtiva e maior eficiência, permitindo a fabricação prévia de acordo com o projeto. Apesar de algumas limitações, os ensaios realizados comprovaram a sua viabilidade e as vantagens significativas para a construção civil. O estudo também reforça a importância do cumprimento das normas e da implementação de um sistema de gestão da qualidade eficaz para garantir a conformidade, a satisfação do cliente e o sucesso empresarial [3].

REFERÊNCIAS

- [1] J. C. d. C. Lopes, “Gestão da Qualidade: Decisão ou Constrangimento Estratégico,” Lisboa, 2014.
- [2] R. Longo, “Gestão da Qualidade: Evolução Histórica, Conceitos Básicos e Aplicação na Educação,” IPEA, Brasília, 1996.
- [3] D. M. Gonçalves, “IDENTIFICAÇÃO DO PROCESSO DE CONTROLO DA PRODUÇÃO EM FÁBRICA, Vila Real, 2024.
- [4] A. Marques, “Integração Normativa na Gestão da Qualidade,” em Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Aveiro, 2005.
- [5] S. V. Fraga, “A qualidade na construção civil: uma breve revisão bibliográfica do tema e a implementação da ISO 9001 em construtoras de belo horizonte,” monografia, 2011.

PROJETO DE INVESTIGAÇÃO - INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO

Daive Pinto¹, Domingos Ribas², Carlos Oliveira²

¹ OEP Centro, ESTG/IPVC, email: davidepinto@ipvc.pt

² ESTG/IPVC, dribas@estg.ipvc.pt

³ Instituto Politécnico de Viana do Castelo/ Prometheus. email: carlosoli@estg.ipvc.pt

Palavras-chave: Reabilitação, inspeção, diagnóstico.

Código da Área Temática: 09

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

A reabilitação de edifícios desempenha um papel essencial na preservação do património edificado, garantindo segurança, habitabilidade e desempenho energético adequado. O presente trabalho documenta um processo real de inspeção e diagnóstico de um edifício residencial construído em 1970. A abordagem incluiu análises estruturais, identificação de poluentes ambientais (amianto, PCB-Bifenilos Policlorados, HAP-Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos), um estudo térmico e um estudo financeiro para avaliar a viabilidade económica da reabilitação.

2. METODOLOGIA

O estudo baseia-se em fazer um levantamento detalhado das condições do edifício, considerando: uma Análise inicial onde se procedeu ao Levantamento de documentação e digitalização dos planos de construção em ambiente BIM (Modelação da Informação da Construção) como se pode observar na figura 1.

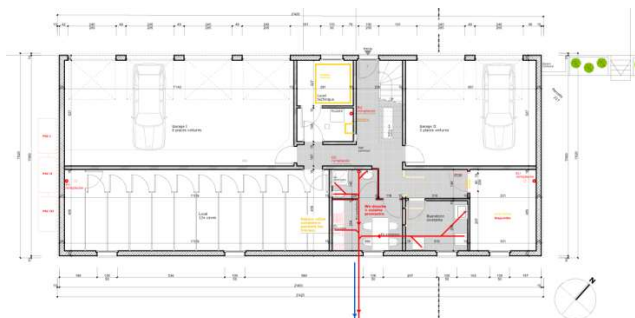


Figura 1 – Planta do rés-do-chão.

Seguindo-se ainda na análise inicial a avaliação da condição estrutural e materiais constituintes. A deteção de deficiências estruturais: verificação de falhas que possam comprometer a segurança da edificação. Identificação de patologias com recurso a um mapeamento de fissuras, humidade, degradação de materiais e outros problemas (figura 2).

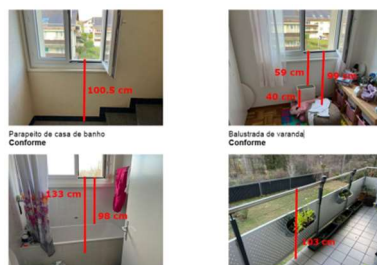


Figura 2 – Mapeamento de conformidades.

Foi feito um diagnóstico de poluentes segundo o caderno de encargos da ASCA (ASCA, 2022) nomeadamente a recolha de amostras dos materiais e análise e análise de poluentes como amianto, PCB e HAP (Figura 3).

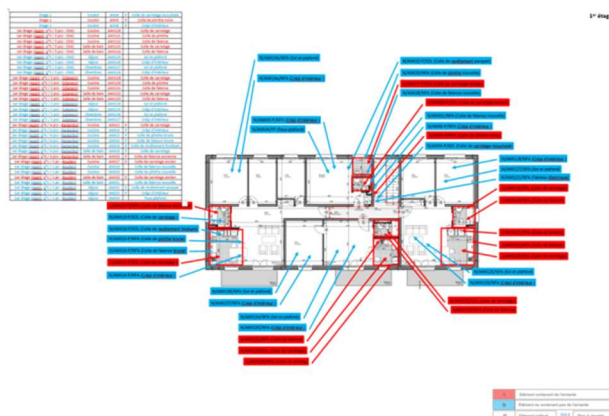


Figura 3 – Cartografia dos poluentes, vista em planta.

Fez um estudo térmico para ver avaliação do comportamento térmico da edificação (figura 4) através da análise do isolamento das fachadas, coberturas e lajes, bem como do sistema de produção e distribuição de calor.

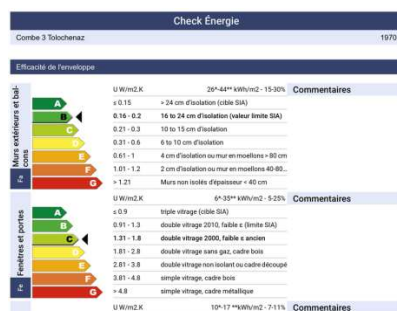


Figura 4 – Estudo térmico.

Por fim a orçamentação e estudo financeiro com uma análise detalhada dos custos da reabilitação, incluindo materiais, mão de obra e subsídios disponíveis para apoio a projetos de renovação energética (figura 5).



Figura 5 – Estudo financeiro.

3. CONCLUSÃO

A inspeção e diagnóstico de edifícios desempenham um papel crucial na reabilitação eficiente e segura de estruturas existentes. Este trabalho representa não apenas a conclusão de uma série de tarefas técnicas, mas também a materialização de um compromisso com a qualidade de vida e o bem-estar dos ocupantes, assim como com a sustentabilidade ambiental e a segurança na construção civil.

REFERÊNCIAS

[1] ASCA, 2022 – *Cahier des charges pour le diagnostic des polluants du bâtiment*. ASCA, Versão 1.5 de 14.02.2022.

TEMA 10

INOVAÇÃO E TECNOLOGIAS DIGITAIS

BIM PARA GESTÃO E DIAGNÓSTICO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) COM O USO DA TECNOLOGIA LIDAR-IPAD

André Targa¹, Diego Calvetti², Pedro Mêda²

¹ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. up202106863@up.pt

² CONSTRUCT/GEQUALTEC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. diegocalvetti@fe.up.pt

² CONSTRUCT/GEQUALTEC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. pmeda@fe.up.pt

Palavras-chave: LiDAR-iPAD; transição digital e verde; auditoria de resíduos; RCD; diagnóstico.

Código da Área Temática: 10

Apresentação oral

1. CONTEXTO E OBJETIVO

Nos últimos anos, o aumento da urbanização provocou um crescimento significativo do volume de resíduos de construção e demolição (RCD) em diversos países, suscitando preocupações prementes sobre a sustentabilidade [1]. Em resposta, as empresas enfrentam agora requisitos rigorosos relativos à gestão de informações sobre resíduos, eliminação adequada e reutilização obrigatória [2]. Este estudo visa analisar o potencial da tecnologia para melhorar a eficiência e a sustentabilidade na gestão de RCD. O objetivo é identificar os produtos de construção com maior relevância e potencial para reutilização, recuperação ou reciclagem.

2. MÉTODO E RESULTADOS

O estudo focou-se na digitalização e análise das salas e do corredor situados no Piso 2 do Bloco B da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Utilizou-se a tecnologia LiDAR integrada num iPad, em conjunto com o software Bimeo, para criar modelos digitais tridimensionais detalhados dos espaços em questão. Após a conclusão da configuração espacial, procedeu-se à identificação dos principais elementos constituintes das salas, cruciais para a auditoria de resíduos. Digitalizaram-se e registaram-se elementos como portas, janelas, luminárias, radiadores, detetores de fumo, rodapés, caixas de eletricidade e condutas de ventilação. O software permitiu efetuar anotações, medições e inserir fotografias diretamente nos modelos digitais. Os dados recolhidos foram processados para criar modelos 3D completos, ilustrados na Figura 1. Finalizado todo o processo de digitalização, o Quadro 1 foi criado com o intuito de organizar as principais informações do trabalho e possibilitar a formulação de certas conclusões. Primeiramente, é possível perceber uma diferença muito pequena entre os valores de área real e do modelo, permitindo concluir, de forma preliminar, que a tecnologia possui uma boa precisão. Posteriormente, estes foram convertidos para o formato IFC e integrados no software Revit para uma análise detalhada e documentação. A metodologia adotada possibilitou a criação de um inventário digital de materiais, bem como a identificação e quantificação de elementos críticos para auditorias de resíduos em futuros projetos de reabilitação [3].

3. CONCLUSÕES

O estudo confirmou que a tecnologia LiDAR-iPad é uma solução eficaz e acessível para o diagnóstico de resíduos em projetos de reabilitação de edifícios. A sua capacidade de gerar modelos tridimensionais precisos, aliada à interoperabilidade com plataformas digitais como o Revit, contribui significativamente para a criação de inventários detalhados de materiais. A rapidez e flexibilidade proporcionadas por esta tecnologia tornam-na uma ferramenta promissora para práticas sustentáveis alinhadas com a economia circular, fomentando a redução, reutilização e reciclagem de materiais. As conclusões deste trabalho oferecem contributos relevantes para investigadores, gestores de projetos e profissionais da construção que procuram soluções inovadoras para a gestão de resíduos. Adicionalmente, o projeto reforça a importância da integração de tecnologias digitais na engenharia civil, potenciando a eficiência e sustentabilidade do setor.

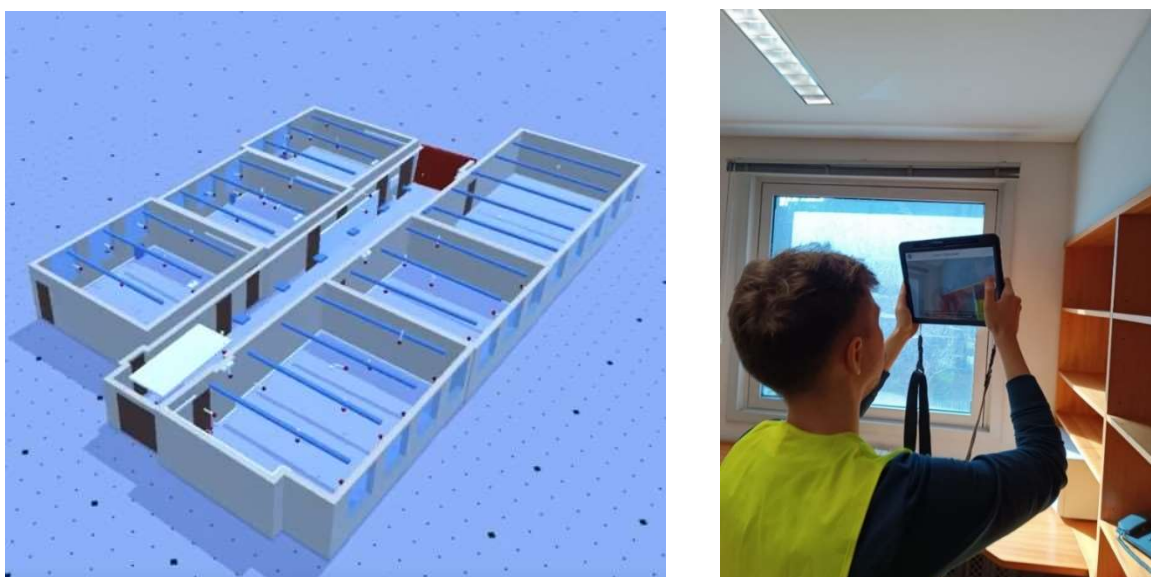


Figura 1 – Modelo completo 3D das salas e do corredor à esquerda, e coleta de dados à direita.

Quadro 1 – Resumo do processo de digitalização de todas as salas e corredor.

Divisão	Área real (m ²)	Área modelo (m ²)	Anotações	Número de elementos	Tempo aproximado de scan
B201	87.00	84.44	6	16	30:00
B202	49.00	49.23	2	12	20:00
B203	67.00	69.32	3	14	20:00
B204	54.00	52.67	5	13	15:00
B205	50.00	48.05	3	12	15:00
B206	47.00	47.88	2	11	15:00
Corredor 273	68.10	70.55	4	25	25:00

REFERÊNCIAS

- [1] Mêda, P.; Calvetti, D.; Sousa, H. Exploring the Potential of Ipad-LiDAR Technology for Building Renovation Dianosis: A Case Study.
- [2] Hu, X.; Zhou, Y.; Vanhullebusch, S.; Mestdagh, R.; Cui, Z.; Li, J. Smart building demolition and waste management frame with image-to-BIM.
- [3] European Commission: Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Oberender, A., Fruergaard Astrup, T., Frydkjær Witte, S., Camboni, M. et al., *EU construction & demolition waste management protocol including guidelines for pre-demolition and pre-renovation audits of construction works – Updated edition 2024*, Publications Office of the European Union, 2024, <https://data.europa.eu/doi/10.2873/77980>.

ROAD CLASSIFICATION USING VIBRATION DATA AND MACHINE LEARNING

Raquel Silva¹, José Neves² and Manuel Parente¹

¹ University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal.

raqueldsilva@tecnico.ulisboa.pt; map@civil.uminho.pt

² CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal.

jose.manuel.neves@tecnico.ulisboa.pt

Palavras-chave: Road classification; Vibration data; Machine Learning; Sensors.

10.2. Simulação avançada e IA

Apresentação oral

1. INTRODUCTION

The classification of road types is an essential component of transportation management, safety enhancement, and infrastructure maintenance. Manual inspections, traditionally used for road classification, are time-consuming, costly, and prone to human error [1,2]. To overcome these challenges, this research presents a methodology that leverages vibration data collected from construction trucks and machine learning algorithms to automate road classification. The proposed framework distinguishes between paved highways, other paved roads, and unpaved roads, offering a scalable and cost-effective solution. This study addresses a significant gap in existing research by demonstrating the feasibility of using vibration patterns as predictive features for road classification.

2. METHODOLOGY

To collect data, a sensor system was installed on construction trucks, integrating a Global Navigation Satellite System (GNSS) receiver for positional data and an Inertial Measurement Unit (IMU) to measure velocity, orientation, and gravitational forces. The prototype was mounted near the driver's seat, with the GNSS antenna placed externally to optimize signal strength. Trucks traveled distances between 20 and 60 kilometers across various road types, predominantly transporting bituminous mixtures. Load data was manually recorded at the start of each trip. Preprocessing steps ensured data quality by removing records with incomplete timestamps, missing load values, or anomalies.

A classification model was developed by manually labeling road types using GNSS data analyzed in *Google Earth Pro*. Roads were categorized into four groups: stationary conditions (speed below 1 m/s), paved highways, other paved roads, and unpaved roads. Examples of the labeling are demonstrated in Fig. 1. To standardize the analysis, a sliding window approach was applied, averaging data over 100-meter segments. The extracted features included average vertical acceleration, its maximum and minimum values, acceleration variability, standard deviation of vertical acceleration, speed, and cargo weight.



Figure 1 – A) Paved road: Highway, B) Paved road, C) Unpaved road.

A major challenge in this study was dataset imbalance, with unpaved roads significantly underrepresented. To address this, multiple versions of the training set were tested, including a balanced dataset created by randomly sampling equal numbers of examples from each category. This approach improved classification accuracy without causing overfitting. Three machine learning algorithms—Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), and Neural Network

(NN)—were trained and evaluated using 10-fold cross-validation repeated over 30 iterations. Separate tests assessed the impact of including or excluding speed as a feature.

3. RESULTS

The Random Forest model achieved the highest classification accuracy, with a success rate of 91.6%. The inclusion of speed significantly improved model performance, as the maximum speed for each road type is defined by law, and the model likely discovered this pattern and used it to identify the road category. However, even in datasets that excluded speed, vibration patterns alone enabled reliable classification, highlighting the robustness of the proposed methodology. Balanced datasets were particularly effective in improving the classification of unpaved roads, increasing the success rate for this minority category while maintaining overall accuracy.

The analysis of feature importance provided critical insights into the factors driving model performance. Speed emerged as the most influential predictor, followed closely by the variability of vertical acceleration, which effectively captured the irregularities characteristic of unpaved roads. Cargo weight also played a notable role, as heavier loads amplified vibration patterns and influenced road type predictions. Receiver Operating Characteristic (ROC) analysis further validated the superior performance of the Random Forest model, with its ROC curve approaching the ideal top-left corner and a high Area Under the Curve (AUC) score, reflecting strong predictive capabilities. In contrast, SVM and NN models underperformed, with ROC curves near the line of equality, suggesting limited predictive accuracy.

The results confirm that this method is highly scalable and practical for large-scale deployment. Its reliance on accessible, cost-effective sensor technology makes it viable for integration into fleet management systems, enabling real-time road classification and improved maintenance strategies.

4. CONCLUSIONS

The findings of this study highlight the feasibility of using vibration-based machine learning for road classification, offering a cost-effective and scalable alternative to traditional manual inspections. This method enables real-time data collection, reduces human subjectivity, and improves decision-making in road management. By leveraging data from vehicles already in operation, municipalities and transportation authorities can systematically monitor road conditions without deploying specialized surveying teams.

This framework can be integrated into fleet management systems, allowing construction companies, logistics operators, and public transportation agencies to classify roads as vehicles operate. Such systems provide real-time alerts on road conditions, helping authorities prioritize maintenance, detect degradation trends, and allocate resources efficiently. The model's ability to classify unpaved roads accurately also supports rural infrastructure planning, where poor monitoring leads to safety hazards and inefficiencies.

Beyond road classification, this methodology enhances pavement condition monitoring and predictive maintenance. By detecting surface irregularities such as potholes, cracks, and roughness levels, it could contribute to an AI-powered road quality index. Future work will integrate additional sensors and extend the system's application to public transportation and autonomous vehicles, improving dataset diversity and classification accuracy.

Ultimately, this study provides actionable insights for policymakers, engineers, and transportation planners, enabling data-driven infrastructure management that enhances road safety, optimizes maintenance, and reduces long-term costs. Transitioning to automated, sensor-based classification allows road monitoring to shift from reactive maintenance to a proactive, predictive approach, ensuring efficient resource allocation and improved transportation systems.

REFERÊNCIAS

- [1] Basavaraju, A., Du, J., Zhou, F., and Ji, J. (2019). A machine learning approach to road surface anomaly assessment using smartphone sensors. *IEEE Sensors Journal*, 20(5):2635– 2647.
- [2] Silva, R. D. (2023). *Machine learning for the analysis of equipment sensor data in road construction projects* (Master's thesis). Universidade de Lisboa.

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF ROAD PAVEMENTS USING NEW INSPECTION METHODS

Wesley Eusébio¹, Bertha Santos¹, Pedro Almeida¹

¹ Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Universidade da Beira Interior.

wesley.mar.eusebio@ubi.pt; berthasantos@ubi.pt; galmeida@ubi.pt

Keywords: Pavement inspection; Distresses; Pavement Condition Index (PCI).

Inovação e Tecnologias Digitais

Apresentação oral

1. INTRODUCTION AND AIM

The assessment of road pavement quality is essential to ensure the safety and efficiency of the road transport infrastructure. Traditionally, this evaluation is conducted through conventional methods such as visual inspection on foot, which can be subjective and time consuming. In recent years, new methods of pavement surface inspection, such as instrumented ground vehicles and unmanned aerial vehicles (UAVs), have been explored to enhance the accuracy and efficiency of data collection. The proposed study aims to overcome the various limitations of conventional pavement condition data acquisition and processing methods by utilizing advanced surface inspection technologies to assess pavement quality.

2. METHODOLOGY

To achieve the proposed objective, pavement surface inspections are conducted on a selected road section using an innovative and cost-effective ground vehicle equipped with imaging devices and satellite-based positioning systems (Figure 1). The collected data is subsequently processed in a laboratory environment using a Geographic Information System (GIS) and is utilized to assess pavement condition based on the Pavement Condition Index (PCI) methodology outlined in ASTM D6433-23 [1].



Figure 1 – Instrumented ground vehicle and the arrangement of equipment used in the survey.

3. CASE STUDY

The pavement condition data used in the evaluation was collected from a section of the N238 road, which consists of a flexible pavement with a single lane in each direction, located in Silvaes, Portugal. This section extends for 8 km, divided into 4 km in the Silvaes-Barroca direction and 4 km in the Barroca-Silvaes direction. The analysed section was considered a single roadway branch, subdivided into segments without taking the shoulders into account.

Table 1 – Number of sample units per section, minimum number of sample units to be inspected per section and spacing between sample units [2].

Branch	Section	Area [m2]	No. of sample units	Minimum no. of sample units to be inspected	Spacing between sample units
1	S1	11 400	38	12	3
	S2	4 800	16	9	1
	S3	7 800	26	11	2

4. RESULTS AND DISCUSSION

During the analysis, six types of pavement distresses were identified: alligator cracking, block cracking, edge cracking, longitudinal and transverse cracking, patching and utility cut patching, and weathering. Based on the analysis of the collected data, the PCI values calculated for the sample units of each section and by section are shown in Figure 2 [2]. Thus, from a global perspective, the removal of the degraded pavement is justified, followed by the replacement with new base and surface layers throughout the excerpt in sections 1 and 3, and the application of a surface sealing layer in section 2.

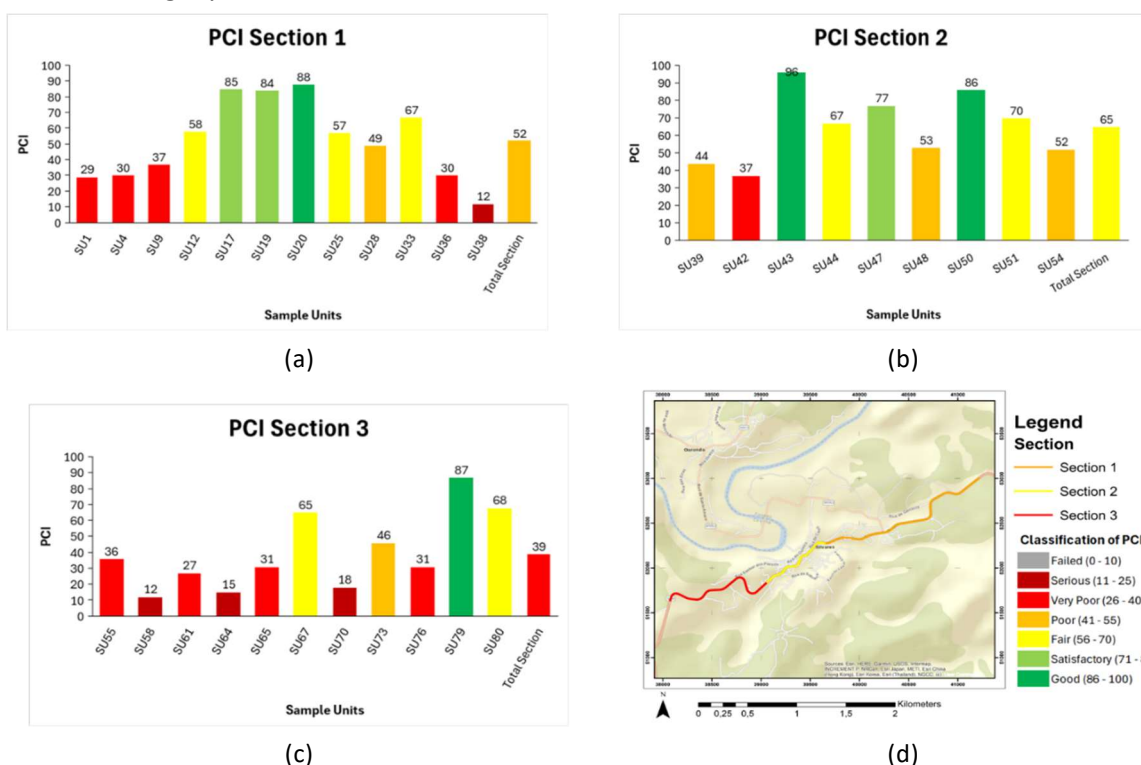


Figure 2 – PCI of sample units inspected for sections 1 (a), 2 (b), 3 (c) and final PCI section values (d).

5. CONCLUSION

With technological advancements, inspection methods have evolved to faster and more efficient approaches, including the use of instrumented ground vehicles. This method allows for the systematic and georeferenced collection of images and other data, enhancing the reproducibility and accuracy of pavement condition assessment while reducing time and operational costs. The results confirmed the feasibility of using the instrumented ground vehicle in the pavement condition assessment process considered in Pavement Management Systems.

REFERENCES

- [1] American Society for Testing and Materials. (2023). D6433-23, Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.
- [2] Eusébio, W. (2025). Avaliação da qualidade de pavimentos rodoviários com recurso a novos métodos de inspeção, Dissertação de mestrado, Universidade da Beira Interior.

MAPEAMENTO DE ANOMALIAS NA ENVOLVENTE EXTERIOR DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS COM BASE EM MODELOS TRIDIMENSIONAIS FOTOGRAMÉTRICOS

Pedro Oliveira¹, Diogo Ribeiro², Ricardo Santos³

¹ Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto. 1181766@isep.ipp.pt

² CONSTRUCT, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto. dr@isep.ipp.pt

³ CONSTRUCT, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto. rps@isep.ipp.pt

Palavras-chave: Monitorização, Reconstrução 3D, Inteligência Artificial, Ray Casting.

Código da Área Temática: 6 ou 10

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos e a sua incorporação na Engenharia Civil têm impulsionado o desenvolvimento das sociedades em termos de construção. No entanto, existem diversos edifícios não podem ser substituídos [1]. Os atuais procedimentos de inspeção de edifícios e infraestruturas caracterizam-se por serem processos morosos, difíceis de documentar e com riscos associados à segurança dos operadores. Com o avanço tecnológico, é possível realizar de inspeções mais seguras e eficientes, minimizando o trabalho e o risco para os intervenientes [2]. A aplicação de algoritmos de Inteligência Artificial (IA) na segmentação de instâncias em imagens destaca-se na identificação de anomalias. Quando combinadas com técnicas de reconstrução 3D e posterior mapeamento dos danos, estas redes tornam-se ferramentas poderosas para inspecionar ativos em zonas de difícil acesso, assegurando ainda maior precisão.

2. METODOLOGIA

A metodologia para mapeamento de anomalias compreende quatro etapas fundamentais: aquisição de dados, processamento de dados, algoritmo de identificação de danos e criação do modelo digital inspecionado, conforme ilustrado na Figura .



Figura 1 – Metodologia desenvolvida para obtenção de modelo digital inspecionado.

2.1 Aquisição de dados

A recolha de dados foi efetuada utilizando *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV's), entre os quais, o *DJI Mavic 2 Enterprise Advanced* e o *DJI Mavic 3 Multispectral* para fotogrametria e um *Leica BLK360* para a tecnologia LiDAR para a obtenção de nuvens de pontos. Os UAV's facilitaram a obtenção de imagens aéreas, enquanto a varredura terrestre capturou as fachadas. Para além disso, o *iPad Pro 11* como *Mobile Laser Scanner* (MLS), surgiu para captar pormenores em áreas específicas, melhorando a qualidade da nuvem de pontos.

2.2 Processamento de dados

Para o processamento das nuvens de pontos recorreu-se ao *Cyclone REGISTER 360* e ao *iTwinn Capture Modeler* para os dados provenientes da LiDAR e da fotogrametria, respetivamente. A

fusão dos dados processados foi realizada no *CloudCompare*, com o objetivo de obter um modelo 3D georreferenciado unificado.

2.3 Algoritmos de detecção de danos

Os algoritmos de identificação das três anomalias (corrosão, choque mecânico e acumulação de água) em painéis sandwich foram concebidos com base em dois tipos de modelos (*Detectron2* e *YOLOv8*), permitindo uma análise comparativa entre os mesmos. O processo de desenvolvimento dos algoritmos foi dividido em 3 fases (registo do *dataset*, treino e validação e teste/inferência).

2.4 Modelo digital inspecionado

Este procedimento tem como base o algoritmo *Ray Casting*, que projeta os danos segmentados das imagens 2D (através do modelo de *Detectron2*) no modelo 3D com alta precisão, considerando a posição da câmara. Com o intuito de garantir uma avaliação e um mapeamento mais eficazes, recorre-se ao DBSCAN para a divisão dos danos e posterior escolha da melhor imagem para cada anomalia. Por fim, são obtidos dados como dimensões, área e coordenadas dos danos, e os danos são coloridos conforme a classificação (tipo de dano), permitindo uma análise visual intuitiva.

3. RESULTADOS E APLICAÇÃO A ATIVO INDUSTRIAL

O estudo foi realizado em um edifício industrial (Figura) devoluto em Santo Tirso, Portugal, com 3000 m² e 16,5 m de altura, escolhido devido ao nível de degradação. O levantamento com o BLK360 seguiu um plano previamente definido com 33 estações e 19 alvos, enquanto com o DJIM3M foram capturadas 7769 imagens. A nuvem de pontos da LiDAR atingiu 0,003 m de precisão. Para a segmentação de anomalias, um modelo *Detectron2* foi treinado com 1689 imagens anotadas (56.086 anotações: 47.019 corrosão, 8662 danos, 405 água). As imagens, capturadas em 8000×6000 px, foram cortadas em 2000×2000 px, gerando 14.198 imagens de treino. Uma análise de sensibilidade permitiu otimizar as operações de *Data Augmentation* e os hiperparâmetros, resultando em precisões de 68,40% para detecção e 65,0% segmentação. Em termos quantitativos, o tempo total de processamento foi de 56 horas e resultou num total de 91 m² de corrosão e 1 m² de choques mecânicos.



Figura 2 – Aplicação da metodologia a um ativo industrial

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo propõe uma metodologia integrada para inspeção de ativos industriais, combinando Reconstrução 3D, IA e *Ray Casting* para melhorar a precisão e automação na identificação de danos. Apesar dos desafios computacionais, a abordagem demonstrou potencial para monitoramento contínuo e integração com *digital twins* (DT) para análise preditiva.

REFERÊNCIAS

- [1] Santos, R. L. dos. (2022). *Identificação de anomalias em edifícios industriais com base em técnicas de inteligência artificial e imagens obtidas com veículos aéreos não tripulados*. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.
- [2] Pantoja-Rosero, B. G., Achanta, R., & Beyer, K. (2023). Damage-augmented digital twins towards the automated inspection of buildings. *Automation in Construction*, 150, 104842. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104842>.

CONTROLO GEOMÉTRICO DE PRECISÃO NA MONTAGEM DE ESTRUTURAS METÁLICAS COM RECURSO A TECNOLOGIAS DIGITAIS

João Ventura^{a*}, Diogo Ribeiro^b, Ricardo Santos^b, Rosário Oliveira^c

^a Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto, 1181052@isep.ipp.pt

^b CONSTRUCT, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto, drr@isep.ipp.pt e rps@isep.ipp.pt

^c CIETI, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto, mro@isep.ipp.pt

Palavras-chave: LiDAR, YOLOv8, NP EN 1090-2:2020, Estruturas Metálicas.

Código da Área Temática: 10

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

A construção 4.0 impulsiona o aparecimento de metodologias inovadoras para otimizar a montagem e monitorização de estruturas metálicas [1]. O LiDAR permite criar modelos 3D *As-Is* ou *As-Built* de uma estrutura que, por sua vez, podem ser utilizados no controlo de qualidade durante a fase de montagem. A [2] estabelece tolerâncias para os desvios geométricos, essenciais à integridade estrutural. Para superar limitações dos métodos tradicionais, propõem-se a utilização de modelos 3D em nuvens de pontos e da inteligência artificial (IA) com a arquitetura YOLO para identificar, detetar e segmentar secções transversais de perfis metálicos. Esta abordagem comparativa automatiza a identificação de desvios e rotações, reduzindo o tempo de inspeção necessário em obra.

2. METODOLOGIA

2.1 Aquisição e processamento de dados

Os dados foram adquiridos por varrimento terrestre com o *laser scanner* BLK360 G1, capturando a geometria de um pavilhão industrial e resultando num modelo 3D *As-Is* em nuvem de pontos. Após a limpeza e georreferenciação, para refinamento da nuvem e correspondência com o modelo *As-Design*, extraíu-se um *wireframe* estrutural diretamente do modelo BIM, contendo coordenadas nodais e informações dos elementos. De seguida, desenvolveu-se um algoritmo para a extração das secções transversais dos elementos estruturais. Foram definidos planos de corte perpendiculares ao eixo longitudinal de cada elemento. Por fim, a geometria 3D foi projetada para 2D, gerando imagens de secções transversais, enumeradas e classificadas. O processo é elucidado na Figura .

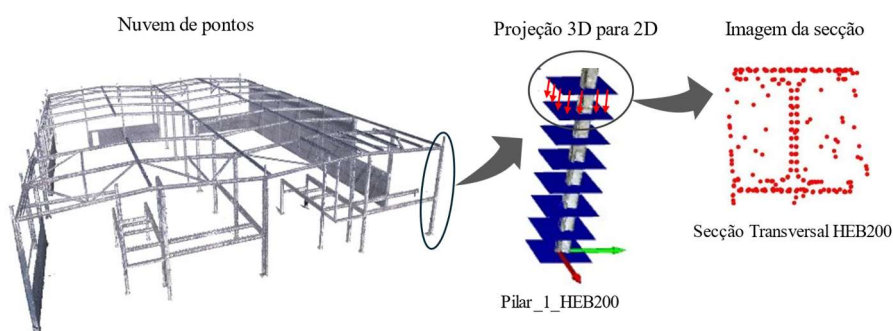


Figura 1 – Processo de aquisição de dados para alimentar a rede YOLO.

2.2 YOLOv8: deteção de secções transversais

A arquitetura YOLOv8 foi utilizada para desenvolver um modelo de deteção e segmentação de secções transversais de perfis comerciais, mitigando as imprecisões inerentes à tecnologia LiDAR e garantindo uma identificação precisa. O treino da rede utilizou um *dataset* com 10000 imagens sintéticas geradas a partir de modelos BIM, extraídas através do processo de projeção descrito na secção 2.1. Aplicaram-se técnicas de aumento de dados de forma a incrementar a robustez do modelo na identificação de imagens reais. As imagens foram organizadas e anotadas na plataforma *Roboflow*, utilizando

contornos *polyline* precisos da secção seguido do rótulo da classe da imagem. O *dataset* incluiu 100 classes de perfis metálicos IPE, HEA e HEB. A inferência do modelo gera uma máscara de segmentação, a classificação do perfil e uma caixa delimitadora horizontal (HBB). Estes dados servem como base para a avaliação dos desvios geométricos. O modelo foi validado por métricas de precisão, *recall* e mAP50-95. Após 100 épocas, o modelo apresentou um desempenho consistente, atingindo uma precisão de 94,5%, um *recall* de 95,8% e um mAP50-95 de 83,7%.

2.3 Extração e análise de desvios geométricos

A análise de desvios inicia-se com a extração das imagens das secções transversais do modelo *As-Is*, conforme descrito na secção 2.1. Em seguida, essas imagens passam pela inferência através do modelo YOLOv8, gerando três *outputs*: a máscara de segmentação, a predição da classe do perfil e uma HBB. A máscara de segmentação é sobreposta com a imagem original e, através de um algoritmo binário são eliminados os *pixels* irrelevantes e isolada a geometria do perfil. Com a imagem filtrada, é gerada uma caixa delimitadora orientada (OBB), que é comparada com a OBB correspondente do modelo *As-Design*. A Figura apresenta as diversas etapas até à obtenção da OBB. A avaliação dos desvios baseia-se na translação entre os centroides das OBBs e na diferença entre os ângulos de orientação das caixas.

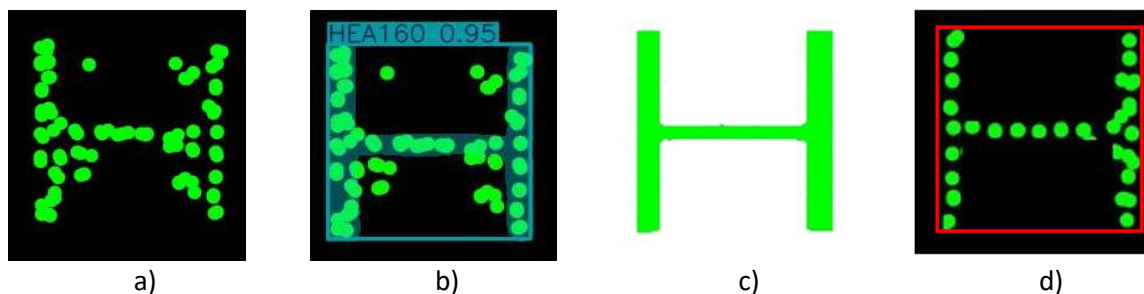


Figura 2 – Processo de extração e análise de desvios geométricos. a) Imagem real; b) predição da classe do perfil pelo modelo; c) máscara obtida pela segmentação; d) imagem filtrada com respetiva OBB.

3. CONCLUSÃO

A fase de montagem de uma estrutura metálica requer uma inspeção minuciosa. A combinação da tecnologia LiDAR com IA permitiu automatizar o controlo geométrico, tornando a monitorização mais rápida, eficiente e precisa, em conformidade com a NP EN 1090-2:2020. A utilização do YOLOv8 revelou-se uma abordagem robusta para a identificação e segmentação de secções transversais, garantindo maior precisão na deteção de desvios. Nesse contexto, este trabalho destaca-se pelo desenvolvimento de uma metodologia automática que combina projeções 2D provenientes de modelos 3D em nuvem de pontos e, com o auxílio de um modelo robusto de IA, permite identificar, classificar e segmentar perfis metálicos em imagens, de forma a detetar desvios geométricos entre o modelo executado e o idealizado. Para os desenvolvimentos futuros, sugere-se a exploração de *frameworks* de georreferenciação automática de modelos BIM, bem como a ampliação do *dataset* com novas classes de perfis metálicos. Este projeto é desenvolvido em copromoção com a empresa JF METAL no âmbito do projeto de I&D CHECK METALLIC.

REFERÊNCIAS

- [1] Oliveira, R., Ribeiro, D., Oliveira, P., & Gavina, R. (2023). Laser Scanner in Construction Quality Control of Steel Industrial Buildings. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, Vol.28(4). <https://doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-1389>.
- [2] Instituto Português da Qualidade. (2020). *Execução de estruturas de aço e de estruturas de alumínio. Parte 2: Requisitos técnicos para estruturas de aço*.

DESENVOLVIMENTO DE UMA BIBLIOTECA BIM DE LIGAÇÕES METÁLICAS

Eduardo Soares¹, Diogo Ribeiro², Rui Gavina³

¹ Instituto Superior de Engenharia do Porto, 1170075@isep.ipp.pt

² CONSTRUCT-LESE, Instituto Superior de Engenharia do Porto, dr@isep.ipp.pt

³ VN2R – Engineering Innovation Consulting, Lda, rui.gavina@vn2r.pt

Palavras-chave: BIM, estrutura metálica, ligações.

Código da Área Temática: 10

Vídeo

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção sempre foi vista como uma indústria tradicional, caracterizada por processos manuais, baixa digitalização e pouca inovação tecnológica. A dificuldade na comunicação entre os intervenientes, aliada à crescente exigência dos projetos, levou à necessidade de digitalização do setor através da adoção de novas tecnologias e metodologias, entre as quais o BIM [1]. No caso das ligações metálicas, o processo de execução torna-se mais eficiente com o recurso a modelos digitais 3D que integrem toda a informação necessária. No âmbito deste trabalho desenvolveu-se uma metodologia que permite a comunicação eficiente entre os intervenientes e a simplificação da realização de desenhos detalhados de ligações.

2. BIBLIOTECA BIM DE LIGAÇÕES METÁLICAS

As ligações estruturais permitem a transmissão de esforços entre elementos, de modo a garantir a segurança em relação a Estados Limites [2]. Em estruturas de betão armado, as ligações conferem uma certa continuidade entre elementos, no entanto, em estruturas metálicas, as ligações podem apresentar diferentes classes de rigidez com influência direta no comportamento global da estrutura. A metodologia proposta consiste na criação de uma biblioteca de modelos 3D de ligações e desenhos de pormenor, de modo a promover a interoperabilidade e simplificar o processo de comunicação entre o projeto e a execução através de uma plataforma BIM colaborativa.

3. CASO DE ESTUDO

Para demonstrar a metodologia, recorreu-se ao projeto estrutural de um pavilhão metálico (Figura 1) e definiu-se um conjunto de ligações comuns neste tipo de estrutura.

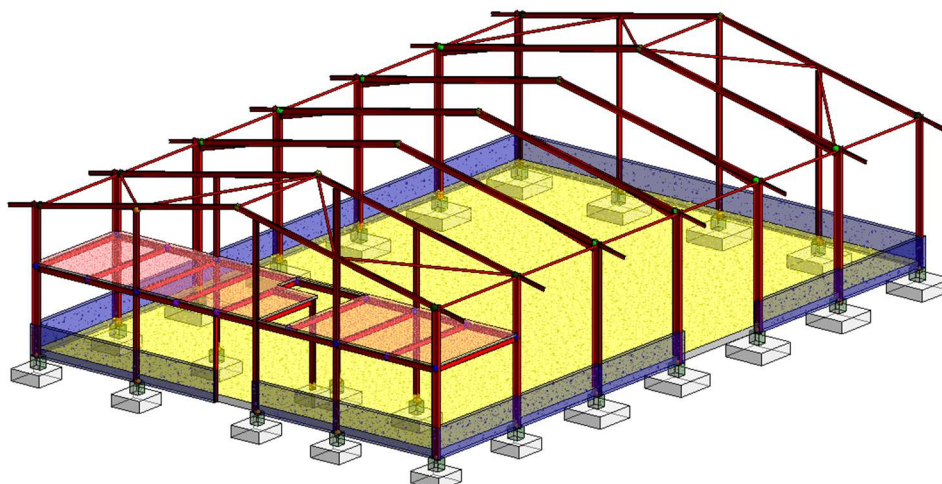


Figura 1 – Projeto de estrutura metálica de um pavilhão industrial.

No estudo das ligações identificaram-se variáveis como as dimensões de chapas, o número de parafusos, a espessura de soldadura, as folgas necessárias, e posteriormente procedeu-se à sua

modelação no *software* Autodesk Revit. Os nós da estrutura foram assinalados com esferas coloridas e com um código de identificação, dependendo do tipo de ligação. Para a partilha de informação utilizou-se uma plataforma de colaboração BIM, o *Trimble Connect*, onde se associou a cada nó um modelo de ligação na estrutura, e em cada modelo de ligação o URL da respetiva folha de pormenor. O processo de consulta consiste em aceder ao modelo da estrutura, carregar no nó da ligação a consultar, aceder ao seu modelo 3D, e através do objeto de informação, aceder ao URL para a folha de pormenor. Nas Figuras 2 e 3 apresenta-se um exemplo do projeto.

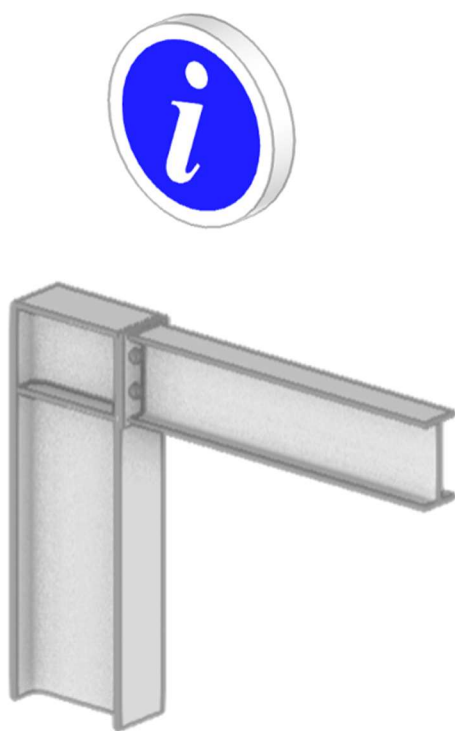


Figura 2 – Modelo da ligação viga-pilar.

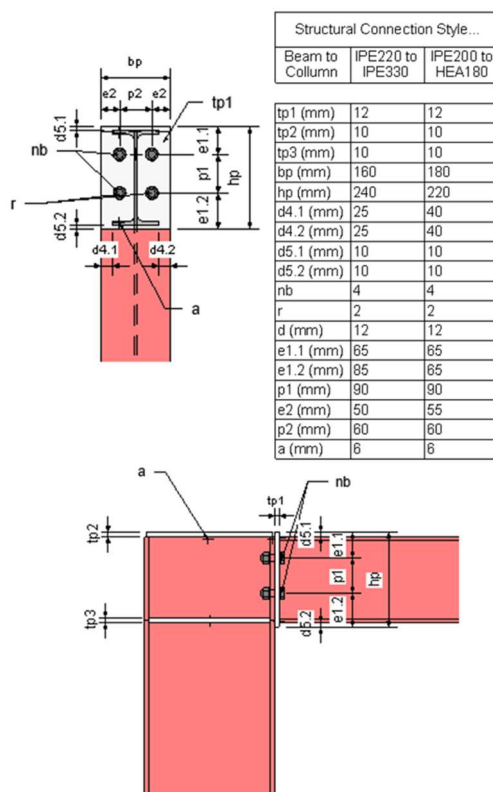


Figura 3 – Folha de pormenor da ligação viga-pilar.

É de salientar que a verificação de segurança estrutural das ligações modeladas não se enquadra no âmbito deste trabalho. Os parâmetros adotados definiram-se exclusivamente a título de exemplo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia desenvolvida para a automatização da modelação 3D de ligações metálicas apresenta várias vantagens na partilha de informação, tais como eficiência, clareza e simplicidade. É particularmente útil para ligações simples e quando a mesma ligação surge em múltiplas ocasiões, uma vez que recorre a uma estratégia paramétrica de geração de ligações. A utilização deste método ao caso de ligações mais específicas e complexas torna-se mais difícil, no entanto, pode ser adaptada com o desenvolvimento futuro de regras paramétricas mais avançadas.

REFERÊNCIAS

- [1] Almeida, M. (2015). Análise da Interoperabilidade Aplicada ao Projeto BIM de Estruturas Metálicas. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- [2] Leandro, P., Batista, A., Vieira, G. D., Henrique, P., Neiva, G., & Prazeres, P. (2018). Estudo Comparativo Entre Ligações Parafusadas e Soldadas em Estruturas Metálicas. Comunicação por convite. X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, Brasil, 9 a 11 de maio.

METODOLOGIA BIM APLICADA A INSPEÇÕES

Francisco Andrade¹, Diogo Ribeiro²

¹ IBUILT, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto. frsae@isep.ipp.pt

² CONSTRUCT, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto. drd@isep.ipp.pt

Palavras-chave: Inspeção estrutural, Building Information Modeling (BIM), Laser Scanning.

Código da Área Temática: 10

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

A inspeção é essencial na reabilitação de edifícios, porque contribui para garantir a conformidade e segurança da estrutura. No passado, este processo era manual e baseava-se em abordagens convencionais de partilha de informação, dando origem a imprecisões / erros. A tecnologia BIM centraliza toda a informação disponível num modelo digital único de representação precisa e acessível a todos os intervenientes. A sua aplicação otimiza o processo inspetivo, garantindo maior eficiência na avaliação da estrutura. Este trabalho teve como objetivo demonstrar a aplicabilidade da metodologia BIM no contexto das inspeções. O caso prático foi desenvolvido em ambiente empresarial.

2. RECOLHA DE INFORMAÇÃO AS-BUILT

A recolha de informação implica um conjunto alargado de ensaios através dos quais é obtida informação relevante que permite caracterizar a estrutura de forma detalhada e identificar possíveis anomalias. O processo inicia-se com o levantamento geométrico, realizado com o *Laser Scanning*, através do qual são concebidos modelos *as-built* [1].

O *Laser Scanning* efetua a captura de nuvens de pontos que representam com alta precisão a geometria do edifício, possibilitando a criação do respetivo modelo digital.

No presente caso de estudo, o modelo base foi disponibilizado, tendo sido recolhidas apenas informações sobre os elementos do edifício. Para isso, realizaram-se ensaios destrutivos e não destrutivos para caracterização dos materiais.

Nos ensaios não destrutivos, destaca-se o Georadar que utiliza ondas eletromagnéticas para mapear as camadas internas das estruturas (Figura 1). O seu funcionamento baseia-se na emissão e análise de pulsos eletromagnéticos que identificam variações nos materiais e localizam elementos ocultos como armaduras e fundações [2].

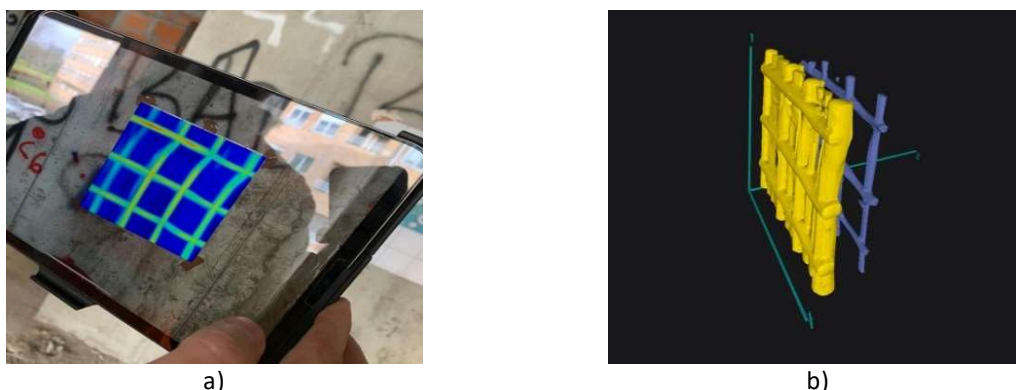


Figura 1 – Representação do esquema das armaduras com o uso do Georadar:

a) Visualização em tempo real 2D; b) Visualização na aplicação.

3. REPRESENTAÇÃO NO MODELO DIGITAL BASE

Os dados recolhidos são integrados no modelo digital de acordo com o ensaio e especificidades, associando-lhes informações detalhadas. A Figura 3 exemplifica a representação de um ensaio de carotes e as informações que caracterizam os materiais associados ao elemento.

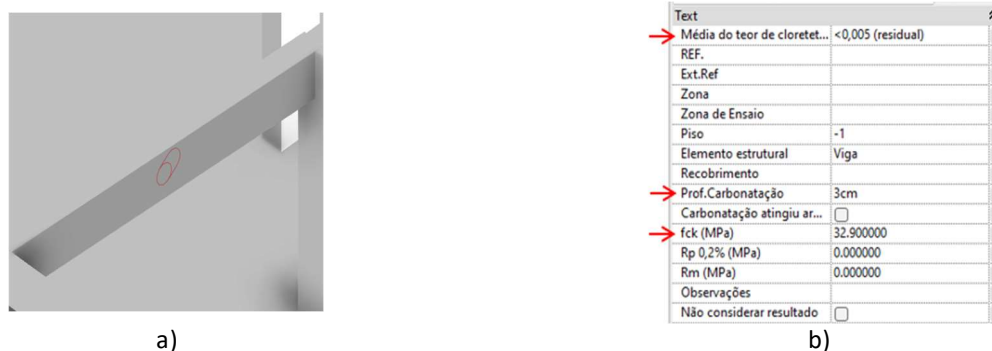


Figura 2 – Representação de um ensaio de carote;

a) Representação do ensaio no modelo 3D; b) Interface com os parâmetros associados ao ensaio.

As anomalias são representadas no modelo por objetos específicos (Figura 5). Este bloco retangular organiza as principais características das anomalias, conforme ilustra a Figura 6, incluindo identificação, descrição, estado de conservação (associado a cores) e registos fotográficos.



Figura 3 – Representação de anomalias:

a) Representação no modelo 3D; b) Interface com os parâmetros associados às anomalias.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A introdução do BIM na inspeção e diagnóstico estrutural provocou um desenvolvimento muito significativo nesta área. Para além do BIM, são utilizadas outras tecnologias de ponta (*Laser scanning*, *georadar*, ...) aplicadas na recolha, análise e documentação dos dados, resultando desta complementaridade uma informação mais precisa, o que aumenta a qualidade das avaliações. A principal vantagem do BIM é a centralização e compatibilização dos dados num único modelo digital com representação detalhada. Esta abordagem permite uma análise integrada da informação e apoio à tomada de decisões em todas as fases do processo construtivo.

A implementação desta tecnologia exige um investimento muito significativo no qual deve incluir-se também o custo relativo à capacitação de especialistas.

A abordagem integrada fortalece a área da inspeção de edifícios, garantindo maior qualidade na reabilitação, preservação e sustentabilidade do património.

REFERÊNCIAS

- [1] Pona, P. (2017). *LEVANTAMENTO EXPEDITO DE EDIFÍCIOS COM RECURSO A LASER SCANNER*. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/107183/2/211443.pdf>
- [2] Łaziński, P., Jasiński, M., Uściłowski, M., Piotrowski, D., & Ortyl, Ł. (2025). GPR in Damage Identification of Concrete Elements—A Case Study of Diagnostics in a Prestressed Bridge. *Remote Sensing*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/rs17010035>.
- [3] Andrade, F. (2023). *PROJETO INTEGRADO LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL. Metodologia BIM aplicada à inspeção*. Pp.20. <http://hdl.handle.net/10400.22/24413>.

PROGRAMA DO EVENTO

Programa

14:00	Sessão de Abertura	Sessão híbrida transmitida a partir da Sala de Mestrados da FE-UBI
14:15	1ª Conferência Especial	Sessão híbrida transmitida a partir da Sala de Mestrados da FE-UBI
14:45	Expositores Virtuais	Sessões Paralelas Sessões virtuais transmitidas por Zoom Meeting
16:15		Pausa
16:30		Sessões Paralelas Sessões virtuais transmitidas por Zoom Meeting
18:00	2ª Conferência Especial	Sessão híbrida transmitida a partir da Sala de Mestrados da FE-UBI
18:30	Sessão de Prémios	Sessão híbrida transmitida a partir da Sala de Mestrados da FE-UBI
18:50	Sessão de Encerramento	Sessão híbrida transmitida a partir da Sala de Mestrados da FE-UBI

Programa das Sessões Paralelas

Sessão 1 & 7 Materiais e Construção & Construção Sustentável
Moderação: Isabel Falorca

Hora	Título	1º Autor	Formato
14h45-14h55	Revisão bibliográfica sobre a a Inteligência artificial na construção	Cristóvão Santos	PowerPoint
14h55-15h05	Segurança na construção em tempo de COVID-19	José Arias	PowerPoint
15h05-15h15	Impressão 3D em solo-cimento	João Pegas	PowerPoint
15h15-15h25	Identificação do processo de controlo em fábrica	Danyeles Gonçalves	PowerPoint
15h25-15h35	Compósitos de matriz termoplástica: estudo do comportamento mecânico a temperatura elevada	Mariana Gameiro	PowerPoint
15h35-15h45	Comparison between the fire safety legislation of India – Italy - England	Nisarg Patel	Video
15h45-15h55	Estudo de evacuação de um edifício fast food multinacional em Castelo Branco	Rodencio Mendes	PowerPoint

Sessão 2 Mecânica Estrutural e Estruturas
Moderação: Marisa Almeida

Hora	Título	1º Autor	Formato
14h45-14h55	Caracterização de ancoragens aderentes com varões nervurados, instaladas à posteriori, sujeitos a ações cíclicas	Daniel Heleno	PowerPoint
14h55-15h05	Tubular steel truss girders with innovative SHS joints using laser cutting technology	João Damião	PowerPoint
15h05-15h15	Estudo para avaliação do desempenho de edifícios com isolamento de base do tipo apoio pendular com atrito – aplicação ao novo edifício do HFR	Hugo Santos	PowerPoint
15h15-15h20	Resistência à flexão composta de colunas mistas aço-betão	Diogo Encarnação	Poster
15h20-15h30	Análise sísmica de um edifício constituído por elementos pré-fabricados de betão	Pedro Ferreira	PowerPoint
15h30-15h40	Impacto da inclusão de paredes prefabricadas com aberturas na análise estrutural no contexto da modernização da Engenharia Civil	Gonçalo Marreneca	PowerPoint
15h40-15h50	Análise estrutural de arcos e abóbadas de alvenaria tradicional	Yash Ramnical	PowerPoint
15h50-16h00	Avaliação do comportamento estrutural de pré-lajes de betão com fibras sintéticas	Daniel Almeida	PowerPoint

Programa das Sessões Paralelas

SEC 3º SIMPÓSIO
ENGENHARIA CIVIL
2025

Sessão 3 Hidráulica e Recursos Hídricos Moderação: Susana Lucas

Hora	Título	1º Autor	Formato
14h45-14h55	Tratamento de águas residuais: uma visão geral da pesquisa através da análise bibliométrica	Paula de Sá	PowerPoint
14h55-15h05	Predicting river discharges with deep learning models	Rafael Francisco	PowerPoint
15h05-15h15	Promoting Sustainable water consumption in two university student residences	Gabriel Ohara	PowerPoint
15h15-15h18	Aplicação da metodologia vulnerabilidade e perigo nas águas subterrâneas no Estado do Espírito Santo – Brasil	Victor Lima	Video
15h18-15h21	Análise de intrusão de água do mar nas águas subterrâneas no Estado do Espírito Santo – Brasil: divulgação de resultados regionais e locais	Victor Lima	Video
15h21-15h31	Otimização de um sistema híbrido de energia com armazenamento por bombagem existente na Ilha da Madeira	Miguel Tavares	PowerPoint
15h31-15h41	Remote sensing tool for reservoir volume estimation	João Pimenta	PowerPoint

Sessão 4 Transportes, Infraestrutura e Mobilidade Moderação: Flora Silva

Hora	Título	1º Autor	Formato
14h45-14h55	Espaços Verdes do Porto no contexto da Cidade dos 15-Minutos	Maria Almeida	PowerPoint
14h55-14h58	Sistema de gerenciamento de pavimentos asfálticos urbanos: proposta de matriz de decisão de manutenção fundamentada na avaliação de patologias	Victor Schwandt	Video
14h58-15h08	Desenvolvimento e avaliação de misturas betuminosas para camadas de desgaste incorporando resíduos industriais	Hernán Ayala	PowerPoint
15h08-15h18	Application of Artificial Intelligence techniques - Machine Learning for airport pavement condition index assessment	André Studart	PowerPoint
15h18-15h28	Aplicação da metodologia BIM na monitorização de infraestruturas ferroviárias	Nuno Moreira	PowerPoint
15h28-15h38	Identificação de defeitos em veículos ferroviários de mercadorias baseada num sistema wayside e com recurso a um autoencoder	Tomás Jorge	PowerPoint
15h38-15h48	Road classification using vibration data and Machine Learning	Raquel Silva	PowerPoint
15h48-15h58	Avaliação da qualidade de pavimentos rodoviários com recurso a novos métodos de inspeção	Wesley Eusébio	PowerPoint

Programa das Sessões Paralelas

SEC 3º SIMPÓSIO
ENGENHARIA CIVIL
2025

Sessão 5 Gestão e Manutenção & Qualidade e Sustentabilidade do Ambiente Construído Moderação: Marisa Almeida

Hora	Título	1º Autor	Formato
16h30-16h33	Modelo de Avaliação e Certificação da Segurança contra Incêndios em Edifícios	Luís Moreira	Video
16h33-16h43	Analysis of the performance of laminated glass against explosions	João Penedos	PowerPoint
16h43-16h53	Metodologia de escavação sequencial na vertical (MSV)	Antony Pereira	PowerPoint
16h53-16h58	Impactos a hiper-velocidade contra betão com esferas de cerâmica	David Elias	Poster
16h58-17h08	Concrete Behaviour against High-Velocity Impacts	Miguel Chambino	PowerPoint
17h08-17h18	Valores de mercado de imóveis para habitação em Portugal e Angola	Danilson Chimuco	PowerPoint
17h18-17h28	Comparação de custos de execução de fundações (construção modular e tradicional em betão)	Filipe Cruz	PowerPoint

Sessão 6 Geotecnia & Riscos e Resiliência Moderação: Isabel Falorca

Hora	Título	1º Autor	Formato
16h30-16h40	Monitorização estrutural da cobertura do estádio de Leiria através de sensores dinâmicos de baixo custo	Isadora Estevam	PowerPoint
16h40-16h50	Energy pile-based shallow geothermal systems - application in Portugal	Diogo Venâncio	PowerPoint
16h50-17h00	Prevenção da queda de revestimentos cerâmicos em fachadas de edifícios com recurso a aprendizagem profunda e veículos aéreos não tripulados	Diogo Almeida	PowerPoint
17h00-17h10	Reabilitação de Edifícios. Inspeção e Diagnóstico	Davide Pinto	PowerPoint
17h10-17h15	Level(s) approach to analysis of sustainability in buildings – an exploratory study of level(s) framework on a residential project	Dhruvi Shah	Poster

Programa das Sessões Paralelas

SEC 3º SIMPÓSIO
ENGENHARIA CIVIL
2025

Sessão 8 Inovação e Tecnologias Digitais Moderação: Sandra Monteiro

Hora	Título	1º Autor	Formato
16h30-16h40	BIM para gestão e diagnóstico de resíduos de construção e demolição (RCD) com o uso da tecnologia LIDAR-IPAD	André Targa	PowerPoint
16h40-16h43	Desenvolvimento de uma Biblioteca BIM de ligações metálicas	Eduardo Soares	Video
16h43-16h53	Controlo geométrico de precisão na montagem de estruturas metálicas com recurso a tecnologias digitais	João Ventura	PowerPoint
16h53-17h03	Metodologia BIM aplicada a inspeções	Francisco Andrade	PowerPoint
17h03-17h13	Mapeamento de anomalias na envolvente exterior de edifícios industriais com base em modelos tridimensionais fotogramétricos	Pedro Oliveira	PowerPoint
17h13-17h18	Avaliação de desempenho de um dispositivo de flexão de barra plana em forma de U para dissipação de energia em proteção contra explosões	Tiago Ferreira	Poster

1ª CONFERÊNCIA ESPECIAL

Tema: **Novo Terminal de Cruzeiros de Lisboa. O Desafio.**

Eng.ª Marisa Ferreira (*afaconsult*)

MARISA FERREIRA

Eng.ª Marisa Ferreira tem 25 anos de experiência em Engenharia Civil, destacando-se na conceção e coordenação de estruturas complexas. Lidera a Gestão e Coordenação de Projetos na *afaconsult*. Ao longo do seu percurso participou em inúmeros projetos multidisciplinares. Em 2023, foi distinguida com o Prémio Secil de Engenharia Civil com o projeto Novo Terminal de Cruzeiros de Lisboa. Nesse ano foi ainda vencedora da categoria “Engenheiro do Ano”.



2ª CONFERÊNCIA ESPECIAL

Tema: **Emprego da Engenharia Militar Portuguesa em situações de crise e no apoio à paz - UNIFIL**

Coronel Tiago Lopes (Exército)

TIAGO LOPES

Coronel Tiago Lopes tem 33 anos de experiência em Engenharia Militar. Participou no Destacamento de Engenharia numa missão no Líbano e em três missões na Bósnia Herzegovina. Serviu 10 anos no Regimento de Bombeiros Sapadores de Lisboa. Atualmente desempenha o cargo de Comandante do Regimento de Apoio Militar de Emergência.



PRÉMIOS ATRIBUÍDOS

1.º PRÉMIO DA CATEGORIA RESUMO – LICENCIATURA

BIM PARA GESTÃO E DIAGNÓSTICO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) COM O USO DA TECNOLOGIA LIDAR-IPAD

Eng.º André Targa

2.º PRÉMIO DA CATEGORIA RESUMO – LICENCIATURA

METODOLOGIA BIM APLICADA A INSPEÇÕES

Eng.º Francisco Andrade

1.º PRÉMIO DA CATEGORIA RESUMO – MESTRADO

DA FÁBRICA À ESTRADA: VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MEMBRANAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO EM MISTURAS BETUMINOSAS DE PAVIMENTAÇÃO

Eng.º Júlio Santos

2.º PRÉMIO DA CATEGORIA RESUMO – MESTRADO

ESTUDO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE EDIFÍCIOS COM ISOLAMENTO DE BASE DO TIPO APOIO PENDULAR COM ATRITO – APLICAÇÃO AO NOVO EDIFÍCIO DO H FAR

Eng.º Hugo Santos

PREDICTING RIVER DISCHARGES WITH DEEP LEARNING MODELS

Eng.º Rafael Francisco

1.º PRÉMIO DA CATEGORIA APRESENTAÇÃO

CONTROLO GEOMÉTRICO DE PRECISÃO NA MONTAGEM DE ESTRUTURAS METÁLICAS COM RECURSO A TECNOLOGIAS DIGITAIS

Eng.º João Ventura

2.º PRÉMIO DA CATEGORIA APRESENTAÇÃO

MAPEAMENTO DE ANOMALIAS NA ENVOLVENTE EXTERIOR DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS COM BASE EM MODELOS TRIDIMENSIONAIS FOTOGRAMÉTRICOS

Eng.º Pedro Oliveira

PRÉMIO DA CATEGORIA +IMPACTO

IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS EM VEÍCULOS FERROVIÁRIOS DE MERCADORIAS BASEADA NUM SISTEMA *WAYSIDE* E COM RECURSO A UM *AUTOENCODER*

Eng.º Tomás Jorge

FOTOGRAFIAS DO EVENTO



SEI