

A IA e o BIM: "Magia" ou algoritmos?

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.21>

**Luís Jacques de Sousa¹, Alfredo Soeiro²,
João Poças Martins³**

¹ *CONSTRUCT, FEUP-DEC, 4200-465 Porto; BUILT CoLAB, 4150-003 Porto, 0000-0002-0789-9368*

² *CONSTRUCT-FEUP, Porto, 0000-0003-4784-959X*

³ *CONSTRUCT, FEUP-DEC, 4200-465 Porto; BUILT CoLAB, 4150-003 Porto, 0000-0001-9878-3792*

Resumo

O interesse no desenvolvimento e aplicação de modelos de Inteligência Artificial (IA), suportada por algoritmos (AL), na Construção tem aumentado nos últimos anos. Este campo de desenvolvimento posiciona-se como a próxima grande área de pesquisa complementando o Building Information Modelling (BIM). Os modelos BIM são repositórios de informação que podem ser estruturais para a implementação de IA no âmbito da Construção. A IA apresenta diversos tipos de algoritmos (simbolísticos, relativistas, evolutivos, baesianos e analógicos), que tratam dados ou informação estruturada através de métodos ontológicos ou outros. Este artigo aborda o uso de IA conjuntamente com ferramentas BIM e analisa e descreve aplicações e desenvolvimentos recentes destas ferramentas na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Neste artigo pretende-se usar ferramentas de IA em casos concretos de projetos.

Este trabalho apresenta vários tipos de ferramentas de IA para ilustrar a existência de um ou mais tipos de IA que sejam adequados para uma sinergia com as ferramentas BIM. Desta forma pretende-se delinear previsões para desenvolvimentos futuros, a curto prazo destas tecnologias neste contexto na FEUP.

1. Introdução

A IA tem-se tornado uma expressão frequentemente presente nos meios audiovisuais, em conferências, nos debates e nos eventos políticos e económicos. Neste artigo algumas das considerações designam a IA por AL uma vez que é com estes que a IA funciona. De facto, os termos associam-se a conceitos que não são a tradução perfeita destas ideias [1].

Por exemplo, um programa de há trinta anos que calculava as dimensões óptimas dum pórtico de betão armado plano em que os dados iniciais incluíam a posição dos nós da estrutura num referencial cartesiano, as cargas aplicadas e os deslocamentos admissíveis não era considerado IA. Era um programa de optimização de estruturas, mas no contexto atual poderá ser classificado um programa de IA. Acaba por definir sem intervenção do utilizador (artificialmente) a escolha da melhor solução (inteligência) entre muitas possíveis [1].

Estas mudanças de linguagem devem-se à influência dos meios de comunicação e ao modo como transmitem a informação. Esta vulgarização da utilização de algoritmos programados deve-se à facilidade de comunicação e de interfaces com os utilizadores e ao desenvolvimento das capacidades de armazenamento de dados e do seu tratamento. Ambas as razões estão associadas ao progresso das tecnologias digitais e ao acesso fácil à utilização nas várias atividades sociais e profissionais [2].

Alguns programas da chamada IA são conhecidos por serem grátis e de utilização fácil. O ChatGPT é um exemplo de uma aplicação baseada na arquitetura dos modelos linguísticos (LLM) que dão resposta a uma grande variedade de perguntas, simples ou complexas [3]. O ChatGPT utiliza um algoritmo de *reinforcement learning* designado de *Proximal Policy Optimization* (PPO) para emular o comportamento humano, tendo em conta uma base de dados composta por textos diversos e por interações anteriores com utilizadores [3]. É basicamente um algoritmo de optimização que minimiza o erro na resposta.

Como demonstrado na Figura 1, há outros tipos de modelos de algoritmos para além do LLM que é do tipo Simbolístico e que usa os métodos da dedução inversa ou redes neuronais como ferramenta essencial. As outras quatro famílias são os Analógicos, os Baesianos, os Evolutivos e os Relativistas [2].

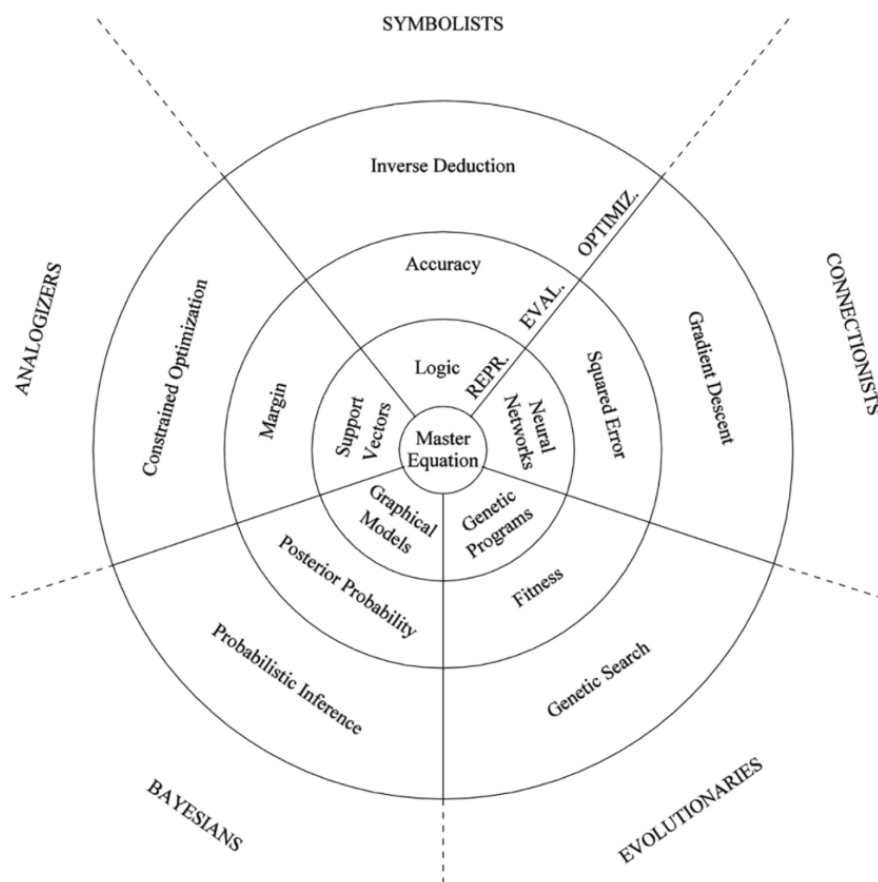


Figura 1
Diversos tipos de algoritmos de IA.
Fonte: [2].

Os algoritmos Analógicos baseiam-se na formulação duma função a otimizar e nas restrições impostas à solução e utiliza métodos de optimização. Os algoritmos Baianos são métodos probabilísticos que usam redes para determinar a melhor solução considerando as relações entre as diferentes opções. Os algoritmos Evolutivos usam os algoritmos genéticos para encontrar a melhor solução. Os algoritmos Relativistas utilizam o método do gradiente máximo para encontrar a melhor solução.

O restante artigo está organizado em três principais secções: na Secção 2 discute-se as implicações dos algoritmos de IA no futuro próximo da Construção, particularmente no que diz respeito à sua aplicação em conjunto com tecnologias BIM, Na Secção 3 realçam-se três artigos que aplicaram algoritmos de IA para optimização problemas no âmbito da Construção. Estes estudos utilizaram modelos modernos que têm por base o recurso a algoritmos de optimização e equações matemáticas existentes há vários anos para realizarem os seus cálculos e fazer as suas previsões. Por fim, na Secção 4, apresenta-se uma discussão acerca das principais implicações e caminhos de pesquisa futuros para estas aplicações no sector da Construção.

2. Potencialidades de IA para o seu aproveitamento em modelos BIM

A utilização de IA pode originar sinergias que podem levar a melhores projetos e construções. Os exemplos apresentados neste trabalho são apenas uma pequena amostra de como a combinação de técnicas de IA e de BIM pode beneficiar a construção. É importante referir que neste contexto e segundo a norma ISO 19650, o BIM é descrito como um repositório de informação federado, incluindo modelos e outras estruturas de dados. A constituição duma base de dados adequada a partir destes repositórios de dados pode levar a uma aprendizagem dos programas de IA para identificar tendências em diferentes aplicações [4].

Em termos de gestão da prevenção de acidentes, a utilização da informação disponível sobre acidentes na construção poderá levar a uma análise das medidas de prevenção mais adequadas [5]. Na verdade, os registos disponíveis podem ajudar a identificar tarefas e cenários. Depois de identificadas as medidas preventivas, as técnicas de otimização das medidas podem procurar medidas eficazes e menos dispendiosas com a utilização de algoritmos de IA. O conjunto ideal de medidas preventivas pode ser adotado para obter a combinação certa de eficácia e de custo. É importante realçar que é necessário encontrar um compromisso óptimo entre as medidas preventivas e a segurança, uma vez que os recursos humanos e materiais são limitados nesta área. A ideia de prevenir todos os acidentes com recurso a IA é insustentável [4].

Um segundo exemplo é a possibilidade de escolher os materiais adequados que sejam óptimos para a combinação de requisitos de sustentabilidade, térmicos e acústicos. Os algoritmos de IA podem fornecer informações sobre as propriedades físicas dos materiais, das técnicas e dos dados de sustentabilidade como ciclo de vida e CO₂ embebido [6].

Os algoritmos de IA continuam a necessitar do envolvimento de projetistas, construtores, dono de obra e entidades públicas para avaliar das características da solução óptima do algoritmo [7]. Os algoritmos de IA podem tentar encontrar a solução que satisfaça as restrições e os critérios de optimização [4].

Estes exemplos ilustram algumas possibilidades que podem ser exploradas através da integração de algoritmos de IA com modelos BIM, tirando partido do facto que contêm a informação necessária para pesquisar a solução óptima de acordo com os critérios e com a geometria da construção. O tipo de algoritmos a utilizar será condicionado pelos desempenhos de cada um e pela capacidade de armazenamento e de interface do programa de BIM adoptado. No seguinte capítulo, são discutidos em maior detalhe, algumas das iniciativas recentes desenvolvidas na FEUP em torno desta temática. O primeiro trabalho utiliza AL para a identificação de elementos construtivos em nuvens de pontos para importação automática para modelos BIM. O segundo utiliza estas estruturas de dados para a previsão do cumprimento de contratos de obras publicas. Finalmente, o terceiro prevê a aplicação de AL para a classificação automática de tarefas de mapas de quantidades e trabalhos.

3. Aplicação de modelos IA na Construção: casos FEUP

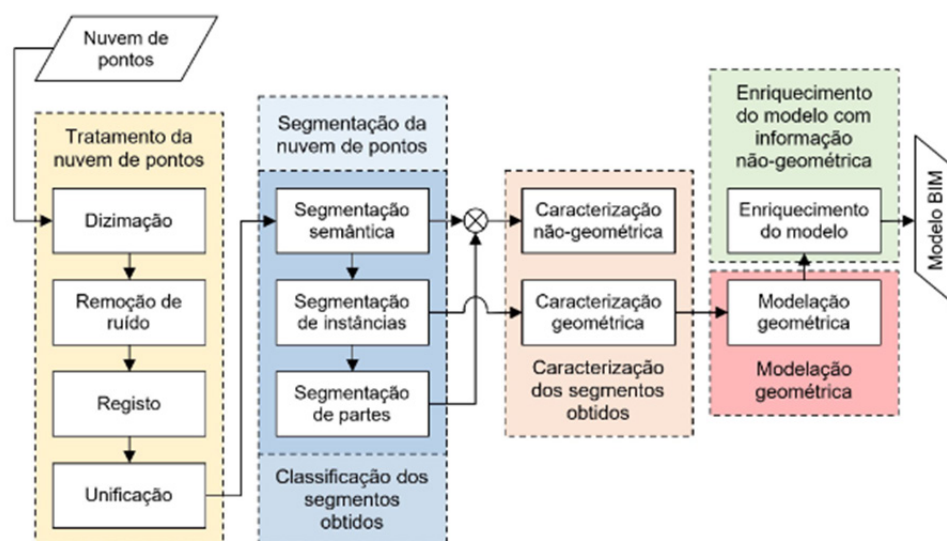
3.1. Algoritmos para automatização do processo Scan-to-BIM e análise energética

Na indústria AEC na Europa existe um impulso para o aumento da eficiência energética através da redução do consumo [8]. Dada a contribuição significativa dos edifícios no consumo global de energia, a reabilitação é crucial para estas metas. Neste prisma, o BIM tem sido frequentemente vinculado a essa pesquisa, sendo considerado uma parte essencial da solução [9].

L. Sanhudo *et. al.* propuseram uma metodologia com recurso a IA que utiliza o BIM como base de dados centralizada, armazenando todos os dados relativos a um edifício que podem depois ser analisados num software de análise energética de forma a avaliar métodos de reabilitação [10]. Assim, a tecnologia Scan-to-BIM permite obter o modelo BIM do edifício a reabilitar de forma precisa e relativamente barata. A metodologia, como visto na Figura 2, consiste em seis tarefas separadas: (1) tratamento da nuvem de pontos; (2) segmentação da nuvem de pontos tratada; (3) classificação dos segmentos como elementos construtivos; (4) caracterização dos elementos construtivos identificados; (5) modelação geométrica; e (6) enriquecimento do modelo com informações não geométricas [10].

O processo de tratamento da primeira tarefa inclui a dizimação das nuvens de pontos, a limpeza de ruído, registo e unificação das nuvens de pontos. A segunda e terceira tarefas, que decorrem em simultâneo, utilizam um algoritmo de IA de rede convolucional para efetuar as segmentações de partes, de instâncias e semântica. A quarta tarefa efetua a caracterização geométrica dos elementos construtivos recolhidos, obtendo características como: altura; comprimento; largura; centro; orientação entre outros. Esta tarefa recorre também a características não geométricas tais como classe semântica e de instância; partes constituintes; rugosidade; refletividade e cor da superfície do elemento, que podem ser usadas para identificar os materiais visíveis. As tarefas cinco e seis foram implementadas no software Autodesk Revit com Dynamo. Atualmente o modelo consegue identificar 13 tipos de elementos diferentes: tecto; estante, pilar, viga, parede, janela, sofá, mesa, cadeira, quadro, porta, pilar e ruído.

Esta metodologia foi validada em diferentes casos de estudo tendo obtido valores próximo de 87 % na precisão da segmentação semântica de elementos [10].



3.2. Algoritmo de IA para previsão de conformidade financeira em contratos públicos em Portugal

O processo de adjudicação de obras públicas em Portugal, envolve a avaliação de propostas com base em fatores econômicos, temporais e de qualidade. Estas avaliações, vinculativas contratualmente, podem impactar significativamente o desempenho da obra e são frequentemente tomadas em prazos apertados. Ferramentas de apoio à decisão com recurso a IA podem auxiliar o dono de obra na escolha do adjudicatário [11, 12]. No entanto, a complexidade e falta de padronização nos documentos de projetos de construção têm sido desafios para prever com precisão o cumprimento do orçamento [13, 14].

Alavancando-se na obrigatoriedade de reporte dos resultados de projetos públicos em Portugal, o método proposto por L. Jacques et al. utiliza um modelo de redes neurais artificiais para prever a conformidade financeira dos contratos [15-17]. Como demonstra a Figura 3, este método visa auxiliar o dono de obra na escolha dos critérios de adjudicação, através da previsão da conformidade económica do contrato com base nas características do projeto e no historial de projetos semelhantes.

Assim, o modelo utiliza uma série de características destes contratos, tais como: critério de adjudicação, preço base, prazo de submissão, prazo de execução, número de concorrentes, entre outros, como variáveis de entrada. Com recurso a uma base de dados com mais de 4700 contratos, o algoritmo foi treinado para realizar as previsões do desempenho da obra, a variável de saída, obtendo uma precisão de 68%.

Estes resultados demonstram a imprevisibilidade dos orçamentos das obras públicas pois o nível de precisão da ferramenta não é suficiente para garantir certezas quanto a conformidade do contrato. Ainda assim, pode fornecer informações valiosas sobre os critérios de adjudicação mais eficazes e realizar previsões consideravelmente

mais rápido que humanos, contribuindo para uma definição eficiente dos critérios de adjudicação.

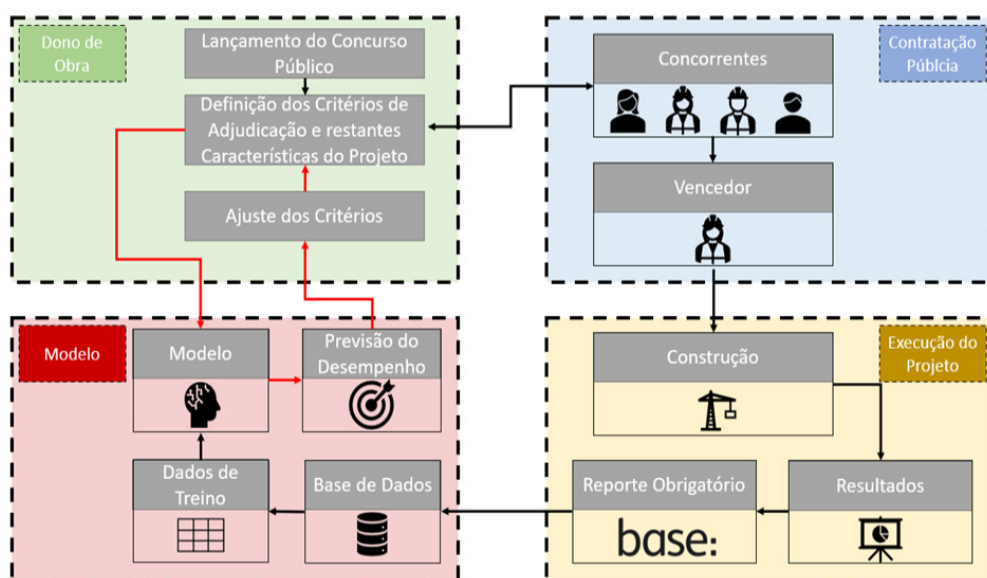


Figura 3
Implementação do modelo no processo de contratação pública [15].

3.3. Modelo IA para elaboração de orçamentos com recurso a classificação automática de tarefas em mapas de quantidades e trabalhos

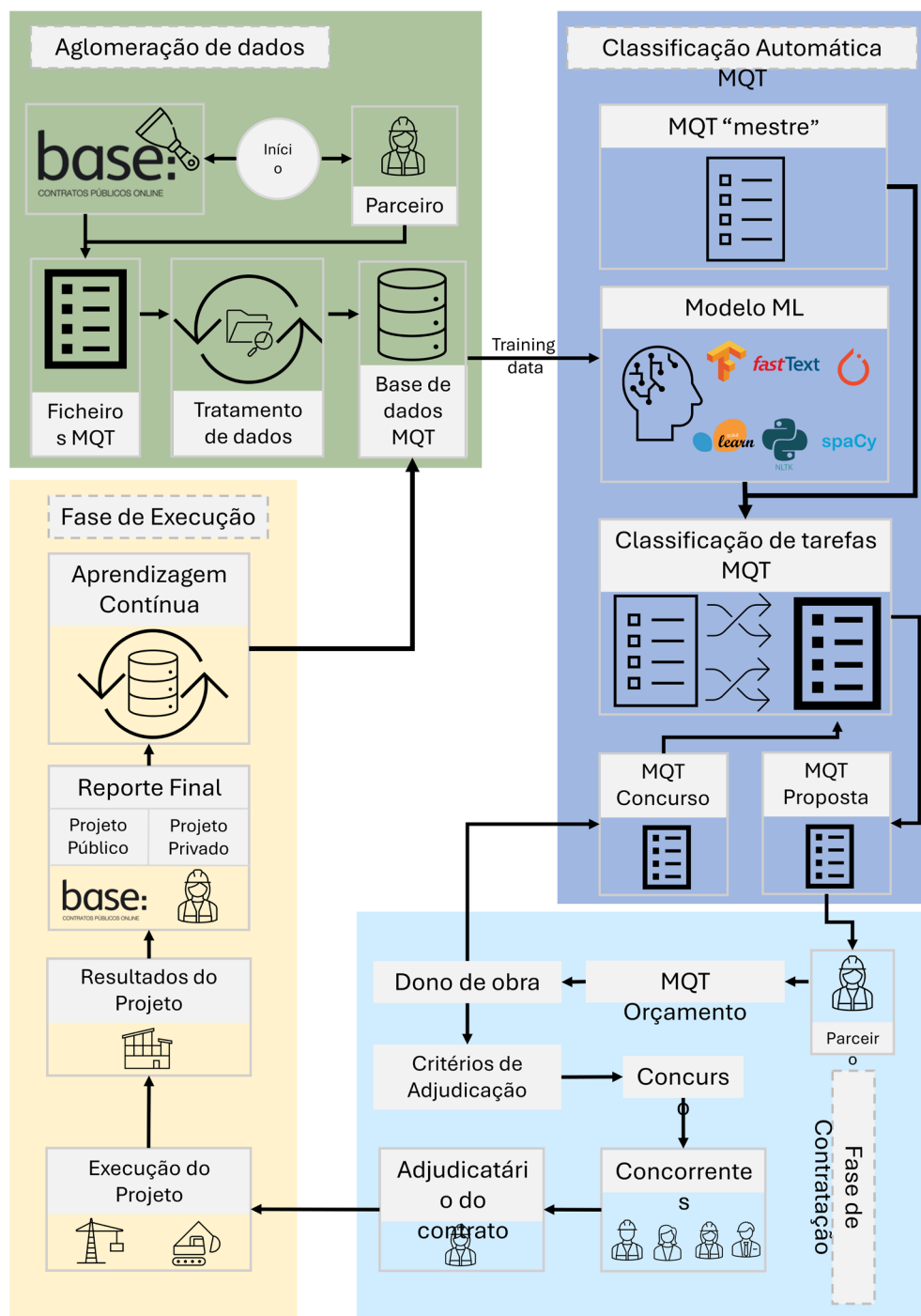
Durante a fase de adjudicação, o empreiteiro geral tem de elaborar uma proposta de orçamento com base nas tarefas de um mapa de quantidade e trabalhos (MQT) facultado pelo dono de obra [7]. Este processo de classificação é habitualmente efetuado por um técnico em prazos exigentes, e por isso estão especialmente sujeitos a erros e omissões [13, 18].

O processamento de linguagem natural (NLP) pode ajudar estes técnicos através da automação da classificação entre as tarefas do MQT do concurso com o MQT padrão da empresa concorrente [19].

Como esquematizado na Figura 4, o processo começa com a acumulação de ficheiro MQT através de um algoritmo que os colhe automaticamente de repositórios online, tarefa que inclui também todo o tratamento dos dados recolhidos [20-22]. As tarefas que compõem os MQTs, serão utilizadas como dados de treino do algoritmo de IA. Posteriormente serão testadas diferentes tipologias de modo a saber qual algoritmo melhor se ajusta a este problema. O algoritmo eleito será responsável por classificar tarefas entre MQTs para criar uma proposta, que será devolvida ao dono de obra para consideração durante o processo de adjudicação [23].

Figura 4

Metodologia para automatização da classificação de tarefas entre mapas de quantidades e trabalhos [23].



O modelo prevê também um mecanismo de aprendizagem contínua onde os MQTs de proposta gerados pelo modelo devem ser carregados no banco de dados, aumentando assim a quantidade de dados históricos disponíveis para o algoritmo de classificação de forma a melhorar a qualidade das previsões ao longo do tempo [23].

Por fim, será desenvolvido e testado um fluxo de trabalho que implementa esse modelo no processo de criação de MQTs para orçamentação e concursos. Este fluxo de trabalho será avaliado no contexto do processo de orçamentação para analisar as

vantagens e desvantagens em comparação com os métodos tradicionais e pesquisas similares [23].

4. O futuro da IA para o setor AEC e o BIM

Neste trabalho foi realizado uma descrição de três trabalhos desenvolvidos na FEUP em torno da temática da IA e da sua aplicação em ambiente BIM. Neste contexto, e segundo a ISO 19650 o BIM funciona não só como uma mera representação geométrica de um projeto, mas como uma estrutura de dados federada, podendo existir representação geométrica ou não.

No âmbito da metodologia Scan-to-BIM os algoritmos IA têm a mais valia de automatizar a obtenção de modelos BIM devidamente classificados diretamente a partir do levantamento de nuvens de pontos. Este tipo de aplicação é essencial para viabilizar a digitalização do ambiente construído existente para o qual escasseiam modelos BIM.

No que diz respeito à previsão da conformidade financeira de contratos de empreitadas de obras públicas, a IA pode dar uma importante ferramenta de apoio a decisão de quais os critérios de adjudicação a utilizar na fase de contratação. Este estudo demonstra a complexidade de realizar previsões com base em dados históricos e propõe uma ferramenta que, embora não permita dar garantias acerca da conformidade dos contratos, apoia as decisões dos técnicos, apresentando instantaneamente indicações acerca de potenciais riscos.

Por fim, na Secção 3.3 é proposto um método para a elaboração de uma ferramenta que permite reduzir o tempo de elaboração de MQT por parte de técnicos de orçamentação através da correta classificação de tarefas provenientes de MQT de concurso com os MQTs reconhecidos pela empresa concorrente. Esta ferramenta é relevante porque se insere na fase de concurso, que é caracterizada por prazos muito austeros, pelo que a automatização de tarefas repetitivas permite reduzir significativamente a preparação de documentos de concurso.

Adicionalmente, este trabalho faz uma reflexão entre a designação de IA e AL, ou estatística computacional e como todos os conceitos se assemelham uma vez que IA se pode reduzir a inferências e representações matemáticas de dados em diferentes formatos [24].

A utilização de IA nos métodos digitais usando BIM implica uma formação específica dos utilizadores de BIM dedicada aos algoritmos usados. Só é possível tirar partido dos algoritmos existentes se se compreender como funcionam. A escolha dos algoritmos nesta sinergia só será eficaz e eficiente se houver um domínio das potencialidades dos algoritmos e das ferramentas BIM. É frequente escrever-se e falar sobre o uso de IA sem conhecimento dos algoritmos que compõem a IA, sendo o discurso baseado nos resultados sem se abordar os processos. É imprescindível proporcionar formação aos trabalhadores da indústria da Construção nesta área, visto que se

antecipa que estas ferramentas não irão substituir a atividade laboral existente, mas sim agilizar processos repetitivos, dar apoio a decisões e auxiliar no design criativo. A função da IA será complementar e otimizar o desempenho, em vez de substituir o trabalho por completo.

No contexto dos trabalhos em curso na FEUP, prevê-se dar prioridade ao desenvolvimento de datasets estruturados para a utilização de ferramentas IA. De facto, a indústria da Construção, em contraste com outras atividades económicas similares carece de bases de dados preparadas que descrevem os seus processos e produtos. Assim, considera-se que o desenvolvimento destes repositórios de dados é um contributo científico importante no curto prazo, dado que possibilita o desenvolvimento de modelos IA, como os apresentados neste artigo.

Referências

- [1] A. Soeiro, "Optimization of reinforced concrete frames using integrated analysis and reliability," Doctoral Thesis, University of Florida, USA, 1989, <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/104620/2/195482.pdf> (accessed February 2024).
- [2] P. Domingos, *The Master Algorithm: how the quest for the ultimate learning machine will remake the world*. Penguin Books, 2017.
- [3] Open AI. "Introducing ChatGPT", <https://openai.com/blog/chatgpt>. (accessed February 2024).
- [4] A. Soeiro, J. Martins, A. Sidani, "Optimization tools and BIM: A marriage with a future?," 4.º congresso português de 'Building Information Modelling' vol. 2 – ptBIM p. 73-80, doi: 10.21814/uminho.ed.77.6. 2022
- [5] L. Sanhudo *et al.*, "Activity classification using accelerometers and machine learning for complex construction worker activities," *J. Build. Eng.*, vol. 35, 11/01 2020, doi: 10.1016/j.job.2020.102001.
- [6] M. N. Amin, W. Ahmad, K. Khan, A. Ahmad, S. Nazar, A. A. Alabdullah, "Use of Artificial Intelligence for Predicting Parameters of Sustainable Concrete and Raw Ingredient Effects and Interactions," *Materials*, vol. 15, no. 15, p. 5207, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/15/5207>.
- [7] L. Jacques de Sousa, J. Poças Martins, J. Santos Baptista, L. Sanhudo, "Towards the Development of a Budget Categorisation Machine Learning Tool: A Review," in *Trends on Construction in the Digital Era*, Guimarães, Portugal, A. Gomes Correia, M. Azenha, P. J. S. Cruz, P. Novais, and P. Pereira, Eds., 2023// 2023: Springer International Publishing, pp. 101-110, doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-20241-4>.

- [8] European Parliament and Council of the European Union, "Directive (EU)2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings andDirective 2012/27/EU on energy efficiency" *Official Journal of the European Union*, vol. 156, 2018.
- [9] Ö. Göçer, Y. Hua, and K. Göçer, "A BIM-GIS integrated pre-retrofit model for building data mapping," *Building Simulation*, vol. 9, no. 5, pp. 513-527, 2016/10/01 2016, doi: 10.1007/s12273-016-0293-4.
- [10] L. Sanhudo, J. Martins, N. Ramos, *Proposta de algoritmos de inteligência artificial para automatização do processo Scan-to-BIM*. 2022, pp. 419-429.
- [11] M. S. A. Aman, S. Azeanita, "Building Information Modelling for Project Cost Estimation," *Recent Trends in Civil Engineering and Built Environment*, vol. 3, no. 1, pp. 621-630, 12/04 2021. [Online]. Available: <https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rtcebe/article/view/3234>.
- [12] S. Moon, S. Chi, S.-B. Im, "Automated detection of contractual risk clauses from construction specifications using bidirectional encoder representations from transformers (BERT)," *Automation in Construction*, vol. 142, p. 104465, 2022/10/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104465>.
- [13] P.Jafari, M. Al Hattab, E. Mohamed, S. Abourizk, "Automated extraction and time-cost prediction of contractual reporting requirements in construction using natural language processing and simulation," *Applied Sciences (Switzerland)*, Article vol. 11, no. 13, 2021, Art no. 6188, doi: 10.3390/app11136188.
- [14] H. Elhegazy *et al.*, "Artificial Intelligence for Developing Accurate Preliminary Cost Estimates for Composite Flooring Systems of Multi-Storey Buildings," *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 2021, doi: 10.1080/13467581.2020.1838288.
- [15] J. P. M. Luís Jacques de Sousa, Luís Sanhudo, "Previsão da conformidade de projectos de construção pública em portugal com recurso a aprendizagem automática," *5.º Congresso Português de Building Information Modelling (ptBIM)*, 2024.
- [16] I. d. M. P. d. I. e. d. Construção. "Portal Base." <https://www.base.gov.pt/> (accessed April 2023, 2023).
- [17] DRE. "Diário da República Electrónico." <https://dre.pt/dre/home> (accessed January 2023, 2023).
- [18] J. P. d. S. P. Martins, "Modelação do fluxo de informação no processo de construção : aplicação ao licenciamento automático de projectos.," no. Porto, 2009.

- [19] N. Wang, R. A. Issa Raja, and J. Anumba Chimay, "NLP-Based Query-Answering System for Information Extraction from Building Information Models," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 36, no. 3, p. 04022004, 2022/05/01 2022, doi: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0001019.
- [20] L. Jacques de Sousa, J. Martins, L. Sanhudo, "Tackling the Data Sourcing Problem in Construction Procurement with File Scraping Algorithms," 2023, doi: 10.3390/iocbd2023-15190.
- [21] L. Jacques de Sousa, J. Poças Martins, L. Sanhudo, "Base de dados: Contratação pública em Portugal entre 2015 e 2022," presented at the Construção 2022, Guimarães, Portugal, 2022.
- [22] L. Jacques de Sousa, J. Poças Martins, L. Sanhudo, "Portuguese public procurement data for construction (2015–2022)," *Data in Brief*, vol. 48, p. 109063, 2023/06/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109063>.
- [23] L. Jacques de Sousa, J. Martins, L. Sanhudo, "Framework for the Automation of Construction Task Matching from Bills of Quantities using Natural Language Processing," presented at the 5th Doctoral Congress in Engineering (DCE 23'), Porto, Portugal, June 2023, 2023.
- [24] J. H. Friedman, "The Role of Statistics in the Data Revolution?," *International Statistical Review*, vol. 69, no. 1, pp. 5-10, 2007, doi: /10.1111/j.1751-5823.2001.tb00474.x.