



INSTITUTO SUPERIOR DE GESTÃO

MESTRADO EM GESTÃO DE EMPRESAS

Gestão de Obra Digital:

Otimização de Prazos de Execução (BIM-4D)

Gonçalo Rangel de Lima

Lisboa

2025

Gonçalo Rangel de Lima

**Gestão de Obra Digital:
Otimização de Prazos de Execução (BIM-4D)**

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Gestão como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Gestão de Empresas.

Orientador: Professor Doutor Agostinho Manuel Antunes da Silva

Lisboa 2025

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor Agostinho da Silva, pelo acompanhamento atento e constante, pelo conhecimento compartilhado e pela disponibilidade que demonstrou em todas as etapas deste trabalho.

À minha família, especialmente aos meus pais e irmãos, agradeço pelo apoio incondicional e por estarem sempre presentes. O vosso apoio, carinho e força foram fundamentais para a realização desta dissertação.

Aos meus colegas de curso, deixo um sincero agradecimento pela partilha de ideias e conhecimentos, pelo apoio, e pelo companheirismo. Levo comigo não só o que aprendemos juntos, mas também a amizade que construímos ao longo do caminho.

Ao Instituto Superior de Gestão, agradeço pela oportunidade de crescimento académico e pessoal, e por me ter proporcionado a estrutura necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização desta dissertação, seja com uma palavra de incentivo, uma crítica ou um simples gesto de apoio, o meu muito obrigado.

Resumo

A presente dissertação investiga o impacto da gestão de obra suportada por tecnologias digitais, com especial enfoque na 4.^a dimensão do *Building Information Modeling* (BIM 4D), sobre o cumprimento dos prazos de execução em projetos de construção civil. A crescente complexidade dos projetos, aliada à exigência por maior previsibilidade e controlo, tem evidenciado a necessidade de modernizar os modelos de gestão adotados no setor. Contudo, subsiste uma lacuna significativa na quantificação objetiva dos benefícios reais da digitalização, nomeadamente na redução efetiva dos tempos de execução.

A questão de investigação formulada — *Como pode a gestão digital contribuir para a redução dos tempos de execução em obras de construção civil?* — orientou o desenvolvimento de um modelo de gestão empiricamente sustentado, baseado em ferramentas digitais e em indicadores-chave de desempenho (KPIs) aplicados à dimensão temporal da obra. O modelo proposto foi validado através da aplicação prática em dois estudos de caso reais, com diferentes características operacionais.

A análise empírica evidenciou que, nos dois casos, os valores dos KPIs foram sistematicamente inferiores ou iguais a 1,00, sinalizando que os tempos reais de execução foram iguais ou inferiores aos planeados. A utilização de plataformas digitais como o *Autodesk Construction Cloud* revelou-se determinante para agilizar processos, centralizar informação, melhorar a comunicação entre intervenientes e reforçar o controlo operativo da obra. Em particular, registaram-se ganhos evidentes na aprovação de documentos, resposta a solicitações e resolução de não-conformidades.

Os resultados confirmam que a gestão digital não é, por si só, uma garantia de eficiência temporal, mas constitui um fator facilitador relevante, cuja eficácia depende do grau de adesão, cultura organizacional e maturidade digital das equipas. A investigação contribui, assim, para a consolidação de um corpo de conhecimento aplicado sobre a digitalização da gestão de obra, propondo um modelo operacional replicável e alinhado com os desafios atuais do setor da construção civil em Portugal.

Palavras-chave: Gestão de obra digital; BIM 4D; Construção civil; Indicadores de desempenho; Redução de prazos.

Abstract

The construction sector faces a growing need for modernization, where project complexity and challenges associated with coordination, schedule control, and quality demand innovative and effective solutions. This dissertation focuses on analyzing the impact of Building Information Modeling (BIM), particularly its fourth dimension (4D), on construction site management. The objective is to demonstrate how the use of digital planning and monitoring tools, such as BIM and Autodesk Construction Cloud, contributes to reducing execution times, improving productivity, and increasing operational efficiency in construction projects.

Additionally, the study explores both the benefits and limitations of this technology, relating it to the Sustainable Development Goals (SDGs). Through two practical cases applied to real construction projects—each with distinct scales, complexities, and demands—the application of BIM as a tool for supporting the sector’s digital transformation is examined. Throughout this study, performance indicators (KPIs) are evaluated to quantify the impact of using these tools in four key areas: average task execution times, response times to information requests, document approval times, and resolution times for non-conformities.

Beyond the quantitative data analysis, this dissertation presents a review of BIM’s evolution, with particular attention to its temporal and operational dimensions, while also addressing implementation challenges and the synergies between BIM and other emerging technologies, such as artificial intelligence and lean management systems.

This research therefore aims to demonstrate how BIM can be a decisive instrument in the modernization of the construction industry, promoting more integrated, predictable, and results-oriented site management.

Keywords: Digital construction management; 4D BIM; Civil construction; Performance indicators; Schedule reduction.

Índice

Índice de figuras	viii
Índice de tabelas	ix
Acrónimos e abreviaturas	x
1 Introdução	1
1.1 Justificação e Motivação	2
1.2 Estrutura da Dissertação	2
2 Contextualização do Setor da Construção e Desafios de Gestão	5
2.1 Tendências e Dinâmica do setor da Construção em Portugal	5
2.2 Consequências da Ineficácia no Cumprimento de Prazos em Projetos de Construção	10
2.3 Plataformas Digitais Emergentes na Gestão de Projetos de Construção	12
2.4 O impacto da Digitalização na Redução dos Tempos de Execução: Limites e Oportunidades	15
3 Questões de Investigação e Objetivo	17
4 Revisão de Leitura	19
4.1 Integração do BIM 4D no Planeamento e Otimização de Projetos de Construção	19
4.2 Nível de Detalhe (LOD) na Modelação BIM 4D: Implicações para o Planeamento de Obras	21
4.3 Capacidades e Limitações da Tecnologia de Modelação 4D BIM em Projetos Complexos	23
4.4 Potencial da Inteligência Artificial na Expansão Funcional do BIM 4D	24
4.5 Estruturação de Cronogramas com BIM 4D: Abordagem CESI no Caso Nanterre 2	26

4.6	Planeamento e Gestão Ambiental com BIM 4D: Desafios e Oportunidades	26
4.7	Contributos da 4. ^a Dimensão BIM para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	29
5	Metodologia da Investigação e modelo concetual	32
5.1	Conceito e Estrutura do Modelo de Gestão Operacional de base Tecnológica ...	32
5.2	Indicadores de Desempenho (KPIs)	34
5.2.1	Progresso e Acompanhamento de Tarefas (KPI ₁)	35
5.2.2	Progresso de Pedidos de Informação (KPI ₂)	37
5.2.3	Progresso de Pedidos de Aprovação (KPI ₃)	39
5.2.4	Progresso de Resolução de Não-Conformidades (KPI ₄)	40
5.2.5	Implementação do Modelo e Gestão	42
6	Contexto Empírico e Ambiente Tecnológico	44
6.1	Plataforma Tecnológica: Autodesk Construction Cloud	44
6.2	Aplicação do Modelo de Gestão Operacional de base Tecnológica	45
7	Validação Empírica do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica	48
7.1	Caso Prático nº 1 – Obra de Fit Out de Escritórios, Quinta da Fonte (Oeiras) ...	48
7.1.1	Descrição e Contexto	49
7.1.2	Variáveis Independentes e Recolha de Dados	50
7.1.3	Avaliação Temporal do Desempenho – Dados Observados	51
7.1.4	Determinação das Variáveis Dependentes	57
7.1.5	Síntese do Caso Prático nº 1	58
7.2	Caso Prático nº 2 – Remodelação de Escritórios em Lisboa	60
7.2.1	Descrição e Contexto	60
7.2.2	Variáveis Independentes e Recolha de Dados	61
7.2.3	Avaliação Temporal do Desempenho – Dados Observados	62

7.2.4	Determinação das Variáveis Dependentes	64
7.2.5	Síntese do Caso Prático nº 2	65
8	Discussão de Resultados	68
8.1	Contributo da gestão digital para a eficiência temporal (KPI ₁)	68
8.2	Eficiência na comunicação técnica e na tomada de decisão (KPI ₂ e KPI ₃)	68
8.3	Gestão de não-conformidades e resposta em tempo real (KPI ₄)	69
8.4	Comparação entre os dois contextos e validação do modelo	69
8.5	Síntese dos Resultados	70
9	Conclusões	71
9.1	Implicações Práticas	72
9.2	Implicações Teóricas	74
9.3	Limitações do Estudo	75
9.4	Recomendações para Trabalhos Futuros	76
	Referências	77

Índice de figuras

Figura 1 – <i>Evolução da constituição de empresas e outras organizações, por setor de atividade, com destaque para o setor da Construção como líder no crescimento empresarial nos últimos anos</i>	6
Figura 2 – <i>Evolução da constituição de empresas e outras organizações, por setor de atividade, com destaque para o setor da Construção como líder no crescimento empresarial nos últimos anos</i>	9
Figura 3 – <i>Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU)</i>	30
Figure 4 – <i>Representação visual dos Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) aplicados à gestão empresarial</i>	35
Figura 5 – <i>Esquema das etapas do Autodesk Construction Cloud</i>	45
Figura 6 – <i>Interações promovidas pelo ACC em projetos de construção</i>	47
Figura 7 – <i>Gráfico de comparação entre tempo de obra previsto e de conclusão: Caso Prático 1 - Piso 1</i>	53
Figura 8 – <i>Gráfico de comparação entre tempo de obra previsto e de conclusão: Caso Prático 1 - Piso 2</i>	55
Figura 9 – <i>Gráfico de comparação entre tempo de obra previsto e de conclusão: Caso Prático 1 - Piso 3</i>	56
Figura 10 – <i>Gráfico de comparação entre tempo de obra previsto e de conclusão: Caso Prático 2</i>	64

Índice de tabelas

Tabela 1 – <i>Empresas no Setor da Construção em Portugal (Informa D&B, 2023)</i>	7
Tabela 2 – <i>Empresas no Setor da Construção em Portugal (Informa D&B, 2024)</i>	7
Tabela 3 – <i>Tempos de execução de tarefas estruturais e divisórias: Piso 1</i>	52
Tabela 4 – <i>Tempos de execução de tarefas de acabamento e mobiliário: Piso 1</i>	52
Tabela 5 – <i>Tempos de execução de infraestruturas técnicas: Piso 1</i>	53
Tabela 6 – <i>Tempos de execução de tarefas estruturais e divisórias: Piso 2</i>	54
Tabela 7 – <i>Tempos de execução de tarefas de acabamento e mobiliário: Piso 2</i>	54
Tabela 8 – <i>Tempos de execução de infraestruturas técnicas: Piso 2</i>	54
Tabela 9 – <i>Tempos de execução de tarefas estruturais e divisórias: Piso 3</i>	55
Tabela 10 – <i>Tempos de execução de tarefas de acabamento: Piso 3</i>	56
Tabela 11 – <i>Tempos de execução de infraestruturas técnicas e mobiliário: Piso 3</i>	56
Tabela 12 – <i>Tempos de execução de tarefas executadas em obra: Caso Prático 2</i>	62
Tabela 13 – <i>Tempos de execução de tarefas técnicas e de acabamentos: Caso Prático 2</i>	63

Acrónimos e abreviaturas

BIM – Building Information Modeling (Modelagem da Informação da Construção)

3D BIM – 3ª dimensão BIM

4D BIM – 4ª dimensão do BIM

5D BIM – 5ª dimensão do BIM

6D BIM – 6ª dimensão do BIM

7D BIM – 7ª dimensão do BIM

KPIs – Key Performance Indicators (Indicadores-Chave de Desempenho)

AEC – Architecture, Engineering and Construction (Arquitetura, Engenharia, e Construção)

RFI – Request for Information (Pedido de Informação)

LOD – Level of Detail (Nível de Detalhe)

LOD 100 – Concept Design (Projeto conceitual)

LOD 200 – Schematic Design (Projeto esquemático)

LOD 300 – Detailed Design (Projeto detalhado)

LOD 400 – Fabrication & Assembly (Fabricação e montagem)

LOD 500 – As-Built (Conforme construído)

CPM – Critical Path Method (Método do Caminho Crítico)

LBMS – Location Based Management System (Sistema de Gestão Baseado em Localização)

IFC – Industry Foundation Classes

IA – Inteligência Artificial

IoT – Internet of Things

PRR – Plano de Recuperação e Resiliência

ODS – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (da ONU)

ERP – Enterprise Resource Planning (Planeamento de Recursos Empresariais)

ACC – Autodesk Construction Cloud

TMR – Tempo Médio de Resposta

RACI – Responsible, Accountable, Consulted, Informed (Matriz de Responsabilidades)

CAD 2D - Computer-Aided Design 2D (Programa de desenho técnico 2D)

SMART - Specific, Measurable, Achievable, Realistic and Time-bound (Específico, mensurável, alcançável, realista e com prazo determinado)

AICCOPN – Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas

1. Introdução

A gestão de obras em construção civil representa uma das áreas mais desafiantes da gestão de projetos, exigindo competências técnicas, capacidade de coordenação multidisciplinar e ferramentas eficazes de planeamento e controlo. A diversidade de intervenientes, a complexidade técnica dos projetos e a forte dependência de fatores externos — como condições climáticas ou atrasos na cadeia de decisão — tornam a execução de obras uma atividade exposta a riscos operacionais e estratégicos significativos.

Um dos principais problemas enfrentados nesta área prende-se com a dificuldade em garantir o cumprimento rigoroso dos prazos de execução e a aplicação consistente de boas práticas de gestão (HM Government, 2013). Conflitos entre equipas, alterações de projeto em fase de obra, falhas de comunicação e a inadequação dos cronogramas face à realidade do terreno são fenómenos recorrentes, que comprometem a eficiência, aumentam os custos e afetam negativamente a qualidade final dos empreendimentos.

Neste contexto, a transformação digital do setor da construção civil tem vindo a assumir um papel estratégico, impulsionando a adoção de tecnologias orientadas para a melhoria da produtividade e da capacidade de controlo. Entre estas tecnologias, destaca-se o *Building Information Modeling* (BIM), que tem evoluído de um instrumento de representação tridimensional para uma plataforma integrada de gestão de informação ao longo do ciclo de vida do projeto (Agostinho da Silva et al., 2020).

A aplicação da 4.^a dimensão do BIM, associada à componente temporal do planeamento, permite uma nova abordagem à gestão de obra, através da simulação e análise do progresso da construção em tempo real. Complementarmente, a integração de plataformas colaborativas como o ACC, bem como o potencial da Inteligência Artificial (IA) para antecipação de riscos e apoio à decisão, reforçam a capacidade de resposta da gestão de obra às exigências atuais do setor (Maia et al., 2015).

É neste enquadramento que se insere a presente dissertação, propondo-se a estudar o contributo destas tecnologias digitais na melhoria do desempenho da gestão de obras, com especial foco na sua aplicação prática e na obtenção de resultados mensuráveis.

1.1. Justificação e Motivação

A presente investigação justifica-se pela necessidade crescente de modernização do setor da construção civil, com particular ênfase na melhoria da gestão de prazos, na eficiência operacional e na adoção de boas práticas de planeamento e execução. Apesar da evolução significativa nas ferramentas e metodologias disponíveis, muitas organizações do setor continuam a operar com modelos de gestão fragmentados, baseados em processos manuais e com fraca integração entre os diversos intervenientes do projeto.

A adoção de soluções digitais como o BIM, especialmente na sua 4.^a dimensão (BIM 4D), representa uma oportunidade concreta para colmatar estas lacunas. Esta tecnologia permite não só uma melhor visualização do projeto, mas também o planeamento e controlo do progresso da obra com base em dados reais e atualizados, promovendo uma abordagem mais informada, colaborativa e orientada para resultados (Nguyen, 2025).

Paralelamente, a aplicação de ferramentas baseadas em IA tem vindo a ganhar relevância no setor, ao permitir a análise automatizada de grandes volumes de dados, a deteção precoce de riscos e a melhoria da capacidade de resposta às variáveis imprevisíveis da execução em obra (Farzaneh et al., 2021). Estes avanços tecnológicos introduzem novas possibilidades para o desenvolvimento de modelos de gestão mais robustos, proativos e sustentáveis.

A motivação desta dissertação reside, assim, na necessidade de compreender como estas soluções podem ser aplicadas de forma prática e eficaz na gestão de obras reais, de diferentes tipologias e escalas, e qual o seu impacto mensurável em indicadores-chave de desempenho, nomeadamente no cumprimento de prazos, na eficiência da comunicação entre equipas e na qualidade do controlo documental e de execução.

1.2. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está organizada em oito capítulos que se articulam de forma lógica e sequencial, com o objetivo de conduzir o leitor desde o enquadramento teórico até à validação prática do modelo de gestão proposto.

No Capítulo 1, apresenta-se a introdução ao tema, contextualizando o problema de investigação, os objetivos da dissertação e a relevância da sua abordagem no atual panorama da construção civil portuguesa.

O Capítulo 2 desenvolve a revisão da literatura, onde se exploram os conceitos fundamentais associados à digitalização da construção, com especial foco na 4ª dimensão do *Building Information Modeling* (BIM 4D), e na forma como esta pode apoiar a gestão de obra. São também abordadas as principais ferramentas digitais emergentes, a integração de cronogramas BIM, a relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e os desafios práticos da implementação da modelação 4D.

No Capítulo 3, é formulada a questão de investigação que orienta o estudo, sendo definidos o objetivo geral e os objetivos específicos que guiam a metodologia adotada.

O Capítulo 4 apresenta o enquadramento do setor da construção em Portugal, analisando as principais dinâmicas, desafios e tendências, assim como a evolução da digitalização no setor e o contexto tecnológico atual.

O Capítulo 5 descreve a metodologia da investigação, estruturando o modelo de gestão proposto e os indicadores de desempenho (KPIs) definidos para avaliar a sua aplicação e eficácia.

No Capítulo 6, é feita a caracterização do *software Autodesk Construction Cloud* (ACC), com o qual foi operacionalizada a implementação do modelo nas obras analisadas. Apresentam-se as suas funcionalidades e vantagens para a gestão digital de projetos de construção.

O Capítulo 7 corresponde à aplicação empírica do modelo a dois casos práticos distintos. Cada caso é analisado quanto ao contexto, recolha e tratamento de dados, e avaliação dos KPIs definidos. Esta análise permite validar o modelo e verificar a sua aplicabilidade em diferentes contextos de obra.

Finalmente, no Capítulo 8, procede-se à discussão integrada dos resultados obtidos nos casos de estudo, com o objetivo de responder à questão de investigação e refletir sobre o

Gestão de Obra Digital: Otimização de Prazos de Execução (BIM-4D)

contributo da gestão digital para a melhoria da eficiência e cumprimento de prazos na construção civil.

A dissertação encerra com as conclusões, onde se sintetizam os principais contributos do estudo, as suas limitações e sugestões para investigações futuras.

2. Contextualização do Setor da Construção e Desafios de Gestão

Apesar do crescimento económico e da expansão da atividade da construção civil em Portugal, o setor continua a enfrentar desafios estruturais que comprometem a sua eficiência operacional, o cumprimento de prazos e a adoção de boas práticas de gestão. A modernização do setor, impulsionada por investimentos públicos e incentivos à digitalização, não tem sido suficiente para mitigar os entraves relacionados com a coordenação em obra, a escassez de mão de obra qualificada, as alterações recorrentes nos projetos e a limitada adoção de tecnologias de planeamento avançado (Polat & Demirkesen, 2024).

Neste enquadramento, importa compreender o contexto atual da indústria da construção civil em Portugal, identificando os principais indicadores de crescimento, mas também os constrangimentos que persistem e que justificam a necessidade de modelos de gestão mais eficazes e suportados por ferramentas digitais como o BIM (Alnaser et al., 2024).

2.1. Tendências e Dinâmica do Setor da Construção em Portugal

A indústria da construção civil em Portugal tem registado um crescimento robusto e sustentado nos últimos anos, consolidando-se como um dos pilares fundamentais da economia nacional. Em 2023, a produção do setor ultrapassou os 20 mil milhões de euros, o que representa um crescimento de 7,5% face ao ano anterior¹.

Este dinamismo é também visível na constituição de novas empresas. Como ilustra a Figura 1, o setor da Construção liderou, nos últimos anos, em número de empresas criadas, demonstrando um ambiente empresarial dinâmico e em expansão.

¹ http://efaidnbmnnnibpcajpcglefindmkaj/https://blog.informadb.pt/wp-content/uploads/2025/02/Informa-DB_Dinamica-do-Tecido-Empresarial_2024.pdf



Figura 1. Evolução da constituição de empresas e outras organizações, por setor de atividade, com destaque para o setor da Construção como líder no crescimento empresarial nos últimos anos: Fonte: Barómetro Informa – Dinâmica do tecido empresarial 2024 (2025)

Os dados indicam igualmente um desempenho positivo em diversos segmentos. A engenharia civil destacou-se com um crescimento de 5% em 2023, enquanto os edifícios residenciais e não residenciais registaram aumentos de 3% e 0,7%, respetivamente. Um outro indicador relevante é o número de fogos concluídos em edifícios de nova construção, que totalizou cerca de 21.500 unidades, representando um aumento de 6,8% face ao ano anterior² (Informa D&B, 2024).

O impacto económico do setor não se limita à produção. Em termos de emprego, a construção civil empregava, em 2023, cerca de 344 mil trabalhadores, o que corresponde a 6,9% do total da força de trabalho em Portugal, registando um crescimento anual de 6,4% (Informa D&B, 2024).

Em abril de 2025, o número de empresas no setor superava as 70.800, com especial concentração nos distritos de Lisboa e Porto. Este crescimento é refletido nos dados da Informa D&B (Tabelas 1 e 2).

² <http://Informa D&B>

Gestão de Obra Digital: Otimização de Prazos de Execução (BIM-4D)

Tabela 1. Empresas no Setor da Construção em Portugal (Informa D&B, 2023)

Dados Gerais, 2023	
Número de empresas certificadas (a)	66.319
Número de empregados (milhares)	344,0
Produção (milhões de euros)	20.096
Engenharia civil	9.741
Edificação	10.355
Número de empresas certificadas (% var. abril 2024/abril 2023)	+7,1
Número de empregados (% var. 2023/2022)	+6,4
Produção (% var. 2023/2022) (b)	+3,4

(a) empresas com alvará e empresas com certificado de empreiteiro em abril de 2024. (b) taxa de variação real.

Tabela 2. Empresas no Setor da Construção em Portugal (Informa D&B, 2024)

Dados Gerais, 2024	
Número de empresas certificadas (a)	70.878
Número de empregados (milhares)	359,5
Produção (milhões de euros)	22.116
Engenharia civil	10.944
Edificação	11.172
Produção (% var. 2024/2023) (b)	+3,0
Engenharia civil	+5,1
Edificação	+1,4

(a) empresas com alvará e empresas com certificado de empreiteiro em abril de 2025. (b) variação real

Segundo a Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas do Norte (AICCOPN), as perspetivas para 2025 mantêm-se positivas, com previsões de crescimento entre 3,0% e 5,0%, podendo a produção atingir os 23.700 milhões de euros. Este impulso é em grande parte promovido por programas de investimento público, como o Plano de

Recuperação e Resiliência (PRR) e o Portugal 2030, que canalizam recursos significativos para a renovação de infraestruturas e habitação acessível³.

As previsões por segmento revelam igualmente um cenário otimista: (1) Engenharia civil: crescimento estimado entre 5% e 7%; (2) Edifícios residenciais: previsão entre 1,5% e 3,5%; e (3) Edifícios não residenciais: crescimento mais moderado, entre 0% e 2%.

Contudo, apesar da conjuntura positiva, o setor continua a enfrentar desafios estruturais que condicionam a sua competitividade e capacidade de inovação. Entre os principais obstáculos destacam-se: (1) A escassez de mão de obra qualificada, que compromete a execução e a capacidade de expansão dos projetos; (2) A volatilidade dos preços das matérias-primas, que dificulta o controlo orçamental e o planeamento; 3 (3) Os elevados custos de financiamento, que impactam negativamente os investimentos das pequenas e médias empresas.

Estas limitações, embora não tenham travado o crescimento global do setor, evidenciam a necessidade urgente de otimizar a gestão dos projetos e de adotar tecnologias que promovam maior previsibilidade, eficiência e controlo operacional.

Neste enquadramento, assume especial relevância a integração de ferramentas digitais, como o BIM, nomeadamente na sua quarta dimensão (4D), que associa a componente temporal aos modelos tridimensionais. Esta abordagem permite uma gestão mais rigorosa dos prazos, facilitando a coordenação entre equipas, a deteção precoce de conflitos e a automatização de processos críticos de planeamento e monitorização.

Em suma, a indústria da construção civil em Portugal encontra-se num momento de transformação. Embora os indicadores económicos apontem para uma trajetória de crescimento, persistem fragilidades estruturais e operacionais que limitam a sua plena modernização. A adoção de modelos de gestão baseados em evidência, sustentados por tecnologias digitais, revela-se, por isso, essencial para enfrentar os desafios emergentes e consolidar um setor mais resiliente, competitivo e sustentável.

³ <https://www.aiccopn.pt/>

A indústria da construção civil em Portugal tem registado um crescimento robusto e sustentado nos últimos anos, consolidando-se como um dos pilares fundamentais da economia nacional. Em 2023, a produção do setor ultrapassou os 20 mil milhões de euros, o que representa um crescimento de 7,5% face ao ano anterior (Informa D&B, 2024).

Esse dinamismo é também visível na criação de novas empresas. Como ilustra a Figura 2, o setor da Construção liderou, nos últimos anos, em número de constituições de empresas, demonstrando um ambiente empresarial dinâmico e em expansão.



Figura 2. Evolução da constituição de empresas e outras organizações, por setor de atividade, com destaque para o setor da Construção como líder no crescimento empresarial nos últimos anos: Fonte: Barómetro Informa – Dinâmica do tecido empresarial 2024 (2025)

Estes dados apontam para um desempenho positivo em diversos segmentos. A engenharia civil destacou-se com um crescimento de 5% em 2023, enquanto os edifícios residenciais e não residenciais registaram aumentos de 3% e 0,7%, respetivamente. Um indicador relevante do dinamismo do setor é o número de fogos concluídos em edifícios de nova construção, que totalizou cerca de 21.500 unidades, representando um aumento de 6,8% face ao ano anterior.

Resulta ainda que o impacto do setor não se limita à produção. Em termos de emprego, a construção civil empregava, em 2023, cerca de 344 mil trabalhadores, o que corresponde a 6,9% do total da força de trabalho em Portugal, num crescimento anual de

6,4%. Em abril de 2025, o número de empresas do setor superava as 70.800, com particular concentração nos distritos de Lisboa e Porto.

As perspetivas para 2025 mantêm-se positivas, com uma previsão de crescimento entre 3,0% e 5,0%, podendo a produção atingir os 23.700 milhões de euros. Este crescimento é impulsionado por programas de investimento público como PRR e o Portugal 2030⁴.

Contudo, o setor enfrenta ainda desafios estruturais que condicionam a sua competitividade e capacidade de inovação. Entre os principais obstáculos identificam-se a escassez de mão de obra qualificada, a volatilidade dos preços das matérias-primas e os elevados custos de financiamento. Estas limitações, embora não tenham impedido o crescimento do setor, reforçam a necessidade de otimizar a gestão dos projetos e de investir em tecnologias que promovam maior previsibilidade, controlo e eficiência nos processos construtivos. Segundo a AICCOPN (2024) Relativamente às projeções por segmento, o setor habitacional prevê um crescimento entre 1,5% e 3,5%, enquanto o segmento de edifícios não residenciais deverá crescer entre 0% e 2%. A engenharia civil mantém-se como o segmento mais dinâmico, com estimativas de crescimento entre 5% e 7%, muito impulsionado pelo reforço do investimento público.

Em suma, a indústria da construção civil em Portugal revela-se economicamente relevante e em plena transformação. Apesar dos bons indicadores, subsistem fragilidades na forma como os projetos são planeados e geridos, especialmente no que se refere ao cumprimento de prazos e à coordenação entre os diferentes agentes. Este contexto justifica a urgência de repensar os modelos de gestão adotados, apostando na integração de soluções digitais como o BIM, capazes de responder aos desafios do presente e às exigências de um setor em rápida evolução.

2.2. Consequências da Ineficácia no Cumprimento de Prazos em Projetos de Construção

Os prazos de execução em projetos de construção civil representam uma variável crítica com implicações diretas na rentabilidade, na alocação de recursos e na satisfação dos clientes. A gestão eficiente do tempo é, por conseguinte, um dos pilares fundamentais da boa

⁴ [http:// https://www.compete2030.gov.pt](http://https://www.compete2030.gov.pt)

prática na gestão de projetos, sendo fator determinante para o controle de custos e para a credibilidade da organização promotora da obra (França & Haddad, 2018).

As derrapagens temporais continuam a ser uma ocorrência frequente no setor, com consequências negativas significativas. Do ponto de vista financeiro, os atrasos originam frequentemente encargos adicionais, como penalizações contratuais, aumento dos custos com mão de obra e equipamentos, e variações de preço nos materiais de construção. Estes custos acrescidos tendem a agravar-se com o prolongamento da obra, afetando não só os resultados financeiros do projeto, como também a viabilidade de futuros investimentos (Motawa, 2017).

Por contraste, uma gestão eficiente do tempo permite uma utilização mais racional dos recursos disponíveis — humanos, técnicos e materiais — potenciando ganhos em produtividade e eficiência. A correta calendarização das atividades permite ainda identificar, de forma precoce, riscos e desvios que possam comprometer o cumprimento dos objetivos definidos, o que facilita a implementação de ações corretivas atempadas e eficazes (Farzaneh et al., 2021).

Do ponto de vista relacional, a satisfação do cliente é fortemente influenciada pelo cumprimento dos prazos acordados. Atrasos não comunicados ou mal justificados geram frustração, desconfiança e desgaste na relação contratual. Para mitigar este risco, é essencial manter uma comunicação contínua e transparente com o cliente, assegurando-lhe atualizações regulares sobre o progresso da obra, os desafios encontrados e as revisões previsíveis do cronograma (Kacprzyk & Keça, 2014).

Importa salientar que, para além da componente temporal, a perceção de valor por parte do cliente está também ligada à qualidade técnica dos trabalhos e à capacidade de aconselhamento profissional durante todas as fases do projeto. O cumprimento do prazo, por si só, não garante satisfação se não for acompanhado por rigor técnico e acompanhamento eficaz.

A literatura especializada identifica três fatores estruturais que contribuem para os desvios orçamentais: (i) alterações ao projeto durante a execução; (ii) falhas nas estimativas e definição do orçamento; e (iii) ausência de coordenação eficaz entre os *Stakeholders* (Al Siyabi & Khaleel, 2021).

Várias estratégias têm sido propostas com vista à mitigação destes riscos. A constituição de uma equipa de gestão de projetos dedicada permite melhorar significativamente o planeamento e o controlo dos recursos e prazos. O desenvolvimento de um formulário estandardizado para pedidos de alteração ao projeto contribui para uma melhor rastreabilidade e avaliação do impacto de mudanças. A contratação de um orçamentista experiente pode reforçar a precisão das estimativas de custos e tempo. Finalmente, a implementação de um plano de comunicação estruturado entre todos os intervenientes pode melhorar substancialmente a coordenação, prevenindo mal-entendidos e atrasos (Alnaser et al., 2024).

Neste sentido, a gestão eficaz dos prazos de execução não só contribui para a redução de custos e o aumento da rentabilidade, como desempenha um papel essencial na construção de relações de confiança com os clientes. A aposta em práticas de gestão profissionalizadas, assentes em metodologias comprovadas e ferramentas digitais, constitui um vetor estratégico para a sustentabilidade e competitividade das empresas do setor da construção (A. Silva et al., 2020).

2.3. Plataformas Digitais Emergentes na Gestão de Projetos de Construção

A gestão de projetos no setor da construção civil encontra-se num processo acelerado de transformação digital, impulsionado pelo surgimento de *softwares* especializados que otimizam os processos de planeamento, execução, monitorização e controlo (Elmualim & Gilder, 2014). Estas ferramentas tecnológicas introduzem novos níveis de colaboração, eficiência e precisão, oferecendo às empresas uma vantagem competitiva num setor caracterizado por prazos rigorosos, múltiplos intervenientes e margens operacionais cada vez mais reduzidas (Klimas et al., 2023).

Entre os *softwares* mais relevantes destaca-se o *Autodesk BIM 360*⁵, uma plataforma baseada em nuvem que permite a integração das diferentes fases do ciclo de vida da construção. Este sistema possibilita o trabalho colaborativo em tempo real entre equipas multidisciplinares, através da partilha de modelos 3D, documentos técnicos e dados

⁵ <https://www.autodesk.com/bim-360>

operacionais num ambiente digital unificado (Zarei et al., 2024). Com funcionalidades robustas de gestão de não conformidades, controlo de qualidade e segurança, o BIM 360 afirma-se como uma ferramenta essencial para empresas que procuram reforçar a coordenação e o desempenho em obra (Al Siyabi & Khaleel, 2021).

Outra solução em rápida expansão é o *Procore*⁶, uma plataforma abrangente de gestão de projetos de construção que disponibiliza funcionalidades como gestão documental, controlo financeiro, planeamento de tarefas e monitorização da segurança. A sua interface intuitiva e elevada capacidade de integração com outras ferramentas digitais tornam-no uma escolha sólida tanto para pequenas como para grandes empresas de construção (Nechyporchuk & Baskova, 2021).

No domínio do planeamento e da programação, o Primavera P6⁷, desenvolvido pela Oracle, mantém-se como uma referência consolidada. Este *software* oferece uma abordagem detalhada e estruturada à gestão de projetos complexos, com recursos avançados de análise de riscos, alocação de recursos e gestão de portfólio. A sua recente migração para a *cloud* reforça a flexibilidade e acessibilidade para equipas distribuídas geograficamente (Nguyen, 2025).

Para estimativas de custos e gestão orçamental, o RIB iTWO⁸ tem vindo a destacar-se. Esta ferramenta combina modelação 5D com inteligência artificial, permitindo a criação de estimativas precisas e análises de cenários em tempo real. A sua capacidade de integração de dados de custos diretamente nos modelos BIM constitui um avanço significativo na gestão integrada de projeto e orçamento (Farzaneh et al., 2021).

No acompanhamento diário das operações em estaleiro, o *eSUB Construction*⁹ Software oferece uma solução prática e eficaz. Com funcionalidades como rastreamento de materiais e tempo, gestão documental e relatórios em tempo real, esta plataforma baseada em nuvem facilita a supervisão remota e o apoio à decisão em contexto de obra. A sua aplicação móvel torna-a particularmente útil para diretores de obra e gestores de campo.

⁶ <https://www.procore.com>

⁷ <https://www.keyvision.pt>

⁸ <https://www.rib-software.com>

⁹ <https://corasystems.com>

O *Bluebeam Revu* é outra ferramenta de destaque, especialmente utilizada para revisão de projetos, estimativas e controlo de qualidade. Através de potentes funcionalidades de edição de PDF e medição precisa, esta solução tem vindo a transformar os fluxos de trabalho associados à análise e validação de documentação técnica.

No que respeita à segurança e conformidade, o *SafetyCulture iAuditor* tem-se afirmado como uma ferramenta eficaz para digitalização de processos de inspeção. Permite a criação de *checklists* personalizadas, a realização de auditorias em campo e a geração de relatórios detalhados, promovendo uma cultura de segurança contínua e documentada.

Para empresas que procuram uma solução integrada de gestão organizacional, o *Viewpoint Vista*¹⁰ oferece funcionalidades de *Enterprise Resource Planning* (ERP), incluindo módulos de contabilidade, gestão de projetos, recursos humanos e operações em campo. Esta abordagem permite uma visão holística das operações e uma integração fluida entre áreas-chave da empresa (Pellegrin-Boucher et al., 2018).

Mais recentemente, soluções baseadas em inteligência artificial e visão computacional, como o *Disperse.io*¹¹, estão a revolucionar o controlo de progresso em obra. Esta plataforma analisa imagens do estaleiro, compara-as automaticamente com os planos do projeto e identifica discrepâncias, atrasos ou desvios com elevada precisão, fornecendo dados críticos para a tomada de decisão em tempo real.

Apesar dos benefícios evidentes, a implementação destas ferramentas exige um investimento significativo em formação, reestruturação de processos e adaptação cultural. A transição para modelos de gestão digital implica mudanças profundas nos métodos de trabalho, exigindo uma estratégia bem definida de integração tecnológica.

À medida que a transformação digital se aprofunda, é expectável que estas plataformas evoluam para soluções ainda mais inteligentes e interligadas, com base em tecnologias emergentes como a *Internet of Things* (IoT), análise preditiva e *machine learning*. O futuro da gestão de projetos de construção será inevitavelmente digital, e as

¹⁰ <https://www.milientsoftware.com>

¹¹ <https://www.disperse.io>

empresas que conseguirem incorporar de forma eficaz estas soluções estarão mais bem posicionadas para liderar a próxima fase de evolução do setor.

2.4. O Impacto da Digitalização na Redução dos Tempos de Execução: Limites e Oportunidades

Apesar da crescente adoção de tecnologias digitais no setor da construção civil, persiste uma lacuna significativa na compreensão e, sobretudo, na quantificação objetiva do impacto dessas soluções na redução dos tempos de execução dos projetos. Esta ausência de literacia operacional e estratégica em torno dos benefícios tangíveis dos *softwares* digitais representa um entrave relevante à modernização plena da gestão de obras (A. Silva et al., 2020).

Plataformas como o *Autodesk Revit*¹² ou o *ArchiCAD*¹³, utilizadas para a criação de modelos BIM, têm vindo a transformar a forma como os projetos são concebidos, coordenados e documentados. Ainda assim, embora se reconheçam vantagens evidentes, nomeadamente a deteção precoce de conflitos e a melhoria na coordenação entre disciplinas técnicas, o valor direto que estas ferramentas aportam à redução de prazos durante a fase de construção é frequentemente subestimado, mal comunicado ou simplesmente ignorado por falta de dados consolidados (A. Silva & Almeida, 2020).

Esta dificuldade em medir o impacto efetivo pode ser atribuída a diversos fatores. Desde logo, a singularidade de cada projeto de construção, com variáveis como tipologia, localização, complexidade técnica e envolvimento dos *Stakeholders*, dificulta a comparação entre projetos com e sem utilização de ferramentas digitais. Em segundo lugar, muitas empresas do setor carecem de mecanismos sistematizados de recolha e análise de dados, o que compromete a construção de bases comparativas fiáveis e consistentes (Klimas et al., 2023).

Outro fator crítico prende-se com a resistência cultural à mudança, ainda muito presente na indústria. Profissionais com experiência acumulada tendem a confiar em métodos tradicionais, mostrando-se frequentemente céticos relativamente aos benefícios proclamados

¹² <https://www.autodesk.com/pt/products/revit/overview>

¹³ <https://www.graphisoft.com/plans-and-products/archicad>

pelas tecnologias emergentes, sobretudo quando estes são difíceis de traduzir em métricas quantificáveis (Malik et al., 2021).

Para além disso, a implementação eficaz destas ferramentas exige alterações profundas nos processos de trabalho, acompanhadas de investimentos significativos em formação e adaptação organizacional. Sem uma perceção clara do retorno desse investimento — nomeadamente em termos de ganhos de tempo — muitas organizações optam por adiar ou limitar a adoção destas soluções.

Para colmatar esta lacuna, é necessário investir em investigação aplicada e estudos de caso comparativos, que analisem com rigor o impacto dos *softwares* digitais nos prazos de execução. A definição de métricas padronizadas para medir ganhos de eficiência, a realização de ensaios controlados entre projetos semelhantes, com e sem ferramentas digitais, e a estruturação de boas práticas de análise de desempenho são passos fundamentais para gerar conhecimento robusto e replicável (Nguyen, 2025).

Neste processo, os desenvolvedores de *software* têm também um papel relevante, ao disponibilizar ferramentas analíticas mais intuitivas e integradas, que permitam aos utilizadores rastrear, documentar e quantificar ganhos de produtividade em tempo real. Simultaneamente, a colaboração entre instituições académicas, empresas de construção e fornecedores de tecnologia pode contribuir para a consolidação de um corpo de conhecimento sólido, transversal e orientado para resultados (Venâncio, 2015).

À medida que o setor da construção avança no seu processo de digitalização, será imperativo reduzir a lacuna de literacia tecnológica e de evidência empírica sobre o impacto das soluções digitais na gestão do tempo (Alnaser et al., 2024). Só com uma compreensão mais clara, quantificável e partilhada dos benefícios operacionais, será possível promover uma adoção estratégica e generalizada destas ferramentas (Hadavi & Alizadehsalehi, 2024).

A problemática aqui identificada reforça, assim, a necessidade de estruturar modelos de gestão de obra baseados em tecnologia, que integrem planeamento, monitorização e controlo em tempo real, com o objetivo de garantir o cumprimento rigoroso dos prazos de execução e melhorar o desempenho global dos projetos.

3. Questão de Investigação e Objetivo

A problemática descrita na seção anterior evidencia que, apesar da crescente digitalização do setor da construção civil e da disponibilização de *softwares* avançados de gestão, como o BIM e plataformas colaborativas baseadas em nuvem, subsiste uma lacuna significativa na compreensão do seu impacto real na melhoria do desempenho em obra. Em particular, constata-se uma insuficiente quantificação dos benefícios destas tecnologias na redução efetiva dos tempos de execução, o que compromete a capacidade de as empresas tomarem decisões informadas sobre a sua adoção e integração nos modelos de gestão.

Esta realidade é agravada pela escassez de dados sistemáticos, pela resistência cultural à mudança e pela falta de metodologias consistentes que permitam associar, de forma clara, o uso da tecnologia à melhoria dos indicadores de desempenho. A consequência prática é a persistência de modelos de gestão assentes em práticas tradicionais, pouco otimizadas e com fraca capacidade de resposta face aos desafios atuais da construção, nomeadamente o cumprimento rigoroso de prazos.

Perante este enquadramento, formula-se a seguinte questão de investigação:

De que forma a gestão de obra pode ser estruturada para responder eficazmente aos requisitos da 4ª dimensão BIM e contribuir para o cumprimento dos prazos de execução em projetos de construção civil?

O objetivo geral da investigação consiste em desenvolver e validar um Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica que integre práticas operacionais alinhadas com os requisitos da quarta dimensão do BIM, visando promover a redução dos tempos de execução, a melhoria da coordenação entre os diversos intervenientes e a adoção de boas práticas de planeamento e monitorização no setor da construção civil.

Este objetivo geral desdobra-se em seis objetivos específicos: (1) Analisar os requisitos funcionais e informacionais inerentes à quarta dimensão BIM, com ênfase na componente temporal do planeamento e controlo da obra; (2) Avaliar o nível de maturidade digital das empresas de construção civil em Portugal, no que respeita à integração de ferramentas BIM 4D nos seus processos de gestão; (3) Identificar as principais barreiras à

adoção de tecnologias digitais de suporte à gestão de obra, bem como os fatores facilitadores que potenciam a sua implementação eficaz; (4) Estabelecer indicadores-chave de desempenho que permitam avaliar, de forma objetiva, a relação entre a utilização de plataformas digitais e o cumprimento dos prazos de execução, nomeadamente através da monitorização dos tempos médios de execução, resposta, aprovação e resolução de não conformidades; (5) Aplicar o Modelo de Gestão Operacional de base Tecnológica proposto em contextos reais de obra, analisando dados observacionais e comparando o desempenho obtido com os objetivos previamente estabelecidos; e (6) Validar o modelo enquanto ferramenta de apoio à decisão para empresas de construção civil, demonstrando o seu potencial de replicação, adaptabilidade e contributo para uma gestão orientada por dados e focada em resultados.

Com esta abordagem, a investigação pretende dar um contributo significativo para a transformação digital do setor da construção em Portugal, reforçando a importância de uma gestão de obra mais eficiente, previsível e tecnicamente sustentada.

4. Revisão de Literatura

A presente revisão de literatura tem como objetivo contextualizar, com base no conhecimento científico e técnico atual, os fundamentos que sustentam a aplicação do BIM, com ênfase na sua quarta dimensão (4D), no planejamento e gestão de obras de construção civil. Esta abordagem enquadra-se no esforço para compreender como as tecnologias digitais emergentes podem contribuir para a modernização dos modelos de gestão e, em particular, para a otimização dos prazos de execução, tema central da presente investigação.

Num setor marcado por atrasos recorrentes, baixa previsibilidade e desafios de coordenação entre múltiplos intervenientes, a adoção de soluções digitais integradas apresenta-se como uma oportunidade para transformar práticas obsoletas e aumentar a eficiência operacional. O BIM 4D, ao incorporar a dimensão temporal aos modelos tridimensionais, permite simular sequências construtivas, prever conflitos, melhorar a comunicação entre equipas e apoiar a tomada de decisão com base em dados visuais e temporais integrados.

A literatura académica e técnica tem vindo a explorar diversas vertentes da aplicação do BIM 4D, desde a integração com metodologias tradicionais de planeamento até à sua ligação com tecnologias como a Inteligência Artificial e a análise preditiva. Além disso, há um crescente interesse no potencial do BIM para apoiar práticas sustentáveis e alinhar o setor da construção com os ODS, em particular através da gestão eficiente do tempo, recursos e impacto ambiental.

4.1. Integração do BIM 4D no Planeamento e Otimização de Projetos de Construção

A integração do BIM com técnicas de planeamento de construção tem vindo a transformar significativamente a forma como os projetos são concebidos, geridos e executados. Em particular, a quarta dimensão do BIM, que adiciona o fator tempo aos modelos tridimensionais, permite simular cronogramas, prever conflitos e melhorar a coordenação entre todas as partes envolvidas (Poljanšek, 2017).

O planeamento eficaz é um dos pilares fundamentais da gestão de projetos, sendo amplamente reconhecido que falhas nesta fase contribuem significativamente para atrasos e ineficiências na entrega de obras. Contudo, a literatura aponta para uma crescente escassez de competências nesta área, com um número decrescente de profissionais qualificados para desenvolver e gerir planos de construção com precisão (Aredah et al., 2021).

Duas metodologias principais são frequentemente comparadas no contexto do planeamento em construção: o *Critical Path Method* (CPM), baseado na sequência de atividades, e o *Location-Based Management System* (LBMS), que organiza o planeamento com base na localização física das tarefas. Embora o CPM seja amplamente utilizado e eficaz em projetos complexos e não repetitivos, é limitado na gestão de continuidade de equipas e recursos. Por outro lado, o LBMS apresenta vantagens em projetos com tarefas repetitivas e na gestão da sequência produtiva (Kenley & Seppanen, 2009).

Estudos de caso reforçam a utilidade prática do BIM na deteção precoce de conflitos e na otimização do planeamento. No Projeto de Saneamento Integrado de Abu Talat, no Egito, o desenvolvimento de modelos 3D permitiu a identificação de mais de 1650 conflitos entre sistemas técnicos, evitando um atraso estimado em oito meses e poupando mais de dois milhões de libras egípcias (Aredah et al., 2021).

De forma semelhante, no projeto das Torres *Hills*, no Dubai, mesmo sem a implementação inicial do BIM, a utilização posterior de modelos 4D e 5D possibilitou uma redução de aproximadamente 7% no tempo total de construção e 2% nos custos. A partilha de informação em tempo real contribuiu ainda para uma diminuição superior a 60% nos pedidos de informação (RFIs), o que ilustra o impacto positivo na comunicação entre equipas (Aredah et al., 2021).

No caso do *Opera Grand*, também no Dubai, o uso do BIM resultou numa redução de cerca de 18% no tempo de execução do projeto e numa poupança de 8% nos custos. O modelo 3D permitiu acelerar em 60% o processo de desenho e contribuiu para uma redução proporcional nos RFIs, quando comparado com métodos tradicionais (Aredah et al., 2021).

Um estudo teórico sobre um edifício residencial de cinco andares analisou a aplicação das abordagens CPM e LBMS num ambiente BIM, utilizando ferramentas como *Revit*, *Tekla Structures*, *Vico Office* e *Synchro Pro*. Apesar de não se observar diferença significativa na

duração total do projeto, o LBMS demonstrou maior eficácia na organização e monitorização do cronograma, especialmente em projetos com tarefas repetitivas (Aredah et al., 2021).

De acordo com Tarar e Dang (2012), o BIM 4D oferece a vantagem única de permitir que os diversos intervenientes no projeto visualizem com clareza o plano de trabalho, algo que os métodos tradicionais raramente conseguem proporcionar com igual precisão. A visualização temporal do projeto facilita a identificação de todas as atividades e respetiva interdependência, melhorando substancialmente a capacidade de planeamento (Tarar, 2012).

A integração do BIM com tecnologias emergentes, como o *Big Data*, é outra tendência em crescimento. A combinação destas abordagens promete reforçar a capacidade de tomar decisões baseadas em dados concretos e históricos, tornando o planeamento mais inteligente, adaptativo e estratégico (Motawa, 2017).

Assim, a literatura demonstra que a utilização do BIM 4D no planeamento da construção tem potencial comprovado para melhorar significativamente a eficiência, reduzir o risco de conflitos e atrasos e promover uma abordagem mais colaborativa e informada ao longo de todo o ciclo de vida do projeto (Doukari et al., 2022).

4.2. Nível de Detalhe (LOD) na Modelação BIM 4D: Implicações para o Planeamento de Obras

A tecnologia BIM tem vindo a afirmar-se como uma tecnologia fundamental na indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC), permitindo integrar, de forma progressiva, diferentes dimensões de informação ao longo do ciclo de vida dos projetos (Chen et al., 2024). As dimensões do BIM vão desde o modelo 3D — que representa a geometria do edifício — até ao 7D, que incorpora dados para manutenção e operação futura da infraestrutura (Nechyporchuk & Baskova, 2021).

A quarta dimensão do BIM (4D) introduz o aspeto temporal ao modelo tridimensional, permitindo a simulação das fases de construção e facilitando a previsão da duração das tarefas, a coordenação entre equipas e a identificação de sobreposições e conflitos (Poljanšek, 2017). A quinta dimensão (5D) adiciona dados financeiros, permitindo gerar estimativas de custo, orçamentos detalhados e análises de impacto económico de alterações ao projeto (Lu et al., 2015). A sexta dimensão (6D) contribui para a eficiência

energética e sustentabilidade (Agostinho da Silva & Cardoso, 2024), enquanto a sétima (7D) apoia a gestão e manutenção do edifício ao longo da sua vida útil (Lindblad & Vass, 2015), através da consolidação de manuais, garantias e registos técnicos (Nechyporchuk & Baskova, 2021).

No contexto da modelação BIM, o conceito de *Level of Development* (LOD) assume particular importância. Este refere-se ao grau de precisão e maturidade da informação contida no modelo digital, tanto em termos de geometria como de dados associados (Nechyporchuk & Baskova, 2021). Os níveis de LOD variam entre o LOD 100 (design conceptual) e o LOD 500 (as built), cada um adequado a diferentes fases e finalidades do projeto.

Embora existam diretrizes claras quanto aos níveis de LOD para modelos 3D, subsiste ainda uma lacuna na definição dos níveis ideais para a modelação 4D, nomeadamente no que respeita à sua aplicação durante as diferentes fases da construção. Esta ausência de padronização pode comprometer a utilidade dos modelos 4D para o planeamento e controlo da obra (Le-Bail et al., 2020).

Para que a modelação 4D seja eficaz, é essencial que a geometria do modelo 3D seja organizada de acordo com a estrutura e granularidade do cronograma. No entanto, como os modelos de design raramente são concebidos com este objetivo, os empreiteiros são frequentemente obrigados a criar modelos específicos para simulações temporais, implicando retrabalho e custos adicionais (Nechyporchuk & Baskova, 2021).

A análise comparativa dos diferentes níveis de LOD indica que os níveis LOD 300 (*Detailed Design*) e LOD 400 (*Fabrication & Assembly*) são os mais adequados à modelação 4D. O LOD 400 é ideal pela sua elevada precisão e utilidade para construção, mas a sua implementação é tecnicamente exigente e dispendiosa (Volk et al., 2014). Por outro lado, o LOD 300, embora menos detalhado, permite criar simulações 4D suficientemente rigorosas, sendo mais viável para projetos com restrições orçamentais e temporais. Já os níveis iniciais — LOD 100 e LOD 200 — não apresentam informação suficiente para suportar eficazmente a modelação 4D (Nechyporchuk & Baskova, 2021).

Deste modo, a definição estratégica do nível de detalhe a adotar no modelo BIM é um fator determinante para a eficácia do planeamento e controlo da obra. A escolha do LOD

adequado deve considerar o objetivo da modelação, o tipo de projeto, os recursos disponíveis e o nível de maturidade digital da organização envolvida.

4.3. Capacidades e Limitações da Tecnologia de Modelação 4D BIM em Projetos Complexos

A tecnologia de modelação 4D tem vindo a desempenhar um papel cada vez mais relevante na modernização do setor da construção, especialmente no que se refere ao planeamento de obras complexas, com múltiplas fases e alternativas de execução. Um estudo conduzido por Kacprzyk e Kępa (2014) teve como objetivo principal investigar a eficácia dos programas BIM na gestão de projetos com múltiplas opções de design e na necessidade de faseamento detalhado das tarefas construtivas (Hernandez et al., 2017).

O caso de estudo incide sobre a modernização de um edifício antigo, mais concretamente a reabilitação de uma escadaria, onde foram analisadas três opções distintas para a instalação de um elevador. O processo de modelação foi realizado no *Autodesk Revit 2015*, integrando arquivos CAD 2D, definição de níveis, criação de componentes paramétricos e desenvolvimento de variantes de design. Esta abordagem permitiu simular e avaliar diferentes soluções ainda numa fase inicial do projeto, demonstrando o potencial da tecnologia BIM para apoiar decisões críticas com base em dados visuais e espaciais (Kacprzyk & Kępa, 2014).

O modelo gerado foi desenvolvido em várias dimensões, desde o 3D ao 7D, e em conformidade com o formato IFC (*Industry Foundation Classes*), que visa assegurar a interoperabilidade entre plataformas e a partilha estruturada de informação ao longo do ciclo de vida do edifício. A análise do modelo incluiu ainda estudos complementares, como a simulação solar, permitindo verificar o cumprimento das normas de iluminação natural, evidenciando assim o potencial do BIM para apoiar análises de desempenho técnico e ambiental (Kacprzyk & Kępa, 2014).

A modelação 4D, que introduz a variável tempo no modelo tridimensional, foi desenvolvida através do *Autodesk Navisworks*, permitindo animar e simular o processo construtivo. Esta funcionalidade revelou-se essencial para a visualização do cronograma e

para a identificação de conflitos ou interferências entre atividades, contribuindo para uma melhor coordenação entre as partes envolvidas (Le-Bail et al., 2020).

O estudo destacou também a capacidade do BIM para gerar automaticamente documentação técnica, como plantas, cortes e anotações, a partir do modelo central, reduzindo o tempo necessário para a produção de elementos gráficos e aumentando a consistência entre documentos. No entanto, foram igualmente identificadas limitações importantes na utilização da tecnologia, nomeadamente no que diz respeito ao faseamento de tarefas e à gestão de múltiplas opções de design. Em particular, os autores referem a dificuldade em alterar dinamicamente a geometria de componentes ao longo do tempo e a impossibilidade de representar várias alternativas numa única folha de apresentação (Kacprzyk & Kępa, 2014).

Em termos globais, conclui-se que o BIM 4D representa uma ferramenta poderosa para apoiar projetos de reconstrução e reabilitação, permitindo ganhos de tempo significativos quando comparado com métodos tradicionais. Contudo, a eficácia da tecnologia depende fortemente da experiência e sensibilidade dos utilizadores, bem como da maturidade dos processos de modelação e colaboração dentro da organização (Kacprzyk & Kępa, 2014).

Este estudo reforça a importância de uma formação técnica adequada, de metodologias consistentes e de uma avaliação crítica das capacidades e limitações das ferramentas digitais. Embora o BIM 4D traga ganhos evidentes em visualização, planeamento e documentação, a sua plena integração na prática profissional exige melhorias contínuas nas funcionalidades dos *softwares*, bem como na literacia tecnológica dos seus utilizadores.

4.4. Potencial da Inteligência Artificial na Expansão Funcional do BIM 4D

A incorporação de IA nas tecnologias BIM tem vindo a emergir como uma área de grande relevância no contexto da digitalização da construção civil, especialmente quando aplicada à quarta dimensão do BIM (4D), que introduz o fator tempo no planeamento e na gestão de obras. Uma revisão sistemática da literatura realizada por Awe et al. (2025)

apresenta uma análise abrangente dos desafios, estratégias e ferramentas que permitem alavancar a IA na melhoria da eficiência, previsibilidade e automação dos processos associados ao BIM 4D (Awe et al., 2025).

A revisão explora múltiplos contextos de investigação, incluindo modelos de informação de construção, metodologias *lean*, estruturas de ontologia, ferramentas preditivas e tecnologias de suporte associadas à modelação 4D (Nguyen, 2025). A metodologia da revisão baseia-se em critérios de inclusão e exclusão rigorosos, garantindo uma seleção representativa de estudos relevantes, com o objetivo de mapear o estado atual da investigação e as suas principais lacunas (Awe et al., 2025).

Entre as estratégias identificadas para potenciar o BIM 4D, destaca-se a integração de abordagens *lean construction*, que procuram eliminar desperdícios e otimizar fluxos de trabalho; o uso de estratégias preditivas, com base em dados históricos e algoritmos de aprendizagem automática; e o desenvolvimento de estruturas de ontologia, que facilitam a partilha automatizada de informação entre sistemas distintos. Estas estratégias visam não apenas melhorar a interoperabilidade, mas também reforçar a tomada de decisão baseada em dados, num setor ainda fortemente dependente de práticas convencionais (Awe et al., 2025).

A revisão aborda também os principais desafios estruturais enfrentados pela indústria da construção, tais como atrasos frequentes, derrapagens orçamentais e falhas em segurança, e discute o potencial do BIM 4D para atenuar esses problemas. No entanto, são igualmente identificadas limitações na sua aplicação, com especial destaque para a natureza estática dos dados temporais no modelo 4D e as dificuldades técnicas e organizacionais associadas à sua adoção plena (Tedonchio et al., 2022).

Um dos contributos mais relevantes da revisão é a classificação detalhada das ferramentas e tecnologias existentes no ecossistema do BIM 4D, fornecendo uma visão estruturada dos recursos disponíveis para profissionais e investigadores (Doukari et al., 2022). Entre as tecnologias emergentes destacam-se a visão computacional, o processamento de linguagem natural e os algoritmos de aprendizagem automática (*machine learning*), que permitem automatizar a deteção de falhas, prever atrasos e gerar simulações mais inteligentes e ajustadas à realidade do projeto (Awe et al., 2025).

As estruturas de ontologia são igualmente enfatizadas como elementos-chave para o desenvolvimento futuro do BIM 4D, ao promoverem uma linguagem comum e a integração sem fricção entre diferentes plataformas digitais. A ontologia facilita a coerência dos dados e torna possível um intercâmbio mais eficaz de informação entre modelos, cronogramas e sistemas de controlo. Por fim, os autores identificam linhas prioritárias de investigação futura, nomeadamente o aprofundamento do estudo sobre a adoção prática do BIM 4D, a criação de soluções de IA mais avançadas para automatização de fluxos de trabalho e geração de insights preditivos, e a exploração mais rigorosa dos LOD adequados à modelação 4D (Awe et al., 2025).

Em suma, a convergência entre BIM e Inteligência Artificial representa uma oportunidade estratégica para transformar profundamente a gestão de obras, permitindo não apenas melhorar o planeamento temporal, mas também introduzir capacidades analíticas e preditivas que potenciam a eficiência e a resiliência dos projetos de construção civil.

4.5 Estruturação de Cronogramas com BIM 4D: Abordagem CESI no Caso Nanterre 2

A implementação prática do BIM 4D em projetos reais de construção continua a enfrentar diversos desafios, apesar do reconhecimento crescente dos seus benefícios na gestão do tempo e da execução. Um caso de estudo desenvolvido no âmbito do projeto Nanterre 2 CESI, em França, apresenta uma aplicação concreta desta tecnologia e propõe uma metodologia estruturada para a sua operacionalização (Doukari et al., 2022).

O estudo demonstra que, embora o BIM 4D permita simular o progresso da construção e facilitar a coordenação entre os intervenientes, a sua integração nos cronogramas enfrenta limitações significativas. Entre os principais obstáculos identificados estão: os diferentes níveis de conhecimento técnico entre os participantes, problemas de colaboração interdisciplinar e dificuldades na ligação entre modelos 3D e os cronogramas de obra (Hadavi & Alizadehsalehi, 2024). Em teoria, o BIM 4D poderia ser gerado de forma automatizada; no entanto, na prática, os modelos tridimensionais e os cronogramas temporais são frequentemente desenvolvidos em fases distintas do projeto, o que obriga a um esforço manual considerável para a sua harmonização (Doukari et al., 2022).

Com o objetivo de ultrapassar estas dificuldades, os autores propõem uma abordagem metodológica designada por processo CESI de quatro fases, que visa apoiar a criação de cronogramas de construção eficazes com recurso ao BIM 4D (Chowdhury et al., 2024). Esta abordagem oferece um guião prático para integrar as exigências técnicas, os requisitos de informação e os fluxos de trabalho associados à gestão temporal do projeto.

As quatro fases da metodologia CESI são (Doukari et al., 2022): (1) Definição clara dos objetivos do BIM 4D, assegurando que todos os intervenientes compreendem as finalidades e os resultados esperados da modelação temporal; (2) Identificação dos requisitos de informação e dos fluxos de trabalho relevantes, permitindo alinhar o modelo com os dados necessários à gestão eficiente do tempo; (3) Construção e implementação de um cronograma de projeto, que sirva de base para a simulação 4D; e (4) Produção de um modelo BIM adaptado ao caso de uso do BIM 4D, compatível com os requisitos definidos e com capacidade de simular eficazmente a execução da obra.

Os autores reforçam a importância de seguir o princípio SMART (*Specific, Measurable, Achievable, Realistic and Time-bound*)¹⁴ na definição dos objetivos, assegurando a sua clareza e viabilidade. Além disso, sugerem a aplicação da matriz RACI (*Responsible, Accountable, Consulted, Informed*)¹⁵ como instrumento de apoio à gestão de responsabilidades entre os diferentes intervenientes do projeto, promovendo maior clareza na distribuição de tarefas e na comunicação entre equipas. A abordagem CESI é apresentada como uma ferramenta de apoio prático, não só para ultrapassar os desafios técnicos da implementação do BIM 4D, mas também para promover uma cultura de planeamento mais colaborativa e eficiente (Doukari et al., 2022). Apesar de o estudo estar contextualizado no sistema de contratação francês, os autores argumentam que os princípios e conclusões são amplamente transferíveis para outros contextos internacionais, incluindo o setor da construção em Portugal (Doukari et al., 2022).

Em síntese, o caso Nanterre 2 oferece um exemplo valioso de como uma abordagem metodológica estruturada pode facilitar a adoção do BIM 4D na prática. Este tipo de

¹⁴ <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/management/smart-goal/>

¹⁵ <https://artia.com/blog/matriz-raci-o-que-e-a-matriz-de-responsabilidades/>

contributo é essencial para consolidar o uso de tecnologias digitais no planeamento de obras e para a construção de modelos de gestão de tempo mais integrados, eficazes e replicáveis.

4.6. Planeamento e Gestão Ambiental com BIM 4D: Desafios e Oportunidades

O uso das tecnologias BIM, na sua vertente 4D, tem vindo a ser progressivamente explorado como ferramenta de apoio ao planeamento e gestão ambiental na construção civil. A capacidade do BIM 4D para integrar dimensões temporais aos modelos tridimensionais oferece novas possibilidades para simular, prever e controlar impactos ambientais ao longo das diferentes fases do projeto. No entanto, a sua aplicação prática ainda enfrenta obstáculos significativos no setor da construção (Jupp, 2017).

Segundo Jupp (2017), são seis os principais desafios que comprometem a eficácia do planeamento e da gestão ambiental na indústria da construção: (1) Qualidade deficiente na comunicação e partilha de informações entre os diversos intervenientes do projeto; (2) Estrutura tradicional de responsabilidades e entrega de projetos, que limita a colaboração multidisciplinar; (3) Amplitude e variabilidade das tarefas de gestão ambiental, que exigem monitorização contínua e capacidade de adaptação; (4) Persistência de abordagens 2D baseadas em papel, inadequadas para lidar com a complexidade dos impactos ambientais; (5) Dificuldade em coordenar interdependências entre planos ambientais e controlos de execução; e (6) Subjetividade na avaliação da significância dos impactos ambientais, dificultando a tomada de decisão fundamentada (Gangolells et al., 2009).

Como resposta a estes desafios, propõe-se o recurso ao BIM 4D como ferramenta estratégica, destacando-se cinco pré-requisitos funcionais para uma plataforma ambientalmente responsiva: (1) Agendamento e simulação: integração entre o cronograma de obra e o modelo 3D, permitindo visualizar o progresso da construção ao longo do tempo (Kim et al., 2015); (2) Modelação de equipamentos ambientais temporários: inclusão de elementos de mitigação no modelo digital, como barreiras acústicas ou sistemas de controlo de poeiras; (3) Visualização da gravidade dos impactos ambientais: utilização de indicadores visuais, como cores ou “*beacons*”, para representar o grau de severidade de cada impacto; (4) Verificação de regras ambientais: capacidade para definir, parametrizar e monitorizar o

cumprimento de critérios e limites previamente estabelecidos (Pan & Zhang, 2023); e (5) Gestão integrada de informação ambiental, promovendo coerência entre os dados técnicos, o planeamento temporal e os objetivos de sustentabilidade.

Apesar das suas vantagens teóricas, a aplicação prática destas funcionalidades ainda é limitada, carecendo de plataformas operacionais mais desenvolvidas e de fluxos de trabalho padronizados que permitam tirar pleno partido das capacidades do BIM 4D no domínio ambiental. A investigação atual aponta para a necessidade de desenvolver soluções mais robustas, que articulem tecnologia, gestão ambiental e práticas colaborativas, de forma acessível e replicável (Jupp, 2017).

Em suma, o BIM 4D apresenta um potencial significativo para transformar a forma como se planeiam e gerem os impactos ambientais na construção civil. No entanto, para que tal se concretize, será necessário superar barreiras técnicas, organizacionais e culturais, investindo em investigação aplicada, desenvolvimento de ferramentas específicas e capacitação dos profissionais do setor.

4.7. Contributos da 4.^a Dimensão BIM para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

A quarta dimensão BIM 4D, ao incorporar o fator tempo e programação nos modelos digitais de construção, revela-se uma ferramenta estratégica para a promoção de práticas sustentáveis e eficazes na indústria da construção civil. Esta integração está em consonância com vários ODS definidos pela Organização das Nações Unidas, contribuindo para uma abordagem mais inteligente, eficiente e responsável na execução de projetos (Figura 3).



Figura 3. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU)

O ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestruturas é, talvez, o mais diretamente associado ao BIM 4D, ao promover a inovação tecnológica, a melhoria da produtividade e a modernização das infraestruturas, incentivando uma industrialização sustentável e resiliente (A. Silva & Almeida, 2020). O planeamento mais preciso e a redução de re-trabalhos proporcionados pelo BIM 4D são elementos centrais para este objetivo.

Por sua vez, o ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis é favorecido pela capacidade do BIM 4D em facilitar o desenvolvimento urbano sustentável, através da gestão integrada do ciclo de vida dos edifícios e da maior previsibilidade na sua execução (European Commission, 2020). A visualização temporal de projetos permite mitigar impactos negativos durante a construção, contribuindo para espaços urbanos mais organizados e resilientes.

O ODS 12 – Produção e Consumo Sustentáveis também é diretamente impactado. A otimização de cronogramas e de recursos associada ao BIM 4D reduz desperdícios, melhora o controlo sobre o consumo de materiais e energia e facilita a implementação de estratégias de economia circular nos canteiros de obra (ElMassah & Mohieldin, 2020).

Adicionalmente, o ODS 8 – Trabalho Digno e Crescimento Económico é apoiado pela melhoria das condições de trabalho, uma vez que o BIM 4D permite planeamentos mais seguros, menos sujeitos a imprevistos e com melhor afetação de recursos humanos, promovendo um ambiente de obra mais previsível e estruturado (Geibler et al., 2019).

Em termos de eficiência energética e climática, o ODS 7 – Energia Acessível e Limpa e o ODS 13 – Ação Climática são beneficiados pela possibilidade de simulação de consumos, avaliação de cenários e integração de estratégias de construção de baixo impacto, promovendo decisões mais sustentáveis ao longo de todo o processo construtivo (Kämpf, 2022).

No que respeita à gestão de recursos hídricos, o ODS 6 – Água Potável e Saneamento é igualmente relevante, já que o planeamento temporal detalhado do BIM 4D facilita a gestão racional da água em fases críticas da obra, nomeadamente nas atividades que envolvem uso intensivo deste recurso (Shan & Khan, 2016).

Por fim, o ODS 17 – Parcerias para a Implementação dos Objetivos é reforçado através da colaboração multidisciplinar promovida pelo ambiente digital partilhado do BIM. A integração de diferentes agentes num modelo comum fomenta maior cooperação,

transparência e eficiência nas relações entre projetistas, empreiteiros, gestores e decisores públicos (Shan & Khan, 2016).

Assim, a 4D BIM, ao estruturar o tempo como um vetor fundamental de decisão, amplifica a contribuição da construção civil para os objetivos globais de desenvolvimento sustentável, transformando a forma como se planeia, executa e avalia o impacto dos projetos sobre o ambiente, a economia e a sociedade (Doukari et al., 2022).

5. Metodologia da Investigação e modelo concetual

A presente investigação adota uma abordagem metodológica de natureza aplicada, com o objetivo de desenvolver um Modelo de Gestão Operacional de base Tecnológica orientado para a redução dos tempos de execução em obras de construção civil, através da integração de tecnologias digitais, em particular do BIM 4D. Considerando a crescente exigência por maior previsibilidade, controlo e eficiência no setor da construção, esta metodologia visa estabelecer uma ponte entre a teoria e a prática, recorrendo à análise empírica de casos reais e à definição de indicadores de desempenho operacionais.

A metodologia encontra-se estruturada em duas vertentes complementares. Na primeira (secção 5.1), será apresentado o Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica, concebido com base nas boas práticas de gestão de obra e suportado por ferramentas BIM e digitais. Este modelo visa servir como referência para empresas de construção que pretendam integrar soluções tecnológicas nos seus processos operacionais de forma sistemática e orientada a resultados.

Na segunda vertente (secção 5.2), são definidos os KPIs que permitem medir, de forma objetiva, o impacto da implementação do modelo nas obras analisadas (A. da Silva & Cardoso, 2025). Estes KPIs foram selecionados de acordo com a sua relevância para a monitorização do tempo, comunicação, decisão e eficiência operacional, permitindo, assim, avaliar de forma comparável os benefícios da utilização de tecnologias digitais na gestão da execução.

Esta abordagem metodológica permite não apenas responder à questão de investigação, mas também gerar conhecimento prático, com potencial de aplicação direta no setor da construção civil em Portugal.

5.1. Conceito e Estrutura do Modelo de Gestão Operacional de base Tecnológica

A crescente complexidade dos projetos de construção civil, aliada à pressão para cumprir prazos, controlar custos e garantir qualidade, exige modelos de gestão cada vez mais

estruturados, integrados e baseados em evidência. Neste contexto, a presente investigação propõe um Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica, centrado na recolha sistemática de dados e na sua análise crítica como suporte à tomada de decisão.

Este modelo parte da premissa de que uma gestão eficaz de obra deve ser sustentada por dados objetivos e em tempo útil, permitindo antecipar desvios, corrigir ineficiências e alinhar os diversos intervenientes em torno de metas comuns. Para tal, torna-se fundamental implementar um sistema de gestão que integre: (1) Planeamento estruturado, baseado em metodologias como o BIM 4D, que permite associar elementos temporais às atividades construtivas; (2) Monitorização contínua do desempenho, através de sistemas digitais que reúnem e centralizam a informação da obra; (3) Avaliação periódica dos resultados, com base em métricas bem definidas, alinhadas com os objetivos estratégicos do projeto; e (4) Capacidade de resposta e adaptação, com mecanismos que permitam à gestão atuar de forma célere perante desvios ou constrangimentos identificados.

Este modelo de gestão inspira-se nos princípios da gestão por objetivos e evidência, e apoia-se no uso de tecnologias digitais, como plataformas colaborativas e ferramentas BIM, para garantir a rastreabilidade e transparência dos processos.

A sua implementação pressupõe não apenas o uso de *software* especializado, mas também uma mudança de paradigma organizacional, promovendo uma cultura orientada para resultados, comunicação eficiente entre as partes e valorização da informação como ativo estratégico.

Além disso, este modelo é pensado para ser replicável e adaptável, aplicável a diferentes tipologias de obra e escalas de projeto. A sua estrutura modular permite que seja calibrado de acordo com os recursos disponíveis, grau de maturidade digital da organização e exigências do cliente.

A articulação entre o Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica e os KPIs, que serão apresentados na subseção seguinte, constitui a base para a operacionalização desta proposta. Ao monitorizar variáveis críticas do processo construtivo, este modelo visa melhorar a previsibilidade, reduzir desperdícios e garantir o cumprimento dos prazos contratualmente definidos.

5.2. Indicadores de Desempenho (KPIs)

No atual contexto da construção civil, caracterizado por prazos cada vez mais exigentes e uma crescente complexidade dos projetos, a medição rigorosa do desempenho operacional assume um papel fundamental. Neste sentido, os KPIs tornam-se instrumentos indispensáveis para monitorizar, avaliar e melhorar continuamente a eficiência dos processos de gestão de obra.

Os KPIs representam métricas específicas e quantificáveis que traduzem o grau de cumprimento dos objetivos estratégicos definidos para o projeto. Quando bem definidos e implementados, estes indicadores fornecem informação objetiva e em tempo útil, permitindo uma gestão orientada por dados e facilitando a tomada de decisões informadas ao longo do ciclo de vida da obra.

Entre os diversos tipos de indicadores utilizados na gestão de projetos, os indicadores temporais assumem particular relevância no contexto desta investigação, dado o seu impacto direto sobre os prazos de execução. Estes permitem avaliar a duração média de tarefas, a velocidade de resposta a pedidos de informação, os tempos de aprovação de documentação técnica e a eficácia na resolução de não conformidades. O seu acompanhamento regular possibilita a identificação de constrangimentos, a deteção precoce de desvios e a introdução de medidas corretivas eficazes.

Para garantir a fiabilidade e utilidade dos KPIs, é essencial que estes sejam definidos segundo os critérios SMART: Específicos, Mensuráveis, Atingíveis, Relevantes e Temporais (Figura 4). Além disso, a sua implementação deve estar apoiada em sistemas digitais de recolha e análise de dados, que assegurem consistência, rastreabilidade e visualização clara da informação em contexto de obra.



Figure 4. Representação visual dos Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) aplicados à gestão empresarial¹⁶

A adoção de uma estrutura robusta de KPIs constitui, assim, uma peça central no Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica proposto, permitindo alinhar os objetivos operacionais com os resultados pretendidos. Nas subseções seguintes, serão detalhados os principais indicadores selecionados para esta investigação, com base na sua relevância prática e aplicabilidade no contexto da construção civil portuguesa.

5.2.1. Progresso e Acompanhamento de Tarefas (KPI₁)

O primeiro indicador-chave de desempenho proposto visa medir a eficiência na execução das tarefas planeadas em obra, tendo como principal foco a relação entre o tempo real de conclusão e o tempo previsto. Esta métrica permite avaliar o cumprimento dos prazos estabelecidos e identificar possíveis desvios ou atrasos na execução.

Para o cálculo deste indicador, é utilizada a seguinte fórmula:

$$KPI_1 = \frac{T_1'}{T_2'} \quad (\text{Eq.1})$$

em que,

- T_1' representa o tempo médio de conclusão de tarefas (em dias)
- T_2' representa o tempo médio previsto de conclusão de tarefas (em dias)

¹⁶ <https://botpenguin.com/glossary/kpi>

Este indicador revela a capacidade da equipa de manter a obra dentro dos prazos estipulados. Valores inferiores ou iguais a 1 indicam desempenho eficiente, enquanto valores superiores a 1 sinalizam atrasos, podendo exigir ações corretivas e replaneamento. A análise contínua deste KPI permite uma gestão mais rigorosa dos cronogramas e contribui para a melhoria da previsibilidade e da alocação de recursos.

Tempo Médio de Conclusão de Tarefas (T_1): O tempo médio de conclusão de tarefas, designado por T_1 , corresponde ao valor médio do tempo efetivamente despendido para completar cada uma das tarefas previstas no plano de obra. Este parâmetro constitui a base de cálculo do KPI_1 e fornece uma métrica objetiva da produtividade da equipa ao longo do tempo.

O seu cálculo é realizado através da seguinte fórmula:

$$T_1 = \frac{\sum t}{n} \quad (\text{Eq.2})$$

em que,

- $\sum t$ representa o somatório dos tempos de conclusão de cada tarefa (em dias)
- n representa o número total de tarefas

Esta métrica permite uma avaliação contínua da eficiência operacional na execução das tarefas, oferecendo uma visão clara sobre eventuais desvios ou atrasos. Quando monitorizada regularmente, a evolução do T_1 pode sinalizar tendências de melhoria ou de degradação do desempenho, funcionando como suporte à tomada de decisões corretivas no planeamento e gestão da obra.

Tempo Médio Previsto de Conclusão de Tarefas (T_2): O tempo médio previsto de conclusão de tarefas, designado por T_2 , corresponde à estimativa temporal inicialmente definida para a realização das tarefas em obra, tal como planeado nos cronogramas e documentos de planeamento. Esta métrica estabelece a referência base para avaliar a conformidade entre o desempenho real e o planeado.

O cálculo de T_2 é efetuado com base na seguinte fórmula:

$$T_2 = \frac{\sum t}{n} \quad (\text{Eq. 3})$$

em que,

- $\sum t$ representa o somatório dos tempos previstos de conclusão de cada tarefa (em dias);
- n representa o número total de tarefas

Este indicador é fundamental para aferir a aderência entre o planeamento teórico e a execução prática. Uma comparação direta entre T_1' e T_2' , através do KPI_1 , permite identificar se os prazos estão a ser cumpridos, superados ou excedidos, contribuindo para uma gestão mais eficaz e orientada para o cumprimento rigoroso dos cronogramas de obra.

5.2.2. Progresso de Pedidos de Informação (KPI_2)

O segundo indicador-chave de desempenho, designado por KPI_2 , avalia a eficácia da resposta aos pedidos de informação (*Requests for Information – RFI*), comparando o tempo médio real de resposta com o tempo médio planeado. Este KPI é particularmente relevante para aferir a agilidade na comunicação e resolução de dúvidas durante a execução da obra, fator crítico para evitar interrupções ou atrasos.

A sua determinação é realizada através da seguinte fórmula:

$$KPI_2 = \frac{T_{1''}}{T_{2''}} \quad (\text{Eq. 4})$$

em que:

- $T_{1''}$ representa o tempo médio efetivo de resposta às solicitações (em horas);
- $T_{2''}$ representa o tempo médio de resposta previsto (em horas).

Valores de KPI_2 inferiores a 1 indicam um desempenho superior ao previsto, evidenciando maior eficiência na resposta às solicitações. Por outro lado, valores superiores a 1 podem sinalizar atrasos nos fluxos de comunicação que exigem ação corretiva. Este KPI contribui, assim, para o reforço da transparência, rastreabilidade e previsibilidade no processo de gestão da informação durante a obra.

Tempo Médio de Resposta ($T_{1''}$): O tempo médio de resposta ($T_{1''}$) refere-se à média do tempo despendido para responder a todas as solicitações recebidas durante o período de análise. Este valor é fundamental para avaliar a capacidade de resposta da equipa de obra, contribuindo diretamente para a fluidez dos processos de decisão e resolução de problemas.

A métrica é calculada pela seguinte expressão:

$$T_{1''} = \frac{\sum t}{n} \quad (\text{Eq. 5})$$

em que:

- $\sum t$ representa o somatório dos tempos de resposta individuais a cada solicitação (em horas);
- n representa o número total de solicitações recebidas.

Valores reduzidos de $T_{1''}$ são indicativos de uma comunicação mais ágil e eficaz, enquanto valores mais elevados poderão refletir constrangimentos operacionais ou ineficiências nos canais de resposta. Este indicador contribui, assim, para identificar oportunidades de melhoria na dinâmica de comunicação entre os vários intervenientes no projeto.

Tempo Médio de Resposta Previsto ($T_{2''}$): O tempo médio de resposta previsto ($T_{2''}$) representa a média dos tempos definidos como meta ou expectativa para o atendimento de solicitações durante o desenvolvimento da obra. Este indicador serve de referência para avaliar o desempenho real face ao planeado, sendo um suporte fundamental à análise de desvios operacionais. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$T_{2''} = \frac{\sum t}{n} \quad (\text{Eq. 6})$$

em que:

- $\sum t$ representa o somatório dos tempos previstos de resposta para cada solicitação (em horas);
- n representa o número total de solicitações previstas.

A comparação entre o $T_{1''}$ (tempo real) e o $T_{2''}$ (tempo previsto) permite aferir a eficiência da equipa na gestão de pedidos de informação, sinalizando eventuais lacunas a corrigir para garantir maior previsibilidade e cumprimento de prazos.

5.2.3. Progresso de Pedidos de Aprovação (KPI₃)

Este indicador mede a eficiência do processo de análise e aprovação documental ao longo do projeto. O KPI₃ compara o tempo real médio de aprovação com o tempo médio planeado, permitindo avaliar a eficácia da equipa e a fluidez do processo decisório.

A fórmula utilizada é a seguinte:

Para medir este fator, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$KPI_3 = \frac{T_{1'''}}{T_{2'''}} \quad (\text{Eq. 7})$$

em que:

- T_{1'''} representa o tempo médio de aprovação de pedidos (em horas);
- T_{2'''} representa o tempo médio previsto de aprovação de pedidos (em horas).

Valores inferiores a 1 indicam que os pedidos estão a ser aprovados mais rapidamente do que o previsto, refletindo um bom desempenho. Já valores superiores a 1 apontam para atrasos no processo de aprovação, sendo um alerta para potenciais gargalos.

Tempo Médio de Aprovação (T_{1'''}): Este indicador permite quantificar o tempo médio necessário para concluir a análise e aprovação de documentos ou decisões formais num projeto de construção. A fórmula utilizada é a seguinte:

$$T_{1'''} = \frac{\sum t}{n} \quad (\text{Eq. 8})$$

em que:

- $\sum t$ representa o somatório dos tempos de resposta a cada pedido de aprovação (em horas);
- n representa o número total de pedidos de aprovação.

Esta métrica fornece uma visão objetiva sobre a agilidade do processo de validação documental e pode ser utilizado para identificar oportunidades de melhoria na comunicação e no fluxo de aprovação.

Tempo Médio de Aprovação Previsto ($T_{2'''}$): Este indicador estabelece uma referência planeada para o tempo considerado aceitável na revisão e aprovação de documentos ou decisões em projetos de construção.

A fórmula aplicada é a seguinte:

$$T_{2'''} = \frac{\sum t}{n} \quad (\text{Eq. 9})$$

em que:

- $\sum t$ representa o somatório dos tempos previstos de resposta a cada pedido de aprovação (em horas);
- n representa o número total de pedidos de aprovação.

Este KPI permite comparar os tempos reais com os tempos estimados, ajudando a identificar atrasos sistemáticos e a ajustar expectativas ou procedimentos no processo de aprovação.

5.2.4. Progresso de Resolução de Não-Conformidades (KPI₄)

Este indicador visa avaliar a eficiência na resolução de não-conformidades identificadas durante a execução da obra, comparando o tempo médio real de resolução com o tempo previsto para tal.

A fórmula utilizada é a seguinte:

$$KPI_4 = \frac{T_{1iv}}{T_{2iv}} \quad (\text{Eq. 10})$$

em que:

- T_{1iv} representa o tempo médio de resolução de não-conformidades (em dias);
- T_{2iv} representa o tempo médio previsto de resolução de não-conformidades (em dias).

Este KPI permite identificar atrasos na resolução de problemas, contribuindo para a melhoria contínua da qualidade e da gestão de processos em obra. Valores inferiores a 1

indicam maior eficiência que o previsto; superiores a 1 sugerem atrasos que requerem intervenção.

Tempo Médio de Resolução de Não-Conformidades (T_{1iv}): Este indicador mede o tempo médio necessário para resolver as não-conformidades identificadas, fornecendo uma visão clara da agilidade e eficácia da equipa na resposta a falhas de qualidade.

A fórmula utilizada é a seguinte:

$$T_{1iv} = \frac{\sum t}{n} \quad (\text{Eq. 11})$$

em que:

- $\sum t$ representa o somatório do tempo de resolução de cada não-conformidade (em dias);
- n representa o número total de não-conformidades registadas.

Esta métrica permite identificar padrões de desempenho e áreas onde a resposta pode ser otimizada, promovendo maior controlo sobre a qualidade e os prazos de execução.

Tempo Médio Previsto de Resolução de Não-Conformidades (T_{2iv})

Este indicador permite aferir o tempo médio previsto para a resolução de não-conformidades, sendo essencial para estabelecer metas realistas de desempenho e acompanhar o cumprimento dos prazos planeados.

A fórmula utilizada é a seguinte:

$$T_{2iv} = \frac{\sum t}{n} \quad (\text{Eq. 12})$$

em que:

- $\sum t$ representa o somatório dos tempos previstos de resolução de cada não-conformidade (em dias);
- n representa o número total de não-conformidades previstas.

Esta métrica é particularmente útil para comparar o desempenho real com as expectativas, permitindo uma gestão mais eficaz dos recursos e maior controlo sobre a qualidade e os prazos de resposta.

5.2.5. Implementação do Modelo e Gestão

A implementação do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica proposto nesta investigação baseia-se na aplicação prática de um conjunto de KPIs, concebidos para monitorizar, com rigor, a eficiência temporal das atividades em obra. Este modelo assenta numa abordagem estruturada, que integra ferramentas digitais com práticas de gestão orientadas para resultados, tendo como finalidade garantir maior previsibilidade, controlo e agilidade na execução de projetos de construção civil.

A operacionalização do modelo inicia-se com a definição clara dos processos a monitorizar, nomeadamente: o progresso das tarefas, o tempo de resposta a pedidos de informação, o tempo de aprovação documental e a resolução de não-conformidades. Para cada uma destas áreas, são aplicadas métricas temporais específicas, permitindo medir o desempenho real face ao planeado e identificar, de forma objetiva, eventuais desvios.

A implementação eficaz do modelo exige, igualmente, a adoção de sistemas digitais que permitam a recolha contínua de dados em contexto de obra. Neste sentido, a integração de plataformas colaborativas como o *Autodesk Construction Cloud* representa uma mais-valia operacional. Estas ferramentas permitem centralizar a informação, automatizar notificações, documentar processos com rastreabilidade e gerar relatórios de desempenho em tempo real. Assim, a gestão da obra passa a ser suportada por evidência empírica, eliminando subjetividades e facilitando a tomada de decisões informadas.

A estrutura do modelo é adaptável a diferentes contextos organizacionais e níveis de maturidade digital, sendo escalável em função da dimensão e complexidade dos projetos. A sua implementação requer, contudo, um compromisso das equipas com a cultura de monitorização e melhoria contínua, bem como a definição clara de responsabilidades na introdução e validação dos dados.

Em suma, o Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica aqui proposto visa integrar práticas de gestão orientadas por dados com tecnologias digitais colaborativas,

Gestão de Obra Digital: Otimização de Prazos de Execução (BIM-4D)

permitindo monitorizar o desempenho da obra de forma sistemática, identificar ineficiências e atuar preventivamente. A sua aplicação em casos práticos reais, detalhada nas secções seguintes, permitirá validar empiricamente a sua eficácia e demonstrar o seu contributo para a modernização da gestão de obra no setor da construção civil portuguesa.

6. Contexto Empírico e Ambiente Tecnológico

No seguimento da estrutura metodológica definida nesta dissertação, a presente secção visa apresentar o contexto empírico da aplicação prática do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica proposto, com especial enfoque na plataforma tecnológica utilizada para a recolha e monitorização dos dados de obra.

A transformação digital no setor da construção civil tem sido impulsionada por soluções tecnológicas cada vez mais integradas, como o ACC. Esta plataforma destaca-se por permitir a centralização de dados, a ligação entre equipas e a gestão eficiente dos fluxos de trabalho, ao longo de todas as fases do ciclo de vida dos projetos. A sua aplicação prática é particularmente relevante no contexto da construção civil portuguesa, onde a necessidade de garantir prazos, qualidade e rastreabilidade se torna cada vez mais crítica.

Nesta secção, será feita uma apresentação do ACC enquanto ferramenta de apoio à gestão de obra, evidenciando as suas funcionalidades-chave e a forma como estas contribuem para a monitorização de KPIs, definidos previamente. Será também introduzido o ambiente prático onde o Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica foi testado, estabelecendo a ligação entre teoria e prática e permitindo aferir o impacto real da digitalização na gestão de prazos e processos em obras de construção civil.

6.1. Plataforma Tecnológica: Autodesk Construction Cloud

A transformação digital no setor da construção civil tem impulsionado a adoção de plataformas colaborativas que integram processos, equipas e dados em tempo real. Neste contexto, o ACC assume um papel central enquanto solução digital integrada para a gestão de projetos de construção.

O ACC é uma plataforma baseada em *cloud* que permite conectar os diversos intervenientes do projeto – desde arquitetos e engenheiros a empreiteiros e donos de obra – promovendo uma colaboração eficiente ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento. Com funcionalidades específicas para planeamento, controlo de qualidade, gestão

documental, análise de segurança e acompanhamento de progresso, esta plataforma oferece suporte à tomada de decisões informadas e à gestão preditiva.

Um dos seus principais diferenciais é a capacidade de gerar percepções acionáveis e automatizadas com base em dados recolhidos diretamente em obra. Através do *Data Connector*, os dados do projeto podem ser integrados com bases de dados externas geridas pelo cliente, possibilitando um nível superior de controlo e personalização.

A Figura 5 apresenta um esquema ilustrativo das etapas cobertas pelo ACC, desde a fase de design e planeamento até à construção e operação do ativo, demonstrando a abrangência funcional da plataforma no contexto da digitalização do setor da construção.

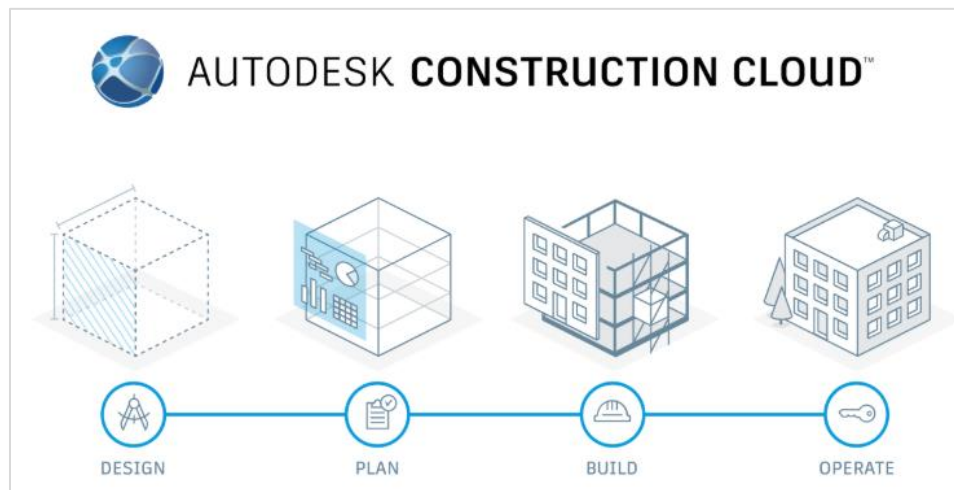


Figura 5. Esquema das etapas do Autodesk Construction Cloud (Fonte: manandmachine.co.uk)

A utilização do ACC nesta investigação justifica-se pela sua capacidade de integrar dados de diferentes fontes, facilitar a recolha de dados e proporcionar um ambiente digital colaborativo, essencial para a análise do impacto da gestão digital na execução de obras.

6.2. Aplicação do Modelo de Gestão Operacional de base Tecnológica

O ACC integra um conjunto robusto de funcionalidades que suportam a gestão digital de projetos de construção, permitindo uma abordagem mais eficiente, colaborativa e orientada por dados. Entre as principais funcionalidades destaca-se a gestão de dados centralizada, que permite armazenar toda a informação do projeto num único repositório na

cloud, assegurando que todos os intervenientes têm acesso a dados atualizados, consistentes e rastreáveis.

Outro aspeto essencial é a colaboração em tempo real, que permite às equipas do terreno e de escritório trabalhar de forma sincronizada, reduzindo os atrasos na comunicação e facilitando a tomada de decisão. A gestão documental é igualmente crítica, com ferramentas dedicadas para armazenar, partilhar e organizar documentos técnicos, como desenhos, RFIs (pedidos de informação), *submittals* (submissões) e especificações.

No que diz respeito à coordenação de modelos, o ACC facilita a integração e análise de modelos BIM, com capacidade de deteção automática de conflitos (*clash detection*), o que permite antever e resolver incompatibilidades ainda em fase de projeto. A funcionalidade de gestão de projeto incorpora planeamento, controlo de tarefas, orçamento e acompanhamento em tempo real, garantindo um maior controlo operacional por parte dos gestores de obra.

A componente de relatórios e análises permite gerar *dashboards* dinâmicos e relatórios detalhados com indicadores de desempenho, fundamentais para antecipar riscos, corrigir desvios e otimizar a execução. No que respeita à gestão de custos e estimativas, a ferramenta *Autodesk Takeoff* possibilita a medição precisa de quantidades e orçamentação com base em modelos 2D e 3D, tornando mais fiável o processo de licitação e planeamento financeiro.

A plataforma integra diferentes módulos adaptados às diversas fases e necessidades do projeto: (1) *Autodesk Docs*, como sistema centralizado de gestão documental; (2) *Autodesk Build*, centrado na execução e gestão em obra; (3) *Autodesk Takeoff*, para quantificação e estimativas; e (4) *BIM Collaborate*, que facilita a revisão colaborativa e a coordenação de modelos BIM, assegurando a deteção antecipada de erros de conceção.

A Figura 6 ilustra de forma esquemática as interações promovidas pelo ACC entre os diversos intervenientes ao longo do ciclo de vida do projeto, evidenciando a transversalidade e a natureza colaborativa da plataforma.

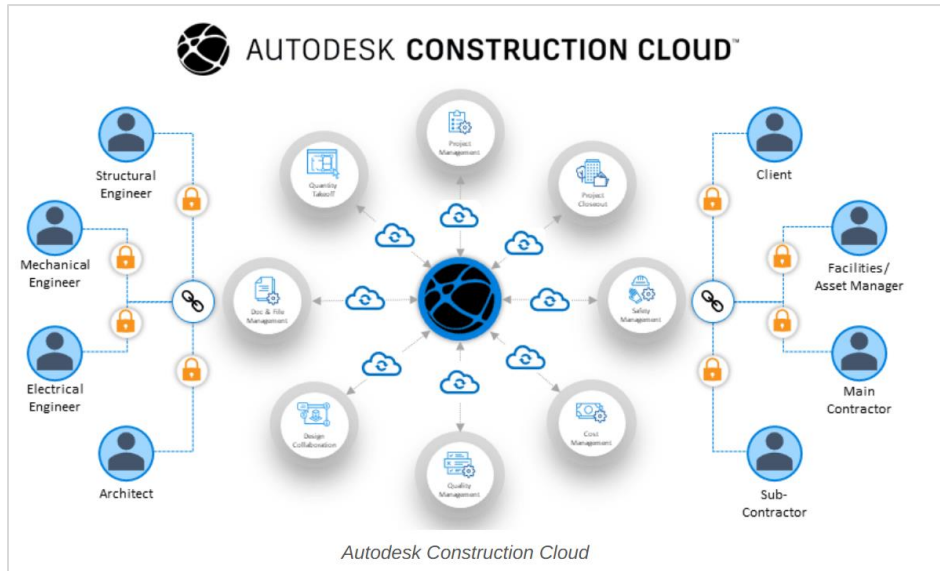


Figura 6. Interações em projetos de construção (Fonte: manandmachine.co.uk)

Em suma, as funcionalidades do *Autodesk Construction Cloud* não só respondem às exigências atuais do setor da construção, como também potenciam ganhos operacionais significativos. A sua adoção permite reduzir erros, minimizar retrabalho, aumentar a transparência entre equipas e, sobretudo, garantir uma execução mais previsível e eficiente dos projetos.

7. Validação Empírica do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica

Após a definição conceptual do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica e a identificação dos respetivos KPIs, esta secção dedica-se à sua aplicação prática, com o objetivo de validar empiricamente a sua eficácia e aplicabilidade em contexto real. Para esse efeito, foram selecionadas duas obras distintas no setor da construção civil, permitindo testar o modelo em cenários com diferentes escalas, níveis de complexidade técnica e configurações organizacionais.

A aplicação do modelo foi sustentada pela utilização da plataforma digital ACC, garantindo uniformidade na recolha dos dados e facilitando a monitorização de processos como: o cumprimento de prazos de execução, a capacidade de resposta a pedidos de informação (RFIs), a agilidade na aprovação documental e a resolução de não-conformidades em obra.

Cada caso prático é analisado segundo uma estrutura comum: inicia-se com uma breve caracterização do contexto do projeto, seguida da identificação das variáveis independentes e da metodologia de recolha de dados. Por fim, são determinadas e analisadas as variáveis dependentes correspondentes aos KPIs previamente definidos.

Esta abordagem visa aferir a consistência do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica proposto e a sua capacidade de promover maior previsibilidade, eficiência e rigor na gestão de obras, contribuindo assim para uma prática mais informada e orientada por dados no setor da construção civil portuguesa.

7.1. Caso Prático nº 1 – Obra de Fit Out de Escritórios, Quinta da Fonte (Oeiras)

Com o intuito de validar o modelo de gestão proposto, este primeiro caso prático incide sobre uma obra de remodelação interior (*Fit Out*) de escritórios, localizada na Quinta da Fonte, em Oeiras, executada pela empresa *Tétris – Design & Build*. O projeto decorreu

entre outubro de 2024 e fevereiro de 2025 e envolveu a renovação integral de três pisos, totalizando cerca de 3.600 m² de área intervencionada.

A complexidade da obra resultou não só da sua exigente componente técnica e logística, mas também da necessidade de articulação entre 25 empresas subcontratadas, com uma média diária de 62 trabalhadores em simultâneo. Perante este cenário, a gestão eficiente da informação, do planeamento e das decisões técnicas revelou-se essencial para garantir o cumprimento dos prazos estabelecidos.

A plataforma ACC foi implementada como suporte à gestão da obra, com acesso concedido às principais partes interessadas: fiscalização/cliente, equipa de arquitetura e subempreiteiros. A adoção desta ferramenta digital permitiu centralizar fluxos de comunicação, facilitar a rastreabilidade de documentos e automatizar processos de aprovação, contribuindo para a redução de erros, atrasos e redundâncias operacionais.

7.1.1. Descrição e Contexto

O projeto consistiu na demolição de estruturas existentes (paredes e tetos metálicos), seguida da instalação de novas compartimentações em gesso cartonado e da execução de infraestruturas técnicas, como instalações elétricas e mecânicas. Desde a fase inicial, a Direção de Obra recorreu ao ACC para planear, documentar e acompanhar o progresso das tarefas em tempo real.

Durante os primeiros doze dias úteis da empreitada, a plataforma foi utilizada para submeter 110 Fichas de Aprovação de Materiais, cuja validação por parte da fiscalização era essencial para garantir a sequência fluida das encomendas e o início atempado das atividades de instalação. A funcionalidade do ACC que permite visualizar quem acedeu aos documentos, quando o fez, e o seu estado de aprovação (Em análise / Aprovado / Não Aprovado), foi determinante para controlar o avanço do processo e evitar trocas excessivas de e-mails.

No decurso da obra, surgiram incompatibilidades entre o projeto e as condições reais em obra. Nestes casos, a plataforma permitiu à Direção de Obra comunicar os problemas de forma estruturada, indicando localizações em planta, anexando imagens, e definindo prazos para resposta da equipa de projeto. A capacidade de documentar, rever e validar soluções

técnicas dentro do ACC, com histórico completo e partilhado entre os intervenientes, traduziu-se num ganho significativo de tempo e clareza nas decisões.

Outros aspetos do projeto, como a substituição de materiais com prazos de entrega incompatíveis, a resposta a RFIs, e a resolução de não-conformidades na fase final da obra, foram também geridos integralmente através do ACC. A utilização da aplicação móvel da plataforma revelou-se especialmente útil durante as vistorias conjuntas, permitindo o registo imediato de falhas, com georreferenciação em planta, fotografias e atribuição direta de responsabilidades aos subempreiteiros.

A implementação do ACC neste contexto evidenciou o seu papel como ferramenta facilitadora da comunicação, da rastreabilidade e da tomada de decisão em obra, constituindo um ambiente digital eficaz para a aplicação prática do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica definido nesta dissertação.

7.1.2. Variáveis Independentes e Recolha de Dados

Para validar o Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica definido nesta investigação, procedeu-se à recolha e análise de dados operacionais obtidos diretamente a partir da plataforma ACC, durante a execução da obra de remodelação na Quinta da Fonte.

A recolha de dados incidiu sobre quatro áreas principais de monitorização, correspondentes às dimensões temporais definidas pelos KPIs da metodologia proposta. As variáveis independentes foram determinadas com base na medição dos tempos reais e previstos associados a cada processo crítico de gestão de obra, conforme descrito a seguir:

Progresso e acompanhamento de tarefas. Foi realizado o somatório dos tempos reais de conclusão de cada tarefa executada, bem como dos tempos previstos para a sua execução, conforme estabelecido no planeamento inicial da obra. A média de cada conjunto permitiu apurar os valores necessários para o cálculo da variável dependente (KPI_1), através do quociente entre o tempo médio real e o tempo médio planeado de execução das tarefas.

Pedidos de informação (RFIs). Recolheram-se os dados relativos ao tempo despendido na resposta a cada solicitação, assim como os tempos previamente definidos como meta para a resposta a esses pedidos. O KPI_2 foi obtido dividindo-se a média dos

tempos reais de resposta pelas médias dos tempos de resposta previstos, medindo-se assim a eficiência e a agilidade da comunicação técnica durante a obra.

Pedidos de aprovação documental. Para esta dimensão, foram apurados os tempos reais de resposta a cada pedido de aprovação e os tempos previstos para a sua resposta, definidos contratualmente ou acordados com a fiscalização. O cálculo do KPI₃ seguiu a mesma lógica: razão entre as médias dos tempos reais e previstos, permitindo aferir a eficácia do fluxo de validação de documentos críticos ao avanço da obra.

Resolução de não-conformidades. Foram contabilizados os tempos reais de resolução de cada não-conformidade detetada, bem como os tempos previstos de resolução previamente estabelecidos. A variável KPI₄ foi determinada pela divisão entre a média dos tempos de resolução reais e a média dos tempos previstos, permitindo avaliar o desempenho da equipa na gestão de correções e ajustamentos em fase de execução e receção.

Todos os dados foram recolhidos de forma automatizada ou semi-automatizada através dos registos existentes na plataforma digital, assegurando a rastreabilidade das ações e a fiabilidade dos tempos registados. Esta abordagem permitiu uma análise objetiva e estruturada do desempenho da obra, com base em variáveis quantificáveis e comparáveis.

7.1.3. Avaliação Temporal do Desempenho – Dados Observados

Com base na recolha e organização dos dados operacionais da obra realizada na Quinta da Fonte, foi possível calcular os rácios entre os tempos reais e os tempos previstos de execução para as diferentes tarefas em cada um dos pisos intervencionados. Estes rácios representam, conforme definido no modelo de gestão proposto, os valores observados para o KPI₁ – Progresso e Acompanhamento de Tarefas, permitindo aferir o grau de aderência entre o planeado e o executado.

No Piso 1, verificou-se uma execução rigorosa na maioria das tarefas estruturais e de acabamento. Como se pode observar na Tabela 3, os trabalhos de demolições, gesso cartonado e divisórias em vidro foram concluídos dentro dos prazos previstos, com rácios iguais a 1,00. Apenas nas carpintarias se observou um ligeiro desvio, com um rácio de 0,89, indicando uma conclusão antecipada face ao previsto.

Tabela 3. Tempos de execução de tarefas estruturais e divisórias: Piso 1

Piso 1	Demolições	Gesso Cartonado	Divisórias Vidro	Carpintarias
Tempo conclusão (dias) (1)	4	49	16	17
Tempo previsto (dias) (2)	4	49	16	19
(1)/(2)	1,00	1,00	1,00	0,89

Na Tabela 4, referente aos acabamentos e mobiliário do mesmo piso, nota-se uma tendência geral para uma execução mais rápida do que o planeado. Os revestimentos (0,67), pavimentos (0,75) e portas (0,80) foram concluídos com uma performance superior à expectativa, com exceção das pinturas (1,00) que seguiram o planeamento. O mobiliário registou um desempenho eficiente com um rácio de 0,83.

Tabela 4. Tempos de execução de tarefas de acabamento e mobiliário: Piso 1

Piso 1	Portas	Revestimentos	Pavimentos	Pinturas	Mobiliário
Tempo conclusão (dias) (1)	4	6	9	15	5
Tempo previsto (dias) (2)	5	9	12	15	6
(1)/(2)	0,80	0,67	0,75	1,00	0,83

Relativamente às infraestruturas técnicas, a Tabela 5 mostra que tanto as instalações elétricas (0,97) como as instalações mecânicas (0,96) foram concluídas ligeiramente antes do previsto, com desvios mínimos.

Tabela 5. Tempos de execução de infraestruturas técnicas: Piso 1

Piso 1	Inst. Elétricas	Inst. Mecânicas
Tempo conclusão (dias) (1)	71	66
Tempo previsto (dias) (2)	73	69
(1)/(2)	0,97	0,96

A Figura 7 sintetiza visualmente os dados deste piso, ilustrando a consistência e o controle do planejamento verificados nesta fase da obra.

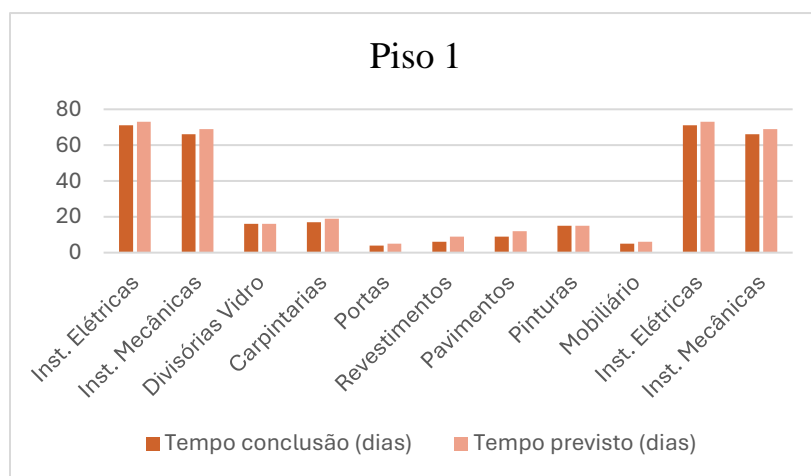


Figura 7. Gráfico de comparação entre tempo de obra previsto e de conclusão: Caso Prático 1 - Piso 1

Passando ao Piso 2, os dados da Tabela 6 demonstram novamente um elevado grau de eficiência. As demolições foram executadas dentro do prazo (1,00), enquanto as restantes tarefas registaram rácios entre 0,89 e 0,96, sugerindo melhorias de produtividade, em especial nas carpintarias (0,89) e divisórias (0,94).

Tabela 6. Tempos de execução de tarefas estruturais e divisórias: Piso 2

Piso 2	Demolições	Gesso Cartonado	Divisórias Vidro	Carpintarias
Tempo conclusão (dias) (1)	4	47	15	17
Tempo previsto (dias) (2)	4	49	16	19
(1)/(2)	1,00	0,96	0,94	0,89

Na Tabela 7, observa-se novamente que revestimentos (0,67), pavimentos (0,83), e mobiliário (0,83) foram concluídos com desempenho superior ao planejado. As pinturas (0,93) e portas (1,00) mantiveram-se dentro de valores aceitáveis.

Tabela 7. Tempos de execução de tarefas de acabamento e mobiliário: Piso 2

Piso 2	Portas	Revestimentos	Pavimentos	Pinturas	Mobiliário
Tempo conclusão (dias) (1)	5	6	10	14	5
Tempo previsto (dias) (2)	5	9	12	15	6
(1)/(2)	1,00	0,67	0,83	0,93	0,83

A Tabela 8 indica que as infraestruturas técnicas mantiveram a tendência de execução antecipada, com raios de 0,97 (elétricas) e 0,99 (mecânicas).

Tabela 8. Tempos de execução de infraestruturas técnicas: Piso 2

Piso 2	Inst. Elétricas	Inst. Mecânicas
Tempo conclusão (dias) (1)	71	68
Tempo previsto (dias) (2)	73	69
(1)/(2)	0,97	0,99

A Figura 8 resume visualmente os resultados deste piso, reforçando a consistência dos tempos registados face ao planeado.

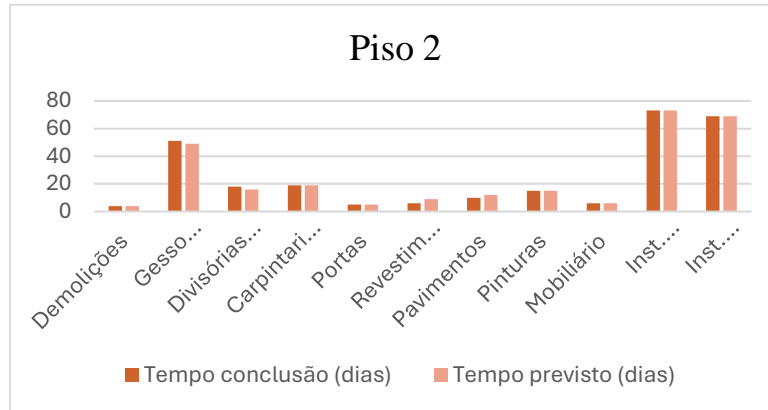


Figura 8. comparação entre tempo de obra previsto e de conclusão: Piso 2

No que respeita ao Piso 3, os dados da Tabela 9 indicam que a tarefa de demolição (1,00) e carpintarias (1,00) foram concluídas exatamente nos prazos definidos, mas o gesso cartonado (1,04) e divisórias de vidro (1,13) sofreram atrasos ligeiros.

Tabela 9. Tempos de execução de tarefas estruturais e divisórias: Piso 3

Piso 3	Demolições	Gesso Cartonado	Divisórias Vidro	Carpintarias
Tempo conclusão (dias) (1)	4	51	18	19
Tempo previsto (dias) (2)	4	49	16	19
(1)/(2)	1,00	1,04	1,13	1,00

A Tabela 10 revela um comportamento misto nas tarefas de acabamento: as pinturas (1,00) e portas (1,00) mantiveram-se conforme o planeado, enquanto os revestimentos (0,67) e pavimentos (0,83) apresentaram melhorias temporais.

Tabela 10. Tempos de execução de tarefas de acabamento: Piso 3

Piso 3	Portas	Revestimentos	Pavimentos	Pinturas
Tempo conclusão (dias) (1)	5	6	10	15
Tempo previsto (dias) (2)	5	9	12	15
(1)/(2)	1,00	0,67	0,83	1,00

A Tabela 11 mostra que todas as infraestruturas e mobiliário foram executadas exatamente dentro do previsto (rácio 1,00), o que pode demonstrar maturidade organizacional na fase final do projeto.

Tabela 11. Tempos de execução de infraestruturas técnicas e mobiliário: Piso 3

Piso 3	Mobiliário	Inst. Elétricas	Inst. Mecânicas
Tempo conclusão (dias) (1)	6	73	69
Tempo previsto (dias) (2)	6	73	69
(1)/(2)	1,00	1,00	1,00

A Figura 9 permite comparar os tempos reais e previstos de todas as tarefas no Piso 3, evidenciando as pequenas variações ocorridas e o equilíbrio global da gestão do tempo.

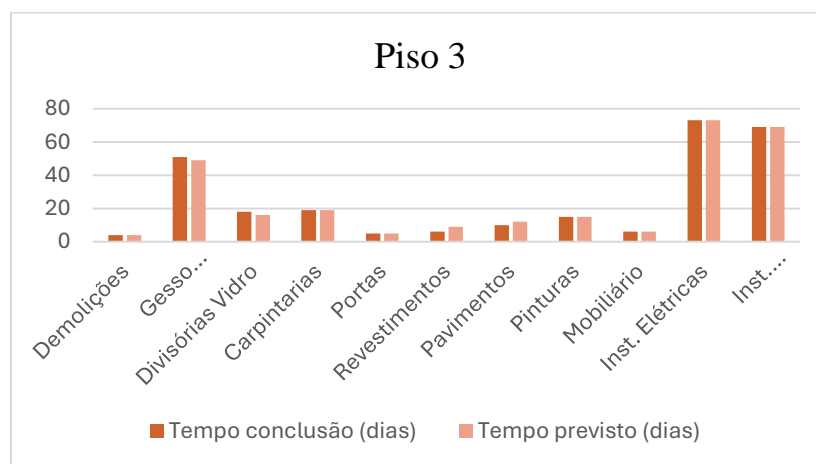


Figura 9. Comparação entre tempo de obra previsto e de conclusão: Caso Prático 1 - Piso 3

Em síntese, os dados recolhidos demonstram que, em grande parte das tarefas, os prazos foram cumpridos ou antecipados. Os rácios observados para KPI_1 situaram-se consistentemente abaixo ou próximos de 1,00, confirmando uma gestão eficaz e uma boa coordenação entre planeamento e execução. Este desempenho reforça a validade do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica proposto, demonstrando que a sua aplicação, com o suporte da plataforma digital adotada, pode contribuir de forma decisiva para o cumprimento rigoroso dos prazos numa obra de elevada complexidade.

7.1.4. Determinação das Variáveis Dependentes

A aplicação do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica desenvolvido ao primeiro caso prático permitiu determinar os valores dos quatro KPIs, com base nos dados recolhidos durante a execução da obra. A avaliação baseou-se na comparação entre tempos médios reais e tempos médios previstos para tarefas, aprovações, solicitações de informação e resolução de não-conformidades.

No que respeita ao KPI_1 – Progresso e Acompanhamento de Tarefas, o tempo médio de conclusão das 11 tarefas analisadas foi de 72,73 dias, enquanto o tempo médio previsto era de 75,55 dias. A divisão destes dois valores resultou num KPI de 0,96, evidenciando que as tarefas foram executadas com uma eficiência temporal superior à planeada, com uma redução média de cerca de 3,7% no tempo de execução.

Relativamente ao KPI_2 – Progresso de Pedidos de Informação, foram analisadas 41 solicitações. O tempo médio de resposta registado foi de 60 horas, comparativamente a um tempo médio previsto de 72 horas. Este desempenho resultou num KPI de 0,83, refletindo uma resposta 17% mais rápida do que o esperado, o que representa um forte indicador de agilidade na gestão da comunicação técnica durante a execução da obra.

Para o KPI_3 – Progresso de Pedidos de Aprovação, foram considerados 210 pedidos de aprovação. O tempo médio real de resposta foi de 108 horas, inferior ao tempo médio previsto de 120 horas. Este resultado gerou um KPI de 0,90, confirmando uma melhoria de 10% face aos prazos inicialmente estimados, o que demonstra uma boa capacidade de resposta dos intervenientes na análise e validação documental.

Finalmente, no caso do KPI₄ – Progresso de Resolução de Não-Conformidades, foram registradas 173 ocorrências. O tempo médio de resolução foi de 19 dias, comparando com um tempo médio previsto de 21 dias. O KPI apurado foi também de 0,90, evidenciando um ganho médio de dois dias por ocorrência e uma resposta mais célere do que a projetada.

Em síntese, os quatro indicadores de desempenho apresentaram valores inferiores a 1,00, o que indica que, globalmente, os tempos reais de execução foram inferiores aos tempos planejados. Estes resultados sugerem que a aplicação do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica, aliado ao uso do *software* de suporte, contribuiu para ganhos de eficiência, nomeadamente na coordenação de equipas, na gestão de documentação e na resolução de imprevistos. Ainda que não se possa afirmar de forma conclusiva que o *software* tenha sido o único fator responsável pela redução dos prazos, os dados apontam para uma forte correlação entre a sua utilização e a melhoria da performance temporal da obra.

7.1.5. Síntese do Caso Prático nº 1

A análise do Caso Prático 1 permite retirar evidências concretas sobre o impacto da gestão digital na eficiência temporal da execução de obras de construção civil. Através da aplicação do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica, foi possível medir o desempenho da obra recorrendo a quatro KPIs essenciais — todos com valores inferiores a 1,00 — sinalizando que os tempos reais de execução foram consistentemente inferiores aos tempos planejados.

Este desempenho é, em grande parte, atribuível à utilização do *Autodesk Construction Cloud*, que se revelou um facilitador estratégico em todas as fases da obra. A sua implementação permitiu centralizar a informação num único repositório digital, promovendo uma comunicação fluida entre todos os intervenientes: direção de obra, fiscalização, cliente, projetistas e subempreiteiros.

A funcionalidade de submissão, rastreio e aprovação de documentos técnicos, como Fichas de Aprovação de Materiais, teve um impacto direto na agilidade dos processos. O controlo em tempo real sobre os estados de aprovação reduziu atrasos e permitiu antecipar decisões críticas. Esta eficiência refletiu-se, por exemplo, no KPI₃, onde o tempo médio real de resposta a pedidos de aprovação foi 10% inferior ao tempo previsto.

Durante a execução, o *software* contribuiu de forma decisiva para a rápida resolução de conflitos de obra, nomeadamente incompatibilidades entre o projeto e as infraestruturas existentes. A possibilidade de comunicação estruturada e visual — com anexação de fotos, marcações em planta e deadlines definidos — otimizou a resposta da equipa de projeto e garantiu que o planeamento não fosse comprometido, evidenciando o bom resultado no KPI₂, com um tempo de resposta às solicitações 17% inferior ao esperado.

O progresso físico dos trabalhos foi igualmente beneficiado pela visibilidade que a plataforma proporciona, permitindo à Direção de Obra ajustar recursos de forma dinâmica. Através do acompanhamento contínuo e cruzamento com o cronograma planeado, foi possível identificar desvios em tempo útil e alocar equipas com maior precisão — refletido num KPI₁ de 0,96, que indica que as tarefas foram concluídas, em média, com cerca de 3,7% menos tempo do que o previsto.

Na fase de encerramento, a gestão de não-conformidades através da aplicação móvel da plataforma permitiu um registo imediato e uma atribuição clara de responsabilidades. Esta metodologia potenciou uma atuação mais rápida por parte das equipas responsáveis, resultando num KPI₄ de 0,90, com uma redução de dois dias no tempo médio de resolução das anomalias.

Em resposta à pergunta de partida — *Como pode a gestão digital contribuir para a redução dos tempos de execução em obras de construção civil?* — este primeiro caso prático demonstra que, embora não seja possível isolar o *software* como único fator responsável, a sua contribuição é inegavelmente significativa. A gestão digital, ao proporcionar rastreabilidade, centralização de dados e comunicação estruturada, reforça a capacidade de resposta, a previsibilidade e o controlo operacional.

Em suma, o Caso Prático 1 confirma que a adoção de soluções digitais integradas é uma peça-chave na modernização da gestão de obra. Através da redução de tempos de resposta, do reforço da colaboração entre equipas e da antecipação de riscos, a gestão digital revela-se como um vetor promissor para a melhoria dos prazos de execução e da qualidade na construção civil portuguesa.

7.2 Caso Prático nº 2 – Remodelação de Escritórios em Lisboa

Dando seguimento à aplicação e validação empírica do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica, o segundo caso prático refere-se a uma obra de reabilitação interior integral, executada pela empresa *Tétris – Design & Build*, localizada no Edifício Entrecampos 28, em Lisboa. Esta intervenção consistiu na remodelação de um espaço de escritórios com uma área total de 1.000 m², ao longo de um período compreendido entre dezembro de 2023 e março de 2024.

A obra apresentou um conjunto de desafios próprios de intervenções em edifícios existentes, nomeadamente a exigência de decisões rápidas por parte da fiscalização e cliente, bem como a compatibilização entre projetos técnicos e as condições reais em obra. A curta duração do prazo de execução reforçou a importância de uma gestão eficaz do tempo, tornando esta intervenção particularmente relevante para testar a aplicabilidade do modelo proposto.

Para assegurar a centralização da informação, a rastreabilidade das decisões e o controlo das atividades em curso, a equipa de obra recorreu, uma vez mais, à plataforma ACC. Esta ferramenta permitiu integrar num único ambiente digital os fluxos de pedidos de informação, submissões para aprovação, gestão de tarefas, registo de não-conformidades e coordenação entre os diversos intervenientes.

7.2.1. Descrição e Contexto

A intervenção realizada em Lisboa teve como objetivo a requalificação total de um espaço devoluto, com a criação de novas zonas de trabalho, áreas técnicas, salas de reunião e instalações de apoio. Tratou-se de um projeto chave-na-mão com elevado nível de exigência por parte do cliente, que acompanhou de forma próxima a evolução da obra, solicitando frequentemente alterações e introduzindo decisões de última hora.

O plano de trabalhos foi estruturado de forma faseada, com entregas progressivas de diferentes zonas funcionais. Esta metodologia implicou uma coordenação rigorosa entre tarefas e equipas, com necessidade de compatibilizar múltiplas frentes de obra a decorrer em simultâneo. A complexidade aumentou com a presença de instalações técnicas especiais, cuja instalação exigia aprovações prévias e validação documental antes de execução.

A colaboração entre os diferentes intervenientes foi assegurada através do ACC, tendo sido atribuído acesso à equipa de fiscalização, projetistas, fornecedores e subempreiteiros. Esta abordagem permitiu reduzir significativamente a troca informal de e-mails e chamadas, promovendo maior transparência e eficiência na comunicação.

O controlo dos prazos foi reforçado através do uso de funcionalidades específicas da plataforma, como o acompanhamento do progresso semanal, o registo automático de submissões e o cruzamento de informação entre tarefas e dependências. O ACC permitiu também emitir alertas automáticos sempre que uma resposta pendente se aproximava da data-limite definida pela Direção de Obra.

Esta organização digital contribuiu para reduzir os tempos de resposta, antecipar decisões técnicas e facilitar o planeamento logístico, fatores cruciais para assegurar a entrega da obra nos prazos estipulados.

7.2.2. Variáveis Independentes e Recolha de Dados

Tal como no primeiro caso prático, a validação do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica aplicado à obra do Edifício Entrecampos 28 exigiu a identificação e análise de um conjunto de variáveis independentes associadas à execução das tarefas em obra. Estas variáveis correspondem aos tempos reais de execução e aos tempos previstos no planeamento inicial para cada atividade relevante, sendo fundamentais para o cálculo dos KPIs definidos.

A recolha dos dados foi efetuada diretamente na plataforma ACC, através da análise dos registos temporais associados às submissões, aprovações, pedidos de informação e encerramento de tarefas. A ferramenta permitiu aceder a dados históricos detalhados, garantindo a rastreabilidade e fiabilidade dos valores registados, bem como a sua associação temporal a cada atividade.

No âmbito deste caso prático, as variáveis recolhidas foram agrupadas nas quatro categorias previstas pelo modelo: (1) Progresso e acompanhamento de tarefas: tempo de execução real vs. tempo planeado; (2) Pedidos de informação (RFIs): tempo médio de resposta real vs. tempo de resposta previsto; (3) Pedidos de aprovação documental: tempo real de análise e validação vs. tempo previsto; e (4) Resolução de não-conformidades: tempo médio real de resolução vs. tempo limite estipulado.

A recolha de dados foi realizada com base em registos semanais ao longo de todo o período de execução da obra, assegurando uma amostra representativa e consistente do comportamento das equipas e dos fluxos de decisão. A padronização dos formatos de submissão, resposta e classificação de estado no ACC contribuiu de forma decisiva para a sistematização da informação e sua análise estatística.

Com os dados recolhidos, foi possível calcular os valores observados das variáveis dependentes, expressos através dos rácios KPI_1 a KPI_4 , conforme as fórmulas apresentadas na secção 5.2. Estes rácios permitiram comparar o desempenho da obra com o planeamento inicial, aferindo a eficácia do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica implementado.

7.2.3. Avaliação Temporal do Desempenho – Dados Observados

Com base na análise dos dados recolhidos no contexto da obra de remodelação no Edifício Entrecampos 28, foi possível calcular os valores observados para o KPI_1 – Progresso e Acompanhamento de Tarefas, permitindo aferir o grau de eficiência temporal da execução face ao planeamento estabelecido.

Na Tabela 12, observa-se que as tarefas de demolições, carpintarias e revestimentos foram executadas exatamente nos prazos previstos (rácio de 1,00), enquanto os trabalhos em gesso cartonado apresentaram um desempenho superior, com conclusão dois dias antes do previsto (rácio de 0,90). Este resultado reflete uma boa capacidade de planeamento e de mobilização de recursos nas fases iniciais da obra.

Tabela 12. Tempos de execução de tarefas executadas em obra: Caso Prático 2

Tarefa	Tempo de Conclusão (dias) (1)	Tempo Previsto (dias) (2)	(1)/(2)
Demolições	2	2	1,00

Gesso Cartonado	18	20	0,90
Carpintarias	10	10	1,00
Revestimentos	9	9	1,00

Na Tabela 13, referente à fase de acabamentos técnicos e infraestruturas, mantém-se uma tendência de cumprimento rigoroso dos prazos. Os pavimentos foram executados dentro do tempo planeado (1,00), as pinturas concluídas com um ganho de um dia (rácio 0,90), e as instalações elétricas e mecânicas registaram ligeiras antecipações em relação ao previsto, com rácios de 0,94 e 0,97, respetivamente. Estes valores demonstram um desempenho estável e controlado, mesmo em fases mais críticas da obra.

Table 13. Tempos de execução de tarefas técnicas e de acabamentos: Caso Prático 2

Tarefa	Tempo de Conclusão (dias) (1)	Tempo Previsto (dias) (2)	(1)/(2)
Pavimentos	4	4	1,00
Pinturas	9	10	0,90
Inst. Elétricas	33	35	0,94
Inst. Mecânicas	30	31	0,97

A Figura 10 apresenta uma síntese gráfica da comparação entre os tempos previstos e os tempos reais de conclusão das principais tarefas, permitindo visualizar de forma intuitiva o alinhamento temporal entre o planeado e o executado.

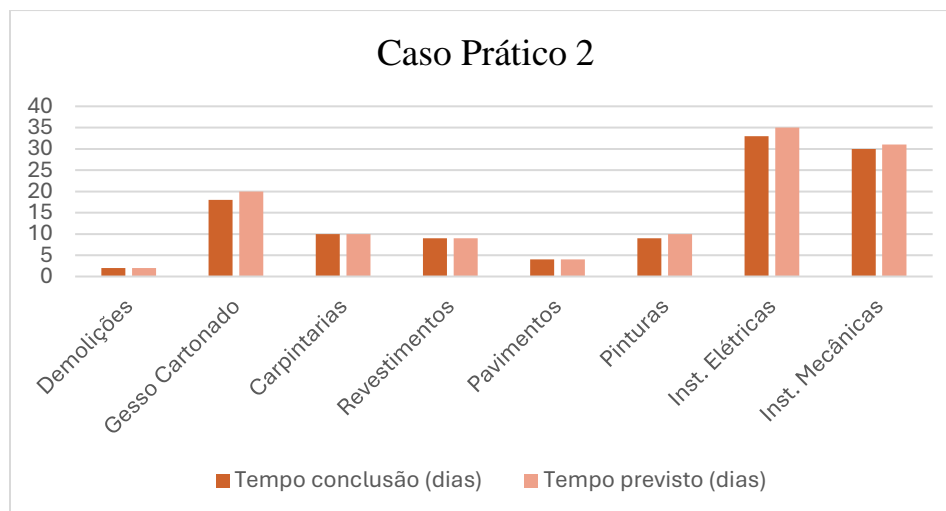


Figura 10. Comparação entre tempo de obra previsto e de conclusão: Caso Prático 2

De forma geral, os dados observados revelam uma adesão elevada ao cronograma inicialmente definido, com vários exemplos de antecipação de tarefas ou execução dentro do prazo. Esta performance reforça a validade do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica, sobretudo na sua capacidade de monitorizar e controlar, em tempo útil, os desvios de execução. A utilização contínua da plataforma digital ACC foi determinante para este resultado, ao permitir a recolha sistematizada de dados e a atuação proativa face a potenciais atrasos.

7.2.4. Determinação das Variáveis Dependentes

A determinação dos KPIs no Caso Prático 2 visou avaliar o impacto da gestão digital no cumprimento dos prazos de execução, tal como definido pelo Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica.

No que respeita ao Progresso e Acompanhamento de Tarefas (KPI₁), o tempo médio de conclusão das tarefas foi de 14,38 dias, face a um tempo médio previsto de 15,13 dias. Este desempenho traduz-se num KPI de 0,95, evidenciando que, em média, as tarefas foram concluídas com cerca de 5% de antecipação em relação ao planeado.

Relativamente ao Progresso de Pedidos de Informação (KPI₂), registou-se um tempo médio de resposta efetivo de 60 horas, face a uma previsão de 72 horas. Esta diferença resulta

num KPI de 0,83, indicando um desempenho 17% mais eficiente do que o esperado na resposta às solicitações de informação — um reflexo da agilidade promovida pela utilização da plataforma de gestão digital.

No que diz respeito ao Progresso de Pedidos de Aprovação (KPI₃), o tempo médio de aprovação registado foi de 108 horas, quando o previsto era de 120 horas. O KPI obtido é de 0,90, o que revela uma melhoria de 10% nos tempos de aprovação documental, fator crítico para garantir a continuidade das frentes de trabalho sem interrupções.

A análise do Progresso de Resolução de Não-Conformidades (KPI₄) fornece dados particularmente relevantes. Para as empresas que utilizaram o *software* de gestão, o tempo médio de resolução foi de 4 dias, contrastando com a previsão de 5 dias, o que gera um KPI de 0,80. Já nas empresas que não utilizaram o *software*, o tempo médio de resolução foi de 7,33 dias, o que iguala o tempo previsto, resultando num KPI de 1,00.

A comparação direta entre estas duas abordagens reforça o impacto positivo da gestão digital na eficiência da resolução de não-conformidades: as empresas com acesso ao sistema conseguiram ser 20% mais rápidas do que o previsto, enquanto as restantes apenas cumpriram os tempos planeados, sem ganhos de eficiência.

Estes resultados, analisados em conjunto, demonstram uma melhoria geral nos tempos de resposta e execução em todas as áreas avaliadas. A consistência dos KPIs abaixo de 1,00 reflete uma clara tendência de antecipação de prazos e maior fluidez operacional, elementos que sustentam a hipótese de que a digitalização da gestão de obra contribui significativamente para a melhoria do desempenho temporal em projetos de construção civil.

7.2.5. Síntese do Caso Prático nº 2

O segundo caso prático analisado demonstra, de forma empírica, a aplicação do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica digital proposto num cenário de elevada pressão temporal. A obra em causa, com um prazo de execução extremamente apertado e a inauguração programada para o dia imediatamente seguinte à conclusão, impôs um desafio significativo à Direção de obra, exigindo um controlo rigoroso e comunicação contínua entre todas as partes envolvidas.

A utilização de um *software* de gestão digital revelou-se determinante para enfrentar esse desafio. A plataforma permitiu centralizar fluxos de informação, agilizar processos como a aprovação de materiais e garantir a rastreabilidade dos documentos. A capacidade de acompanhar em tempo real o progresso das tarefas, bem como a visibilidade do estado de submissões e aprovações, proporcionou uma gestão mais dinâmica, com maior capacidade de resposta e tomada de decisão em tempo útil.

Os resultados quantitativos obtidos através dos KPIs reforçam essa percepção. O KPI₁ (progresso e acompanhamento de tarefas) apresentou um valor de 0,95, o que indica que, em média, as tarefas foram concluídas em menos tempo do que o inicialmente planeado. De igual forma, o KPI₂ e o KPI₃, respeitantes à resposta a pedidos de informação e à aprovação de documentos, registaram ambos valores de 0,83 e 0,90, respetivamente, traduzindo ganhos de eficiência nos fluxos de comunicação e validação técnica.

No que respeita à resolução de não-conformidades (KPI₄), destaca-se um resultado particularmente expressivo: as empresas que utilizaram o *software* conseguiram um desempenho 20% mais rápido do que o previsto (KPI = 0,80), enquanto as empresas que não aderiram ao sistema apresentaram um desempenho exato ao planeado (KPI = 1,00). Este contraste evidencia o valor acrescentado da digitalização na gestão de não-conformidades, sobretudo pela capacidade de registo imediato no terreno, atribuição de responsabilidades e monitorização contínua do estado de resolução.

Apesar destes indicadores sugerirem uma relação positiva entre a gestão digital e a eficiência temporal da obra, é necessário adotar uma postura crítica. A mera presença de um sistema digital não garante, por si só, a redução dos prazos de execução. O caso demonstra que a eficácia do modelo depende, em grande parte, do nível de adesão e utilização da plataforma por todos os intervenientes. As duas empresas subcontratadas que não utilizaram o sistema dificultaram a fluidez da comunicação, atrasando a resolução de não-conformidades e impondo maior carga de gestão à Direção de obra.

Deste modo, ainda que os resultados globais evidenciem prazos de execução iguais ou inferiores aos previstos, não é possível atribuir esta melhoria exclusivamente ao *software* de gestão. Contudo, fica claro que a plataforma foi instrumental para garantir maior previsibilidade, coordenação e controlo sobre os processos críticos da obra.

Em síntese, este caso prático confirma que a gestão digital é uma ferramenta poderosa para suportar boas práticas de direção de obra, particularmente em contextos com elevado grau de complexidade e exigência temporal. A sua eficácia reside, não apenas nas funcionalidades tecnológicas que disponibiliza, mas também na capacidade de promover uma cultura de colaboração, rastreabilidade e transparência entre os diferentes intervenientes do projeto.

8. Discussão de Resultados

A presente investigação teve como objetivo central analisar de que forma a gestão de obra pode ser estruturada para responder eficazmente aos requisitos da 4.^a dimensão BIM e contribuir para o cumprimento dos prazos de execução em projetos de construção civil. Com base na aplicação prática do Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica proposto em dois casos reais, foi possível observar, de forma empírica, o impacto da digitalização na eficiência temporal das obras, recorrendo KPIs específicos.

8.1. Contributo da gestão digital para a eficiência temporal (KPI₁)

No primeiro caso prático, que envolveu uma obra de grande escala com elevada complexidade organizacional e número significativo de subempreiteiros, o KPI₁ (progresso e acompanhamento de tarefas) registou um valor de 0,96, refletindo uma média de execução 4% inferior ao tempo previsto. No segundo caso, marcado por forte pressão temporal e menor escala, o valor foi 0,95, indicando melhoria ainda mais expressiva. Estes resultados confirmam que a integração de ferramentas digitais, como o *Autodesk Construction Cloud*, permite um acompanhamento contínuo do progresso físico da obra, identificando desvios e ajustando recursos de forma atempada.

8.2. Eficiência na comunicação técnica e na tomada de decisão (KPI₂ e KPI₃)

Os KPI₂ (tempo médio de resposta a pedidos de informação) e KPI₃ (tempo médio de aprovação de documentos) foram particularmente reveladores da eficácia da gestão digital nos fluxos de comunicação. Em ambos os casos práticos, o tempo médio de resposta a solicitações foi 17% inferior ao esperado (KPI₂ = 0,83), demonstrando que a estruturação da comunicação através do *software* reduziu substancialmente o tempo entre a identificação de problemas e a sua resolução. O KPI₃, relativo à aprovação de documentos, manteve-se em 0,90 nos dois cenários, evidenciando uma melhoria de 10% no processo de validação técnica.

Importa destacar que estas reduções nos tempos médios não foram resultado de aceleração artificial dos processos, mas sim da transparência, rastreabilidade e clareza que a plataforma introduziu no circuito de decisão. A utilização de *templates* padronizados, a possibilidade de anexar documentação complementar (plantas, fotografias, esboços), bem como a definição de deadlines em cada submissão, contribuíram decisivamente para estes ganhos.

8.3. Gestão de não-conformidades e resposta em tempo real (KPI₄)

Relativamente ao KPI₄ (tempo de resolução de não-conformidades), os resultados permitiram uma comparação direta entre equipas que utilizaram o *software* e outras que não o fizeram. No primeiro caso prático, a média de resolução situou-se em 90% do tempo planeado (KPI₄ = 0,90), enquanto no segundo caso, a diferença foi ainda mais significativa: empresas com adesão ao *software* resolveram não-conformidades 20% mais rapidamente do que o previsto, contrastando com um desempenho neutro (KPI = 1,00) das empresas que não aderiram à plataforma.

Este dado revela um aspeto fundamental do modelo proposto: o impacto da gestão digital depende, em larga medida, da adesão global dos intervenientes. A eficácia do sistema está diretamente relacionada com a cultura digital da equipa, o compromisso com a utilização contínua da plataforma e a capacidade de resposta das entidades envolvidas.

8.4. Comparação entre os dois contextos e validação do modelo

Ambos os casos práticos evidenciam que a implementação de um Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica pode trazer ganhos mensuráveis na execução da obra. Contudo, cada cenário realça dimensões distintas da eficácia do modelo:

No Caso 1, a digitalização foi essencial para gerir a complexidade organizacional, assegurar a coerência na troca de informação e manter o planeamento em linha com o cronograma.

No Caso 2, o foco esteve na agilidade e capacidade de resposta imediata, cruciais para o cumprimento de um prazo extremamente rígido. Aqui, a plataforma foi mais do que uma ferramenta técnica — foi uma infraestrutura operacional crítica.

Ambos os contextos validam o Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica, que articula quatro componentes centrais: planeamento com recurso a BIM 4D, recolha sistemática de dados, monitorização por KPIs e uso de ferramentas digitais colaborativas. A estrutura do modelo demonstrou ser replicável e adaptável a diferentes escalas e tipologias de obra, o que reforça a sua robustez conceptual e aplicabilidade prática.

8.5. Síntese dos Resultados

Em resposta à questão de investigação, conclui-se que Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica, quando estruturado em conformidade com os requisitos da 4.^a dimensão BIM, contribui efetivamente para a redução dos tempos de execução em obras de construção civil, desde que haja: (1) Integração sistemática de ferramentas digitais nos processos de gestão; (2) Definição clara de indicadores temporais de desempenho; (3) Alinhamento e adesão dos vários agentes aos fluxos digitais de informação; e (4) Capacidade de resposta operacional com base nos dados recolhidos em tempo real.

Contudo, é igualmente evidente que o *software*, por si só, não garante a melhoria dos resultados. A sua eficácia depende de um Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica orientado por dados, da cultura organizacional e da competência das equipas na sua utilização. A combinação entre tecnologia, processos e pessoas é o que verdadeiramente determina o sucesso na aplicação de um Modelo de Gestão Operacional de Base Tecnológica. Este estudo reforça, assim, o valor do BIM 4D como instrumento operacional e estratégico na modernização da construção civil portuguesa, oferecendo uma via prática para aumentar a previsibilidade, melhorar a eficiência e reforçar a qualidade da gestão de obra.

9. Conclusões

A presente dissertação procurou responder à questão de investigação "*De que forma a gestão de obra pode ser estruturada para responder eficazmente aos requisitos da 4.ª dimensão BIM e contribuir para o cumprimento dos prazos de execução em projetos de construção civil?*", tendo como principal objetivo a conceção e validação empírica de um modelo de gestão que integrasse ferramentas digitais, nomeadamente o BIM 4D, com vista à melhoria da eficiência temporal das obras de construção civil em Portugal.

Os resultados obtidos ao longo desta investigação permitem afirmar que a gestão digital, quando devidamente estruturada e apoiada em tecnologias colaborativas e orientadas por dados, pode desempenhar um papel determinante na redução de tempos de execução e na melhoria do desempenho geral da obra. A análise teórica evidenciou a evolução do BIM enquanto metodologia que ultrapassa a modelação tridimensional, incorporando variáveis temporais e permitindo, assim, simulações mais realistas e eficazes dos processos construtivos. A integração da 4.ª dimensão ao planeamento e execução de obras revelou-se um contributo relevante para a antecipação de riscos, coordenação entre equipas e otimização de cronogramas.

No desenvolvimento da investigação foram cumpridos todos os objetivos delineados. A análise do estado da digitalização no setor da construção civil em Portugal permitiu compreender que, embora se verifique uma crescente adoção de tecnologias digitais, persistem barreiras estruturais, culturais e operacionais que limitam a sua integração plena. Foram identificados fatores críticos de sucesso, entre os quais se destacam a adesão dos diversos intervenientes ao sistema digital, a maturidade tecnológica das organizações e a formação das equipas.

Através da aplicação do modelo de gestão em dois casos práticos, foi possível aferir, com base em dados reais, o impacto da gestão digital em indicadores-chave de desempenho (KPIs), relacionados com o tempo de execução de tarefas, a resposta a pedidos de informação, a aprovação de documentação e a resolução de não-conformidades. Em ambos os casos, os KPIs registaram valores inferiores ou iguais a um, o que evidencia que, em

média, os tempos reais de execução foram iguais ou inferiores aos tempos previstos. Esta constatação aponta para uma relação positiva entre a utilização de plataformas digitais e a eficiência dos processos de gestão de obra.

O modelo de gestão proposto, apoiado na definição e monitorização de KPIs temporais, revelou-se aplicável, replicável e adaptável a diferentes contextos, escalas e tipologias de obra. Para além de fornecer uma metodologia estruturada e orientada por evidência, o modelo oferece um suporte prático para a tomada de decisão em obra, promovendo uma gestão mais previsível, transparente e centrada em resultados. Constatou-se, ainda, que o sucesso da implementação digital depende, não apenas da ferramenta tecnológica utilizada, mas sobretudo da capacidade organizacional para a integrar nos fluxos de trabalho e promover uma cultura de colaboração e rastreabilidade.

Apesar dos resultados positivos, importa ressaltar que a redução dos prazos de execução não pode ser atribuída exclusivamente à utilização de *software*. A eficácia da gestão digital está fortemente condicionada pelo contexto específico da obra, pelo grau de maturidade digital dos intervenientes e pela adesão plena às ferramentas implementadas. Ainda assim, os casos analisados demonstram que a digitalização contribui de forma significativa para a melhoria da coordenação, da comunicação e da capacidade de controlo da execução, especialmente em projetos com elevada complexidade e pressão temporal.

Em suma, esta investigação confirma que a gestão de obra, quando alinhada com os requisitos da 4.^a dimensão BIM e suportada por soluções digitais adequadas, constitui um fator estratégico para o cumprimento rigoroso dos prazos de execução na construção civil. O modelo desenvolvido e testado oferece um contributo relevante para a modernização do setor, promovendo uma abordagem mais integrada, orientada por dados e adaptada aos desafios da transformação digital em curso.

9.1. Implicações Práticas

As implicações práticas decorrentes desta investigação são particularmente relevantes para o setor da construção civil português, que se encontra num processo contínuo de transformação digital e de procura por maior eficiência operacional. A principal contribuição prática do estudo reside na proposta de um modelo de gestão aplicável à obra, sustentado

empiricamente e orientado para resultados, que integra os princípios e ferramentas da 4.^a dimensão do BIM. Este modelo revela-se como um instrumento útil e replicável para os profissionais do setor, com potencial para ser adaptado a diferentes contextos e tipologias de projeto.

Em primeiro lugar, destaca-se a utilidade do modelo na estruturação de processos de planeamento e acompanhamento de obra mais rigorosos, centrados na monitorização de indicadores-chave de desempenho (KPIs) temporais. A definição clara de métricas objetivas permite às equipas de gestão avaliar, em tempo real, o progresso da obra, a agilidade na resposta a solicitações, a eficiência nos processos de aprovação e a eficácia na resolução de não-conformidades. Esta abordagem promove uma gestão proativa, baseada em dados concretos, contribuindo para a antecipação de desvios e para a tomada de decisões mais informadas e fundamentadas.

Em segundo lugar, a investigação evidencia o impacto positivo da digitalização na gestão quotidiana da obra. A adoção de plataformas colaborativas, como o *Autodesk Construction Cloud*, permitiu centralizar informação, assegurar a rastreabilidade de processos, facilitar a comunicação entre partes e automatizar tarefas críticas. Estes benefícios traduzem-se numa maior previsibilidade e fiabilidade dos processos de gestão, reduzindo a dependência de canais informais e aumentando a transparência das decisões. A utilização destas ferramentas revelou-se especialmente vantajosa em contextos com múltiplos intervenientes e elevada pressão temporal.

Em terceiro lugar, os resultados obtidos apontam para a necessidade de reforçar a formação e a capacitação dos profissionais do setor para a utilização de tecnologias digitais. A eficácia do modelo de gestão proposto está diretamente associada ao grau de maturidade digital das equipas envolvidas e à sua capacidade de explorar as funcionalidades das ferramentas disponíveis. Neste sentido, a disseminação de boas práticas e o investimento em competências digitais surgem como requisitos essenciais para garantir o sucesso da implementação em larga escala.

Por fim, esta dissertação oferece às empresas de construção um referencial concreto para apoiar a sua transição digital, contribuindo para melhorar a sua competitividade, capacidade de resposta e qualidade de entrega. Ao demonstrar, com base em evidência

empírica, que a gestão digital pode ter um impacto real e mensurável na execução dos projetos, este estudo reforça a importância de alinhar os modelos de gestão com as exigências de um setor cada vez mais orientado por dados, eficiência e inovação.

9.2. Implicações Teóricas

As implicações teóricas desta investigação contribuem para o aprofundamento do conhecimento sobre a relação entre a gestão de obra e a 4.^a dimensão do BIM num contexto ainda pouco explorado na literatura académica portuguesa. A partir de uma abordagem aplicada e sustentada empiricamente, esta dissertação reforça a relevância de integrar ferramentas digitais no modelo conceptual de gestão da construção civil, promovendo uma leitura mais crítica e atualizada das práticas de planeamento e controlo de obra.

Em primeiro lugar, a investigação avança no campo teórico ao propor um modelo de gestão de obra suportado por evidência empírica, que articula os fundamentos do planeamento estratégico, os princípios da gestão por objetivos e a monitorização baseada em indicadores de desempenho. Esta proposta teórica introduz uma estrutura metodológica clara e mensurável para avaliar o impacto da digitalização na eficiência da execução, algo ainda escassamente sistematizado nos estudos existentes. A contribuição reside, assim, na construção de um referencial conceptual que permite a análise comparativa entre obras com e sem recurso a tecnologias BIM 4D.

Em segundo lugar, o estudo reforça a importância dos indicadores-chave de desempenho como instrumentos de ligação entre a teoria e a prática da gestão de projetos. Ao selecionar KPIs centrados na dimensão temporal da execução – nomeadamente o tempo médio de conclusão de tarefas, resposta a solicitações, aprovação de documentos e resolução de não-conformidades – esta investigação oferece um enquadramento teórico que permite operacionalizar o conceito de eficiência na construção. Esta abordagem contribui para preencher uma lacuna identificada na literatura: a dificuldade em quantificar, de forma objetiva, os benefícios da digitalização na gestão de obra.

Adicionalmente, ao analisar o modelo à luz de dois casos empíricos, a investigação permite validar o seu enquadramento teórico e reforçar a compreensão das dinâmicas operacionais envolvidas na adoção do BIM 4D. A constatação de que o impacto da tecnologia

depende não apenas das suas funcionalidades, mas também do grau de adesão e da maturidade digital das organizações, contribui para uma leitura mais sofisticada das barreiras à sua eficácia. Esta observação aprofunda o debate teórico sobre a transformação digital do setor, ao introduzir a variável organizacional e comportamental como fator condicionante do sucesso das ferramentas tecnológicas.

Por fim, esta dissertação inscreve-se numa linha de investigação emergente que procura alinhar a inovação tecnológica com os modelos de gestão em obra. Ao fazê-lo, contribui para o desenvolvimento de um corpo teórico mais robusto sobre a modernização da construção civil, propondo uma abordagem integrada, orientada por dados e empiricamente validada. Nesse sentido, oferece fundamentos teóricos sólidos para futuras investigações que pretendam estudar a eficácia da digitalização em outras dimensões do BIM ou em contextos construtivos distintos.

9.3. Limitações do Estudo

As principais limitações deste estudo residem, em primeiro lugar, na reduzida dimensão da amostra empírica, limitada a dois casos práticos. Embora estes permitam uma análise aprofundada e contextualizada, não garantem representatividade estatística nem permitem generalizações absolutas para todo o setor da construção civil portuguesa.

Em segundo lugar, a avaliação dos indicadores de desempenho depende fortemente da qualidade e consistência dos dados recolhidos em obra, os quais podem estar sujeitos a imprecisões, omissões ou variações de registo, sobretudo em ambientes de elevada pressão operacional.

Por fim, a investigação centrou-se exclusivamente na dimensão temporal da gestão de obra, não integrando variáveis como custo, segurança ou sustentabilidade, que também influenciam a performance global dos projetos e podem afetar a interpretação dos resultados obtidos. Estas limitações abrem espaço para estudos futuros que expandam a análise a outras dimensões da gestão com recurso ao BIM.

9.4. Recomendações para Trabalhos Futuros

Com base nos resultados obtidos e nas limitações identificadas, é possível delinear diversas recomendações para investigações futuras que aprofundem e alarguem o conhecimento sobre a relação entre a gestão de obra e a 4.^a dimensão do BIM.

Em primeiro lugar, recomenda-se a aplicação do modelo de gestão proposto a um número mais alargado e diversificado de casos práticos, abrangendo diferentes tipologias de obra (residencial, industrial, infraestruturas) e distintos contextos organizacionais, de modo a testar a sua robustez e adaptabilidade. Esta expansão empírica permitiria validar estatisticamente os resultados e aferir a generalização das conclusões.

Em segundo lugar, sugere-se o alargamento da análise a outras dimensões do desempenho da obra, nomeadamente os custos (5D), a sustentabilidade (6D) e a manutenção (7D), promovendo uma abordagem integrada e multidimensional à gestão de projetos baseada em BIM.

Adicionalmente, futuras investigações poderão explorar a interação entre a maturidade digital das organizações e a eficácia da implementação do modelo, identificando fatores organizacionais, culturais ou tecnológicos que condicionam a adoção de ferramentas digitais em obra.

Por fim, seria pertinente desenvolver estudos longitudinais que acompanhem a evolução dos indicadores ao longo de múltiplos ciclos de projeto, permitindo analisar o impacto do BIM 4D na curva de aprendizagem das equipas, na consolidação de boas práticas e na transformação digital do setor da construção a médio e longo prazo.

Referências

- Al Siyabi, H. N., & Khaleel, O. (2021). Cost overrun in construction projects in Oman: Case study. *Journal of Student Research*. <https://doi.org/10.47611/jsr.v10i3.1382>
- Alnaser, A. A., Hassan Ali, A., Elmousalami, H. H., Elyamany, A., & Gouda Mohamed, A. (2024). Assessment Framework for BIM-Digital Twin Readiness in the Construction Industry. *Buildings*, *14*(1), 268. <https://doi.org/10.3390/buildings14010268>
- Aredah, A., Baraka, M., & Khafif, M. (2021). *The Fourth Dimension Of Building Information Modelling (4D BIM): An Investigation and Simulation Approach*. *13*, 195.
- Awe, M., Malhi, A., Budka, M., Mavengere, N., & Dave, B. (2025). Towards 4D BIM: A Systematic Literature Review on Challenges, Strategies and Tools in Leveraging AI with BIM. *Buildings*, *15*(7), 1072. <https://doi.org/10.3390/buildings15071072>
- Chen, Z.-S., Wang, Z.-R., Deveci, M., Ding, W., Pedrycz, W., & Skibniewski, M. J. (2024). Optimization-based probabilistic decision support for assessing building information modelling (BIM) maturity considering multiple objectives. *Information Fusion*, *102*, 102026. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.102026>
- Chowdhury, M., Hosseini, M. R., Edwards, D. J., Martek, I., & Shuchi, S. (2024). Comprehensive analysis of BIM adoption: From narrow focus to holistic understanding. *Automation in Construction*, *160*, 105301. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105301>
- da Silva, A., & Cardoso, A. J. (2025). Enhancing Customer Experience Through IIoT-Driven Coopetition: A Service-Dominant Logic Approach in Networks. *Logistics*, *9*(2), 75. <https://doi.org/10.3390/logistics9020075>
- da Silva, Agostinho, Andreia, D., & Coelho, P. (2020). Towards Industry 4.0 | A case study of BIM deployment in ornamental stones sector. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, *ISSN 2307-4531 Vol 52 No 2 (2020)*, *52*, 233-250.
- Doukari, O., Seck, B., & Greenwood, D. (2022). The efficient generation of 4D BIM

- construction schedules: A case study of the Nanterre 2 CESI project in France. *Frontiers in Built Environment*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.998309>
- ElMassah, S., & Mohieldin, M. (2020). Digital transformation and localizing the Sustainable Development Goals (SDGs). *Ecological Economics*, 169(December 2019), 106490. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106490>
- Elmualim, A., & Gilder, J. (2014). BIM: innovation in design management, influence and challenges of implementation. *Architectural Engineering and Design Management*, 10(3/4). <https://doi.org/10.1080/17452007.2013.821399>
- European Commission. (2020). Farm to Fork Strategy. *European Green Deal, DG SANTE/Unit 'Food information and composition, food waste'*, 23. https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf
- Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A., & Daka, P. P. (2021). Artificial Intelligence Evolution in Smart Buildings for Energy Efficiency. *Applied Sciences*, 11(2), 763. <https://doi.org/10.3390/app11020763>
- França, A., & Haddad, A. (2018). Causes of Construction Projects Cost Overrun in Brazil. *International Journal of Sustainable Construction Engineering Technology*, 9(1). <https://doi.org/10.30880/ijscet.2018.09.01.006>
- Geibler, J. Von, Piwowar, J., Greven, A., & Brown, T. (2019). The SDG-Check : Guiding Open Innovation towards Sustainable Development Goals. *Technology Innovation Management Review*, 9(3), 20–38.
- Hadavi, A., & Alizadehsalehi, S. (2024). From BIM to metaverse for AEC industry. *Automation in Construction*, 160, 105248. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105248>
- Hernandez, J. E., Kacprzyk, J., Panetto, H., & De-angelis, M. (2017). Collaboration in a Data-Rich World. *IFIP International Federation for Information Processing 2017*, 506(July 2018), 761–774. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-65151-4>
- HM Government. (2013). Construction 2025. Industrial Strategy: Government and industry in partnership. *Cabinet Office, July*, 1–78. <https://doi.org/HM Government>.

- Jupp, J. (2017). 4D BIM for Environmental Planning and Management. *Procedia Engineering*, 180, 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.178>
- Kacprzyk, Z., & Kępa, T. (2014). Building Information Modelling – 4D Modelling Technology on the Example of the Reconstruction Stairwell. *Procedia Engineering*, 91, 226–231. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.051>
- Kämpf, D. (2022). Coopetition in the Context of the Sustainability Goals. *Regional and Business Studies*, 14(2), 47–61. <https://doi.org/10.33568/rbs.3353>
- Kenley, R., & Seppanen, O. (2009). Location-based management of construction projects: Part of a new typology for project scheduling methodologies. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*, 2563–2570. <https://doi.org/10.1109/WSC.2009.5429669>
- Kim, J. I., Kim, J., Fischer, M., & Orr, R. (2015). BIM-based decision-support method for master planning of sustainable large-scale developments. *Automation in Construction* 58 (2015) 95–108, 58, 95–108. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.003>
- Klimas, P., Ahmadian, A. A., Soltani, M., Shahbazi, M., & Hamidizadeh, A. (2023). Coopetition, Where Do You Come From? Identification, Categorization, and Configuration of Theoretical Roots of Coopetition. *SAGE Open*, 13(1), 215824402210850. <https://doi.org/10.1177/21582440221085003>
- Le-Bail, A., Maniglia, B. C., & Le-Bail, P. (2020). Recent advances and future perspective in additive manufacturing of foods based on 3D printing. *Current Opinion in Food Science*, 35, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.009>
- Lindblad, H., & Vass, S. (2015). BIM Implementation and Organisational Change: A Case Study of a Large Swedish Public Client. *Procedia Economics and Finance* 21 (2015) 178 – 184, 21(15), 178–184. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00165-3](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00165-3)
- Lu, Q., Won, J., & Cheng, J. C. P. (2015). A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). *International Journal of Project Management*, 34(1), 3–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.09.004>
- Maia, L., Mêda, P., & Freitas, J. G. (2015). BIM Methodology, a New Approach - Case Study

- of Structural Elements Creation. *Procedia Engineering* 114 (2015) 816 – 823, 114, 816–823. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.032>
- Malik, P. K., Sharma, R., Singh, R., Gehlot, A., Satapathy, S. C., Alnumay, W. S., Pelusi, D., Ghosh, U., & Nayak, J. (2021). Industrial Internet of Things and its Applications in Industry 4.0: State of The Art. *Computer Communications*, 166, 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.11.016>
- Motawa, I. (2017). Spoken dialogue BIM systems – an application of big data in construction. *Facilities*, 35(13/14), 787–800. <https://doi.org/10.1108/F-01-2016-0001>
- Nechporchuk, Y., & Baskova, R. (2021). The level of detail for 4D BIM modeling. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1209(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1209/1/012002>
- Nguyen, T. (2025). BIM in Construction: Benefits, Challenges, and Development Trends. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 12(2), 160–165. <https://doi.org/10.32628/IJSRSET25122140>
- Pan, Y., & Zhang, L. (2023). Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30(2), 1081–1110. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09830-8>
- Pellegrin-Boucher, E., Le Roy, F., & Gurău, C. (2018). Managing Selling Coopetition: A Case Study of the ERP industry. *European Management Review*, 15(1), 37–56. <https://doi.org/10.1111/emre.12123>
- Polat, F., & Demirkesen, S. (2024). Measuring the impact of lean implementation on BIM and project success: case of construction firms. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2024-0204>
- Poljanšek, M. (2017). Building Information Modelling (BIM) standardization. In *Handbook for Construction Planning and Scheduling*. <https://doi.org/10.2760/36471>
- Shan, J., & Khan, M. A. (2016). Implications of Reverse Innovation for Socio-Economic Sustainability: A Case Study of Philips China. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su8060530>

- Silva, A., & Almeida, I. (2020). Towards INDUSTRY 4.0 | a case STUDY in ornamental stone sector. *Resources Policy*, 67(March), 101672. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101672>
- Silva, A., Rabadão, C., & Capela, C. (2020). Towards Industry 4.0 | A case study of BIM deployment in ornamental stones sector. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 67, 24535. <https://doi.org/ISSN2307-4531>
- Silva, Agostinho da, & Cardoso, A. J. M. (2024). Advancing BIM and Sustainability with Coopetition: Evidence from the Portuguese Stone Industry. *Applied System Innovation*, 7(4), 70. <https://doi.org/10.3390/asi7040070>
- Tarar, A. (2012). *Impact of 4D modeling on construction planning process*. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Tedonchio, C. T., Nadeau, S., Botton, C., & Rivest, L. (2022). Digital mock-ups as support tools for preventing risks related to energy sources in the operation stage of industrial facilities through design. *Results in Engineering*, 16(August), 100690. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100690>
- Venâncio, M. (2015). Avaliação da Implementação de BIM – Building Information Modeling em Portugal. In *Master Thesis - FEUP*. <http://www.fe.up.pt>
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- Zarei, F., Arashpour, M., Mirnezami, S.-A., Shahabi-Shahamiri, R., & Ghasemi, M. (2024). Multi-skill resource-constrained project scheduling problem considering overlapping: fuzzy multi-objective programming approach to a case study. *International Journal of Construction Management*, 24(8), 820–833. <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2260696>