



Planeamento, Gestão e Execução em Contexto de Obras de Construção Civil

DIOGO ANTÓNIO OLIVEIRA E SILVA

novembro de 2025

**Planeamento, Gestão e Execução
em Contexto de Obras de
Construção Civil**

Diogo António Oliveira e Silva

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil, Área de Especialização em
Gestão da Construção**

Orientadora: Professora Maria Rosário Santos Oliveira

Júri:

Presidente:

Doutor Diogo Rodrigo Ribeiro, Prof. Coordenador, ISEP

Vogais:

Doutora Maria Rosário Santos Oliveira, Prof.ª Adjunto, ISEP

Doutor Carlos Rafael da Silva Oliveira, Prof. Adjunto, IPVC

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P. PORTO.

ISEP, Porto, 29 de setembro de 2025

Diogo António Oliveira e Silva

Dedicatória

Dedico esta tese a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, tornaram possível a concretização deste trabalho. Aos meus familiares, que sempre acreditaram no meu potencial, oferecendo-me o suporte emocional, a compreensão e a paciência necessárias nos momentos mais exigentes desta caminhada acadêmica. Sem o vosso amor e incentivo, teria sido muito mais difícil perseverar.

Aos meus orientadores e mentores, que com a sua sabedoria, rigor científico e dedicação me guiaram pelo caminho do conhecimento, estimulando a reflexão crítica e a busca constante pela excelência.

Dedico ainda este trabalho a todos os profissionais do setor da construção civil que, apesar dos inúmeros desafios e resistências, esforçam-se diariamente para inovar, melhorar processos, integrar tecnologias digitais e promover práticas mais sustentáveis. Este setor é vital para o desenvolvimento das sociedades em que vivemos e merece o nosso total reconhecimento e compromisso.

Resumo

Este trabalho de investigação aborda os desafios e as transformações contemporâneas no setor da construção civil, focando-se na integração de inovação tecnológica, sustentabilidade e práticas de gestão. A construção civil, sendo uma das indústrias mais tradicionais e complexas, enfrenta obstáculos históricos relacionados com atrasos, custos excedidos, baixa produtividade e impactos ambientais negativos. A partir de uma análise crítica da literatura e do estado da arte, este estudo explora as mudanças em três dimensões fundamentais: planeamento, gestão e execução de projetos.

No planeamento, observa-se uma aposta cada vez maior em ferramentas digitais e métodos colaborativos que permitem integrar diferentes intervenientes, aumentar a eficiência dos processos e tornar os prazos de execução mais realistas e controláveis. Na gestão, a digitalização e o uso de plataformas especializadas revelam-se essenciais para otimizar a coordenação entre *stakeholders*, a tomada de decisão e o controlo de custos. Quanto à execução, a aplicação de tecnologias emergentes, como drones, sensores IoT e prefabricação modular, tem permitido mitigar riscos operacionais, aumentar a segurança e reduzir desperdícios.

Ao mesmo tempo, a sustentabilidade afirma-se como uma exigência cada vez mais presente, incentivando o uso de materiais amigos do ambiente, a aplicação de princípios de economia circular e a valorização de certificações ambientais, embora ainda exista uma diferença notória entre aquilo que é defendido teoricamente e o que se verifica na prática. Este estudo identifica ainda limitações do setor, como a resistência à mudança e a escassez de mão de obra qualificada, que dificultam a implementação integral das boas práticas.

Este trabalho propõe reflexões para a formação profissional, enfatizando a necessidade de capacitação multidisciplinar e digital. Apresenta recomendações para acelerar a transição do setor para modelos mais inovadores e sustentáveis, reconhecendo as tensões entre planeamento ideal e execução real, e destacando a importância de um equilíbrio entre tradição e inovação.

Palavras-chave: Planeamento, Gestão, Execução, BIM, *Lean Construction*, Sustentabilidade

Abstract

This research addresses the contemporary challenges and transformations in the construction sector, focusing on the integration of technological innovation, sustainability, and management practices. As one of the most traditional and complex industries, construction continues to face structural obstacles such as delays, cost overruns, low productivity, and negative environmental impacts. Based on a critical review of the literature and state of the art, this study explores changes across three key dimensions: planning, project management, and execution.

In planning, the growing use of digital tools and collaborative methods enables better stakeholder integration, enhances process efficiency, and allows for more realistic and controllable timelines. In management, digitalization and specialized platforms prove essential to optimize coordination among stakeholders, support decision-making, and strengthen cost control. In execution, emerging technologies such as drones, IoT sensors, and modular prefabrication are helping mitigate operational risks, improve safety, and reduce waste.

At the same time, sustainability is becoming an increasingly pressing demand, encouraging the adoption of eco-friendly materials, circular economy principles, and environmental certifications, although a significant gap remains between theoretical discourse and practical implementation. The study also highlights persistent sectoral limitations, including resistance to change and a shortage of qualified labor, which hinder the full adoption of best practices.

Finally, this work proposes reflections for professional training, emphasizing the need for multidisciplinary and digital skills. It presents recommendations to accelerate the transition toward more innovative and sustainable models, acknowledging the tensions between ideal planning and real execution, and underlining the importance of balancing tradition and innovation in the construction industry.

Keywords: Planning, management, Execution, BIM, Lean Construction, Sustainability

Agradecimentos

Chegar até aqui foi uma jornada desafiante, repleta de aprendizagens, superações e momentos que ficarão para sempre gravados na minha memória. Este trabalho não teria sido possível sem o apoio, a orientação e o incentivo de várias pessoas e instituições que me acompanharam ao longo deste percurso.

Em primeiro lugar, agradeço ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, instituição que me proporcionou as bases académicas e os recursos necessários para desenvolver esta tese. A qualidade do ensino, a dedicação do corpo docente e a infraestrutura disponibilizada foram fundamentais para o meu crescimento enquanto estudante e profissional.

À minha família, agradeço profundamente por todo o amor, paciência e suporte incondicional. Aos meus pais, por acreditarem em mim mesmo quando eu duvidei, por serem o meu exemplo e inspiração constante. Ao meu irmão, pela cumplicidade e força partilhadas, que me ajudaram a manter o foco e a perseverança. Vocês são o meu alicerce e o meu maior motivador.

Quero agradecer também à minha namorada, cuja presença constante e afetuosa foi determinante ao longo de todo este percurso. O seu apoio incondicional, mesmo nos momentos mais exigentes, a sua paciência diante das minhas ausências e o incentivo firme que me transmitiu, foram essenciais para que este trabalho se concretizasse. A sua compreensão, a forma como soube respeitar os meus tempos e a capacidade de me motivar sem nunca exigir nada em troca revelaram uma generosidade que guardo com profunda gratidão. Este percurso foi também dela.

Por fim, um agradecimento à minha orientadora, cuja orientação, paciência e sabedoria foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho. A sua disponibilidade para esclarecer dúvidas e o rigor académico foram determinantes para a qualidade desta tese.

A todos, deixo a minha sincera gratidão. Este momento é também vosso.

Índice

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE	ii
Dedicatória	iii
Resumo	v
Abstract.....	vii
Agradecimentos	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas.....	xv
Acrónimos e Símbolos	xvii
1. Introdução	19
1.1 Metodologia.....	22
1.1.1 Enquadramento Metodológico	23
1.1.2 Técnicas de Investigação	23
1.1.3 Justificação dos Casos	24
1.1.4 Limitações Metodológicas	24
1.2 Organização da Dissertação.....	24
2. Revisão da Literatura e Estado da Arte	27
2.1 Metodologia da revisão bibliográfica	27
2.2 Planeamento na Construção.....	28
2.3 Gestão de Projetos	30
2.4 Execução e Tecnologias Emergentes	33
2.5 Sustentabilidade na Construção	35
3. Evolução das práticas e tecnologias na Construção.....	39
3.1 Metodologia aplicada à análise evolutiva	39
3.2 Comparações internacionais de práticas e tecnologias na construção	47
3.2.1 BIM: Portugal vs países nórdicos e Reino Unido.....	48
3.2.2 Lean Construction: Portugal vs Japão e Estados Unidos	49
3.2.3 Sustentabilidade: Portugal vs Alemanha e Austrália	49
3.2.4 Digitalização dos estaleiros: Portugal vs China e Singapura	50
3.2.5 Considerações Finais e Conclusão do Capítulo 3.....	51
4. Estudos de Caso: Aplicações Práticas em Obras Reais.....	53

4.1 Introdução e Justificação dos Estudos de Caso	53
4.2 Linha Rosa - Metro do Porto	54
4.2.1 Contexto e Enquadramento de empreitada	54
4.2.2 Aplicação de BIM e Lean Construction na linha rosa	56
4.2.3 Sustentabilidade e Desafios Técnicos na realização da obra	57
4.2.4 Lições Aprendidas / Sugestões de melhoria na linha rosa	58
4.3 Ilhas da Lomba - Porto Vivo	59
4.3.1 Contexto Urbano e Social das Ilhas da Lomba.....	59
4.3.2 Planeamento, Sustentabilidade e Gestão Local do estaleiro de obra	61
4.3.3 Gestão de subempreiteiros e equipas nas ilhas da lomba	63
4.3.4 Adaptação de Ferramentas Lean e Digitais à dimensão da empreitada	64
4.3.5 Liderança de Proximidade e Cultura de Obra	65
4.3.6 Lições Aprendidas / Sugestões de melhoria nas Ilhas da Lomba	67
4.4 Comparação entre Experiências	68
4.4.1 Natureza das Obras e Impacto Técnico-Social	68
4.4.2 Ferramentas Digitais: BIM vs Simplicidade Operacional	69
4.4.3 Aplicação do Lean Construction em Diferentes Escalas	69
4.4.4 Cultura de Obra: Estrutura vs Flexibilidade	70
4.4.5 Sustentabilidade: Imposição ou Intenção?	70
4.5 Conclusão Geral do Capítulo	71
5. Análise crítica: Inovação, sustentabilidade e Execução.....	73
5.1 As tensões entre inovação e tradição	73
5.2 Limites da digitalização em contextos reais	75
5.3 O Paradoxo entre Planeamento “Ideal” e Execução “Real”	77
5.4 A Descontinuidade entre Sustentabilidade no Discurso e na Prática	79
5.5 Reflexão sobre a Formação Profissional no Setor da Construção	82
5.6 Proposta de Linhas de Desenvolvimento para o Futuro	84
6. Conclusões e considerações finais	87
6.1 Conclusões gerais	87
6.2 Considerações finais.....	88
6.3 Limitações e Investigação futura	89
Referências Bibliográficas.....	93
ANEXO 1 - Programa de trabalhos das Ilhas da Lomba.....	99
ANEXO 2 - Boletim de aprovação de materiais das Ilhas da Lomba	102
ANEXO 3 - Modelo de trabalhos complementares das Ilhas da Lomba	104
ANEXO 4 - Modelação BIM da empreitada das Ilhas da Lomba.....	107

Lista de Figuras

Figura 1 – Evolução da construção civil (Imagem retirada do Catálogo_ A Arte do Ofício by Centro Cultural Sesi - Issu/Reprodução).....	19
Figura 2 - Conceito sustentabilidade (EquipeONB, 04/11/2015)	21
Figura 3 - Diagrama da metodologia usada nesta dissertação.....	22
Figura 4 – Influência da melhoria contínua vs inovação na evolução da construção civil - focus and aimed change Koskela, L. (1992).	29
Figura 5 – Exemplo de edifício modelado em BIM (Pan e Zang)	31
Figura 6 – Processo de produção recorrendo ao last planner system (adaptado de Hamzeh, F. R.).....	33
Figura 7 – Certificações ambientais - BREEAM, LEED e WELL (R2M, Solution)	36
Figura 8 - Diagramas PERT vs CPM	40
Figura 9 - Aspetos que contribuem para a melhoria da qualidade da construção (Adaptado de Harris et al, 2019)	44
Figura 10 - Implementação de BIM no projeto da ferrovia em Londres (Zigurat, 2019)	48
Figura 11 - Exemplo de digitalização da construção através do acompanhamento da cura do betão em tempo real que permite reduzir os tempos de descofragem assim como garantir a sua qualidade (Altair Santos, 2018)	51
Figura 12 – Construção da estação de metro da Boavista na Linha Rosa do metro do Porto	54
Figura 13 - Equipa da qualidade responsável por garantir a qualidade de execução por parte do empreiteiro (FERROVIAL/ACA)	55
Figura 14 – Implantação do projeto face às casas pré-existentes.....	60
Figura 15 – Estado de construção da obra das Ilhas da Lomba em Maio.....	61
Figura 16 - Contraste entre práticas tradicionais e ferramentas digitais em estaleiros de construção (Fonte: Arquivo próprio / banco de imagens académico).....	74
Figura 17 - Descontinuidade entre discurso sustentável e práticas observadas em obras (Fonte: Adaptado de O Vilaverdense (2018).....	80
Figura 18 - Capacitação digital: sessões de formação (Fonte: adaptado do doutor finanças, 2025).....	82
Figura 19 - Integração entre inovação, sustentabilidade, formação e execução como pilares do futuro da construção	85
Figura 20 – Resumo geral da transformação da construção civil.....	92
Figura 21 – Modelação parcial a cores, 3D do projeto das Ilhas da Lomba	108
Figura 22 - Modelação total 3D do projeto das Ilhas da Lomba.....	109

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Critérios de seleção dos estudos de caso	24
Tabela 2 - Síntese da literatura recolhida na revisão bibliográfica.....	28
Tabela 3 - Comparação inicial dos casos de estudo	54
Tabela 4 - Limitações e sugestões de melhoria na construção da linha rosa.....	59
Tabela 5 - Limitações e sugestões de melhoria no projeto das ilhas da lomba	68
Tabela 6 - Comparação de estudos de caso	72

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

BIM	<i>Building Information Modeling</i>
IoT	<i>Internet of things</i>
CPM	<i>Critical Path Method</i>
PERT	<i>Program Evaluation and Review Technique</i>
LPS	<i>Last Planner System</i>
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
IA	Inteligência artificial
ACV	Avaliação do ciclo de vida
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
BREEAM	<i>Sustainable building certification</i>
WELL	<i>WELL Building standard</i>
PMI	<i>Project management institute</i>
IA	<i>Inteligência artificial</i>
SIG	<i>Sistema de informação geográfica</i>
RFID	<i>Identificação por radiofrequência</i>
PME	<i>Pequena e média empresa</i>
CSCEC	<i>China State Construction Engineering</i>
IDD	<i>Intagrated digital delivery</i>

1. Introdução

A construção civil ocupa uma posição estratégica incontornável no desenvolvimento económico e social das nações contemporâneas. Como setor responsável pela criação, manutenção e reabilitação de infraestruturas essenciais, incluindo habitação, transporte, saneamento, energia e equipamentos públicos, a sua influência estende-se diretamente à qualidade de vida das populações, à organização espacial das cidades, ao desenvolvimento urbano e regional, e à competitividade global dos países. Em função da sua escala e complexidade, a construção civil é muitas vezes vista como um motor do crescimento económico, gerando emprego, riqueza e inovação, mas simultaneamente enfrentando desafios estruturais que limitam o seu potencial de contribuição sustentável.

Historicamente, o setor tem-se caracterizado por uma forte dependência de processos tradicionais, com elevados níveis de fragmentação, baixa produtividade e uma resistência significativa à mudança tecnológica e organizacional. Esta realidade, embora tenha vindo a ser questionada e superada progressivamente, continua a marcar o dia a dia das obras, refletindo-se em atrasos frequentes, derrapagens orçamentais, conflitos entre os diferentes interessados, ineficiências logísticas, desperdício de recursos e impactos ambientais negativos. Estes problemas não são meros acidentes ou exceções, mas indicam fragilidades que impedem o setor de responder com agilidade e qualidade às crescentes exigências sociais, económicas e ambientais.

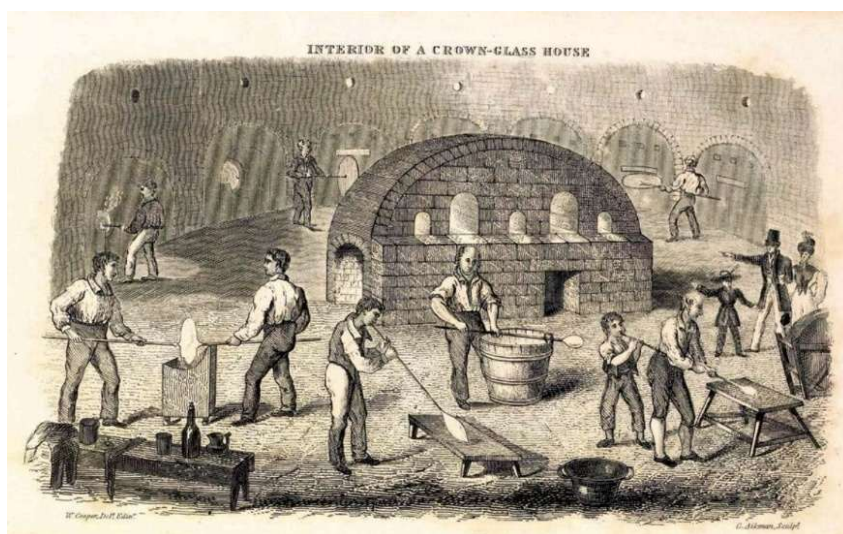


Figura 1 – Evolução da construção civil (Imagem retirada do Catálogo_ A Arte do Ofício by Centro Cultural Sesi - Issu/Reprodução)

No contexto atual, onde a sustentabilidade, a digitalização e a inovação tecnológica assumem papéis centrais, a construção civil vive um período de transformação inevitável. Por um lado, a pressão para reduzir o impacto ambiental das obras e dos edifícios obriga a uma reformulação profunda dos métodos construtivos, da escolha dos materiais e da gestão dos resíduos, integrando princípios da economia circular e da eficiência energética. Por outro lado, a adoção de novas tecnologias digitais como o *Building Information Modeling* (BIM), a Internet das Coisas (IoT), drones, inteligência artificial, e pré-fabricação modular promete revolucionar a forma como os projetos são concebidos, planejados, geridos e executados, promovendo uma maior integração, transparência e controlo em todas as fases do ciclo de vida da construção.

Esta panóplia de desafios e oportunidades ajuda a posicionar o planeamento, a gestão e a execução das obras como eixos fundamentais para assegurar não apenas a viabilidade económica dos projetos, mas também a sua qualidade técnica e sustentabilidade ambiental associada.

O planeamento, enquanto fase inicial e estruturante, é determinante para o sucesso de qualquer obra, permitindo estabelecer objetivos claros, identificar recursos e riscos, otimizar processos e preparar a logística necessária. Já a gestão, atua como um processo integrador, articulando os múltiplos intervenientes (donos de obra, projetistas, empreiteiros, fornecedores, fiscalização e demais investidores) para garantir que os objetivos estratégicos são cumpridos dentro dos prazos e orçamentos previstos. Por fim, a execução é o momento da concretização, em que as decisões tomadas ganham forma física, mas onde também se enfrentam os imprevistos do estaleiro, que testam a resiliência e capacidade de adaptação quer dos intervenientes quer dos projetos.

Contudo, apesar das inúmeras ferramentas e metodologias desenvolvidas e disseminadas nas últimas décadas, o setor da construção ainda enfrenta uma série de barreiras culturais, técnicas e organizacionais que dificultam a implementação sistemática das boas práticas e inovações. Em particular, a resistência à mudança em empresas de pequena e média dimensão, a escassez de mão de obra qualificada e a falta de interoperabilidade entre sistemas digitais limitam a expansão do potencial tecnológico e sustentável. Estas dificuldades exigem uma reflexão profunda sobre as formas de capacitação profissional, de gestão do conhecimento e de integração de tecnologias, bem como sobre os modelos organizacionais mais adequados para o futuro.

Nesse sentido, a presente dissertação assume um papel de ponte entre a teoria académica e a prática profissional, integrando a revisão crítica da literatura mais recente com a experiência prática em obras de diferentes escalas e complexidades. Este cruzamento permite uma análise rica e fundamentada das metodologias mais eficazes no planeamento, gestão e execução, bem como dos impactos das tecnologias digitais e das estratégias de sustentabilidade adotadas. Além disso, o trabalho procura identificar os principais desafios ainda existentes, assim como propor linhas de

desenvolvimento que possam contribuir para acelerar a transição do setor para modelos mais inovadores, eficientes e responsáveis.

Este estudo surge num momento em que o setor da construção é chamado a responder simultaneamente a múltiplas pressões desde a necessidade de cumprir objetivos climáticos globais, até a exigência crescente por soluções habitacionais acessíveis e de qualidade, passando pela digitalização dos processos produtivos e a adaptação a contextos económicos voláteis. Tal contexto impõe um olhar crítico e multidimensional, que aborde não apenas os aspetos técnicos e tecnológicos, mas também os humanos e organizacionais, reconhecendo a complexidade das dinâmicas envolvidas e a importância de abordagens integradas.



Figura 2 - Conceito sustentabilidade (EquipeONB, 04/11/2015)

Objetivo principal:

- Analisar e discutir de forma sistemática as melhores práticas e os desafios enfrentados na gestão de projetos de construção civil, considerando planeamento, gestão e execução como fases interdependentes e complementares.

Objetivos específicos

- Identificar metodologias de planeamento aplicáveis a diferentes contextos de obra.
- Explorar o papel das ferramentas digitais (ex.: BIM, IoT, IA, drones, pré-fabricação modular) na melhoria da eficiência e da transparência da gestão.
- Avaliar os impactos das inovações tecnológicas na fase de execução, sobretudo em termos de custos, prazos e qualidade.
- Discutir estratégias de integração da sustentabilidade ambiental e social em todas as

fases dos projetos.

- Refletir sobre barreiras culturais, técnicas e organizacionais que limitam a inovação no setor da construção.
- Propor linhas de desenvolvimento que apoiem a transição para modelos de construção mais inovadores, eficientes e responsáveis.

Perguntas de investigação

- Quais são as metodologias de planeamento mais eficazes em contextos de obra real?
- Como podem as ferramentas digitais contribuir para uma gestão mais eficiente e transparente?
- De que maneira as inovações tecnológicas impactam a execução, sem comprometer custos e prazos?
- Como integrar de forma consistente a sustentabilidade ambiental e social desde as fases iniciais do projeto?

1.1 Metodologia

Esta investigação adota uma abordagem qualitativa e exploratória, centrada na pesquisa-ação e na análise de estudos de caso, com o objetivo de compreender criticamente os desafios e as boas práticas na gestão de obras de construção civil em contextos reais.

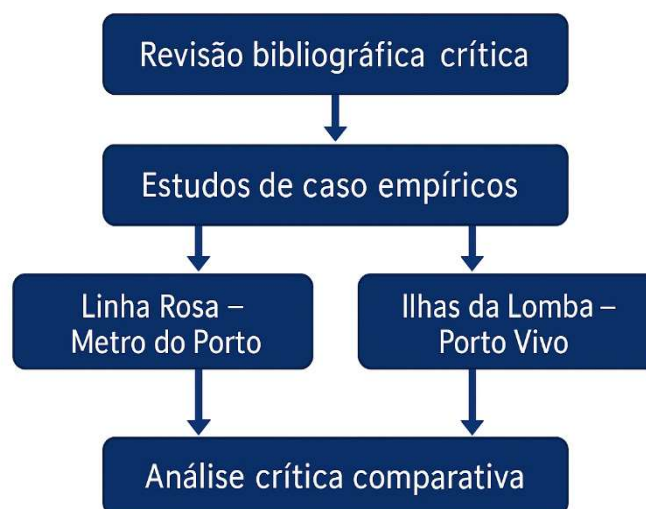


Figura 3 - Diagrama da metodologia usada nesta dissertação

1.1.1 Enquadramento Metodológico

A escolha metodológica baseia-se em três pilares teóricos:

- Yin (2018): estruturação rigorosa de estudos de caso, com foco na contextualização e replicabilidade.
- Stake (1995): valorização da interpretação e da singularidade dos casos, com atenção à complexidade social.
- Schön (1983): reflexão na ação como prática profissional, reconhecendo o papel do engenheiro como agente crítico e adaptativo.

Esta combinação permite uma abordagem integrada entre teoria e prática, valorizando tanto o conhecimento académico como a experiência empírica.

1.1.2 Técnicas de Investigação

A investigação foi conduzida em duas fases principais:

- Revisão bibliográfica crítica: realizada em bases como Scopus, Google Scholar e ScienceDirect, com palavras-chave como “BIM”, “Lean Construction”, “sustentabilidade na construção” e “gestão de obras”. Foram selecionados artigos entre 2000 e 2024, com foco em estudos aplicados e meta-análises.
- Estudos de caso empíricos: baseados na participação direta em duas obras distintas:
 - Linha Rosa – Metro do Porto (obra de grande escala e elevada complexidade técnica).
 - Ilhas da Lomba – Porto Vivo (obra de reabilitação urbana com forte componente social).

Ambos os casos foram analisados através de observação participante, registos técnicos, reuniões de obra e documentação interna, permitindo uma compreensão profunda dos processos de planeamento, gestão e execução.

1.1.3 Justificação dos Casos

A seleção dos estudos de caso obedeceu aos seguintes critérios:

Tabela 1 - Critérios de seleção dos estudos de caso

Critério	Linha Rosa	Ilhas da Lomba
Escala	Metropolitana	Local
Complexidade técnica	Elevada	Moderada
Inovação tecnológica	BIM, Lean, digitalização	Planeamento visual, gestão local
Impacto social	Infraestrutura urbana	Habitação acessível

Esta diversidade permite uma análise comparativa entre contextos contrastantes, enriquecendo a reflexão sobre a aplicabilidade das metodologias estudadas.

1.1.4 Limitações Metodológicas

Reconhecem-se as seguintes limitações:

- Subjetividade da análise: mitigada através de triangulação de fontes (registos técnicos, entrevistas informais, observação direta).
- Generalização limitada: os resultados são contextualizados e não pretendem representar todo o setor da construção.
- Dependência da experiência pessoal: embora enriquecedora, exige cuidado na interpretação dos dados.

1.2 Organização da Dissertação

A estrutura da dissertação segue uma lógica progressiva:

Capítulo 2 – Revisão da literatura e estado da arte que permitirá analisar as principais dimensões que atualmente estruturam a construção civil. Esta revisão abordará, em primeiro lugar, o planeamento, evidenciando a evolução das metodologias tradicionais até às abordagens digitais e colaborativas contemporâneas, como o BIM e o Lean Construction. Seguidamente, a análise incidirá sobre a gestão de projetos, discutindo a relevância de modelos consolidados como o PMBOK, mas também as exigências de flexibilidade e integração tecnológica que marcam os contextos de obra

atuais. A revisão dará ainda particular atenção à execução, explorando o impacto das tecnologias emergentes drones, sensores IoT, construção modular ou robótica na produtividade, segurança e qualidade das empreitadas. Por fim, será tratada a sustentabilidade, entendida não apenas como exigência ambiental, mas como princípio estruturante que influencia processos, escolhas de materiais e modelos de certificação. Assim, este capítulo fornecerá a base teórica e crítica necessária para compreender os desafios e oportunidades do setor, servindo de alicerce às análises desenvolvidas nos capítulos seguintes.

Capítulo 3 – Evolução das práticas e tecnologias que permitirá analisar de forma aprofundada a transformação histórica e contemporânea do setor. Serão revisitadas as origens do planeamento e gestão em obra, desde os métodos empíricos baseados na experiência dos mestres de obra até à consolidação dos modelos analíticos do pós-guerra, como o CPM e o PERT. A análise destacará também a rutura introduzida pelo paradigma Lean Construction, com ênfase no Last Planner System, e o papel decisivo da digitalização, através do BIM e de tecnologias emergentes como drones, sensores IoT e sistemas ciberfísicos. O capítulo examinará ainda a centralidade crescente da sustentabilidade, explorando conceitos como Avaliação do Ciclo de Vida e economia circular, e refletirá sobre os obstáculos culturais e organizacionais à sua implementação. Por fim, será feita uma comparação internacional que posicionará Portugal face a países líderes em inovação, evidenciando as oportunidades e desafios que o país enfrenta. Desta forma, este capítulo fornecerá a base para compreender como a tradição e a inovação coexistem no setor, preparando o terreno para a análise empírica de obras reais no capítulo seguinte.

Capítulo 4 – Estudos de caso e análise empírica onde será observada a forma como os conceitos e metodologias discutidos nos capítulos anteriores se concretizam na obra. A análise centrar-se-á em duas obras emblemáticas e contrastantes: a Linha Rosa do Metro do Porto, de grande escala e complexidade técnica, e a reabilitação das Ilhas da Lomba em Campanhã, marcada pela dimensão social e comunitária. Este capítulo examinará de que forma ferramentas digitais como o BIM e metodologias colaborativas como o Lean Construction foram aplicadas em contextos distintos, revelando tanto o seu potencial como os seus limites. Serão também analisadas as estratégias de sustentabilidade, as dinâmicas de liderança e a cultura de obra, permitindo compreender como fatores técnicos, organizacionais e humanos se entrelaçam. Desta forma, este capítulo fornecerá uma visão crítica da transição entre teoria e prática, evidenciando as condições que favorecem ou dificultam a inovação no setor.

Capítulo 5 – Discussão crítica e síntese vai refletir de forma aprofundada sobre as tensões e contradições que atravessam o setor da construção. A partir da experiência prática e dos estudos de caso anteriores, este capítulo analisará criticamente como a inovação convive com a tradição, quais

são os limites da digitalização em contextos reais, e de que modo se manifesta o paradoxo entre o planeamento “ideal” e a execução “real”. Será ainda examinada a distância entre o discurso da sustentabilidade e a sua efetiva implementação, destacando o papel da formação profissional como eixo estruturante para a mudança. Finalmente, este capítulo delineará linhas de desenvolvimento para o futuro, apontando caminhos para que a construção evolua de forma mais integrada, sustentável e resiliente.

Capítulo 6 – Conclusões e recomendações vai finalmente consolidar os resultados desta investigação, sistematizando as principais aprendizagens e reflexões críticas desenvolvidas ao longo do trabalho. Partindo da análise das tensões entre inovação e tradição, dos limites da digitalização, da descontinuidade entre planeamento e execução e dos desafios da sustentabilidade, este capítulo procurará sintetizar os contributos teóricos e práticos mais relevantes, evidenciando a complexidade que caracteriza o setor da construção. Além de sublinhar a importância da formação profissional e da mudança cultural como eixos centrais para uma transformação efetiva, serão apresentadas recomendações orientadas para a prática profissional, para as organizações e para a formulação de políticas públicas. Ao mesmo tempo, serão identificadas limitações do estudo e propostas linhas de investigação futura, de forma a abrir caminho para novos debates e aprofundamentos. Assim, este capítulo final pretende não só encerrar a dissertação, mas sobretudo lançar pontes para o futuro, destacando estratégias e visões que possam contribuir para um setor da construção mais sustentável, inovador e humano.

2. Revisão da Literatura e Estado da Arte

2.1 Metodologia da revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica foi realizada com o objetivo de identificar e analisar estudos, metodologias e tecnologias recentes aplicadas à construção civil, incluindo planejamento, gestão de projetos, execução, tecnologias emergentes e sustentabilidade neste setor de constante desenvolvimento. Os critérios adotados foram:

- Período temporal: artigos publicados entre 2000 e 2025, com ênfase em publicações dos últimos 10 anos para refletir as inovações recentes.
- Tipo de fontes: artigos científicos indexados em bases como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, livros especializados e relatórios técnicos de instituições reconhecidas (PMI, USGBC, Lean Construction Institute).
- Critérios de inclusão: estudos que abordam práticas de BIM, Lean Construction, sustentabilidade, digitalização de estaleiros e tecnologias emergentes, com aplicação em contextos nacionais e internacionais.
- Critérios de exclusão: publicações não revisadas por pares, estudos que não apresentam dados empíricos ou metodologias aplicáveis, e artigos anteriores a 2000 sem relevância histórica clara.

Número de artigos analisados: 120 estudos, complementados por 15 relatórios técnicos internacionais.

Principais autores e correntes teóricas: Azhar (BIM), Ballard e Howell (Lean Construction), Ding (Sustentabilidade), Bock (Robótica e IA na construção), PMBOK/PMI (gestão de projetos).

A síntese da literatura analisada está resumida na tabela abaixo:

Tabela 2 - Síntese da literatura recolhida na revisão bibliográfica

Tema principal	Conceitos-chave / Tecnologias	Principais autores / referências
Planeamento	CPM, PERT, Gantt, BIM, Lean	Azhar (2011), Ballard (2000), Howell (1999)
Gestão de projetos	PMBOK, softwares integrados, dashboards	Harris et al. (2020), Zhu & Issa (2016)
Execução e tecnologias	Drones, IoT, robótica, impressão 3D, pré-fabricação	Bock (2015), Pan & Zhang (2023)
Sustentabilidade	ACV, economia circular, certificações LEED/BREEAM/WELL	Ding (2008), Ellen MacArthur Foundation (2013), USGBC (2020)
Comparação internacional	Políticas públicas, maturidade digital, estratégias Lean/BIM	Países nórdicos, Reino Unido, Japão, EUA, Alemanha, Austrália, China, Singapura

2.2 Planeamento na Construção

A fase de planeamento em projetos de construção civil é essencial para garantir o sucesso das obras, pois é neste momento que são definidas as estratégias, recursos, prazos e metodologias para execução dos trabalhos. Historicamente, o setor adotou métodos tradicionais como os gráficos de Gantt, diagramas de rede, Critical Path Method (CPM) e Program Evaluation and Review Technique (PERT). Essas ferramentas, desenvolvidas na metade do século XX, ainda possuem grande relevância, pois facilitam a visualização das tarefas, a identificação do caminho crítico e o controlo do cronograma, fornecendo uma base estruturada para a organização do trabalho e para a coordenação entre diferentes especialidades envolvidas. Por exemplo, o CPM permitia antecipar atrasos potenciais e alocar recursos de forma mais eficiente, enquanto os gráficos de Gantt proporcionavam uma visão clara das fases do projeto e dos prazos estabelecidos, auxiliando a comunicação entre engenheiros, gestores e clientes.

Todavia, esses métodos apresentam limitações importantes frente à complexidade crescente dos projetos modernos. Hoje, obras envolvem múltiplos intervenientes, especialidades, regulamentações rigorosas e prazos cada vez mais apertados, exigindo uma gestão mais integrada, colaborativa e adaptativa do planeamento. Ferramentas tradicionais baseiam-se em pressupostos de linearidade e previsibilidade, que raramente se confirmam na prática devido às incertezas inerentes ao ambiente de construção, como condições climáticas adversas, disponibilidade de materiais, variações de custo, questões de segurança e imprevistos técnicos. Em contextos urbanos densos, por exemplo, a necessidade de conciliar obras com a mobilidade local e a proteção de edificações adjacentes acrescenta camadas adicionais de complexidade, tornando a execução fiel ao cronograma original um

desafio constante.

A figura 4 apresentada a seguir, demonstra a dinâmica da inovação e do melhoramento contínuo na mudança deste setor.

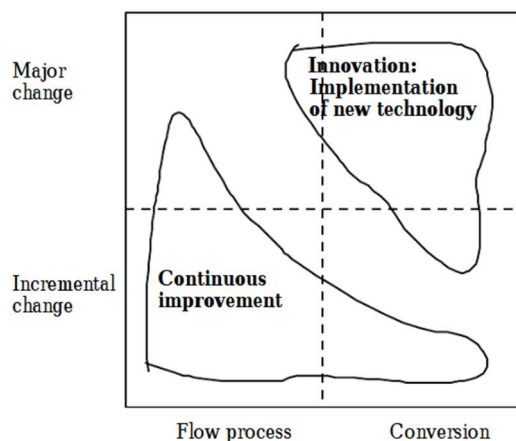


Figura 4 – Influência da melhoria contínua vs inovação na evolução da construção civil - *focus and aimed change* Koskela, L. (1992).

Nesse cenário, a incorporação do Building Information Modeling (BIM) tem revolucionado o planejamento. O BIM vai além de um modelo tridimensional, integrando informações essenciais relacionadas a custos, cronogramas, sustentabilidade e manutenção, configurando um ambiente digital colaborativo. Essa abordagem permite simular cenários complexos, antecipar conflitos entre sistemas estruturais, redes técnicas e instalações eletromecânicas, e tomar decisões informadas antes da execução física, reduzindo significativamente erros, retrabalhos e desperdícios (Azhar, 2011). Estudos como os de Pan e Zhang (2023) demonstram que o BIM promove maior precisão no planejamento e uma comunicação mais eficaz entre as partes interessadas, resultando em projetos mais coesos, eficientes e economicamente viáveis. Além disso, em países como Singapura e Reino Unido, a integração do BIM em projetos públicos tem permitido um melhor cumprimento de prazos e redução de custos, servindo de referência internacional para a modernização do setor.

Outro avanço fundamental é a filosofia Lean Construction, que redefine o planejamento ao focar na eliminação de desperdícios e no envolvimento direto dos trabalhadores (Howell, 1999). O Last Planner System (LPS), por exemplo, utiliza ciclos curtos de planejamento colaborativo que aumentam a confiabilidade das entregas e estimulam o comprometimento da equipa (Ballard, 2000). Esta abordagem valoriza o conhecimento tácito dos trabalhadores, incentivando a identificação precoce de constrangimentos e promovendo ajustes contínuos de recursos e atividades. A implementação do LPS também tem sido associada a melhorias mensuráveis na produtividade, redução de tarefas incompletas e aumento da satisfação das equipas de obra.

No entanto, a adoção dessas práticas enfrenta desafios culturais e institucionais, especialmente

em organizações tradicionais e pequenas e médias empresas, que frequentemente resistem a mudanças estruturais e carecem da capacitação adequada. Barreiras como a falta de formação específica, a limitação de recursos tecnológicos e a relutância em alterar processos consolidados podem comprometer os benefícios potenciais do planeamento digital e colaborativo. Por isso, é necessário não apenas investir em tecnologia, mas também fomentar uma cultura organizacional aberta à inovação, baseada em comunicação efetiva, colaboração interdepartamental e aprendizagem contínua.

Por fim, o planeamento contemporâneo exige a conjugação de ferramentas digitais avançadas, metodologias colaborativas e uma cultura organizacional flexível, capaz de responder rapidamente a mudanças e imprevistos. A integração dessas dimensões é fundamental para enfrentar os desafios técnicos, sociais e ambientais da construção civil atual, melhorando a eficiência, a sustentabilidade e a qualidade dos projetos. Ao incorporar práticas de gestão sustentável e digitalização, o planeamento moderno não apenas otimiza recursos e prazos, mas também contribui para a redução do impacto ambiental, promovendo construções mais resilientes e responsáveis.

2.3 Gestão de Projetos

A gestão de projetos na construção civil é, por sua vez, um campo multidisciplinar que envolve o planeamento, execução, monitoramento e controlo de diversas áreas, tais como tempo, custo, qualidade, riscos, comunicação, aquisições e partes interessadas. O Project Management Body of Knowledge (PMBOK), desenvolvido pelo Project Management Institute (PMI), oferece um conjunto estruturado de boas práticas que tem sido amplamente adotado no setor. Este corpo de conhecimento fornece diretrizes consolidadas para a organização e coordenação de tarefas complexas, estabelecendo processos padronizados para cada fase do projeto e garantindo que todos os intervenientes compreendam responsabilidades, metas e entregáveis.

No entanto, a aplicação do PMBOK no contexto real das obras exige flexibilidade e adaptabilidade, já que os projetos de construção frequentemente enfrentam condições voláteis, múltiplos intervenientes com interesses amplamente diversos e complexidades técnicas significativas.

Por exemplo, em projetos urbanos de grande escala, os constrangimentos de espaço, regulamentações municipais rigorosas e necessidade de coordenação com autoridades locais aumentam significativamente os desafios de gestão. A gestão eficaz exige, portanto, não apenas o domínio das práticas convencionais, mas também a capacidade de integrar informações em tempo real, antecipar riscos e tomar decisões ágeis para mitigar impactos e otimizar recursos. Essa adaptabilidade é essencial para responder a imprevistos como atrasos na entrega de materiais,

mudanças no design ou condições climáticas adversas, que podem comprometer cronogramas e orçamentos se não forem geridos de forma proativa.

A transformação digital tem sido um motor fundamental para a evolução da gestão de projetos na construção. Softwares integrados como Primavera P6, Microsoft Project e Procore permitem consolidar dados de diferentes fontes, proporcionando um panorama atualizado do andamento do projeto, do controlo de custos, da qualidade e dos riscos (Zhu & Issa, 2016). Essas plataformas disponibilizam *dashboards* interativos que facilitam o acompanhamento do progresso, possibilitando a identificação precoce de desvios e ajustes imediatos nas estratégias de execução. Estudos recentes, como o de Harris et al. (2020), destacam que a adoção dessas ferramentas digitais melhora a competitividade das empresas, especialmente em ambientes de alta exigência, onde rapidez, precisão e tomada de decisão baseada em dados são cruciais para o sucesso. Além disso, a digitalização possibilita uma documentação mais detalhada e acessível, que pode ser utilizada para análises pós-projeto, aprendizagem organizacional e melhoria contínua de processos.

A figura 5 seguinte exemplifica um edifício modelado em B nas suas diferentes vertentes. A vertente A mais focada na implantação do edifício face ao terreno, a vertente B mais direcionada para a integração estrutural com todas as infraestruturas a construir, a vertente C em que é demonstrada a sequência de construção deste edifício que permite antecipar e programar os trabalhos e, por último a vertente D em que é possível ter informações de todos os objetos modelados desde as suas dimensões a características técnicas. Todas estas vertentes estão presentes na mesma modelação em BIM.

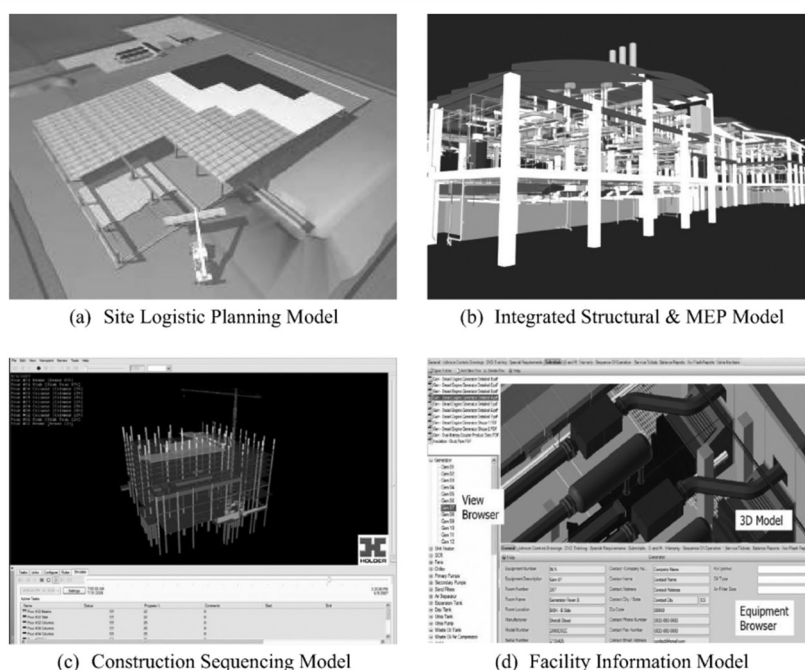


Figura 5 – Exemplo de edifício modelado em BIM (Pan e Zang)

Contudo, obstáculos como resistência cultural, necessidade de formação contínua e investimentos financeiros ainda limitam a plena digitalização dos processos. Pequenas e médias empresas, em particular, enfrentam dificuldades na implementação de sistemas digitais devido a restrições orçamentais e à falta de competências técnicas. Por isso, a adoção tecnológica deve ser acompanhada de políticas de capacitação profissional, planos de integração progressiva e incentivo à mudança cultural, de modo a maximizar os benefícios das ferramentas digitais.

Além disso, a gestão moderna de projetos tem incorporado práticas colaborativas que promovem maior transparência e integração entre todas as partes interessadas, desde projetistas até fornecedores, empreiteiros e clientes. Abordagens como *Integrated Project Delivery* (IPD) e metodologias *Lean Construction* incentivam a comunicação aberta, o planeamento participativo e a tomada de decisão conjunta, reduzindo conflitos, atrasos e retrabalhos. Estas práticas colaborativas permitem criar uma visão sistêmica do projeto, garantindo que todos os intervenientes compreendam o impacto de suas ações sobre o resultado e facilitando a resolução de problemas antes que se tornem críticos.

A experiência internacional evidencia os benefícios dessa abordagem integrada. Projetos de grande escala, como o *Grand Paris Express* na França e a *Crossrail* em Londres, demonstram que a combinação de gestão de projetos estruturada, digitalização avançada e colaboração intensa entre múltiplas partes interessadas resulta em ganhos de eficiência, redução de custos e maior confiabilidade na execução das obras. Estes exemplos ilustram como práticas internacionais podem ser adaptadas a contextos locais, fornecendo lições valiosas para a gestão de projetos em países como Portugal.

Assim, a gestão de projetos na construção evolui para um modelo mais dinâmico, tecnológico e colaborativo, que alia princípios consolidados a inovações digitais e culturais. Este modelo não apenas garante maior eficiência e controlo em um ambiente altamente complexo, mas também fortalece a capacidade de adaptação das organizações, promove a redução de desperdícios e contribui para projetos mais sustentáveis e de maior qualidade. Ao integrar planeamento, digitalização e colaboração, a gestão contemporânea oferece ferramentas e estratégias robustas para enfrentar os desafios crescentes do setor da construção, proporcionando resultados mais previsíveis e valorizando o conhecimento e a experiência de todos os profissionais envolvidos.

2.4 Execução e Tecnologias Emergentes

A execução das obras representa o momento crítico em que o planeamento e a gestão previamente definidos são colocados à prova diante das condições reais do estaleiro. É nesta fase que os desafios operacionais se manifestam com maior intensidade, incluindo atrasos logísticos, incompatibilidades técnicas, falhas de comunicação, riscos de segurança e impactos ambientais. Cada projeto de construção é marcado por variáveis próprias que interferem na execução, tornando necessária uma gestão dinâmica e adaptativa, capaz de antecipar problemas e reagir rapidamente a mudanças inesperadas. Por exemplo, atrasos na entrega de materiais ou falhas em equipamentos podem gerar efeitos em cascata sobre todo o cronograma, exigindo tomadas de decisão ágeis e eficazes por parte da equipa de gestão.

A seguir é apresentado um diagrama que sintetiza a linha de pensamento para a execução do planeamento segundo os princípios do LPS.

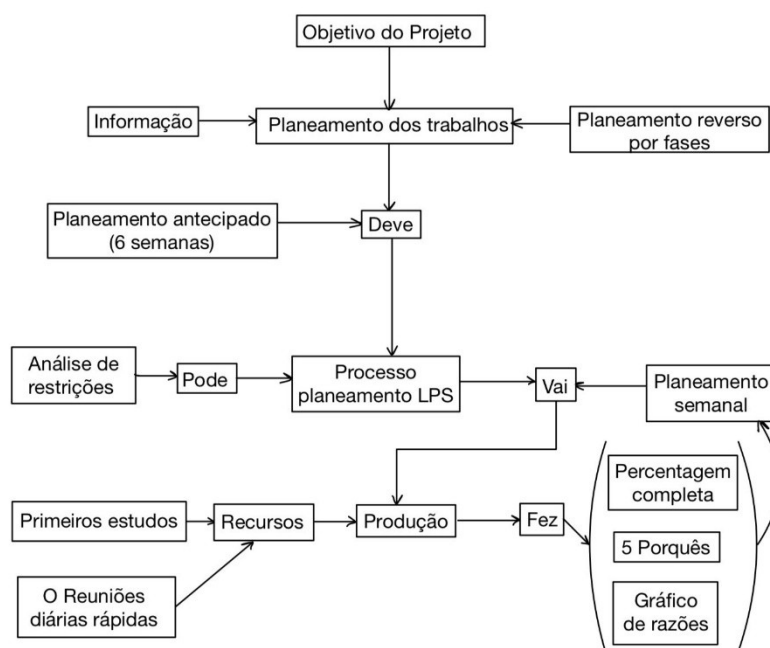


Figura 6 – Processo de produção recorrendo ao last planner system (adaptado de Hamzeh, F. R.)

Para superar esses desafios, o setor tem incorporado tecnologias emergentes que aumentam o controlo, a segurança e a eficiência da execução. Entre as mais utilizadas destacam-se os drones, que realizam levantamentos topográficos detalhados, monitoramento visual do progresso e inspeções em áreas de difícil acesso. Estes dispositivos geram dados precisos e em tempo real, que suportam a tomada de decisão, a atualização do planeamento e a deteção precoce de inconformidades. Em grandes projetos, como túneis, pontes ou complexos habitacionais, o uso de drones permite reduzir

significativamente o tempo necessário para inspeções tradicionais e diminuir custos operacionais.

Estudos recentes indicam que a implementação sistemática de drones em estaleiros melhora a visibilidade das operações e contribui para a conformidade com padrões de qualidade e segurança (Bae & Kim, 2018).

A *Internet of Things* (IoT) também tem ganho destaque, com sensores instalados em equipamentos, materiais e trabalhadores, capazes de monitorar condições ambientais, vibração, temperatura, humidade e localização em tempo real. Estes dados permitem antecipar falhas, prevenir acidentes, otimizar a logística de recursos e reduzir o desperdício, tornando a execução mais segura e eficiente. A IoT pode ser integrada a softwares de gestão digital, promovendo *dashboards* interativos que facilitam a coordenação de múltiplas tarefas simultaneamente, um requisito fundamental em projetos complexos de grande escala.

Além da digitalização, mudanças estruturais no processo construtivo, como a construção modular e a pré-fabricação, representam inovações significativas na execução das obras. Ao transferir parte do processo para ambientes controlados e industriais, é possível reduzir o tempo de obra, minimizar desperdícios, melhorar a qualidade final e aumentar a segurança dos trabalhadores. A construção modular é particularmente eficaz em locais com restrições de espaço ou condições adversas, permitindo que componentes sejam produzidos de forma padronizada e rapidamente instalados na obra.

No campo da inovação tecnológica, a robótica, inteligência artificial (IA) e impressão 3D surgem como soluções disruptivas (Bock, 2015). Robôs já são aplicados em tarefas repetitivas e perigosas, como alvenaria automatizada e soldadura, aumentando a produtividade e reduzindo riscos para os trabalhadores. Sistemas baseados em IA possibilitam otimizar o planeamento, prever congestionamentos e antecipar riscos de execução, permitindo ajustes preventivos. A impressão 3D, por sua vez, viabiliza a produção de componentes complexos de forma rápida, precisa e sustentável, contribuindo para reduzir o consumo de materiais e o desperdício. Países como Japão, Estados Unidos e China lideram a adoção destas tecnologias em larga escala, servindo como referência para o desenvolvimento de práticas inovadoras em outros contextos.

A integração dessas tecnologias não apenas transforma o processo construtivo, mas também reforça a sustentabilidade, a segurança e a eficiência operacional. Sistemas digitais permitem monitorar a emissão de carbono, o consumo de energia e o uso de materiais recicláveis, apoiando práticas construtivas mais responsáveis. Além disso, ao melhorar a coordenação entre equipas, reduzir retrabalhos e antecipar problemas, a execução torna-se mais previsível e menos suscetível a imprevistos que comprometam qualidade e custos.

Dessa forma, a execução na construção civil está a passar por uma transformação tecnológica

e metodológica profunda. A combinação de automação, digitalização, metodologias colaborativas e novos métodos construtivos representa um novo paradigma no setor, promovendo maior produtividade, qualidade e segurança. Ao integrar inovações digitais e físicas, os projetos contemporâneos tornam-se mais resilientes, adaptáveis e alinhados com exigências de sustentabilidade e eficiência, reforçando a importância da execução como fase estratégica e decisiva em qualquer empreendimento de construção civil.

2.5 Sustentabilidade na Construção

A sustentabilidade na construção civil tem assumido crescente relevância, dado o impacto significativo que o setor exerce sobre o meio ambiente. Tradicionalmente, a construção é responsável por elevados consumos de recursos naturais, emissões de gases de efeito estufa e geração de resíduos sólidos, o que implica uma necessidade urgente de transformar práticas e promover um desenvolvimento mais sustentável. Em termos globais, estima-se que cerca de 40% do consumo de energia e 36% das emissões de CO₂ estejam relacionados com edificações e processos construtivos, reforçando a responsabilidade do setor para mitigar os impactos ambientais (Kibert, 2016; WCED, 1987). O crescimento urbano acelerado, aliado a padrões de construção tradicionais, intensifica essas pressões ambientais, tornando a adoção de estratégias sustentáveis não apenas uma escolha ética, mas também uma exigência econômica e regulatória.

A incorporação de práticas sustentáveis envolve múltiplos eixos, sendo essencial analisar cada dimensão de forma integrada. O uso de materiais reciclados, ecológicos e de origem local permite reduzir a pegada ambiental da construção, enquanto práticas de economia circular incentivam a reutilização de recursos e a redução de resíduos. O planejamento energético eficiente, aliado à gestão racional da água, contribui para a diminuição do consumo de recursos naturais e para o menor impacto ambiental ao longo do ciclo de vida do edifício. A integração de critérios ambientais desde a concepção até à operação garante que os projetos considerem não apenas a execução, mas também a manutenção, operação e eventual demolição de forma sustentável. Sistemas internacionais de certificação ambiental, como LEED, BREEAM, WELL e EDGE, estabelecem padrões rigorosos para garantir a eficiência energética, qualidade do ar interior, consumo racional de água e gestão adequada de resíduos, servindo como referência global e promovendo a mudança cultural no setor (USGBC, 2020; BREEAM, 2019; Ellen MacArthur Foundation, 2013). A figura 7 exibe os logótipos destas certificações.



Figura 7 – Certificações ambientais - BREEAM, LEED e WELL (R2M, Solution)

A adoção destas certificações tem incentivado edificações ambientalmente responsáveis e mais saudáveis para os ocupantes. Estudos demonstram que edifícios certificados apresentam benefícios significativos em termos de conforto térmico, qualidade do ar, eficiência operacional, valorização patrimonial e competitividade das empresas construtoras. Pesquisas indicam que edifícios verdes podem reduzir custos operacionais em até 30% e aumentar a produtividade dos ocupantes em até 15%, evidenciando o impacto direto da sustentabilidade na performance econômica e social dos projetos (Cole, 1999; Ding, 2008). No entanto, barreiras persistentes incluem percepções de custos iniciais elevados, falta de conhecimento técnico, ausência de incentivos governamentais consistentes e resistência cultural à mudança. Pequenas e médias empresas, predominantes no setor, enfrentam desafios adicionais, tornando essencial o apoio institucional, programas de capacitação e iniciativas colaborativas entre academia, governo e indústria (Loosemore, 2015; Coscia, D'Agostino & Oppio, 2020).

A inovação tecnológica desempenha papel central na sustentabilidade, permitindo otimizar recursos e reduzir impactos ambientais. O Building Information Modeling (BIM), por exemplo, facilita a integração de critérios de desempenho ambiental desde a concepção até à operação do edifício, permitindo simulações de eficiência energética, análise de materiais e gestão do ciclo de vida (Azhar, 2011; Pan & Zhang, 2023). Sensores IoT e plataformas digitais possibilitam monitorizar consumo energético, água e emissão de poluentes em tempo real, contribuindo para a manutenção proativa e o planeamento sustentável das obras. A construção modular e pré-fabricada, por sua vez, minimiza desperdícios, diminui o tempo de execução e reduz a pegada ambiental, garantindo maior qualidade e previsibilidade do produto final. Além disso, tecnologias emergentes como impressão 3D e robótica contribuem para a fabricação de componentes complexos com menor consumo de materiais e energia, enquanto inteligência artificial auxilia na otimização de processos e na antecipação de riscos

ambientais.

Em termos internacionais, países como Singapura, Reino Unido e Dinamarca têm demonstrado a eficácia de políticas públicas e incentivos que combinam regulação, certificação ambiental e inovação tecnológica. O Singapura Building and Construction Authority (BCA, 2020), por exemplo, implementou programas de formação em práticas sustentáveis e BIM adaptados a pequenas e médias empresas, promovendo a economia circular e reduzindo significativamente o consumo de energia em projetos públicos e privados. No Reino Unido, projetos integrados de BIM e Lean Construction têm mostrado melhorias na eficiência e sustentabilidade, com monitoramento contínuo de indicadores de desempenho ambiental (Construction Industry Council, 2019). Na Dinamarca, políticas governamentais de construção sustentável têm impulsionado o uso de materiais locais, redução de emissões e eficiência energética, servindo como referência para países em desenvolvimento (Ministry of Housing, Urban and Building, 2020). Esses exemplos evidenciam que a sustentabilidade requer integração de políticas públicas, inovação tecnológica e cultura corporativa alinhada aos objetivos ambientais.

Outro ponto relevante é a definição de indicadores de avaliação de sustentabilidade, que permitem medir o sucesso das práticas implementadas. Exemplos incluem taxa de adoção de BIM em PME, número de profissionais capacitados em sustentabilidade, redução percentual de resíduos gerados, consumo energético por metro quadrado, índice de eficiência hídrica e percentagem de materiais reciclados utilizados. Além disso, indicadores sociais, como melhoria das condições de trabalho, segurança ocupacional e satisfação dos utilizadores, devem ser incorporados, reforçando a abordagem holística da sustentabilidade. O uso desses indicadores possibilita ajustes contínuos, decisões baseadas em dados e uma visão integrada do desempenho ambiental, econômico e social dos projetos.

Apesar dos avanços, a sustentabilidade enfrenta desafios relacionados à formação de profissionais, resistência cultural, escassez de mão de obra qualificada e limitação de recursos financeiros. A necessidade de integração entre políticas públicas, práticas empresariais, pesquisa acadêmica e inovação tecnológica é evidente, criando um ecossistema capaz de acelerar a transição para uma construção mais responsável. A sustentabilidade não é apenas uma questão ambiental, mas também social e econômica, impactando saúde, segurança, custos de operação, produtividade e qualidade de vida dos ocupantes. A criação de redes colaborativas entre universidades, empresas e governos é crucial para desenvolver soluções adaptadas ao contexto nacional, disseminar conhecimento e boas práticas, e promover a inclusão de PMEs nos avanços sustentáveis.

Em síntese, a sustentabilidade consolidou-se como um princípio estruturante da construção contemporânea, exigindo uma abordagem holística que combine inovação tecnológica, responsabilidade ambiental e transformação cultural. O setor encontra-se num ponto de viragem em

que tradição e inovação coexistem, mas precisam ser harmonizadas para maximizar eficiência, reduzir impactos ambientais e promover edificações resilientes, seguras e economicamente viáveis. Esta transição reflete-se em todos os estágios do ciclo de vida da construção, desde a concepção até à operação, reforçando a importância de políticas claras, programas de formação, incentivos econômicos e integração tecnológica para garantir o desenvolvimento sustentável do setor.

A construção sustentável representa não apenas um compromisso ambiental, mas uma estratégia competitiva e um imperativo social, moldando o futuro da indústria de forma ética, eficiente, inovadora e resiliente. A adoção plena destas práticas permitirá que a construção civil contribua de forma significativa para a mitigação das mudanças climáticas, a promoção de cidades inteligentes e resilientes, e o fortalecimento de uma economia verde e inclusiva. Além disso, cria-se um ciclo virtuoso, onde inovação, capacitação e políticas públicas fortalecem mutuamente a capacidade do setor de responder aos desafios ambientais, sociais e econômicos do século XXI, garantindo edificações de qualidade, durabilidade e menor impacto ambiental em escala global.

3. Evolução das práticas e tecnologias na Construção

3.1 Metodologia aplicada à análise evolutiva

O capítulo 3 baseia-se na literatura analisada no Capítulo 2, com enfoque em estudos longitudinais e comparativos entre diferentes países. Foram utilizados os mesmos critérios de inclusão/exclusão mencionados anteriormente, permitindo identificar tendências históricas, barreiras à inovação e fatores críticos de sucesso.

A construção civil, embora frequentemente caracterizada como uma indústria conservadora e resistente à mudança, tem na sua essência uma história marcada por ciclos de inovação, adaptação e reinvenção. A complexidade crescente dos projetos de infraestrutura, habitação e reabilitação urbana, combinada com os imperativos da eficiência económica, da responsabilidade ambiental e da pressão tecnológica, fez emergir nas últimas décadas uma nova era de reconfiguração do setor. A presente exploração temática propõe compreender, em profundidade, os mecanismos que têm moldado esta transição, articulando os grandes eixos que a sustentam: a evolução das práticas de planeamento e gestão, a digitalização dos processos executivos, a incorporação de uma lógica sustentável no ciclo de vida da construção e, por fim, as práticas concretas observadas em contexto real de obra.

Para se compreender o ponto a que chegámos, é necessário regressar às origens do planeamento em engenharia civil, quando as obras públicas e privadas se estruturavam numa base profundamente empírica. Até meados do século XX, grande parte da organização de uma obra assentava no conhecimento tácito dos mestres de obra, cuja autoridade era tanto técnica como simbólica. Estes profissionais, muitas vezes sem formação formal, detinham um saber que se transmitia oralmente, com base na experiência direta e na repetição das boas práticas. As decisões eram tomadas de forma quase artesanal, respondendo à realidade do estaleiro com soluções pontuais, muitas vezes eficazes, mas quase sempre não documentadas. O planeamento, nesse contexto, era reativo e imediato, sem previsões de longo prazo, o que tornava as obras vulneráveis a atrasos, conflitos e derrapagens orçamentais.

Foi apenas com o desenvolvimento da engenharia de projetos em larga escala, sobretudo após as Guerras Mundiais, com a explosão da construção de infraestruturas, que emergiu a necessidade de sistematizar e racionalizar os processos de planeamento. A introdução de métodos como o *Critical Path Method* (CPM) e o *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) constituiu um marco nesse

processo de profissionalização. Estas ferramentas, ainda hoje em uso, permitiram pela primeira vez identificar as atividades críticas de um projeto, calcular as folgas, prever atrasos e, sobretudo, introduzir uma lógica sequencial que transformou radicalmente o modo como se compreendia a relação entre tempo, recursos e execução. A construção civil passou a ser vista, então, como um sistema de processos interdependentes, passíveis de serem modelados matematicamente, gerando cronogramas, curvas de avanço físico e simulações de prazos.

A seguir é apresentada a diferenciação prática entre os métodos de PERT e CPM.

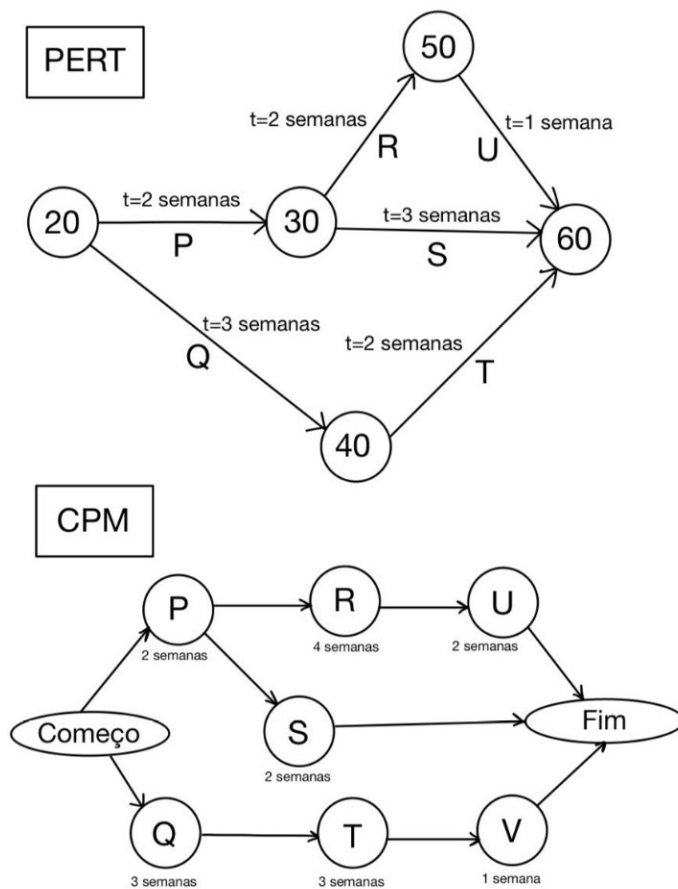


Figura 8 - Diagramas PERT vs CPM

No entanto, este modelo analítico, apesar de eficaz, trouxe consigo uma rigidez que nem sempre se adaptava às dinâmicas imprevisíveis do estaleiro. À medida que os projetos se tornavam mais complexos, multidisciplinares e sujeitos a alterações frequentes, a linearidade dos métodos clássicos mostrou-se insuficiente. A ideia de que um plano poderia prever exhaustivamente tudo o que ocorreria ao longo da obra revelou-se ilusória em muitos casos. Surgiu então uma crítica importante: a de que os instrumentos de planeamento tradicionais, por mais sofisticados que fossem, tornavam-se frequentemente um exercício administrativo distante da realidade do terreno. Os cronogramas detalhados existiam, mas não eram atualizados em tempo real; os desvios eram ignorados ou tratados

como exceções; e o planeamento tornava-se, por vezes, uma formalidade imposta pela fiscalização, e não uma ferramenta viva de gestão.

Foi neste contexto de crise do modelo clássico que começaram a emergir abordagens alternativas, com destaque para o paradigma *Lean Construction*. O *Lean Construction* introduziu uma rutura epistemológica importante: deixou de ver o planeamento como um ato centralizado e determinista e passou a encará-lo como um processo coletivo, flexível e adaptativo (Ballard, G., & Howell, G., 2003). A centralidade passou do plano para o processo, do gestor para a equipa, da previsão para a aprendizagem contínua. No centro do Lean está a eliminação de desperdícios, entendidos não apenas como materiais sobrantes ou tempo perdido, mas como tudo aquilo que não acrescenta valor direto ao cliente final. Este conceito aparentemente simples transformou a lógica de organização das obras, promovendo práticas como a gestão visual, a padronização de tarefas e a melhoria contínua (Kaizen), todas elas voltadas para a otimização do fluxo de trabalho e o aumento da produtividade.

A aplicação do *Last Planner System* (LPS) concretiza de forma exemplar esta nova filosofia. Ao envolver os operacionais no planeamento semanal da obra, o LPS aproxima o plano da realidade do estaleiro. Em vez de impor metas abstratas a partir do topo da hierarquia, a gestão passa a escutar os executantes, que têm melhor conhecimento das condições locais, dos recursos disponíveis e dos obstáculos imediatos. Este planeamento “de baixo para cima” permite maior adesão aos compromissos, melhor coordenação entre tarefas e maior fiabilidade nos prazos. Em termos operacionais, o impacto é visível: reduz-se o número de atividades em atraso, melhora-se a comunicação interdepartamental, e desenvolve-se uma cultura de responsabilidade partilhada que reforça o espírito de equipa. Mais importante ainda, o planeamento deixa de ser um produto para se tornar um processo — dinâmico, relacional e contínuo.

Mas a mudança no planeamento não se deu apenas no plano metodológico. A introdução de tecnologias digitais no setor da construção trouxe consigo uma nova maneira de pensar, representar e operar os projetos. O surgimento do modelo BIM marcou uma viragem decisiva nesse percurso. Inicialmente concebido como uma evolução natural do desenho técnico, o BIM rapidamente se afirmou como um novo paradigma de gestão integrada da informação. Ao permitir a criação de modelos digitais tridimensionais com dados associados, o BIM tornou-se uma plataforma colaborativa onde arquitetos, engenheiros, empreiteiros e clientes interagem em tempo real. O modelo deixa de ser apenas um objeto de representação e passa a ser um organismo vivo, que agrega informação de todas as especialidades e permite simular o comportamento do edifício ao longo do tempo.

Esta capacidade de simulação trouxe ganhos consideráveis no planeamento e na gestão das obras. Através do BIM 4D, é possível sequenciar visualmente as fases da construção, identificar conflitos entre especialidades e ajustar os cronogramas de forma preventiva. Com o BIM 5D, a estimativa de

custos passa a estar integrada no próprio modelo, permitindo avaliar o impacto financeiro de cada alteração de projeto. O BIM 6D introduz a variável da sustentabilidade, com simulações de desempenho energético e cálculo de pegadas ecológicas. Já o BIM 7D permite planejar a manutenção e operação do edifício após a sua construção, fechando o ciclo de vida do ativo (Azhar, S., 2011). Estas múltiplas dimensões transformam o processo de decisão, tornando-o mais informado, transparente e integrado.

No entanto, apesar do seu potencial transformador, a implementação do BIM encontra ainda muitas resistências. Em primeiro lugar, exige um investimento significativo em *hardware*, *software* e formação, o que representa uma barreira de entrada para muitas pequenas e médias empresas. Em segundo lugar, a mudança cultural necessária para operar em ambiente colaborativo é muitas vezes subestimada. A transição de um modelo baseado em silos para um modelo de interoperabilidade implica alterar práticas profundamente enraizadas, repensar contratos, rever processos de aprovação e reconfigurar os fluxos de comunicação. Não se trata apenas de adotar uma nova ferramenta, mas de reorganizar toda a lógica de funcionamento da empresa.

A digitalização do setor não se limita ao BIM. Nos últimos anos, temos assistido à entrada de novas tecnologias nos estaleiros, com impacto direto na forma como se planeia e executa a obra. Os drones, por exemplo, são hoje utilizados para levantar topografias, monitorizar o avanço físico, inspecionar fachadas ou verificar condições de segurança. A sua capacidade de recolher imagens aéreas de alta resolução em curtos períodos de tempo permite gerar ortofotomapas e modelos tridimensionais que facilitam a medição de volumes, o controlo de áreas e a deteção de anomalias. Em obras de grande escala, esta ferramenta revelou-se particularmente útil para a fiscalização e a documentação do progresso da obra, sendo uma fonte de dados visualmente rica e tecnicamente precisa.

Do mesmo modo, os sensores IoT têm vindo a ser aplicados na monitorização de equipamentos, estruturas e condições ambientais. Por exemplo, durante a aplicação de betão, são usados sensores de temperatura e humidade que permitem acompanhar a cura em tempo real, prevenindo fissuras e otimizando os tempos de descofragens. Em máquinas pesadas, sensores de vibração e consumo energético permitem prever falhas, reduzir o tempo de inatividade e programar manutenções preventivas. Em ambientes fechados, como túneis ou fundações profundas, sensores de gases ou de partículas asseguram condições seguras de trabalho, prevenindo acidentes por exposição a contaminantes. Esta sensorização do estaleiro, quando integrada com plataformas de análise de dados, transforma a obra num sistema ciberfísico, capaz de reagir em tempo real aos estímulos do ambiente e otimizar os seus próprios processos.

A construção civil, enquanto motor essencial do desenvolvimento das cidades, encontra-se hoje perante um paradoxo estrutural: é simultaneamente uma das maiores responsáveis por impactos

ambientais negativos e uma das indústrias com maior potencial para liderar a transição para um modelo mais sustentável. Este paradoxo manifesta-se em números: o setor é responsável por cerca de 40% do consumo global de energia, 36% das emissões de gases com efeito de estufa, 50% da extração de recursos naturais e mais de um terço dos resíduos sólidos gerados mundialmente (Ding, G. K. C., 2008). Face a esta realidade, a sustentabilidade deixou de ser um conceito abstrato ou um objetivo futuro e passou a constituir um critério operativo fundamental, com implicações técnicas, económicas, sociais e até éticas.

A noção de sustentabilidade na construção ultrapassa, hoje, a mera escolha de materiais “verdes” ou a inclusão de painéis solares na cobertura. Trata-se de repensar integralmente os processos construtivos, desde a conceção do projeto até à gestão do edifício em uso, passando pela obra, pela cadeia de fornecimento e pelos sistemas de manutenção. A sustentabilidade deve ser entendida como um princípio transversal e estruturante, e não como um adereço tecnológico. Ela implica um redesenho das práticas, das metodologias e dos critérios de decisão que orientam o setor.

Um dos instrumentos mais relevantes neste redesenho é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), uma metodologia que permite quantificar os impactos ambientais associados a um produto, sistema ou edifício ao longo de todo o seu percurso desde a extração de matérias-primas, passando pela produção, transporte, instalação, uso, manutenção e fim de vida (ISO 14040, 2006). No contexto da construção, a ACV possibilita comparar diferentes soluções construtivas não apenas em função do seu custo direto, mas também do seu custo ambiental. Um material ligeiramente mais caro na fase de aquisição pode ter uma pegada ecológica muito inferior ao longo do tempo, devido à sua durabilidade, capacidade de reciclagem ou eficiência energética. A aplicação prática da ACV, especialmente quando integrada em plataformas BIM 6D, permite simular diferentes cenários e apoiar decisões mais informadas e conscientes por parte de projetistas, engenheiros e promotores.

Paralelamente à ACV, a lógica da economia circular tem vindo a ganhar relevo como paradigma alternativo ao modelo linear dominante (extrair, transformar, usar e descartar). A economia circular propõe uma abordagem regenerativa e restaurativa, onde os recursos são mantidos em uso pelo maior tempo possível, e os resíduos de uma atividade se tornam matérias primas para outras (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Na construção, esta lógica traduz-se na reutilização de materiais provenientes de demolições, na conceção de edifícios desmontáveis, na produção de componentes padronizados passíveis de reconfiguração, e na incorporação de materiais reciclados na composição de betões, argamassas ou isolamentos (Tam, 2008).

Esta abordagem requer, porém, uma reformulação profunda da forma como os projetos são concebidos. A ideia de demonstrabilidade, por exemplo, ainda é pouco explorada em projetos habitacionais, mas tem grande potencial em edifícios públicos, industriais ou de curta duração, onde a

flexibilidade e a reversibilidade dos espaços são fundamentais. A conceção de sistemas construtivos “abertos”, modulares e adaptáveis permite responder melhor às mudanças nas necessidades de ocupação, prolongar o tempo de vida útil dos edifícios e facilitar a recuperação de materiais no fim do ciclo.

A figura seguinte reflete sobre os aspetos mais importantes na melhoria da qualidade de construção.



Figura 9 - Aspetos que contribuem para a melhoria da qualidade da construção (Adaptado de Harris et al, 2019)

Ainda assim, é necessário reconhecer que a transição para uma construção sustentável e circular enfrenta obstáculos consideráveis. A escassez de regulamentação específica, a falta de incentivos financeiros diretos, a ausência de formação técnica especializada e a resistência à mudança cultural constituem barreiras significativas. Muitas vezes, as soluções mais sustentáveis são vistas como mais dispendiosas ou mais arriscadas, mesmo quando o seu custo total ao longo do tempo é inferior. A perceção do risco associada à inovação, aliada à pressão por resultados rápidos e ao receio de comprometer os prazos, conduz a uma preferência por soluções conhecidas, ainda que ambientalmente menos favoráveis. Este fenómeno não é exclusivo da construção, mas é particularmente acentuado neste setor, onde a margem de erro é reduzida e o grau de responsabilidade técnica é elevado.

Neste cenário, o papel das políticas públicas e dos instrumentos de regulação é crucial. A criação de normas de desempenho energético, a exigência de certificações ambientais, os sistemas de incentivos à construção sustentável e os critérios de adjudicação baseados não apenas no preço, mas também na qualidade técnica e ambiental, são mecanismos que podem acelerar a mudança. Do mesmo modo, as instituições de ensino superior e os centros de investigação têm uma responsabilidade estratégica na formação de engenheiros e gestores preparados para integrar esta

nova racionalidade ecológica nos seus projetos.

No entanto, e talvez mais profundamente do que todos os aspetos técnicos e regulamentares, a sustentabilidade exige uma transformação da cultura organizacional das empresas de construção. É na cultura interna nos valores, hábitos, prioridades e estilos de liderança que se joga, em grande parte, o sucesso ou fracasso da inovação. Empresas com uma cultura orientada para o curto prazo, com estruturas hierárquicas rígidas e com baixa valorização da formação contínua têm maior dificuldade em incorporar práticas sustentáveis, mesmo quando dispõem de meios técnicos e recursos financeiros para o fazer. Pelo contrário, empresas que incentivam a autonomia das equipas, que promovem a aprendizagem organizacional e que cultivam um espírito de melhoria contínua tendem a adaptar-se melhor aos novos desafios.

A formação dos trabalhadores, em particular, desempenha um papel fundamental neste processo. A introdução de novas tecnologias e metodologias de trabalho exige competências diferentes das tradicionalmente associadas ao setor. O operário que trabalha num estaleiro digital precisa compreender a lógica dos sensores, saber interpretar alertas, trabalhar com plataformas móveis e comunicar em tempo real com os gestores de obra. O engenheiro responsável pela sustentabilidade de um projeto deve conhecer os critérios de análise do ciclo de vida, os materiais ecológicos disponíveis no mercado, as simulações de eficiência energética e as implicações legais das certificações ambientais. Esta nova complexidade não pode ser abordada apenas com boas intenções ou com adaptações pontuais exige uma política sistemática de capacitação, com planos de formação ajustados à realidade das equipas, com recursos didáticos acessíveis e com uma articulação eficaz entre formação inicial e aprendizagem em contexto de trabalho.

É aqui que a liderança assume uma importância crítica. A transformação do setor da construção depende, em última instância, da visão e da coragem dos seus líderes. São os diretores de obra, os engenheiros de projeto, os chefes de equipa e os gestores de empresas que têm o poder de definir prioridades, de alocar recursos, de recompensar comportamentos e de estabelecer uma cultura de inovação. Uma liderança inspiradora e competente é capaz de mobilizar equipas, de ultrapassar resistências e de criar um ambiente onde a mudança é percebida como uma oportunidade e não como uma ameaça. Pelo contrário, uma liderança autoritária, reativa ou desinformada tende a bloquear os processos de renovação e a perpetuar práticas obsoletas, mesmo quando os contextos externos exigem claramente uma viragem.

A cultura de obra, neste sentido, não é um dado, mas uma construção social que pode e deve ser moldada. A imagem tradicional do estaleiro como um espaço caótico, barulhento, perigoso e resistente à inovação tem vindo a ser substituída, gradualmente, por uma conceção mais técnica, mais organizada e mais orientada para resultados mensuráveis. Esta transição, contudo, não é automática

nem universal. Convive-se, ainda hoje, com obras altamente digitalizadas e sustentáveis ao lado de estaleiros que funcionam com base em papel, ordens verbais e improvisação diária. Essa convivência entre passado e futuro, entre informalidade e rigor, entre intuição e simulação computacional, é uma característica marcante do setor da construção, que torna a sua modernização um processo irregular, fragmentado e cumulativo.

Neste ponto da análise, é importante reconhecer que nenhuma metodologia, nenhuma tecnologia e nenhuma certificação consegue, por si só, garantir o sucesso de um projeto. O que distingue uma obra bem-sucedida de uma obra problemática não é a ferramenta utilizada, mas sim a capacidade da equipa de integrar essa ferramenta num processo mais amplo de gestão, decisão e aprendizagem. A eficácia do BIM, por exemplo, depende não apenas da sua correta modelação, mas da forma como os intervenientes utilizam os dados para antecipar problemas, coordenar atividades e tomar decisões em tempo real. A aplicação do *Lean Construction* depende da coerência entre os princípios defendidos no papel e os comportamentos efetivos no terreno. A sustentabilidade de um edifício não está apenas na ficha técnica dos materiais, mas na forma como o projeto responde às necessidades dos utilizadores, minimiza consumos e maximiza a resiliência ao longo do tempo.

Por isso, a questão central não é apenas “o que fazemos”, mas “como fazemos” e “com quem fazemos”. O planeamento, a gestão e a execução são processos sociais antes de serem processos técnicos. Envolvem negociação, liderança, comunicação, compromisso e confiança. O sucesso de uma obra depende tanto da qualidade do projeto quanto da capacidade de mobilizar os saberes dos operacionais, de valorizar a experiência dos encarregados, de escutar as preocupações dos fornecedores e de manter um diálogo construtivo com os técnicos da fiscalização. Ignorar esta dimensão humana é um erro recorrente que compromete muitos dos avanços prometidos pelas tecnologias mais sofisticadas.

Essa constatação remete-nos para um princípio fundamental: a inovação na construção não é um produto que se compra, mas um processo que se constrói. E esse processo exige tempo, persistência, humildade e, sobretudo, capacidade de articulação entre diferentes saberes, interesses e experiências.

3.2 Comparações internacionais de práticas e tecnologias na construção

Para compreender plenamente a evolução das práticas e tecnologias no setor da construção em Portugal, é essencial enquadrá-la num contexto internacional mais amplo. O setor da construção é globalmente caracterizado por desafios semelhantes, como a necessidade de aumentar a produtividade, reduzir custos, garantir a sustentabilidade e melhorar a segurança e a qualidade das obras. Ao observar a forma como diferentes países abordam essas questões, é possível perceber padrões, tendências emergentes e abordagens inovadoras que influenciam a indústria de maneira diversa, dependendo das condições sociais, econômicas, culturais e regulatórias de cada região. Essa contextualização internacional não se limita a comparar ferramentas e tecnologias específicas, mas também envolve analisar sistemas de gestão, políticas públicas, regulamentações, estratégias de capacitação profissional, e modelos de colaboração entre os vários intervenientes do setor.

Compreender como fatores externos, como disponibilidade tecnológica, incentivos governamentais, infraestrutura de suporte e cultura organizacional, impactam a adoção de novas metodologias permite avaliar de forma crítica a realidade portuguesa e identificar oportunidades de melhoria e inovação.

Além disso, a análise internacional oferece uma lente de reflexão sobre os ritmos de implementação de tecnologias digitais, metodologias colaborativas e práticas sustentáveis, que muitas vezes variam significativamente entre regiões. Essa perspectiva amplia a compreensão do que é considerado “estado da arte” no setor, mostrando como diferentes realidades enfrentam obstáculos similares de formas distintas e como soluções inovadoras podem ser adaptadas a contextos específicos.

Portugal, ao longo dos últimos anos, tem avançado consideravelmente, sobretudo no que se refere à digitalização de processos, à integração de metodologias como o *Building Information Modeling* e ao desenvolvimento de práticas mais sustentáveis. No entanto, a maturidade do setor e a velocidade de implementação ainda refletem desafios históricos e estruturais, como a fragmentação das empresas, a escassez de profissionais qualificados e a resistência cultural à mudança. Ao inserir a análise portuguesa num contexto mais amplo, torna-se possível identificar não apenas os progressos realizados, mas também os gaps existentes e as estratégias que poderiam acelerar a modernização do setor.

Portanto, antes de se abordar exemplos específicos de países ou projetos internacionais, é fundamental estabelecer esta base de reflexão, que permite compreender as dinâmicas globais do setor, os fatores que influenciam a inovação e as condições necessárias para que novas práticas e

tecnologias possam ser efetivamente implementadas em Portugal. Essa abordagem prepara o terreno para analisar com mais profundidade as lições aprendidas no plano internacional, sem perder de vista a realidade e os desafios próprios do contexto nacional.

3.2.1 BIM: Portugal vs países nórdicos e Reino Unido

A adoção do BIM é um exemplo claro de como as políticas públicas e a maturidade digital influenciam a transformação do setor. Em Portugal, a aplicação do BIM tem evoluído de forma desigual. Enquanto alguns grandes empreiteiros e gabinetes de projeto já o utilizam em obras públicas e privadas de grande escala, a sua disseminação nas pequenas e médias empresas continua limitada. A ausência, até há pouco tempo, de uma estratégia nacional obrigatória de BIM para concursos públicos atrasou a massificação desta tecnologia, relegando a sua adoção para a iniciativa privada.

Em contraste, países como o Reino Unido estabeleceram políticas públicas ambiciosas e eficazes para a integração do BIM. Desde 2016, o governo britânico exige o uso de BIM Nível 2 em todos os projetos públicos, o que criou um mercado mais maduro, com padrões bem definidos, contratos adaptados e maior interoperabilidade entre plataformas. Este enquadramento regulatório não só impulsionou o setor público, como também obrigou o setor privado a alinhar-se com os novos requisitos, criando um verdadeiro ecossistema BIM.

Nos países nórdicos, especialmente Finlândia e Noruega, a adoção do BIM vai ainda mais longe. Nessas geografias, o BIM é utilizado não apenas como ferramenta de projeto e execução, mas também como base para a gestão inteligente de infraestruturas, incluindo sistemas urbanos integrados com sensores IoT. Em muitas cidades, os modelos BIM são integrados com SIG (Sistemas de Informação Geográfica), permitindo um planeamento urbano dinâmico, centrado no cidadão e nas metas de neutralidade carbónica. O que distingue estas abordagens é a maturidade institucional, a colaboração intersetorial e o investimento contínuo em formação especializada.



Figura 10 - Implementação de BIM no projeto da ferrovia em Londres (Zigurat, 2019)

3.2.2 Lean Construction: Portugal vs Japão e Estados Unidos

O paradigma Lean Construction, embora cada vez mais presente em projetos inovadores em Portugal, encontra ainda dificuldades de implementação sistemática. Parte destas dificuldades reside na cultura organizacional dominante no setor, fortemente hierarquizada, onde o envolvimento ativo dos operacionais na fase de planeamento é, por vezes, visto com ceticismo. Embora o *Last Planner System* tenha sido aplicado em algumas grandes obras, sobretudo nos segmentos da infraestrutura ferroviária e hospitalar, a sua disseminação continua pontual e dependente do entusiasmo de equipas específicas.

Já no Japão, berço da filosofia Lean (derivada do Sistema Toyota de Produção), os princípios de eliminação de desperdício, melhoria contínua (Kaizen) e padronização estão profundamente enraizados nas práticas construtivas. O setor da construção japonês valoriza a qualidade total (*Total Quality Management*) e possui uma cultura organizacional orientada para o detalhe, a previsibilidade e a eficiência coletiva. Essa base cultural favorece a implementação do Lean de forma orgânica, não como uma novidade, mas como parte da identidade produtiva.

Nos Estados Unidos, por sua vez, o Lean tem sido promovido de forma sistemática por meio de centros de pesquisa como o *Lean Construction Institute* (LCI), que fomenta a troca de experiências, desenvolve *guidelines* e promove formação técnica. A indústria americana tem procurado adaptar os princípios *Lean Construction* às suas realidades de escala, complexidade e segmentação, gerando metodologias híbridas que combinam *Lean Construction* com BIM, *Integrated Project Delivery* (IPD) e contratos colaborativos. Esta capacidade de adaptação e formalização tem permitido resultados expressivos em termos de cumprimento de prazos, redução de custos e aumento da satisfação do cliente final.

3.2.3 Sustentabilidade: Portugal vs Alemanha e Austrália

No que diz respeito à sustentabilidade, Portugal tem vindo a desenvolver instrumentos normativos e incentivos que promovem uma construção mais ecológica. A certificação energética obrigatória, o sistema de etiquetagem de edifícios e os incentivos fiscais à reabilitação urbana são sinais de progresso. No entanto, ainda existe uma lacuna significativa entre os discursos sobre sustentabilidade e a sua aplicação prática em obra. Muitos edifícios continuam a ser concebidos com soluções convencionais e pouca atenção à pegada ecológica global dos materiais e processos.

Em contraste, a Alemanha destaca-se como uma referência em construção sustentável, com um dos mercados mais desenvolvidos de materiais ecológicos, edifícios passivos e tecnologias de eficiência energética. O país possui uma regulação exigente, mecanismos de financiamento verde e uma cultura de engenharia que valoriza a performance técnica a longo prazo. A abordagem alemã privilegia a durabilidade, a reabilitação com base em ACV e a inovação industrial aplicada à pré-fabricação sustentável.

Na Austrália, a abordagem à sustentabilidade é marcada pela adaptação climática. As exigências ambientais extremas em algumas regiões levaram ao desenvolvimento de sistemas construtivos inovadores, com materiais resistentes ao fogo, soluções de ventilação passiva e aproveitamento de águas pluviais. O sistema de certificação *Green Star*, gerido pelo *Green Building Council Australia*, estabelece critérios rigorosos de desempenho ambiental e social, promovendo edifícios resilientes, saudáveis e eficientes. Ao contrário de algumas certificações europeias, o *Green Star* valoriza também o impacto social das construções, incentivando projetos que promovam inclusão e acessibilidade.

3.2.4 Digitalização dos estaleiros: Portugal vs China e Singapura

A digitalização dos estaleiros em Portugal ainda se encontra numa fase incipiente. Apesar de existirem experiências promissoras com o uso de drones, sensores e plataformas de gestão de obra digital, estas permanecem, em muitos casos, isoladas ou dependentes de projetos-piloto. A integração de tecnologias como RFID, realidade aumentada ou robótica ainda é rara, e o grau de interoperabilidade entre plataformas é limitado. A transformação digital é, na prática, liderada por algumas empresas de grande dimensão, enquanto a maioria das PME ainda opera com processos tradicionais baseados em papel e comunicação verbal.

Em contraste, países como China e Singapura têm adotado estratégias nacionais de digitalização da construção com impacto impressionante. Na China, gigantes da construção como a China State Construction Engineering Corporation (CSCEC) utilizam soluções integradas que combinam BIM, inteligência artificial, drones, robôs de construção e impressão 3D. A escala e a rapidez de execução exigidas por projetos como hospitais construídos em 10 dias ou mega-urbanizações em semanas obrigaram o país a apostar na automação, pré-fabricação e logística digital como elementos estruturantes da sua competitividade.

Singapura, por sua vez, destaca-se pela abordagem “top-down” e sistemática da digitalização. O governo estabeleceu o Integrated Digital Delivery como norma em projetos públicos e promove a

adoção do BIM e da pré-fabricação através de políticas como o BuildSG e subsídios diretos à modernização tecnológica. A cidade-estado aposta ainda na formação técnica contínua e na integração dos dados da construção com sistemas urbanos inteligentes, posicionando-se como um verdadeiro laboratório urbano da construção digital.



Figura 11 - Exemplo de digitalização da construção através do acompanhamento da cura do betão em tempo real que permite reduzir os tempos de descofragem assim como garantir a sua qualidade (Altair Santos, 2018)

3.2.5 Considerações Finais e Conclusão do Capítulo 3

As experiências internacionais mostram que a evolução das práticas e tecnologias na construção não depende apenas de fatores técnicos ou financeiros, mas sobretudo de liderança estratégica, cultura organizacional, políticas públicas coerentes e vontade coletiva de transformação. Portugal tem potencial para se posicionar como um país inovador e sustentável no setor da construção, mas isso exigirá uma estratégia nacional de digitalização e a obrigatoriedade da utilização do BIM nos projetos públicos, à semelhança do que já acontece em países como o Reino Unido ou a Finlândia, a disseminação estruturada de metodologias *Lean construction*, com formação prática no terreno e sistemas de certificação alinhados com os desafios reais da obra, Incentivos claros à adoção de soluções sustentáveis e circulares, com base em metodologias robustas de Avaliação do Ciclo de Vida;

A promoção ativa da interoperabilidade tecnológica, da padronização de processos e da

inclusão das pequenas e médias empresas no ecossistema digital da construção.

Estes eixos estratégicos têm como denominador comum uma aposta decidida numa transformação estrutural do setor, onde a inovação deixa de ser exceção para passar a constituir a norma. A lição global é clara: os países que lideram esta transformação, como Singapura, Noruega ou Austrália não esperaram pelas condições ideais. Criaram-nas, através de políticas públicas corajosas, modelos colaborativos entre empresas e Estado, e uma cultura de melhoria contínua, inovação aberta e responsabilidade coletiva.

A conclusão que se impõe é que a modernização do setor da construção exige mais do que ferramentas, exige uma nova mentalidade. O sucesso não reside apenas na adoção do BIM, do *Lean construction* ou da sustentabilidade como conceitos, mas na sua apropriação crítica e contextualizada por parte dos profissionais, empresas e instituições que moldam diariamente os ambientes construídos.

Neste sentido, o próximo capítulo quatro propõe-se ir além da teoria e apresentar exemplos concretos de implementação destas metodologias e tecnologias no terreno. Através da análise de obras reais, realizadas em Portugal, procuraremos compreender os fatores que contribuíram para o seu sucesso ou insucesso, e identificar lições que possam ser replicadas, adaptadas ou melhoradas noutros contextos.

Esta passagem do plano abstrato para o plano empírico permitirá observar como os princípios discutidos neste capítulo, planeamento participativo, digitalização integrada, sustentabilidade ativa, se concretizam na prática, revelando as suas potencialidades, limites e implicações operacionais.

4. Estudos de Caso: Aplicações Práticas em Obras Reais

4.1 Introdução e Justificação dos Estudos de Caso

A transição entre a teoria e a prática na construção civil revela desafios técnicos, organizacionais e humanos. A obra transforma-se num verdadeiro laboratório onde os conceitos, muitas vezes idealizados em sala de aula ou nos gabinetes de projeto, são postos à prova pela fricção da realidade. O cronograma colide com o imprevisto, a modelação digital enfrenta os limites da obra física e, os princípios sustentáveis chocam com prazos apertados, orçamentos restritos e resistências culturais.

Os estudos de caso aqui apresentados foram selecionados por observação participante direta, permitindo acesso privilegiado a dados empíricos sobre processos construtivos, gestão de equipas e aplicação de metodologias inovadoras.

A escolha dos dois casos pretendeu explorar contrastes significativos:

- Linha Rosa do Metro do Porto – obra de grande escala, tecnicamente complexa, com forte impacto institucional e urbano, onde a digitalização e metodologias avançadas, como BIM e Lean Construction, são cruciais.
- Ilhas da Lomba, Porto Vivo – obra de pequena escala, centrada no impacto social e humano, com gestão simplificada e ênfase em liderança próxima e sustentabilidade prática.

Ambos os projetos representam não só realidades distintas da engenharia civil contemporânea, como também oferecem uma oportunidade de reflexão crítica sobre a aplicação real de metodologias de ponta, ferramentas digitais e princípios de sustentabilidade no contexto de obra e baseadas na experiência pessoal do autor enquanto parte integrante destas duas grandes empreitadas.

A abordagem metodológica apoia-se em três autores:

- Yin (2018): oferece estrutura para conduzir estudos de caso rigorosos, com coleta sistemática de dados e comparação de múltiplas fontes.
- Stake (1995): enfatiza a interpretação e a contextualização, reconhecendo que cada obra tem uma singularidade que deve ser compreendida em profundidade.
- Schön (1983): destaca a reflexão na ação, fundamental para a prática profissional, permitindo ajustar decisões em tempo real com base em experiências acumuladas.

Tabela 3 - Comparação inicial dos casos de estudo

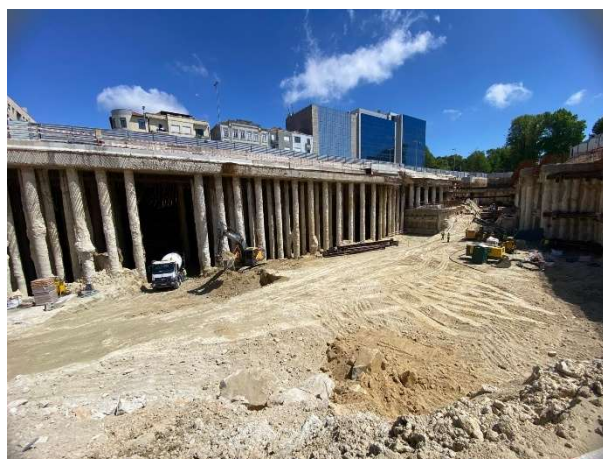
Critério	Linha Rosa	Ilhas da Lomba
Escala	Metropolitana	Local
Tipo de obra	Infraestrutura de transporte	Reabilitação habitacional
Tecnologias aplicadas	BIM, LPS, digitalização avançada	Planeamento visual, ferramentas simples, comunicação direta
Impacto social	Alto, difuso	Direto, intenso
Observação participante	Técnica e institucional	Técnica e social
Complexidade técnica	Muito alta	Média

4.2 Linha Rosa – Metro do Porto

4.2.1 Contexto e Enquadramento de empreitada

A Linha Rosa do Metro do Porto é uma das intervenções de maior complexidade técnica e institucional atualmente em curso na cidade do Porto. Trata-se de uma empreitada inserida numa estratégia de modernização da mobilidade urbana, com impacto direto na vida quotidiana de milhares de pessoas. Desde o início, ficou claro que esta não seria uma obra convencional. As escavações em meio urbano denso, as intervenções subterrâneas de elevada precisão, a necessidade de articulação constante com entidades públicas e privadas, e o envolvimento de múltiplas partes interessadas, transformaram esta empreitada num caso de estudo particularmente relevante.

A figura 12 é referente à construção da estação da Boavista onde é possível aferir a magnitude do projeto em si assim como algumas das técnicas construtivas usadas.



Nesta empreitada, desenvolvi o papel de técnico de qualidade pelo que era responsável por garantir o cumprimento dos requisitos técnicos da empreitada assim como criar um registo de todos os materiais e técnicas utilizadas na obra.

Pelo que, todas as vivências demonstradas neste subcapítulo provêm da relação com os demais intervenientes ao longo do trajeto que foi percorrido nesta empreitada.

A dimensão institucional do projeto exigia um elevado grau de coordenação. As decisões não envolviam apenas as equipas técnicas, mas passavam também por organismos públicos, departamentos municipais, empresas de serviços urbanos e instituições com interesses distintos. Isto exigia não só uma planificação técnica rigorosa, mas também uma capacidade de negociação e comunicação entre diferentes níveis de decisão.

No plano técnico, a complexidade da empreitada obrigava a soluções inovadoras, sobretudo em termos de escavação, compatibilização de estruturas e gestão de riscos. Por se tratar de uma obra em ambiente urbano consolidado, qualquer intervenção tinha de considerar as infraestruturas existentes, a segurança de edificações adjacentes e a minimização de impactos para os residentes e comerciantes da zona. A obra era, assim, simultaneamente uma operação de engenharia e um exercício de convivência urbana.

Este tipo de desafios não é exclusivo da cidade do Porto. Projetos de metro em meio urbano denso, como o Crossrail em Londres ou o Grand Paris Express em Paris, enfrentaram igualmente dificuldades de escavação em ambientes consolidados, exigindo compatibilização com edifícios históricos e infraestruturas existentes, bem como uma coordenação institucional complexa entre múltiplas entidades públicas e privadas (Davies, 2018; Gourvennec, 2020).

A seguir é apresentada a equipa da qualidade da qual fiz parte no meu percurso nesta empreitada.



Figura 13 - Equipa da qualidade responsável por garantir a qualidade de execução por parte do empreiteiro (FERROVIAL/ACA)

4.2.2 Aplicação de BIM e Lean Construction na linha rosa

Desde as fases iniciais, foi clara a aposta na digitalização e na modernização dos processos construtivos. A adoção do BIM constituiu uma das pedras angulares dessa estratégia. O modelo tridimensional não serviu apenas como representação visual, mas tornou-se uma verdadeira plataforma de gestão integrada da obra.

A equipa da empresa BIMMS mantinha uma presença diária em obra, atualizando os modelos com base nas informações provenientes do terreno, nos relatórios das equipas e nas medições obtidas.

Este trabalho de atualização contínua era fundamental para garantir que o modelo digital refletia com fidelidade a realidade física da obra, uma condição essencial para que o BIM deixasse de ser um instrumento de consulta e passasse a ser uma ferramenta de decisão.

Um dos principais benefícios do BIM nesta empreitada foi a sua capacidade de antever conflitos de compatibilização entre sistemas: redes técnicas, estruturas de suporte, túneis e elementos eletromecânicos. Em várias ocasiões, foram identificadas, ainda em fase de projeto, interferências que teriam resultado em custos elevados e retrabalhos significativos se tivessem sido detetadas apenas em obra. Este aspeto, por si só, justificou o investimento em modelação e coordenação digital.

De facto, estudos demonstram que o BIM pode reduzir em até 80% a necessidade de retrabalho e em 40% os conflitos de compatibilização (Azhar, 2011).

E de facto, o BIM aplicado nesta obra conseguiu reduzir os custos dos retrabalhos em cerca de 20%

Contudo, a aplicação prática do BIM também revelou os seus limites. A interoperabilidade entre softwares era, muitas vezes, problemática. Nem todos os intervenientes utilizavam as mesmas versões de programas, nem seguiam padrões comuns de nomenclatura ou medição. Isso exigia um esforço considerável para manter a consistência dos dados, exportar relatórios em formatos compatíveis e garantir que as decisões tomadas com base no modelo digital eram efetivamente compreendidas por todas as partes.

Simultaneamente, foi implementada uma metodologia de gestão, inspirada nos princípios do Lean Construction, com destaque para o *Last Planner System*. Esta abordagem permitiu transitar de um planeamento tradicional, centrado em cronogramas de longo prazo, para uma lógica mais dinâmica e participativa, onde as decisões eram tomadas em ciclos curtos, com envolvimento direto dos encarregados e equipas de execução.

As reuniões semanais de planeamento de curto prazo tornaram-se momentos cruciais para a obra. Nessas sessões, identificavam-se os objetivos imediatos, ajustavam-se recursos e prazos, antecipavam-se constrangimentos, e reforçava-se o compromisso coletivo com o cumprimento das metas. Esta cultura de compromisso partilhado revelou-se um dos principais ganhos da aplicação do LPS,

permitindo não só reduzir o número de tarefas incompletas, mas também aumentar a fiabilidade dos prazos.

A articulação entre o BIM e o LPS foi particularmente eficaz em fases críticas, como nas escavações, onde a geotecnia podia alterar-se de um dia para o outro. O modelo era atualizado com base nos avanços físicos reais, enquanto o planeamento de curto prazo permitia redirecionar recursos de forma quase imediata. Esta leitura cruzada entre o digital e o físico era essencial para manter o controlo da obra em cenários de elevada incerteza.

A adoção de ferramentas digitais e metodologias Lean segue uma tendência internacional. Projetos como o Metro de Santiago no Chile demonstraram o potencial do Last Planner System para aumentar a previsibilidade dos prazos (Ballard & Howell, 2003), enquanto experiências no norte da Europa mostraram que o BIM pode reduzir significativamente conflitos de compatibilização (Azhar, 2011). Em contrapartida, grandes empreitadas como o Big Dig em Boston evidenciam os custos associados à falta de digitalização, confirmando a relevância destas ferramentas na gestão moderna da construção.

4.2.3 Sustentabilidade e Desafios Técnicos na realização da obra

Um dos grandes diferenciais desta obra foi a sua ambição ambiental. Desde cedo, integraram-se preocupações com a sustentabilidade, não como imposição normativa, mas como linha orientadora do processo construtivo. Foram desenvolvidas análises de ciclo de vida, simulações energéticas e estudos de impacto ambiental que ajudaram a fundamentar decisões sobre materiais, sistemas construtivos e estratégias operacionais.

A escolha de materiais recicláveis, a separação rigorosa de resíduos em obra, o reaproveitamento de materiais de escavação e a definição de soluções com menor pegada ecológica fizeram parte do quotidiano da gestão, corroborando os estudos como o de Tam (2008) em que é sugerido que a substituição parcial de agregados por reciclados pode reduzir os custos em 10%, mantendo os requisitos técnicos.

Houve também uma preocupação explícita com o planeamento da manutenção futura, visando não apenas a construção da infraestrutura, mas a sua durabilidade e custo de operação ao longo do tempo.

Contudo, a conciliação entre sustentabilidade e gestão de obra revelou-se muitas vezes difícil. Soluções ambientalmente superiores exigiam fornecedores especializados, processos de homologação

mais demorados, ou custos iniciais mais elevados. Nesses momentos, a negociação com o dono de obra e com a fiscalização era constante, tentando justificar opções com base em ganhos futuros, nem sempre evidentes a curto prazo.

Os desafios técnicos não se limitaram à questão ambiental. A complexidade da obra exigia constante compatibilização entre frentes de trabalho, gestão rigorosa da segurança em escavações profundas, controle de vibrações, e articulação com infraestruturas existentes (como redes de água, gás e telecomunicações). A gestão de imprevistos era uma competência central do cotidiano.

Os dilemas entre sustentabilidade, custos e viabilidade técnica também refletem uma realidade internacional. O Túnel de Gotthard, na Suíça, e o Metro de Copenhaga revelaram as vantagens e limitações de integrar soluções de baixo impacto ambiental em obras subterrâneas (Swissinfo, 2016). Já em contextos asiáticos, como o MTR de Hong Kong, estudos demonstram que a reciclagem de agregados e materiais pode ser economicamente viável, corroborando conclusões semelhantes às de Tam (2008).

4.2.4 Lições Aprendidas / Sugestões de melhoria na linha rosa

A experiência na Linha Rosa evidenciou que a aplicação bem-sucedida de metodologias inovadoras depende tanto das ferramentas como das pessoas. O BIM e o LPS, por si sós, não garantem bons resultados. É necessário um ambiente de colaboração, uma liderança técnica competente, e uma cultura de obra que valorize a partilha de informação e a responsabilidade partilhada.

Ficou também claro que a inovação exige investimento não apenas em tecnologia, mas em tempo e em formação. Os momentos de planeamento, as reuniões de análise, os ajustes de modelo, tudo isso consome recursos, mas, são esses mesmos momentos que evitam erros maiores e criam valor a longo prazo.

Acima de tudo, a experiência reforçou a ideia de que o engenheiro de obra moderno não pode ser apenas um técnico. Precisa ser também um gestor, um comunicador, um facilitador de processos. A obra não é apenas o cumprimento de um projeto é um organismo vivo, onde decisões técnicas, relações humanas e ferramentas digitais se encontram num equilíbrio dinâmico e exigente.

As aprendizagens da Linha Rosa reforçam tendências observadas em projetos internacionais. O Crossrail, em Londres, destacou a importância da comunicação e da cultura de obra como fatores tão críticos quanto os aspetos técnicos (Davies, 2018). Do mesmo modo, o Grand Paris Express mostra que o sucesso de grandes projetos depende de engenheiros capazes de atuar não apenas como técnicos, mas também como gestores e comunicadores (Gourvenec, 2020).

A tabela 4 identifica os pontos fortes desta empreitada assim como as suas limitações e algumas sugestões de melhoria pessoais.

Tabela 4 - Limitações e sugestões de melhoria na construção da linha rosa

Pontos Fortes	Limitações	Sugestões de Melhoria
BIM integrado diariamente	Interoperabilidade limitada	Definir padrões de nomenclatura e versões de software
Planeamento Lean estruturado	Curva de aprendizagem elevada	Formação contínua em Lean e BIM
Sustentabilidade incorporada	Custos iniciais elevados	Avaliar retorno ecológico a médio/longo prazo

4.3 Ilhas da Lomba – Porto Vivo

4.3.1 Contexto Urbano e Social das Ilhas da Lomba

O projeto das Ilhas da Lomba insere-se num contexto completamente distinto do da Linha Rosa. Aqui, a dimensão técnica cede parcialmente lugar a uma dimensão humana e social profunda. Situadas na freguesia de Campanhã, as Ilhas da Lomba são o resultado histórico da industrialização da cidade do Porto. Originalmente, tratava-se de uma tipologia habitacional operária, marcada por construções precárias e forte densidade populacional. Com o passar do tempo, estas ilhas tornaram-se espaços de exclusão, concentrando fenómenos de vulnerabilidade económica, precariedade habitacional e isolamento urbano.

Para complementar a análise desenvolvida, apresentam-se no Anexo 4 alguns desenhos tridimensionais das Ilhas da Lomba, elaborados com recurso a ferramentas digitais de modelação. Estes elementos visuais permitem uma compreensão mais clara da configuração espacial, bem como da relação entre os diferentes blocos edificados, reforçando a interpretação dos aspetos arquitetónicos e urbanísticos discutidos nesta secção.

A figura 14, demarca a implantação do projeto das ilhas da lomba em planta face às habitações

pré-existentes. Serve para nos dar uma ordem de grandeza e definir a quantidade e local de casas a demolir. Assim como fazer uma pré-implantação.



Figura 14 – Implantação do projeto face às casas pré-existentes.

A reabilitação das Ilhas da Lomba enquadra-se num esforço político e social mais vasto para devolver dignidade habitacional a populações esquecidas, ao mesmo tempo que se preserva o património identitário da cidade. Este tipo de construção é muito similar aos *courtyards* de Londres no século XIX, onde as tipologias habitacionais operárias acabaram por se transformar igualmente em zonas de forte vulnerabilidade social.

Este tipo de intervenção urbana é tecnicamente exigente, mas sobretudo socialmente sensível. A construção civil aqui não é apenas engenharia, é uma forma de política pública com impacto direto e emocional na vida das pessoas.

A figura 15, similar à que foi apresentada na linha rosa, é referente ao estado da construção das ilhas da lomba em maio. Esta foto permite aferir a discrepância de dimensão face à linha rosa.



Figura 15 – Estado de construção da obra das Ilhas da Lomba em Maio

O projeto de reabilitação foi promovido pela empresa municipal PORTO VIVO, com financiamento do programa 1º Direito, que visa garantir acesso à habitação condigna a famílias em situação de carência. A obra consistiu na reconstrução de habitações devolutas, com traça tipológica tradicional, mas adaptadas aos padrões contemporâneos de conforto, eficiência energética e acessibilidade.

Num cargo completamente diferente do que exerci na obra do metro, nesta empreitada desempenhei as funções de adjunto da direção de obra pelo que, o meu papel exigia uma constante mediação entre exigências técnicas, limitações orçamentais e o imperativo ético de fazer bem, com cuidado, e com respeito pelos habitantes que ali viveriam.

Pelo que, mais uma vez, todas as experiências e dados a seguir partilhados são o resultado de todo o trabalho que foi exercido conjuntamente com as pessoas que fizeram parte deste projeto.

4.3.2 Planeamento, Sustentabilidade e Gestão Local do estaleiro de obra

Ao contrário de uma empreitada de grande escala, como o Metro, esta obra operava com uma equipa reduzida e uma lógica de decisão mais descentralizada. Isso conferia agilidade, mas também exigia polivalência por parte dos técnicos. A gestão da obra exigia atenção permanente ao detalhe,

desde a escolha do tipo de argamassa mais compatível com a alvenaria antiga, até à articulação com os serviços camarários para a instalação de contadores de água ou eletricidade.

A sustentabilidade não era uma secção do projeto, era um princípio transversal. Optou-se por materiais de origem local, privilegiando fornecedores da região do Porto, com o duplo objetivo de reduzir a pegada ecológica do transporte e de estimular a economia local. A gestão de resíduos foi feita com critérios rigorosos, com separação em obra, e reaproveitamento de entulhos limpos em aterros controlados.

No Anexo 2, apresenta-se o modelo de aprovação de materiais utilizado neste projeto. Este documento permite compreender os procedimentos formais adotados para a validação dos materiais aplicados na obra, reforçando a importância da rastreabilidade, do controlo de qualidade e da conformidade técnica ao longo do processo construtivo.

Esta preocupação sobre a sustentabilidade deriva de muitos ensinamentos particularmente dos países nórdicos onde, por exemplo, na Escandinávia, a arquitetura passiva e os materiais de origem biológica são privilegiados para reduzir a pegada de carbono. O que demonstra que, mesmo obras de menor escala, como esta, consegue seguir princípios já amplamente adotados em contextos europeus mais avançados de sustentabilidade.

Já no âmbito de políticas de habitação social em França, o Paris Affordable Housing Challenge (Coscia et al., 2020) aponta que políticas públicas eficazes exigem ferramentas integradas que articulem sustentabilidade ambiental, equidade e impacto social, reforçando que a obra não é apenas construir, mas também envolver pessoas e contextos urbanísticos mais amplos.

Particular atenção foi dada ao conforto térmico e acústico, respeitando os limites do edifício pré-existente. Utilizaram-se isolamentos naturais sempre que possível (como lã de rocha e cortiça expandida), e as caixilharias foram desenhadas para garantir estanqueidade sem comprometer a ventilação natural. O projeto foi desenvolvido com base nos princípios da arquitetura passiva, reduzindo ao máximo a dependência de sistemas ativos de climatização.

Ainda que sem o grau de digitalização da Linha Rosa, esta obra beneficiou do uso de ferramentas simples, mas eficazes, de planeamento e monitorização. O MS Project foi usado para gerir prazos, e mapas de obra foram atualizados semanalmente. Os trabalhadores, em vez de modelos 3D, usavam cortes simplificados e desenhos de detalhe ampliados para evitar dúvidas de interpretação. A comunicação era feita cara a cara, o que exigia uma cultura de responsabilidade e um sentido de missão muito claros.

4.3.3 Gestão de subempreiteiros e equipas nas ilhas da Lomba

A gestão de subempreiteiros e equipas nas Ilhas da Lomba revelou-se um processo profundamente humano, no qual a componente técnica, ainda que essencial, era constantemente mediada por relações de confiança, proximidade e partilha de conhecimento. Diferentemente de obras de grande escala, onde a organização tende a ser mais hierarquizada e formal, aqui o quotidiano do estaleiro exigia uma abordagem próxima e personalizada.

Um dos maiores desafios iniciais esteve relacionado com a heterogeneidade dos subempreiteiros envolvidos. Muitos apresentavam níveis distintos de competência técnica, experiência limitada em práticas de construção sustentável e desconhecimento de normas mais rigorosas de qualidade ou segurança. Este cenário poderia ter resultado em atrasos, conflitos ou retrabalho. Contudo, a opção assumida foi investir não apenas em fiscalização, mas sobretudo em formação prática no próprio estaleiro, através de orientações claras, demonstrações presenciais e momentos de aprendizagem coletiva. Essa escolha transformou potenciais fragilidades em oportunidades de crescimento conjunto.

Esta dificuldade não é limitada ao contexto português. No Reino Unido e em França tem-se sentido uma dificuldade acrescida na falta de qualificação técnica e na resistência cultural que impõe barreiras frequentes na implementação de ferramentas como o lean construction e o BIM.

Mais do que impor regras, a direção de obra privilegiou a escuta ativa e a valorização do conhecimento tácito dos trabalhadores. A proximidade física e emocional entre direção e equipas criou um ambiente de confiança, no qual as dúvidas não eram vistas como sinais de fraqueza, mas como oportunidades para encontrar melhores soluções. Em situações concretas, como a reconstrução de escadas em madeira ou a aplicação de cerâmica em paredes antigas, organizavam-se pequenas sessões de cocriação, nas quais técnicos e trabalhadores discutiam alternativas, testavam hipóteses e decidiam em conjunto o caminho a seguir. Este modelo colaborativo, longe de atrasar a produção, fomentava um sentimento de pertença e aumentava a qualidade do resultado final.

A cultura de obra nas Ilhas da Lomba foi marcada por este espírito de cooperação horizontal. Os subempreiteiros não eram meros prestadores de serviços isolados, mas parte integrante de uma missão maior: reabilitar um espaço degradado para devolver dignidade habitacional às pessoas que ali viveriam. Esta consciência social teve um efeito direto na motivação das equipas. A percepção de que cada tarefa, desde a correta selagem de uma janela até à organização adequada dos resíduos, tinha impacto real na vida futura de uma família conferia ao trabalho um sentido profundo.

Essa dimensão humana refletiu-se também na qualidade e na eficiência. O compromisso de “fazer bem à primeira” passou a ser assumido coletivamente, reduzindo significativamente o

retrabalho e aumentando o cuidado com os acabamentos. O orgulho pelo resultado final, reforçado pelo caráter social da obra, transformou-se num poderoso motor de exigência interna. O estaleiro deixou de ser apenas um espaço de produção para se tornar um lugar de aprendizagem, cooperação e responsabilidade partilhada.

Em suma, a gestão de subempreiteiros nas Ilhas da Lomba demonstrou que a eficácia técnica só é sustentável quando assente em relações humanas sólidas. Foi essa cultura de proximidade, confiança e envolvimento das equipas que permitiu superar limitações iniciais e alcançar resultados consistentes, tanto do ponto de vista construtivo como social.

4.3.4 Adaptação de Ferramentas Lean e Digitais à dimensão da empreitada

Apesar de não haver um modelo BIM formal ou software de gestão avançada, procurou-se aplicar os princípios do Lean Construction à escala possível. O Last Planner System foi adaptado para um formato simplificado: painéis de tarefas por frente de trabalho, atualizados manualmente com o envolvimento do encarregado. Reuniões diárias de 15 minutos permitiam identificar atrasos, redistribuir equipas e antecipar faltas de materiais.

A falta de um modelo BIM refletiu-se nos retrabalhos que foram substanciais e atingiram um custo acrescido de 5%. Estes retrabalhos tinham implicações severas no planeamento a curto e longo prazo pelo que implicava mudanças constantes do planeamento.

Neste âmbito, apresenta-se no Anexo 1 o programa de trabalhos desenvolvido para a obra. Este documento complementa a discussão desta secção, oferecendo uma visão prática e cronológica das fases previstas para a execução, constituindo-se como suporte técnico para a compreensão do planeamento do projeto.

Não obstante, a simplicidade era a chave. Os trabalhadores não eram sobrecarregados com dados técnicos ou metodologias complexas. Em vez disso, criava-se uma rotina de comunicação visual, clara, onde todos sabiam o que era esperado, quem dependia de quem, e quais eram as prioridades do dia. Este tipo de organização revelou-se particularmente útil em fases críticas, como a instalação de infraestruturas enterradas (eletricidade e águas), onde erros são caros e difíceis de corrigir.

Adicionalmente, algumas ferramentas digitais pontuais foram usadas para aumentar a eficiência. A aplicação WhatsApp foi, por exemplo, uma ferramenta de comunicação diária entre direção, fornecedores e encarregados. Fotografias de obra eram partilhadas para esclarecer dúvidas, validar opções ou alertar para não conformidades. Esta informalidade digital reduziu o tempo de resposta e aumentou a transparência.

4.3.5 Liderança de Proximidade e Cultura de Obra

A obra das Ilhas da Lomba foi um exercício particular de liderança, marcado por um contexto em que a técnica e a engenharia, embora centrais, não podiam ser dissociadas da dimensão social e humana que envolvia o projeto. Diferente de uma grande infraestrutura como a Linha Rosa, onde predominam processos formalizados, ferramentas digitais sofisticadas e uma organização hierárquica mais rígida, nas Ilhas da Lomba a liderança tinha de ser exercida no terreno, cara a cara, com uma atenção constante às pessoas e ao impacto que cada decisão teria na vida futura dos habitantes.

E é neste âmbito que muitas vezes tiveram de se recorrer a trabalhos complementares para resolver as questões levantadas em obra que impediam a continuação dos trabalhos. No Anexo 3, encontra-se o formato do documento relativo aos trabalhos complementares realizados no projeto das Ilhas da Lomba. Este registo evidencia os procedimentos formais de acompanhamento e controlo adotados, permitindo maior transparência na gestão de alterações, acréscimos ou ajustes durante a execução da obra.

A liderança nesta obra não podia ser autoritária nem distante. Pelo contrário, exigia proximidade, empatia e horizontalidade. O diretor de obra e a sua equipa sabiam que cada parede erguida, cada caixilho colocado e cada piso nivelado representava mais do que o cumprimento de um requisito técnico: era um gesto de respeito e dignidade para com famílias que, durante anos, viveram em condições precárias. Esta consciência social moldou a forma de liderar. Mais do que coordenar prazos ou controlar orçamentos, a prioridade era criar um ambiente de confiança, onde todos – desde os técnicos até aos trabalhadores menos qualificados – se sentissem parte integrante de uma missão maior.

No quotidiano do estaleiro, esta liderança de proximidade materializou-se em práticas concretas. A direção estava presente diariamente no terreno, não apenas para fiscalizar, mas para conversar, esclarecer dúvidas e, muitas vezes, ouvir sugestões dos trabalhadores. Em situações delicadas como a reconstrução de elementos em madeira, a escolha de soluções de isolamento natural ou a adaptação de infraestruturas a um edifício antigo, promoviam-se momentos de cocriação, onde os saberes técnicos e a experiência prática se encontravam. Essa abertura valorizava o contributo de cada profissional, reforçando a motivação individual e coletiva.

Outro aspeto determinante foi o reconhecimento humano. Pequenos gestos, como agradecer publicamente o esforço numa fase crítica ou destacar a boa execução de uma tarefa, tinham um impacto significativo no clima de trabalho. As equipas sentiam-se vistas, ouvidas e respeitadas, e isso traduzia-se num maior empenho. A consciência de que o resultado final beneficiaria diretamente famílias em situação de vulnerabilidade conferia ao trabalho um propósito superior, transformando

tarefas rotineiras em ações carregadas de significado.

Este estilo de liderança também reduziu a rotatividade dos trabalhadores. Ao contrário de obras em que a relação com a equipa se mantém distante e contratual, aqui desenvolveu-se um verdadeiro sentido de pertença. Muitos operários assumiam a responsabilidade pelo seu trabalho como se estivessem a construir as suas próprias casas, demonstrando um cuidado acrescido nos acabamentos e uma preocupação genuína em garantir durabilidade e conforto. Essa cultura de orgulho partilhado levou a uma diminuição significativa de retrabalhos, uma vez que a lógica predominante era a de “fazer bem à primeira”.

A cultura de obra nas Ilhas da Lomba assentou, portanto, em três pilares essenciais: cooperação, respeito e propósito. A cooperação foi visível na forma como direção, subempreiteiros e trabalhadores colaboravam ativamente na resolução de problemas; o respeito manifestava-se no reconhecimento mútuo das competências, sem hierarquias rígidas que afastassem técnicos e operários; e o propósito surgia da consciência coletiva de que aquela não era apenas mais uma obra, mas sim uma intervenção com impacto social direto e transformador.

Do ponto de vista técnico, este estilo de liderança traduziu-se em ganhos claros de eficiência e qualidade. No entanto, o maior legado talvez tenha sido cultural: a criação de um ambiente de obra onde a técnica e a humanidade não estavam separadas, mas unidas por uma visão comum. Cada janela bem ajustada, cada parede cuidadosamente nivelada e cada espaço reabilitado representavam não só competência profissional, mas também um gesto de solidariedade urbana.

Em última análise, a liderança de proximidade exercida nas Ilhas da Lomba mostrou que a construção civil, quando orientada por valores humanos, pode ultrapassar a sua dimensão meramente técnica e tornar-se uma verdadeira ferramenta de justiça social. Ao unir empatia, cooperação e exigência técnica, foi possível transformar um espaço outrora marcado pela exclusão num lugar de dignidade e futuro.

4.3.6 Lições Aprendidas / Sugestões de melhoria nas Ilhas da Lomba

A experiência da obra das Ilhas da Lomba deixou um conjunto de lições valiosas, sobretudo pelo caráter humano e social do projeto. Mais do que questões técnicas, o que se destacou foi a capacidade de conciliar rigor construtivo com sensibilidade comunitária.

- A proximidade gera qualidade

A liderança horizontal e a comunicação direta com os trabalhadores criaram um ambiente de confiança e corresponsabilização. Isso traduziu-se numa redução significativa de retrabalhos, já que todos se sentiam parte integrante do resultado final.

- A simplicidade pode ser eficaz

A ausência de ferramentas digitais sofisticadas não comprometeu a qualidade. Pelo contrário, o uso de métodos visuais simples e reuniões rápidas permitiu maior clareza e envolvimento das equipas.

- Sustentabilidade como prática ética

A escolha de materiais locais e soluções naturais mostrou que a sustentabilidade não precisa ser apenas normativa ou tecnocrática. Integrada de forma pragmática, tornou-se parte da identidade da obra, fortalecendo também a economia regional.

- Formação contínua, mesmo que informal

A heterogeneidade dos subempreiteiros revelou a importância de pequenos momentos de capacitação no estaleiro. Sessões curtas de esclarecimento sobre técnicas e boas práticas mostraram-se eficazes e aumentaram a qualidade de execução.

- O impacto social é um fator de motivação

A consciência de que a obra tinha como objetivo devolver dignidade habitacional foi um elemento mobilizador para todos os intervenientes. Cada detalhe construtivo era encarado como um contributo direto para melhorar a vida de famílias concretas.

- Flexibilidade como requisito essencial

Projetos de pequena escala, em contextos sociais frágeis, exigem capacidade de adaptação rápida a imprevistos. Essa flexibilidade foi fundamental para garantir prazos e qualidade sem comprometer o objetivo social do projeto.

Na tabela 5, similar à apresentada para a linha rosa, é apresentado um resumo dos pontos fortes e limitações desta empreitada e ainda algumas sugestões de melhoria pessoais.

Tabela 5 - Limitações e sugestões de melhoria no projeto das ilhas da Lomba

Pontos Fortes	Limitações	Sugestões de Melhoria
Liderança próxima e empática	Recursos tecnológicos limitados	Introduzir ferramentas digitais simples para planeamento
Sustentabilidade integrada	Heterogeneidade de subempreiteiros	Formação técnica contínua
Sensibilidade social elevada	Limitações de escala e orçamento	Melhor coordenação com órgãos públicos

4.4 Comparação entre Experiências

4.4.1 Natureza das Obras e Impacto Técnico-Social

As duas obras analisadas, a Linha Rosa do Metro do Porto e a reabilitação das Ilhas da Lomba, representam extremos complementares dentro do universo da construção civil: uma, de escala metropolitana, com forte carga técnica e institucional, a outra, de escala local, marcada pela sensibilidade social e pelo enraizamento comunitário. Ambas, no entanto, revelam a complexidade contemporânea da engenharia civil, onde os desafios já não são apenas estruturais ou logísticos, mas também culturais, humanos e éticos.

A Linha Rosa, enquanto Mega infraestrutura, era um projeto público com múltiplos olhares sobre si, media, fiscalização, interesses políticos, técnicos e comunitários. A sua execução exigia uma sofisticação metodológica que ultrapassava o domínio da engenharia convencional. O controlo de qualidade era tecnificado, mediado por plataformas digitais, e a dimensão simbólica da obra era permanentemente visível, tudo era observado, auditado, avaliado.

Em contraste, a obra nas Ilhas da Lomba tinha uma visibilidade quase nula. O seu impacto era sentido diretamente por poucas dezenas de famílias, e não tinha cobertura mediática ou atenção institucional sistemática. Contudo, o seu significado social era talvez mais profundo: tratava-se de reconstruir vidas, devolver dignidade, resgatar espaços esquecidos pela cidade. Era uma obra “invisível” para o sistema, mas imensamente significativa para os seus beneficiários.

Esta diferença de escala gerava abordagens distintas à execução. No Metro, a prioridade era o controlo rigoroso, a antecipação de riscos e o cumprimento contratual. Na Lomba, era a capacidade de adaptação, a sensibilidade perante o contexto e o envolvimento afetivo com o propósito do trabalho.

4.4.2 Ferramentas Digitais: BIM vs Simplicidade Operacional

A presença da metodologia BIM na Linha Rosa foi uma mais-valia evidente. A digitalização permitia não apenas visualizar a obra em 3D, mas também planejar interferências, verificar compatibilidades, simular fases de execução e gerar relatórios em tempo real. A equipa de modelação, coordenada pela BIMMS, assegurava que o modelo era uma representação viva da obra, sendo atualizado diariamente.

No entanto, a sofisticação digital implicava também desafios: interoperabilidade entre softwares, necessidade de formação constante, e a existência de uma curva de aprendizagem acentuada. Nem todos os intervenientes tinham a mesma literacia digital, o que, por vezes, criava distorções na compreensão da informação ou lentidão na resposta.

Nas Ilhas da Lomba, por sua vez, não se recorreu a modelos digitais avançados. O foco estava na clareza das instruções, na comunicação direta com os operacionais e na utilização de ferramentas simples de planeamento. A ausência de BIM não impediu a qualidade, pelo contrário, a simplicidade contribuiu para uma execução mais centrada nas pessoas, com menos dependência de mediações tecnológicas.

Este contraste revela uma lição importante: as ferramentas devem ser proporcionais à complexidade da obra. Enquanto o BIM é essencial em obras com múltiplas especialidades, grandes volumes e exigência de coordenação, em contextos mais pequenos pode bastar uma gestão visual e participativa. A sofisticação tecnológica deve ser um meio, nunca um fim em si mesma.

4.4.3 Aplicação do Lean Construction em Diferentes Escalas

Ambas as obras procuraram aplicar os princípios do *Lean Construction*, embora de formas bastante distintas. Na Linha Rosa, o *Last Planner System* foi implementado com formalismo: reuniões semanais de planeamento, análise de percentuais de tarefas concluídas, uso de *dashboards* e monitorização de PPC (*Percent Plan Complete*). O objetivo era aumentar a fiabilidade do cronograma e reduzir desperdícios operacionais.

Nas Ilhas da Lomba, o mesmo princípio foi aplicado de forma muito mais intuitiva e empírica. As reuniões de planeamento eram informais, muitas vezes em pé, e os painéis de tarefas eram atualizados à mão. A ideia de compromisso partilhado era reforçada pela proximidade humana, não pela análise estatística. A eficácia do sistema vinha da coesão da equipa e da cultura de responsabilização mútua.

Ambas as experiências mostram que o Lean não é uma metodologia rígida, mas uma filosofia

adaptável. Os seus princípios, eliminar desperdício, criar valor, respeitar as pessoas, podem ser implementados com ou sem software, com ou sem cronogramas formais. O importante é que haja uma cultura organizacional que valorize o planeamento colaborativo, a aprendizagem contínua e a transparência.

4.4.4 Cultura de Obra: Estrutura vs Flexibilidade

Um dos contrastes mais marcantes entre as duas experiências foi o estilo de liderança e cultura de estaleiro. Na Linha Rosa, a hierarquia era nítida, havia diretores de obra, engenheiros residentes, responsáveis por cada frente, coordenadores de segurança, e as decisões seguiam uma cadeia clara de comando. A comunicação era estruturada, mas por vezes lenta, e nem sempre permitia flexibilidade na resposta.

Nas Ilhas da Lomba, a liderança era muito mais horizontal. A direção de obra envolvia-se diretamente com os encarregados e operacionais, e as decisões eram muitas vezes tomadas em conjunto, com base na experiência empírica de quem estava no terreno. Esta flexibilidade aumentava a agilidade, mas também exigia maturidade e responsabilidade individual.

Ambas as abordagens têm vantagens e limites. A estrutura garante previsibilidade, controlo e traçabilidade. A flexibilidade permite adaptação, rapidez e proximidade. Em última análise, a cultura de obra ideal dependerá do tipo de projeto, do perfil da equipa, e dos valores que se pretende cultivar

4.4.5 Sustentabilidade: Imposição ou Intenção?

Finalmente, a questão da sustentabilidade teve abordagens muito distintas nas duas obras. No Metro, a sustentabilidade era incorporada como requisito contratual, análises de ciclo de vida, escolha de materiais certificados, gestão de resíduos, e reporte ambiental obrigatório. Era uma dimensão tecnicizada, com métricas e indicadores.

Nas Ilhas da Lomba, a sustentabilidade era mais pragmática e ética: reduzir o desperdício, escolher materiais locais, valorizar soluções duráveis e garantir o conforto dos futuros moradores. Não havia métricas, mas havia convicção. A motivação não era normativa, mas moral.

Ambas as abordagens são válidas. Uma obra pode ser ambientalmente responsável por imposição ou por intenção. O ideal é que ambas convirjam, que haja regulamentos exigentes, mas também uma consciência profissional que valorize o impacto ecológico e social da construção.

4.5 Conclusão Geral do Capítulo

A comparação entre a Linha Rosa e as Ilhas da Lomba evidencia que a excelência em engenharia não se define por uma receita única ou por ferramentas específicas, mas pela capacidade de adaptar conhecimentos, técnicas e atitudes ao contexto de cada projeto. A Linha Rosa, com a sua precisão digital e complexidade tecnológica, demonstra como a engenharia moderna pode atingir níveis elevados de rigor técnico, otimização de recursos e integração de sistemas avançados. Por outro lado, as Ilhas da Lomba revelam que o cuidado manual, a sensibilidade social e o entendimento profundo das necessidades humanas podem gerar soluções igualmente valiosas, mesmo em escalas menores ou com recursos mais limitados.

O que une estas obras, apesar das diferenças evidentes, é a capacidade de gerar impacto real e positivo no território e nas pessoas. Cada decisão — seja de escolha tecnológica, gestão de equipas, ou planeamento de custos e prazos — reflete a responsabilidade do engenheiro perante a sociedade. Mais do que dominar ferramentas ou aplicar metodologias, o engenheiro contemporâneo deve ser capaz de “ler” o contexto em que trabalha, identificar prioridades, equilibrar inovação com viabilidade e, acima de tudo, manter uma abordagem ética e humana. Saber quando recorrer a softwares avançados como o BIM ou quando soluções mais tradicionais são suficientes, liderar com autoridade sem perder a escuta ativa, e gerir recursos com consciência ambiental e social são competências centrais.

Além disso, cada obra oferece uma oportunidade de ir para além do betão e do aço: de contribuir para a cidadania, fortalecer a dignidade das comunidades e construir um futuro mais sustentável e inclusivo. A tabela comparativa que se segue, que analisa critérios como escala, tecnologias, sustentabilidade, liderança, impacto social, custo e tempo de execução, reforça esta ideia: a qualidade de um projeto não se mede apenas pela sua magnitude ou complexidade técnica, mas pelo equilíbrio entre eficiência, humanismo e visão de longo prazo.

Em última análise, tanto a Linha Rosa como as Ilhas da Lomba mostram que a verdadeira engenharia é a que sabe combinar ciência, técnica e sensibilidade social, produzindo obras que servem o presente sem comprometer o futuro, e que transformam não apenas o espaço físico, mas também a vida das pessoas que o habitam.

A tabela apresentada a seguir compara as diferenças de realidades entre a empreitada da linha rosa e das ilhas da lomba onde são analisados alguns critérios como a escala, tecnologias, sustentabilidade, liderança, impacto social, custo e ainda o tempo de execução.

Tabela 6 - Comparação de estudos de caso

Critério	Linha Rosa	Ilhas da Lomba
Escala	Grande (infraestrutura metropolitana)	Média/pequena (habitação social)
Tecnologias	BIM, LPS, <i>dashboards</i> digitais	MS Project, visualização 3D
Sustentabilidade	ACV, materiais reciclados, simulações	Materiais locais, conforto térmico
Liderança	Estrutura formal e técnica	Liderança de proximidade e empática
Impacto Social	Moderado	Alto
Custo	332.701.296,80€	8.000.000€
Tempo de execução	8 anos	1 ano e meio

5. Análise crítica: Inovação, sustentabilidade e Execução

5.1 As tensões entre inovação e tradição

A construção civil, enquanto setor económico e social, apresenta uma particularidade singular: a coexistência contínua de práticas enraizadas numa tradição secular com a pressão crescente pela inovação tecnológica e organizacional. Esta coexistência gera uma tensão latente, um conflito de paradigmas que desafia a capacidade das organizações e dos seus agentes para integrar novos métodos e ferramentas sem perder a segurança e a previsibilidade que as rotinas tradicionais oferecem. A inovação, especialmente aquela impulsionada pela digitalização, surge como uma promessa de maior eficiência, qualidade e sustentabilidade. No entanto, a sua adoção encontra barreiras profundas, que se manifestam não apenas na resistência individual, mas também em limitações estruturais e culturais que definem o setor.

A construção é, historicamente, um espaço onde a tradição molda o comportamento coletivo e as práticas técnicas. Esta tradição não é apenas um conjunto de técnicas ou procedimentos, mas um verdadeiro património imaterial que se transmite entre gerações, enraizando-se no conhecimento tácito dos profissionais, nas normas sociais e nos hábitos consolidados. Este património cria uma forte identidade profissional, conferindo segurança e legitimidade às práticas estabelecidas. A inovação, por sua vez, desafia este estatuto, propondo mudanças que, embora potencialmente benéficas, implicam riscos, incertezas e uma quebra das rotinas habituais.

O choque entre tradição e inovação não se reduz à simples adoção de novas tecnologias; envolve uma transformação mais profunda dos processos de trabalho, da gestão organizacional e das relações interprofissionais. Muitas vezes, as tecnologias digitais introduzem modos de trabalho mais integrados e colaborativos, que contrastam com as formas fragmentadas e hierarquizadas tradicionais. A digitalização, com as suas ferramentas de modelação, planeamento e comunicação, exige uma cultura de partilha e transparência que não é natural num setor caracterizado por interesses divergentes, competição entre empreiteiros e uma estrutura de contratos rígida. Assim, a inovação não é apenas técnica, mas também cultural, sendo necessário enfrentar a resistência que emerge da insegurança, do medo da perda de controlo e da eventual desvalorização do conhecimento acumulado.

A figura 16 permite estabelecer uma correspondência entre os métodos tradicionais de construção baseados em papel e sabedoria acumulada e a digitalização crescente nesta área de elevado crescimento.



Figura 16 - Contraste entre práticas tradicionais e ferramentas digitais em estaleiros de construção (Fonte: Arquivo próprio / banco de imagens acadêmico)

Esta resistência manifesta-se de diversas formas. Em muitos casos, os profissionais mais experientes mostram relutância em abandonar práticas que dominam, temendo que as novas tecnologias possam reduzir o seu papel ou dificultar as tarefas. Por outro lado, as organizações enfrentam dificuldades em investir em formação e infraestrutura tecnológica, principalmente em contextos onde o retorno imediato não é evidente. Estas barreiras são agravadas pela fragmentação do setor, onde múltiplos intervenientes desde projetistas, empreiteiros, subcontratados até fornecedores – operam com níveis heterogêneos de conhecimento e recursos, dificultando a coordenação necessária para implementar processos inovadores de forma eficaz.

A digitalização, ao mesmo tempo que é um motor de mudança, também evidencia as limitações impostas pela tradição. Ferramentas como o BIM representam paradigmas revolucionários, permitindo a criação de modelos virtuais integrados que aumentam a transparência, a colaboração e a eficiência. No entanto, a sua aplicação real enfrenta obstáculos concretos. A ausência de padrões uniformes, a disparidade tecnológica entre parceiros e a escassez de competências digitais restringem o potencial destas inovações. Frequentemente, a adoção do BIM é parcial, focada em etapas específicas do projeto, sem conseguir alterar fundamentalmente a forma como o conjunto das equipas opera no estaleiro. Esta implementação fragmentada pode até gerar mais complexidade e conflitos, quando as expectativas criadas não são correspondidas pelos resultados práticos.

A tensão entre inovação e tradição pode ser ilustrada pelos estudos de caso dos projetos Linha Rosa e PORTO VIVO. No projeto Linha Rosa, a introdução de metodologias *Lean Construction* e BIM foi pensada para modernizar a gestão e a execução da obra, promovendo maior eficiência e redução de desperdícios. Todavia, a realidade do estaleiro revelou a dificuldade de conjugar estes métodos com

práticas habituais e contingências operacionais típicas da construção urbana. A resistência dos trabalhadores a novas rotinas, a necessidade de adaptações constantes e a fraca integração entre equipas limitaram o impacto esperado das inovações. Por sua vez, o projeto PORTO VIVO, que se centra na reabilitação urbana e na sustentabilidade, expõe outro tipo de tensão: entre os ideais e as práticas reais. A valorização do património e a incorporação de soluções sustentáveis confrontam-se com restrições técnicas, orçamentais e culturais, revelando a distância que muitas vezes existe entre o discurso inovador e a sua efetivação prática.

Este cenário desafia a visão simplista que associa inovação a progresso automático. Pelo contrário, mostra que a transformação do setor passa por processos graduais, onde o respeito pela experiência acumulada e a adaptação das tecnologias ao contexto são fundamentais. A promoção de uma cultura de inovação que não negue a tradição, mas a integre e valorize é um dos maiores desafios para o futuro da construção. Isto implica investir em formação contínua, desenvolver mecanismos de partilha de conhecimento e criar ambientes organizacionais que incentivem a experimentação e a aprendizagem, minimizando os riscos associados à mudança.

Por fim, a integração equilibrada entre inovação e tradição é condição essencial para que a construção civil possa responder eficazmente às exigências contemporâneas, nomeadamente a necessidade de sustentabilidade, a melhoria da qualidade e a otimização de recursos. Este equilíbrio não é estático, mas dinâmico, exigindo uma postura aberta e flexível que reconheça as especificidades do setor e as múltiplas dimensões da mudança. Somente assim será possível transformar os processos produtivos de modo a garantir a competitividade, a sustentabilidade e a resiliência do setor.

5.2 Limites da digitalização em contextos reais

A digitalização, enquanto processo disruptivo na construção civil, tem sido amplamente promovida como uma solução para os problemas históricos do setor, incluindo a fragmentação das equipas, os elevados custos de erros e retrabalhos, e a dificuldade em cumprir prazos e orçamentos. No entanto, a transição do discurso idealizado da digitalização para a sua aplicação prática nos contextos reais dos estaleiros e das organizações construtoras revela um conjunto complexo de limitações e desafios que precisam de ser compreendidos para além do entusiasmo tecnológico.

Em primeiro lugar, as barreiras técnicas representam um dos principais obstáculos. Embora as tecnologias digitais, como o BIM, sistemas de gestão integrada, drones, sensores IoT e plataformas colaborativas, estejam cada vez mais acessíveis, a sua implementação exige uma infraestrutura tecnológica robusta e adaptada às condições específicas de cada projeto. Em muitos casos, as

organizações enfrentam dificuldades com a conectividade no local, a interoperabilidade entre diferentes *softwares* e a manutenção dos sistemas. Estas questões técnicas afetam diretamente a eficiência das ferramentas digitais e podem gerar frustrações e desmotivação nos utilizadores.

Além disso, a digitalização impõe uma necessidade de competências digitais avançadas, que nem sempre estão disponíveis no setor. Muitos profissionais da construção possuem formação e experiência centradas em métodos tradicionais, sem preparação para lidar com ferramentas digitais complexas. A lacuna de competências representa uma barreira significativa, pois a eficácia da digitalização depende não apenas da existência das tecnologias, mas da sua utilização correta e integrada nos processos de trabalho. A formação contínua é, por isso, crucial, mas enfrenta limitações como a disponibilidade dos trabalhadores para se dedicarem ao aprendizado, os custos envolvidos e a relevância prática dos conteúdos formativos.

A organização do trabalho em construção, caracterizada por ciclos curtos, pressão constante por resultados e a multiplicidade de intervenientes envolvidos, também restringe a aplicação plena da digitalização. Os processos digitais, para serem eficazes, requerem planeamento detalhado, comunicação fluída e uma cultura de colaboração, que nem sempre é natural num setor marcado por estruturas fragmentadas e relações de poder assimétricas. A pressão para cumprir prazos apertados pode levar ao abandono ou à utilização superficial das ferramentas digitais, reduzindo o seu potencial de transformação.

Outro limite importante reside nas próprias características dos projetos de construção, que muitas vezes envolvem variabilidade, imprevistos e condições específicas do local que desafiam a rigidez dos modelos digitais. Por exemplo, em obras de reabilitação, como em alguns dos projetos da PORTO VIVO, as condições existentes podem ser difíceis de captar com precisão, dificultando a criação de modelos digitais fiáveis e atualizados. Esta descontinuidade entre o mundo virtual e o real pode gerar desajustes que comprometem a utilidade da digitalização, evidenciando que esta não é uma solução universal e exige adaptações constantes.

Adicionalmente, a dimensão humana e cultural não pode ser descurada. A adoção da digitalização implica mudanças profundas nos comportamentos e nas mentalidades dos profissionais. A resistência à mudança, alimentada por inseguranças sobre a relevância do papel de cada um, o receio de perder autonomia e o desconforto com a exposição e transparência que as ferramentas digitais impõem, são fatores que limitam a aceitação plena destas inovações. Esta resistência manifesta-se tanto no nível individual como no organizacional, sendo necessária uma gestão cuidadosa da mudança que envolva diálogo, envolvimento e criação de valor percebido para os utilizadores.

Por último, a digitalização no setor da construção é também limitada pelas condições económicas e institucionais. A construção é frequentemente afetada por margens reduzidas, prazos apertados e

riscos elevados, o que pode desencorajar investimentos significativos em tecnologias digitais, especialmente quando os benefícios a médio e longo prazo não são claramente visíveis ou partilhados entre os intervenientes. A ausência de políticas públicas e incentivos estruturados que promovam a digitalização integrada e a partilha de dados é outro fator que condiciona a expansão destas práticas.

Neste contexto, torna-se evidente que a digitalização deve ser entendida como um processo complexo e multifacetado, que vai muito para além da simples implementação tecnológica. Requer uma abordagem sistémica que considere os aspetos técnicos, humanos, organizacionais e contextuais. Para que a digitalização possa realizar o seu potencial transformador, é essencial reconhecer e abordar os seus limites práticos, promovendo soluções adaptadas às realidades concretas do setor.

Por exemplo, a experiência do projeto da Linha Rosa mostra que a tentativa de impor processos digitais complexos sem uma preparação adequada dos intervenientes envolvidos e sem uma adaptação ao ritmo e cultura do estaleiro pode resultar em frustrações e desperdício de recursos. A integração gradual, o desenvolvimento de competências digitais e a criação de canais de comunicação que permitam ajustes contínuos são estratégias que demonstram maior eficácia. No projeto da PORTO VIVO, a digitalização contribuiu para a gestão do património e a sustentabilidade, mas exigiu uma atenção especial às especificidades do património construído, evidenciando que a tecnologia deve ser complementada por conhecimento especializado e flexibilidade.

Assim, a digitalização no setor da construção emerge como uma ferramenta valiosa, mas não milagrosa, que deve ser integrada de forma estratégica e crítica, tendo sempre em conta as limitações e o contexto em que se insere. Só desta forma poderá contribuir para a melhoria dos processos, para a inovação real e para o desenvolvimento sustentável da construção.

5.3 O Paradoxo entre Planeamento “Ideal” e Execução “Real”

No âmbito da construção civil, uma das tensões mais persistentes e paradoxais reside na diferença significativa entre o planeamento idealizado, concebido em condições ótimas e com base em premissas teóricas, e a execução real, marcada por contingências, imprevistos e dinâmicas sociais complexas. Este paradoxo reflete uma das maiores dificuldades do setor, que tem implicações profundas na eficácia dos processos, na qualidade dos resultados e na sustentabilidade dos projetos.

O planeamento na construção é frequentemente realizado num ambiente controlado, onde os diversos elementos do projeto são pensados e organizados com o objetivo de minimizar riscos, otimizar recursos e garantir o cumprimento de prazos e orçamentos. Ferramentas digitais, como o BIM, sistemas de gestão e softwares de planeamento, permitem construir modelos detalhados e

sequências temporais rigorosas. No papel, esta abordagem oferece uma visão clara e estruturada do processo construtivo, idealmente coordenado e eficiente.

No entanto, a passagem da teoria para a prática revela múltiplas fricções. Os estaleiros são ambientes dinâmicos e imprevisíveis, onde as condições físicas, humanas e ambientais variam diariamente. A presença de inúmeros fornecedores, a dependência de subempreitadas, a variabilidade dos materiais, a escassez das matérias-primas, a guerra, as condições climáticas adversas e as alterações do projeto durante a execução, são apenas algumas das variáveis que desafiam o planeamento inicial. Esta realidade torna difícil manter o controlo absoluto e cumprir o calendário idealizado.

Além das variáveis externas, o fator humano exerce uma influência determinante. A comunicação entre as equipas, a coordenação das atividades e o alinhamento de expectativas nem sempre fluem conforme previsto. Muitas vezes, a pressão para cumprir prazos leva a decisões rápidas e improvisadas que contrariam o planeamento, refletindo uma prática orientada pela resolução de problemas imediatos em vez da aderência ao plano inicial. Este comportamento, embora compreensível, gera desvios que podem comprometer a qualidade, aumentar custos e introduzir riscos adicionais.

Um aspeto relevante é o papel da cultura organizacional na gestão deste paradoxo. Organizações com uma cultura orientada para a aprendizagem, flexibilidade e colaboração tendem a conseguir adaptar melhor o planeamento às contingências reais, usando o plano como um guia dinâmico e não como um dogma rígido. Em contraste, organizações com culturas hierárquicas e burocráticas podem apresentar dificuldades em reagir a imprevistos, o que amplifica a desconexão entre planeamento e execução.

A experiência do projeto da Linha Rosa ilustra bem esta tensão. Embora os planos digitais e o planeamento detalhado tenham sido essenciais para o controlo do projeto, a execução enfrentou desafios significativos devido à multiplicidade de intervenientes e à necessidade de adaptar processos às condições do estaleiro. A capacidade de responder flexivelmente a estas situações revelou-se tão importante quanto o rigor do planeamento inicial. Em alguns momentos, a resistência à adaptação do plano, seja por parte da gestão ou dos trabalhadores, gerou atrasos e retrabalhos, sublinhando a importância de uma abordagem que privilegie a integração entre planeamento e realidade.

No projeto PORTO VIVO, que envolveu a reabilitação do património construído, a tensão entre o planeamento ideal e a execução real foi particularmente evidente. As limitações impostas pela preservação do património, as condições específicas dos edifícios antigos e a necessidade de diálogo constante com múltiplos intervenientes obrigaram a revisões frequentes do plano e a uma execução altamente adaptativa. A utilização de modelos digitais e tecnologias de monitorização facilitou a gestão destes processos, mas não eliminou a necessidade de um acompanhamento rigoroso e uma

gestão participativa.

Este paradoxo não deve ser encarado como um problema a ser eliminado, mas como uma condição inerente à complexidade da construção. Reconhecer a inevitabilidade da divergência entre o planeamento ideal e a execução real implica repensar as práticas tradicionais e investir em metodologias que promovam a flexibilidade, a comunicação e a aprendizagem contínua. O planeamento deve ser concebido como um processo iterativo, sujeito a revisões e ajustamentos constantes, em vez de um documento estático a ser rigidamente cumprido.

Adicionalmente, é crucial desenvolver competências nos profissionais para gerir esta complexidade, promovendo uma visão integrada do projeto que inclua a capacidade de antecipar riscos, resolver problemas em tempo real e negociar soluções com os diversos intervenientes envolvidos. A formação profissional deve, por isso, incluir não só conhecimentos técnicos, mas também habilidades interpessoais e de gestão adaptativa.

A digitalização pode apoiar esta integração entre planeamento e execução, ao permitir atualizações em tempo real, partilha de informação entre equipas e monitorização contínua do progresso. Contudo, como visto anteriormente, esta tecnologia é apenas uma ferramenta que requer uma cultura organizacional adequada para ser verdadeiramente eficaz.

Em suma, o paradoxo entre planeamento ideal e execução real é uma manifestação da complexidade inerente à construção, exigindo abordagens que conciliem rigor técnico com flexibilidade prática. Esta síntese crítica contribui para um entendimento mais realista e pragmático do setor, orientando práticas mais sustentáveis e eficientes.

5.4 A Descontinuidade entre Sustentabilidade no Discurso e na Prática

A sustentabilidade tem emergido nas últimas décadas como um conceito central e um imperativo incontornável no setor da construção. Contudo, um dos maiores desafios que se mantém é a significativa descontinuidade entre o discurso sustentável, amplamente adotado em estratégias, políticas e comunicações institucionais, e a sua efetiva materialização na prática cotidiana dos projetos e das obras. Esta lacuna entre intenção e ação não é um problema exclusivo da construção, mas assume particular relevância neste setor, dada a sua complexidade técnica, multiplicidade de atores envolvidos e impacto ambiental e social profundo.

O discurso da sustentabilidade é muitas vezes caracterizado por slogans, compromissos e declarações que enfatizam a responsabilidade ambiental, a eficiência energética, a minimização de

resíduos e a promoção do bem-estar social. Estas mensagens são fortemente divulgadas tanto por organismos públicos como por empresas privadas, que incorporam políticas ambientais nos seus planos estratégicos e comunicam ações verdes como parte da sua identidade corporativa.

A figura 17 é um exemplo vivo do trabalho contínuo que é necessário fazer para que este discurso da sustentabilidade passe a ser uma prática corrente.



Figura 17 - Descontinuidade entre discurso sustentável e práticas observadas em obras (Fonte: Adaptado de O Vilaverdense (2018))

Contudo, quando se observa o funcionamento real dos projetos de construção, verifica-se uma série de constrangimentos e práticas que limitam a tradução efetiva destes compromissos em resultados concretos. A pressão por prazos curtos, orçamentos apertados e a necessidade de cumprir metas de produção frequentemente entram em conflito direto com as exigências da construção sustentável, que implicam processos mais cuidadosos, uso de materiais específicos, gestão criteriosa dos resíduos e planeamento rigoroso da eficiência energética.

Além disso, o setor enfrenta desafios estruturais que dificultam a integração plena dos princípios sustentáveis. A fragmentação das cadeias produtivas, com múltiplos subcontratados e fornecedores dispersos, dificulta a uniformização de práticas e o controlo da qualidade ambiental. Muitas empresas, especialmente as de menor dimensão, carecem dos recursos técnicos e financeiros para investir em tecnologias e processos sustentáveis, mesmo quando reconhecem a sua importância.

Outro fator crítico é a ausência, em muitos contextos, de regulamentações rigorosas e de fiscalização eficaz que promovam a adoção da sustentabilidade como padrão mínimo. Sem incentivos claros ou penalizações para práticas insustentáveis, a tentação para optar por soluções mais rápidas e

baratas prevalece, perpetuando a dissonância entre discurso e ação.

No projeto da Linha Rosa, apesar das intenções declaradas de integrar práticas sustentáveis, como a utilização de materiais reciclados e a redução do desperdício, a execução revelou limitações decorrentes da complexidade logística e da pressão para cumprir prazos. Houve momentos em que as melhores práticas ambientais foram suprimidas em favor da velocidade, evidenciando a dificuldade de conciliar objetivos múltiplos em contextos reais.

Por sua vez, no projeto PORTO VIVO, a reabilitação de património histórico apresentou desafios únicos para a sustentabilidade, que envolvem não só a vertente ambiental, mas também a cultural e social. A sustentabilidade aqui assume uma dimensão mais ampla, onde o respeito pelo valor histórico e a integração com a comunidade local são tão importantes quanto a eficiência energética. Este projeto revelou que a sustentabilidade no discurso pode ser ampliada para incluir valores intangíveis, mas a prática ainda enfrenta dificuldades para operacionalizar esta abordagem integrada.

A digitalização, como recurso facilitador, pode ajudar a reduzir esta descontinuidade, através da monitorização em tempo real de indicadores ambientais, da simulação do desempenho energético e da gestão mais rigorosa dos resíduos. Todavia, a tecnologia não resolve sozinha os problemas de alinhamento entre intenções e ações. A cultura organizacional, o compromisso das lideranças e a capacitação dos profissionais são determinantes para que as soluções sustentáveis sejam efetivamente implementadas.

A educação e a formação profissional aparecem assim como pilares essenciais para mudar esta realidade. Profissionais com uma compreensão integrada da sustentabilidade, que reconheçam as suas múltiplas dimensões e saibam aplicar ferramentas digitais para a gestão ambiental, estarão melhor preparados para enfrentar os desafios práticos e promover a coerência entre discurso e prática.

Este debate leva também à reflexão crítica sobre os modelos de avaliação e certificação da sustentabilidade. Muitas vezes, estes sistemas privilegiam critérios formais e documentais, que podem ser cumpridos superficialmente sem garantir mudanças profundas na execução. Para avançar, será necessário desenvolver métricas mais integradas e orientadas para o impacto real dos projetos, associadas a mecanismos de acompanhamento e responsabilização efetivos.

Por fim, é fundamental considerar a sustentabilidade não como um objetivo isolado, mas como parte de uma abordagem sistémica que integra aspetos económicos, sociais e ambientais. A construção sustentável exige a articulação destas dimensões e o reconhecimento das tensões e *trade-offs* que inevitavelmente surgem. Só assim será possível superar a descontinuidade entre o discurso e a prática, avançando para uma construção verdadeiramente sustentável.

5.5 Reflexão sobre a Formação Profissional no Setor da Construção

A formação profissional no setor da construção é um dos elementos chave para o desenvolvimento sustentável, inovador e eficiente da indústria. Contudo, à medida que o setor evolui, impulsionado por avanços tecnológicos, novas metodologias e exigências crescentes em termos ambientais e sociais, torna-se evidente que a formação tradicional não acompanha o ritmo destas transformações, criando lacunas significativas entre o que é ensinado e o que é efetivamente necessário no terreno.

A figura 18 exemplifica as sessões de formação necessárias para formar profissionais mais capazes. Estas sessões de formação devem ser sempre intercaladas com formações práticas em obra.



Figura 18 - Capacitação digital: sessões de formação (Fonte: adaptado do doutor finanças, 2025)

Historicamente, a formação na construção foi fortemente orientada para competências técnicas específicas, muitas vezes focadas em ofícios tradicionais, com pouca ênfase em abordagens integradas ou multidisciplinares. Este modelo, embora tenha servido bem durante décadas, revela-se hoje insuficiente para responder à complexidade crescente dos projetos, que exigem não só competências técnicas, mas também capacidades de gestão, comunicação, adaptação e utilização de novas tecnologias digitais.

A incorporação da digitalização e da inovação nos processos construtivos, como a utilização do BIM, impressão 3D, monitorização via sensores e análise de dados, exige dos profissionais uma atualização contínua e uma abertura para novas formas de trabalhar. No entanto, muitos dos sistemas

de formação e educação profissional ainda estão estruturados em currículos rígidos, lentos a integrar estas novidades e desconectados das realidades práticas dos estaleiros.

Além disso, a formação muitas vezes falha em preparar os profissionais para lidar com as tensões entre inovação e tradição, uma questão que atravessa o setor e que pode gerar resistência à mudança. Os trabalhadores mais experientes, detentores de conhecimento prático valioso, podem sentir-se desconfortáveis ou excluídos pelos novos processos digitais, enquanto os mais jovens, formados em ambientes acadêmicos, podem encontrar dificuldades em aplicar conhecimentos teóricos num contexto real de obra.

Esta lacuna intergeracional constitui um desafio relevante, mas também uma oportunidade para desenvolver programas formativos que promovam a transferência de conhecimento entre gerações, combinando experiência e inovação. A formação deve ser pensada não apenas como um processo inicial, mas como um percurso contínuo de aprendizagem ao longo da carreira, que inclui formação presencial, e-learning, workshops práticos, mentoring e outras modalidades flexíveis.

O projeto da Linha Rosa trouxe à evidência, a importância desta abordagem integrada à formação. A adoção de tecnologias digitais e processos inovadores exigiu um esforço significativo para capacitar as equipas, envolvendo formações específicas em novas ferramentas e metodologias, bem como a criação de canais de comunicação para partilhar dúvidas, dificuldades e melhores práticas. Esta experiência destacou a necessidade de um investimento estruturado e continuado na formação para garantir o sucesso da transformação digital.

No projeto da PORTO VIVO, a formação assume ainda uma dimensão mais ampla, que inclui a sensibilização para a importância da sustentabilidade cultural e social, além dos aspetos técnicos. Capacitar os profissionais para compreender o valor patrimonial, as exigências normativas específicas e as implicações sociais da reabilitação revelaram-se fundamentais para o êxito do projeto. Esta abordagem evidencia que a formação deve ser contextualizada, alinhada com as características e objetivos específicos de cada tipo de projeto.

Outro aspeto crucial a considerar é o papel das instituições formadoras, desde escolas profissionais a universidades, passando por centros de formação técnica e empresas, na atualização dos seus programas curriculares. A colaboração estreita entre academia, indústria e governo é indispensável para garantir que os conteúdos formativos respondem às necessidades reais do mercado, antecipando tendências e promovendo a inovação.

Além disso, a certificação das competências, reconhecida formalmente pelo setor, constitui um incentivo para a valorização da formação e para o reconhecimento profissional, facilitando a mobilidade e a progressão na carreira. Contudo, é necessário garantir que estas certificações refletem competências relevantes e atualizadas, para evitar a criação de barreiras burocráticas ou

distanciamento face à realidade prática.

A reflexão sobre a formação profissional no setor da construção é, assim, uma chamada para uma mudança profunda e estruturante. Trata-se de promover uma cultura de aprendizagem contínua, inclusiva e multidisciplinar, que capacite os profissionais para enfrentar os desafios técnicos, ambientais, sociais e tecnológicos atuais e futuros. Este é um passo essencial para superar as tensões entre inovação e tradição, reduzir as discontinuidades entre planeamento e execução, e garantir que a sustentabilidade não seja apenas um discurso, mas uma prática integrada e efetiva.

5.6 Proposta de Linhas de Desenvolvimento para o Futuro

Diante dos desafios identificados as tensões entre inovação e tradição, os limites da digitalização em contextos reais, o paradoxo entre planeamento ideal e execução efetiva, e a descontinuidade entre sustentabilidade no discurso e na prática, é urgente delinear estratégias que orientem o setor da construção para um futuro mais resiliente, integrado e sustentável.

Em primeiro lugar, a transição para um modelo construtivo verdadeiramente inovador e sustentável deve passar por uma articulação mais profunda entre os intervenientes envolvidos: projetistas, engenheiros, arquitetos, empreiteiros, fornecedores, decisores políticos e a comunidade. Esta cooperação deve ser baseada em processos colaborativos e participativos que promovam a troca contínua de conhecimentos e experiências, reduzindo a fragmentação histórica do setor e criando um ambiente favorável à inovação.

A digitalização deve ser encarada não apenas como uma ferramenta tecnológica, mas como um vetor de transformação cultural. Para isso, é fundamental investir em formação qualificada e programas de capacitação que permitam a todos os profissionais, independentemente da sua experiência, abraçar estas novas ferramentas. A criação de *hubs* de inovação, laboratórios de experimentação e redes de partilha de boas práticas podem acelerar esta adaptação, tornando a digitalização um fator de coesão e de aumento da qualidade dos processos.

O planeamento deve evoluir para modelos mais flexíveis e interativos, que integrem a complexidade e a incerteza dos contextos reais. Metodologias ágeis e processos de *design thinking*, aliados a simulações digitais e análises preditivas, podem ajudar a antecipar obstáculos e adaptar soluções em tempo real, minimizando o fosso entre o ideal teórico e a execução prática. A implementação de sistemas de monitorização contínua e *feedback* permitirá ajustar intervenções durante a obra, promovendo uma gestão proativa e adaptativa.

No domínio da sustentabilidade, a prioridade deve ser a implementação de políticas e

regulamentações que incentivem práticas ambientais, sociais e económicas integradas, assegurando que estas dimensões não sejam tratadas isoladamente. Instrumentos de certificação devem evoluir para sistemas que avaliem o impacto real e contínuo dos projetos, indo além do cumprimento formal de critérios. Paralelamente, é crucial fomentar uma cultura organizacional que valorize a sustentabilidade como um princípio central, não apenas um requisito a cumprir.

A figura 19 demonstra a integração da inovação, sustentabilidade e formação na capacidade de execução de uma obra.



Figura 19 - Integração entre inovação, sustentabilidade, formação e execução como pilares do futuro da construção

A formação profissional deve ser reformulada para ser contínua, multidisciplinar e alinhada com os desafios emergentes. Investir em programas que combinem competências técnicas, digitais, sociais e ambientais, e que promovam a aprendizagem ao longo da vida, é essencial para construir um capital humano preparado para a complexidade crescente do setor. Incentivar a formação conjunta de diferentes perfis profissionais pode também promover uma visão integrada e colaborativa dos processos construtivos.

Finalmente, a inovação no setor da construção deve ser acompanhada por um compromisso ético e social, que reconheça o papel da construção como um motor de desenvolvimento sustentável das cidades e comunidades. As soluções tecnológicas e metodológicas devem estar alinhadas com a justiça social, a inclusão e a valorização do património cultural e natural, promovendo um equilíbrio entre crescimento económico e qualidade de vida.

Em suma, o futuro do setor da construção reside numa abordagem que articule inovação tecnológica, sustentabilidade ambiental, equidade social e rigor técnico, suportada por uma formação profissional robusta e processos colaborativos. Esta visão, embora desafiante, é necessária para responder aos imperativos globais e locais, e para construir um setor capaz de transformar problemas complexos em oportunidades reais de progresso.

6. Conclusões e considerações finais

6.1 Conclusões gerais

A presente investigação permitiu aprofundar a compreensão das complexas dinâmicas que caracterizam o setor da construção, evidenciando de forma clara a tensão constante entre inovação e tradição, a crescente digitalização, a sustentabilidade e a formação profissional. Apesar dos avanços tecnológicos e da implementação de práticas sustentáveis em diferentes projetos analisados, a investigação demonstrou que a adoção efetiva destas inovações é frequentemente dificultada por barreiras culturais e organizacionais profundamente enraizadas. Estas barreiras incluem a resistência à mudança, a fragmentação das equipas, a priorização de resultados imediatos em detrimento de soluções de longo prazo e a limitada valorização do conhecimento prático acumulado pelos profissionais do terreno. Este cenário reforça a necessidade de encarar a mudança no setor não apenas como uma questão técnica, mas como um processo social e cultural complexo, que exige paciência, diálogo contínuo e o compromisso ativo de todos os intervenientes, desde gestores e engenheiros até trabalhadores e decisores públicos.

Outro ponto central identificado é a persistente dissonância entre os modelos teóricos de planeamento e a realidade prática das obras. Os projetos estudados revelam que fatores contingentes e imprevistos, como condições geotécnicas variáveis, limitações logísticas, restrições financeiras e mudanças regulatórias, exigem abordagens de planeamento flexíveis e adaptativas. A valorização do conhecimento tácito e da experiência prática emerge como essencial para reduzir o risco de erros, otimizar processos e assegurar a qualidade técnica e social das obras. Esta conclusão é consistente com experiências internacionais, como na construção de infraestruturas urbanas em Singapura, onde a integração de práticas Lean e programas de formação contínua permitiu reduzir retrabalho e aumentar a produtividade das equipas, demonstrando que o sucesso depende tanto de fatores humanos quanto de ferramentas tecnológicas.

A investigação também revelou um paradoxo relevante na implementação da sustentabilidade. Embora as intenções de construir de forma ambientalmente responsável estejam presentes, a pressão por prazos curtos, a limitação de recursos e uma cultura organizacional focada na eficiência imediata frequentemente conduzem a lacunas significativas entre discurso e prática. A sustentabilidade deve, portanto, ser integrada de forma transversal em todos os níveis do projeto, incluindo a escolha de materiais, a gestão de resíduos, a eficiência energética e a redução da pegada

ecológica. A experiência comparada com países europeus, como o Reino Unido e a Dinamarca, sugere que sistemas de monitorização contínua e indicadores claros de desempenho ambiental, social e económico são decisivos para assegurar que as boas intenções se traduzam em resultados concretos.

Por fim, a formação profissional surge como fator crítico para o desenvolvimento do setor. Os modelos formativos tradicionais mostram-se insuficientes para preparar os profissionais face aos desafios contemporâneos, particularmente nas áreas digital, colaborativa e crítica. Programas de capacitação que integrem teoria e prática, combinando formação técnica com desenvolvimento de competências comportamentais, éticas e de liderança, são essenciais. Experiências internacionais demonstram que a criação de parcerias entre universidades e empresas, associadas a projetos-piloto de inovação e sustentabilidade, aumenta a competência técnica, a consciência ambiental e o engajamento das equipas.

Em suma, as conclusões gerais reforçam a ideia de que a transformação do setor da construção depende de uma abordagem integrada, humanizada e multidimensional. A inovação tecnológica, a sustentabilidade e a valorização do conhecimento prático devem ser harmonizadas com políticas organizacionais, programas de formação contínua e uma cultura de colaboração e responsabilidade coletiva. O desafio reside não apenas na implementação de tecnologias e processos avançados, mas na criação de ambientes nos quais os profissionais se sintam capacitados, motivados e responsáveis pelos resultados, promovendo assim uma mudança genuína, sustentável e adaptada às exigências contemporâneas.

6.2 Considerações finais

Com base nas evidências recolhidas ao longo desta investigação, as recomendações para o setor da construção devem ser operacionais, mensuráveis e diretamente aplicáveis em contextos portugueses, especialmente em pequenas e médias empresas (PME), que representam uma parcela significativa do mercado. Em primeiro lugar, recomenda-se a implementação de programas de formação estruturados em BIM e Lean Construction adaptados às PME, com módulos teóricos, simulações de obras e acompanhamento de projetos reais. Estes programas permitem reduzir a resistência cultural, aumentar a capacidade técnica dos profissionais e melhorar a coordenação entre equipas. Para medir o sucesso desta iniciativa, sugere-se a utilização de indicadores como a taxa de adoção de BIM nas PME, o número de profissionais certificados em Lean Construction e a redução de retrabalho em obras piloto.

Um segundo ponto estratégico é estabelecer parcerias entre universidades e empresas de construção para o desenvolvimento de projetos-piloto sustentáveis. Estes projetos podem integrar

práticas de economia circular, reutilização de materiais de demolição, monitorização energética e sistemas de eficiência hídrica, permitindo testar soluções inovadoras em escala real. Indicadores de avaliação incluem o número de projetos-piloto concluídos com sucesso, a quantidade de resíduos reaproveitados e a redução da pegada de carbono das obras. Experiências internacionais demonstram que esta abordagem é eficaz: em Singapura, parcerias entre instituições académicas e construtoras aumentaram a adoção de práticas sustentáveis em 35% ao longo de cinco anos, enquanto no Reino Unido projetos piloto com integração BIM e Lean reduziram retrabalho em 25% e aumentaram a produtividade das equipas.

Outra recomendação fundamental é promover uma cultura organizacional baseada na colaboração, comunicação aberta e responsabilização coletiva. A criação de reuniões regulares de planeamento participativo, sessões de feedback estruturadas e mecanismos visuais de acompanhamento do progresso permite fortalecer o engajamento das equipas e reduzir erros. Indicadores de sucesso incluem a redução de atrasos em obras, o número de incidentes de retrabalho e o grau de satisfação das equipas, medido através de inquéritos internos.

No domínio da sustentabilidade, recomenda-se a implantação de sistemas de monitorização contínua de indicadores ambientais, sociais e económicos, incluindo, por exemplo, a quantidade de materiais reciclados utilizados, consumo energético e água, e conformidade com normas de segurança e qualidade. A adoção de metodologias ágeis, ciclos curtos de planeamento e feedback constante garante que os projetos possam adaptar-se rapidamente a imprevistos, aumentando a eficiência operacional.

Finalmente, é essencial que todas estas recomendações sejam articuladas de forma integrada, combinando capacitação prática, inovação tecnológica, mudança cultural e avaliação contínua de resultados. Quando implementadas de forma coordenada, estas medidas não apenas aumentam a produtividade e reduzem desperdícios, mas também promovem uma construção mais sustentável, socialmente responsável e adaptável, alinhada com as melhores práticas internacionais e com as necessidades específicas do contexto português.

6.3 Limitações e Investigação futura

Apesar das contribuições significativas desta investigação, algumas limitações devem ser claramente reconhecidas para contextualizar os resultados e orientar pesquisas futuras. Em primeiro lugar, a delimitação geográfica constitui uma restrição importante: todos os estudos de caso analisados situam-se na cidade do Porto, o que limita a extrapolação direta das conclusões para outros

contextos nacionais ou internacionais. A realidade das obras no Porto, incluindo regulamentações locais, práticas construtivas e características sociais, pode diferir substancialmente de regiões com diferentes estruturas urbanas, mercados de trabalho ou níveis de inovação tecnológica. Consequentemente, as recomendações, embora fundamentadas em evidências sólidas, devem ser adaptadas às especificidades de cada contexto.

Em termos metodológicos, esta investigação baseou-se principalmente em abordagens qualitativas, combinando observações diretas, entrevistas, análise de documentação e experiência prática em obra. Apesar de esta abordagem permitir uma compreensão profunda e detalhada das dinâmicas organizacionais, humanas e técnicas, limita a capacidade de generalização estatística dos resultados. Além disso, a escolha de casos específicos, embora diversificada em termos de escala e complexidade, introduz variabilidade que dificulta inferências amplas e pode não captar a totalidade dos desafios enfrentados em contextos diferentes.

Outro fator a considerar é a natureza prática e experiencial da análise, que, embora tenha fornecido insights valiosos sobre a interação entre tecnologia, sustentabilidade e gestão de equipas, pode introduzir subjetividade na interpretação dos resultados. A proximidade com os projetos estudados permitiu uma compreensão rica da dimensão humana e cultural das obras, mas torna necessário equilibrar observações empíricas com abordagens quantitativas e métricas de desempenho objetivas em investigações futuras.

A investigação também evidencia a necessidade de expandir a perspetiva internacional. Países como Singapura, Reino Unido e Dinamarca oferecem experiências valiosas na implementação de práticas de BIM, Lean Construction, sustentabilidade e formação contínua, mostrando que parcerias entre universidades e empresas, sistemas de monitorização ambiental e programas de capacitação estruturados são eficazes na transformação do setor. Comparar estes exemplos com a realidade portuguesa permite identificar soluções adaptáveis e medir a eficácia das recomendações, contribuindo para a criação de indicadores internacionais de desempenho e boas práticas replicáveis.

Em termos de investigação futura, recomenda-se a realização de estudos empíricos longitudinais e multicêntricos, incorporando amostras de projetos em diferentes regiões, escalas e contextos socioeconómicos. Esta abordagem permitiria avaliar a consistência das práticas recomendadas, compreender a evolução das equipas ao longo do tempo e medir o impacto de tecnologias digitais e metodologias sustentáveis na produtividade, qualidade e satisfação dos profissionais. Além disso, a investigação futura deve integrar indicadores de avaliação claros, como a taxa de adoção de BIM em PME, o número de profissionais com formação em sustentabilidade e Lean Construction, a redução de retrabalho e a pegada ambiental das obras.

Outro caminho relevante é aprofundar a análise das dimensões sociais, culturais e éticas da

construção. Estudos que explorem o engajamento das comunidades afetadas, a motivação das equipas, a liderança de proximidade e os impactos no bem-estar dos trabalhadores e habitantes podem complementar a avaliação tecnológica e económica, promovendo uma visão integrada e humanizada do setor.

Em síntese, embora esta dissertação tenha fornecido contribuições significativas para a compreensão das práticas inovadoras, sustentabilidade e gestão de equipas na construção, é evidente que o caminho para um setor mais resiliente, eficiente e ético exige investigação contínua, comparações internacionais, metodologias diversificadas e indicadores robustos. Este enfoque permitirá não apenas validar recomendações, mas também adaptar soluções às realidades locais, garantindo que a transformação do setor seja efetiva, sustentável e socialmente responsável.

Para finalizar, é apresentado um diagrama de todos os assuntos abordados nesta dissertação que dizem respeito à corrente transformação e evolução da construção civil.

Com o objetivo de sintetizar e sistematizar os principais tópicos abordados ao longo desta dissertação, foi elaborado um diagrama resumo que organiza de forma visual as ideias centrais e as suas interligações. Esta ferramenta não pretende substituir a análise aprofundada realizada nos capítulos anteriores, mas sim oferecer uma visão global e integrada que facilite a compreensão da estrutura do trabalho e das relações entre os diferentes temas.

O processo de construção deste diagrama teve como ponto de partida os quatro eixos centrais explorados na investigação: planeamento, gestão de projetos, execução e sustentabilidade. Estes constituem os pilares da análise e foram representados como ramos principais a partir do núcleo central, “Transformação na Construção Civil”. A cada ramo associaram-se subtemas desenvolvidos na tese, como o uso de tecnologias digitais (BIM, IoT, drones), metodologias colaborativas (Lean Construction, Last Planner System), inovação em processos (pré-fabricação, impressão 3D) e práticas sustentáveis (certificações, economia circular, indicadores de desempenho).

Adicionalmente, o diagrama incorpora uma dimensão internacional, refletindo as comparações estabelecidas entre Portugal e outros países (Singapura, Reino Unido e Dinamarca). Este eixo procura salientar a relevância do benchmarking internacional como instrumento de aprendizagem e adaptação de boas práticas ao contexto nacional.

Por fim, o diagrama foi estruturado de forma a destacar não apenas os avanços, mas também os desafios e limitações identificados, reforçando a ideia de que a evolução do setor depende tanto da inovação tecnológica como da transformação cultural, social e institucional.

Em suma, este diagrama funciona como uma representação sintética e didática da investigação, permitindo uma leitura imediata e organizada dos conceitos-chave, das relações entre eles e das contribuições oferecidas pelo trabalho para o debate sobre o futuro da construção civil.

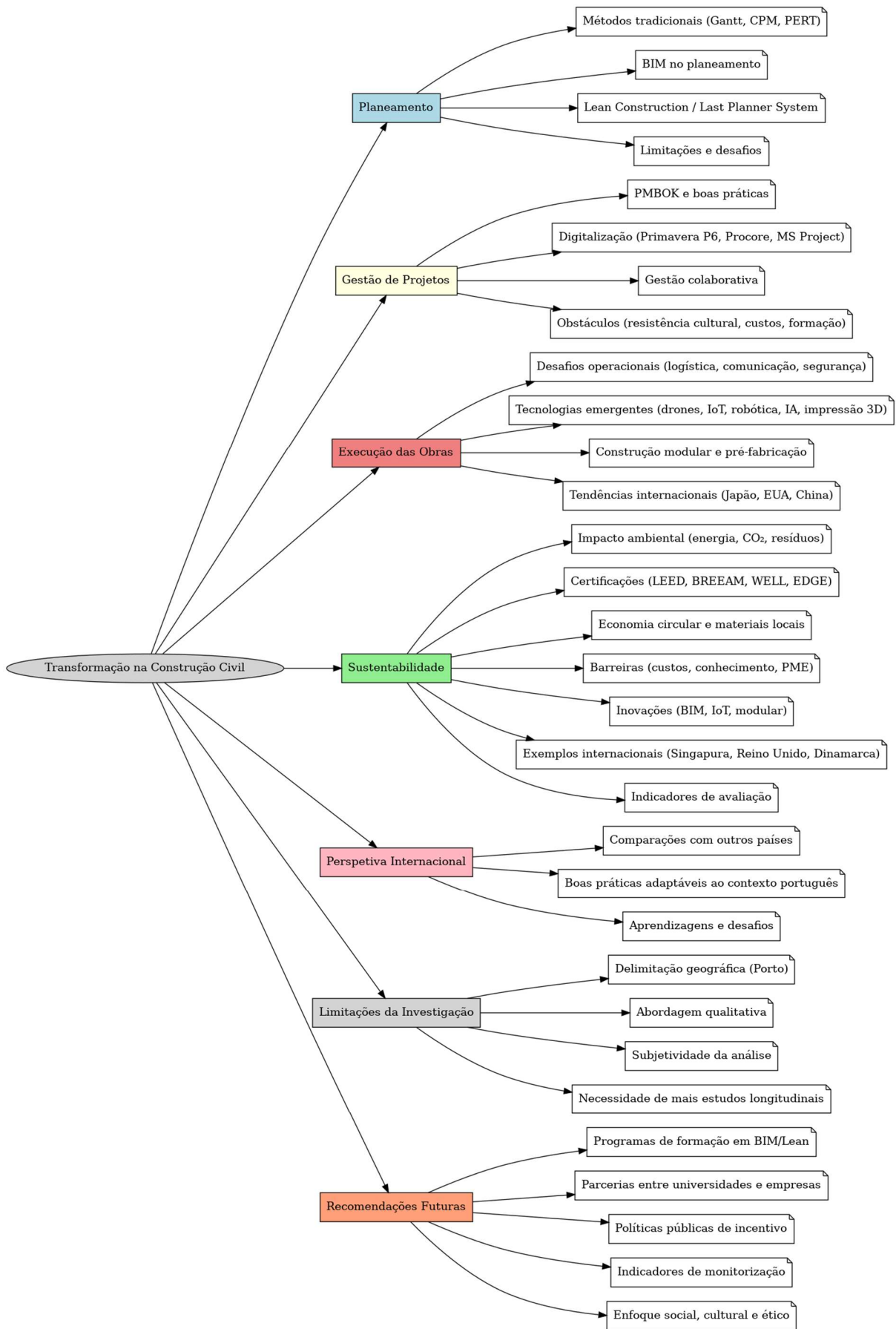


Figura 20 – Resumo geral da transformação da construção civil

Referências Bibliográficas

- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Bae, S., & Kim, Y. (2018). Application of drones in construction management. *Automation in Construction*, 94, 244–257.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.006>
- Ballard, G., & Howell, G. (2003). Lean project management. *Building Research & Information*, 31(2), 119–133.
<https://doi.org/10.1080/09613210301949>
- Ballard, G., & Howell, G. (2003). An update on Last Planner. In *Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 1–11).
- Bock, T. (2015). The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. *Automation in Construction*, 59, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.022>
- Bogue, R. (2019). Robots in construction: A review of technologies and applications. *Industrial Robot: An International Journal*, 46(3), 257–262.
<https://doi.org/10.1108/IR-03-2019-0063>
- Cole, R. J. (1999). Building environmental assessment methods: Clarifying intentions. *Building Research & Information*, 27(4–5), 230–246.
<https://doi.org/10.1080/096132199369553>
- Conforto, E., Salum, F., Amaral, D. C., da Silva, S. L., & de Almeida, L. F. M. (2016). Can agile project management be adopted by industries other than software development? *Project Management Journal*, 47(3), 21–34.
- Construction Industry Council (CIC), UK. (2019). *Integration of BIM and Lean Construction: Lessons from UK projects*. London: CIC.
- Coscia, C., D’Agostino, A., & Oppio, A. (2020). Enhancing the sustainability of social housing policies: A methodological approach for the “Paris affordable housing challenge.” *Sustainability*, 12(23), 9903.
<https://doi.org/10.3390/su12239903>
- Davies, R. (2018). *The Crossrail project: Infrastructure challenges in London*. Institution of Civil Engineers Publishing.

- Dinamarca, Ministry of Housing, Urban and Building. (2020). *Sustainable building strategies in Denmark*. Copenhagen: Danish Government Publications. <https://www.bygningsstyrelsen.dk>
- Ding, G. K. C. (2008). Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86(3), 451–464. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.025>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (3rd ed.). Wiley.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. <https://ellenmacarthurfoundation.org>
- European Construction Sector Observatory. (2021). *Digitalization and sustainability trends in European construction*. Brussels: European Commission. <https://ec.europa.eu/growth/sectors/construction>
- Gann, D. M. (2000). *Building innovation: Complex constructs in a changing world*. Thomas Telford Publishing.
- Gourvennec, A. (2020). Grand Paris Express: An overview of Europe’s largest transport project. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 95, 103–114. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.102986>
- Hamzeh, F. R., Ballard, G., & Tommelein, I. (2015). Last Planner System: Implementation challenges. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(7), 04015009. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000996](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000996)
- Harris, F., McCaffer, R., & Edum Fotwe, F. (2020). *Modern construction management* (7th ed.). Wiley Blackwell.
- Harty, C. (2005). Innovation in construction: A sociology of technology approach. *Building Research & Information*, 33(6), 512–522.
- Howell, G. A. (1999). What is Lean Construction? In *Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 1–10).
- INBEC (Instituto Brasileiro de Educação Continuada). (n.d.). [Imagem sobre a história e evolução de materiais como concreto, aço e madeira]. Em *História e evolução de materiais como concreto, aço e madeira*. Recuperado de <https://inbec.com.br/blog/historia-evolucao-materiais-como-concreto-aco-madeira>

- International Organization for Standardization (ISO). (2006). *ISO 14040: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. ISO.
- Kerzner, H. (2019). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (12th ed.). Wiley.
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: Green building design and delivery* (4th ed.). Wiley.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (Tech. Rep. No. 72). Stanford University.
- Liu, S., & Zhang, X. (2020). Internet of Things and sensor technologies in construction: Review and future perspectives. *Journal of Information Technology in Construction*, 25, 256–271.
- Loosemore, M. (2015). *Human resource management in construction projects*. Routledge.
- Love, P. E. D., & Smith, J. (2013). Exploring the impacts of planning fallacies in construction projects. *International Journal of Project Management*, 31(3), 418–427.
- Pan, Y., & Zhang, J. (2023). The impact of Building Information Modeling on project efficiency: A meta analysis. *Automation in Construction*, 150, 104838. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104838>
- Project Management Institute (PMI). (2017). *A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* (6th ed.). Project Management Institute.
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Basic Books.
- Significados (Equipe do Significados). (n.d.). [Imagem ilustrativa sobre sustentabilidade ambiental]. Em *O que é sustentabilidade ambiental? Conceito e exemplos*. Recuperado de <https://www.significados.com.br/sustentabilidade-ambiental/>
- Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. Sage Publications.
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.
- Swissinfo. (2016, June 1). Gotthard Base Tunnel: The world's longest railway tunnel opens. <https://www.swissinfo.ch>

- Tabrizikahou, S., & Nowotarski, P. (2021). Impact of early stage sustainability integration on building performance: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124416. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124416>
- Tam, V. W. Y. (2008). Economic comparison of concrete recycling: A case study approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(5), 821–828. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.12.001>
- Whyte, J., & Lobo, S. (2010). Coordination and control in infrastructure delivery: Building information modeling, planning and scheduling. *Automation in Construction*, 19(5), 544–548. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.014>
- Winch, G. (2006). *Managing construction projects: An information processing approach*. Wiley Blackwell.
- Winch, G. (2010). *Managing construction projects: An information processing approach* (2nd ed.). Wiley Blackwell.
- Winch, G., & Maytorena, E. (2007). Training, education and learning in construction. *Building Research & Information*, 35(2), 129–142.
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- Zhu, Y., & Issa, R. R. A. (2016). Comparison of three scheduling software in the AEC industry. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 21, 62–74. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2016.005>
- Singapura Building and Construction Authority (BCA). (2020). *Sustainable construction practices in Singapore*. Singapore: BCA. <https://www1.bca.gov.sg>
- <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104838>
- Project Management Institute (PMI). (2017). *A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* (6th ed.). Project Management Institute.
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Basic Books.
- Significados (Equipe do Significados). (n.d.). [Imagem ilustrativa sobre sustentabilidade ambiental]. Em *O que é sustentabilidade ambiental? Conceito e exemplos*. Recuperado de <https://www.significados.com.br/sustentabilidade-ambiental/>
- Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. Sage Publications.

- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.
- Swissinfo. (2016, June 1). Gotthard Base Tunnel: The world's longest railway tunnel opens. <https://www.swissinfo.ch>
- Tabrizikahou, S., & Nowotarski, P. (2021). Impact of early stage sustainability integration on building performance: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124416. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124416>
- Tam, V. W. Y. (2008). Economic comparison of concrete recycling: A case study approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(5), 821–828. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.12.001>
- Whyte, J., & Lobo, S. (2010). Coordination and control in infrastructure delivery: Building information modeling, planning and scheduling. *Automation in Construction*, 19(5), 544–548. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.014>
- Winch, G. (2006). *Managing construction projects: An information processing approach*. Wiley Blackwell.
- Winch, G. (2010). *Managing construction projects: An information processing approach* (2nd ed.). Wiley Blackwell.
- Winch, G., & Maytorena, E. (2007). Training, education and learning in construction. *Building Research & Information*, 35(2), 129–142.
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- Zhu, Y., & Issa, R. R. A. (2016). Comparison of three scheduling software in the AEC industry. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 21, 62–74. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2016.005>
- Singapura Building and Construction Authority (BCA). (2020). *Sustainable construction practices in Singapore*. Singapore: BCA. <https://www1.bca.gov.sg>

ANEXO 1 – Programa de trabalhos das Ilhas da Lomba

ID	Item	Nome da Tarefa	Duração	Início	24 Jun	Tr 3, 2024 Jul	Tr 4, 2024 Ago	Tr 1, 2025 Set	Tr 2, 2025 Out	Tr 3, 2025 Nov	Tr 4, 2025 Dez	Tr 1, 2026 Jan	Tr 2, 2026 Feb	Tr 3, 2026 Mar	Tr 4, 2026 Abr	Tr 1, 2026 Mai	Tr 2, 2026 Jun	Tr 3, 2026 Jul	Tr 4, 2026 Ago	Tr 1, 2026 Set	Tr 2, 2026 Out	Tr 3, 2026 Nov	Tr 4, 2026 Dez	Tr 1, 2027 Jan	Tr 2, 2027 Feb			
67		Revestimentos	116 dias	Qua 16/01/26																								
68		Paredes	65 dias	Qua 15/01/25																								
69		Tetos	42 dias	Sex 14/02/25																								
60		Pavimentos	25 dias	Ter 11/03/25																								
61		Pinturas	35 dias	Sáb 05/04/25																								
62		Serralharias	30 dias	Ter 04/02/26																								
63		Execução de serralharias	30 dias	Ter 04/02/25																								
64		Carpintarias	120 dias	Sex 26/04/26																								
66		Carpintarias interiores	60 dias	Sex 25/04/25																								
68		Móveis de cozinha	60 dias	Ter 24/06/25																								
67		Outros	26 dias	Ter 24/08/26																								
68		Louças Sanitárias	20 dias	Ter 24/06/25																								
68		Diversos	25 dias	Ter 24/06/25																								
70		BLOCOS A, B	358 dias	Sáb 25/01/25																								
71		Ectabilidade	82 dias	Sáb 26/01/26																								
72		Infraestrutura	22 dias	Sáb 26/01/26																								
73		Escavação para abertura de caboucos de fundação.	15 dias	Sáb 25/01/25																								
74		Execução de sapatas de fundação	7 dias	Dom 09/02/25																								
76		Superestrutura	80 dias	Dom 18/02/26																								
77		Piso 1	30 dias	Dom 16/02/25																								
77		Cobertura	30 dias	Ter 18/03/25																								
78		Arquitetura	308 dias	Ter 18/03/26																								
79		Paredes	106 dias	Ter 18/03/26																								
80		Execução de paredes de alvenaria	45 dias	Ter 18/03/25																								
81		Execução de forras de pladur	45 dias	Sáb 17/05/25																								
82		Execução de impermeabilizações e isolamentos	45 dias	Qui 17/04/25																								
83		Cobertura	60 dias	Qui 17/04/26																								
84		Execução de cobertura	50 dias	Qui 17/04/25																								
86		Revestimentos	146 dias	Qui 17/04/26																								
88		Paredes	80 dias	Qui 17/04/25																								
87		Tetos	60 dias	Sáb 17/05/25																								
88		Pavimentos	45 dias	Qua 11/06/25																								
89		Pinturas	45 dias	Sáb 26/07/25																								
90		Serralharias	46 dias	Qua 07/06/26																								
91		Execução de serralharias	45 dias	Qua 07/05/25																								
92		Carpintarias	168 dias	Sex 16/08/26																								
93		Carpintarias interiores	80 dias	Sex 15/08/25																								
94		Móveis de cozinha	76 dias	Seg 03/11/25																								
96		Outros	40 dias	Seg 08/11/26																								
96		Louças Sanitárias	40 dias	Seg 03/11/25																								
97		Diversos	35 dias	Seg 03/11/25																								
98		INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS	254 dias	Sáb 14/12/24																								
99		Rede de abastecimento de água	254 dias	Sáb 14/12/24																								
100		Rede de drenagem residual doméstica	254 dias	Sáb 14/12/24																								
101		Rede de drenagem pluvial	254 dias	Sáb 14/12/24																								
102		INSTALAÇÕES ELÉTRICAS, ITED E SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS	450 dias	Dom 11/08/24																								
103		Elétricas	450 dias	Dom 11/08/24																								
104		ITED	450 dias	Dom 11/08/24																								
106		Segurança contra incêndios	450 dias	Dom 11/08/24																								
108		UPAC	172 dias	Qui 23/01/25																								
107		Instalações de painéis fotovoltaicos (Bloco DEF)	45 dias	Qui 23/01/25																								
108		Instalações de painéis fotovoltaicos (Bloco C)	25 dias	Seg 24/02/25																								
109		Instalações de painéis fotovoltaicos (Bloco AB)	35 dias	Sex 06/06/25																								
110		Testes e ensaios finais	3 dias	Sex 11/07/25																								
111		AVAC	396 dias	Sáb 14/12/24																								
112		AQS	381 dias	Sáb 14/12/24																								
113		Ventilação	381 dias	Sáb 14/12/24																								
114		Ar condicionado	381 dias	Sáb 14/12/24																								
116		Testes e ensaios finais	15 dias	Ter 30/12/25																								
118		PAISAGISMO	450 dias	Sáb 05/10/24																								
117		Preparação de pavimentos	250 dias	Sáb 05/10/24																								
118		Rede de rega	100 dias	Qui 12/06/25																								
119		Plantações	100 dias	Sáb 20/09/25																								
120		RECEÇÃO PROVISÓRIA	0 dias	Seg 22/07/24																								

Tarefa		Resumo de Projeto		Aperceção		Tarefas Externas	
Tarefa Crítica		Tarefa Inativa		Resumo de Aquecimento Manual		Marcos Externos	
Classe		Marcos Inativos		Resumo Manual		Pinos	
Marcos		Resumo Inativo		Aperceção Início		Progresso	
Sumário		Tarefa Manual		Aperceção Concluída		Progresso Manual	

ANEXO 2 – Boletim de aprovação de materiais das Ilhas da Lomba

Boletim de Aprovação de Materiais e Equipamentos

1. A preencher pelo empreiteiro															
Dono da Obra: PORTO VIVO, SRU - SOCIEDADE DE REABILITAÇÃO URBANA DO PORTO	BAME nº 22														
Obra: 224															
Empreitada: Empreitada de construção das ilhas da Lomba, Rua Vera Cruz Nº 26-48, Rua do Lourenço Nº 3-45, Travessa da Lomba Nº 29-54, Porto															
Empreiteiro: RBT, Construção, SA															
Projectista: Sombras Verticais - Arquitetura, Lda.															
Descrição do material ou equipamento:															
Previsto em projecto: (...) sobre manta acústica (...)	Proposto: Fibrocoustic band														
Elementos de projecto de referência:															
Peças escritas: Art.º 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.5	Peças desenhadas: EX.07.01.01														
Elementos apresentados:															
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Amostras</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Catálogos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Documentação técnica</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td>Documentos de homologação</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Certificados de conformidade</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td>Informação do fabricante/fornecedor</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Outros</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Amostras		Catálogos		Documentação técnica	X	Documentos de homologação		Certificados de conformidade	X	Informação do fabricante/fornecedor		Outros	
Amostras															
Catálogos															
Documentação técnica	X														
Documentos de homologação															
Certificados de conformidade	X														
Informação do fabricante/fornecedor															
Outros															
Empreiteiro: DIOGO SILVA	Data: 24/10/2024														
2. A preencher pela Fiscalização/Projectistas															
Aceite s/ restrições <input checked="" type="checkbox"/> Aceite c/ restrições <input type="checkbox"/> Rejeitado <input type="checkbox"/>															
Observações: 															
Fiscalização/Projectista: Ricardo Nunes	Data: 31/10/2024														

ANEXO 3 – Modelo de trabalhos complementares das Ilhas da Lomba

TRABALHOS COMPLEMENTARES nº: 10_Rev. 002

LISTA DE PREÇOS UNITÁRIOS

Art.	Designação	Un.	Quant.	Preço Unit.	Preço Total
1	Estrutura				
1.1	Fundações em betão ciclópico:				
1.1.2	Bloco B				
1.1.1	Poços 150cm (S4)				
2.2.1	Escavação para fundações em terrenos de qualquer natureza e posterior compactação assegurando 200 kPa, incluindo carga, movimentação e transporte dos materiais resultantes da escavação a vazadouro, equipamentos de entivação e segurança necessários, incluindo todos os trabalhos e demais materiais necessários à sua correcta execução.	m3	19,61	11,73 €	229,97 €
	Execução de enchimento de poço em betão ciclópico, com manilhas de betão prefabricadas.	m3	4,86	187,91 €	912,70 €
	Acréscimo de pilar de betão armado (aproximadamente 1,3).	m3	0,26	971,48 €	252,58 €
1.1.2	Poços 100cm (S1)				
2.2.1	Escavação para fundações em terrenos de qualquer natureza e posterior compactação assegurando 200 kPa, incluindo carga, movimentação e transporte dos materiais resultantes da escavação a vazadouro, equipamentos de entivação e segurança necessários, incluindo todos os trabalhos e demais materiais necessários à sua correcta execução.	m3	9,94	11,73 €	116,57 €
	Execução de enchimento de poço em betão ciclópico, com manilhas de betão prefabricadas.	m3	2,16	187,91 €	405,65 €
	Acréscimo de pilar de betão armado (aproximadamente 1,3m).	m3	0,31	971,48 €	303,10 €
1.1.2	Poços 2x100cm (S2)				
2.2.1	Escavação para fundações em terrenos de qualquer natureza e posterior compactação assegurando 200 kPa, incluindo carga, movimentação e transporte dos materiais resultantes da escavação a vazadouro, equipamentos de entivação e segurança necessários, incluindo todos os trabalhos e demais materiais necessários à sua correcta execução.	m3	17,90	11,73 €	209,94 €
	Execução de enchimento de poço em betão ciclópico, com manilhas de betão prefabricadas.	m3	7,77	187,91 €	1 460,33 €
	Acréscimo de pilar de betão armado (aproximadamente 1,5m).	m3	0,73	971,48 €	707,24 €
	Adaptação da armadura de sapatas S2 para as novas dimensões (esta armadura já se encontra moldada para as dimensões das sapatas S2 anteriormente previstas).				
	Mão de obra (2 homens 1 dia a 14€/hora)	un	7,00	36,00 €	252,00 €
1.1.2	Bloco A				
1.1.1	Poços 150cm (S4)				
2.2.1	Escavação para fundações em terrenos de qualquer natureza e posterior compactação assegurando 200 kPa, incluindo carga, movimentação e transporte dos materiais resultantes da escavação a vazadouro, equipamentos de entivação e segurança necessários, incluindo todos os trabalhos e demais materiais necessários à sua correcta execução.	m3	14,84	11,73 €	174,03 €
	Execução de enchimento de poço em betão ciclópico, com manilhas de betão prefabricadas.	m3	12,36	187,91 €	2 323,25 €
	Acréscimo de pilar de betão armado (aproximadamente 1,5m).	m3	0,48	971,48 €	466,31 €
1.1.2	Poços 100cm (S1)				
2.2.1	Escavação para fundações em terrenos de qualquer natureza e posterior compactação assegurando 200 kPa, incluindo carga, movimentação e transporte dos materiais resultantes da escavação a vazadouro, equipamentos de entivação e segurança necessários, incluindo todos os trabalhos e demais materiais necessários à sua correcta execução.	m3	6,59	11,73 €	77,35 €
	Execução de enchimento de poço em betão ciclópico, com manilhas de betão prefabricadas.	m3	5,50	187,91 €	1 032,56 €
	Acréscimo de pilar de betão armado (aproximadamente 1,5m).	m3	0,48	971,48 €	466,31 €
1.1.2	Poços 2x100cm (S2)				
2.2.1	Escavação para fundações em terrenos de qualquer natureza e posterior compactação assegurando 200 kPa, incluindo carga, movimentação e transporte dos materiais resultantes da escavação a vazadouro, equipamentos de entivação e segurança necessários, incluindo todos os trabalhos e demais materiais necessários à sua correcta execução.	m3	13,19	11,73 €	154,70 €
	Execução de enchimento de poço em betão ciclópico, com manilhas de betão prefabricadas.	m3	10,99	187,91 €	2 065,11 €
	Acréscimo de pilar de betão armado (aproximadamente 1,5m).	m3	0,96	971,48 €	932,62 €

TRABALHOS COMPLEMENTARES nº: 10_Rev. 002

LISTA DE PREÇOS UNITÁRIOS

Art.	Designação	Un.	Quant.	Preço Unit.	Preço Total
	Adaptação da armadura de sapatas S2 para as novas dimensões (esta armadura já se encontra moldada para as dimensões das sapatas S2 anteriormente previstas).				
	Mão de obra (2 homens 1 dia a 14€/hora)	un	8,00	36,00 €	288,00 €
	Apoio técnico (20€/h)	h	4,00	20,00 €	80,00 €
1.1.2	Poços 100cm (S1 - Bloco C)				
2.2.1	Escavação para fundações em terrenos de qualquer natureza e posterior compactação assegurando 200 kPa, incluindo carga, movimentação e transporte dos materiais resultantes da escavação a vazadoiro, equipamentos de entivação e segurança necessários, incluindo todos os trabalhos e demais materiais necessários à sua correcta execução.	m3	3,77	11,73 €	44,20 €
	Execução de enchimento de poço em betão ciclópico, com manilhas de betão prefabricadas.	m3	3,14	187,91 €	590,03 €
	Acréscimo de pilar de betão armado (aproximadamente 1,5m).	m3	0,24	971,48 €	233,16 €
TOTAL GLOBAL					13 777,71 €

Notas:

Ao preço acresce o IVA a taxa legal em vigor

Os preços apresentados serão revistos com base na data da proposta inicial

Prazo de Execução: 120 dias

Validade da Proposta: 10 dias

ANEXO 4 – Modelação BIM da empreitada das Ilhas da Lomba



Figura 21 – Modelação parcial a cores, 3D do projeto das Ilhas da Lomba

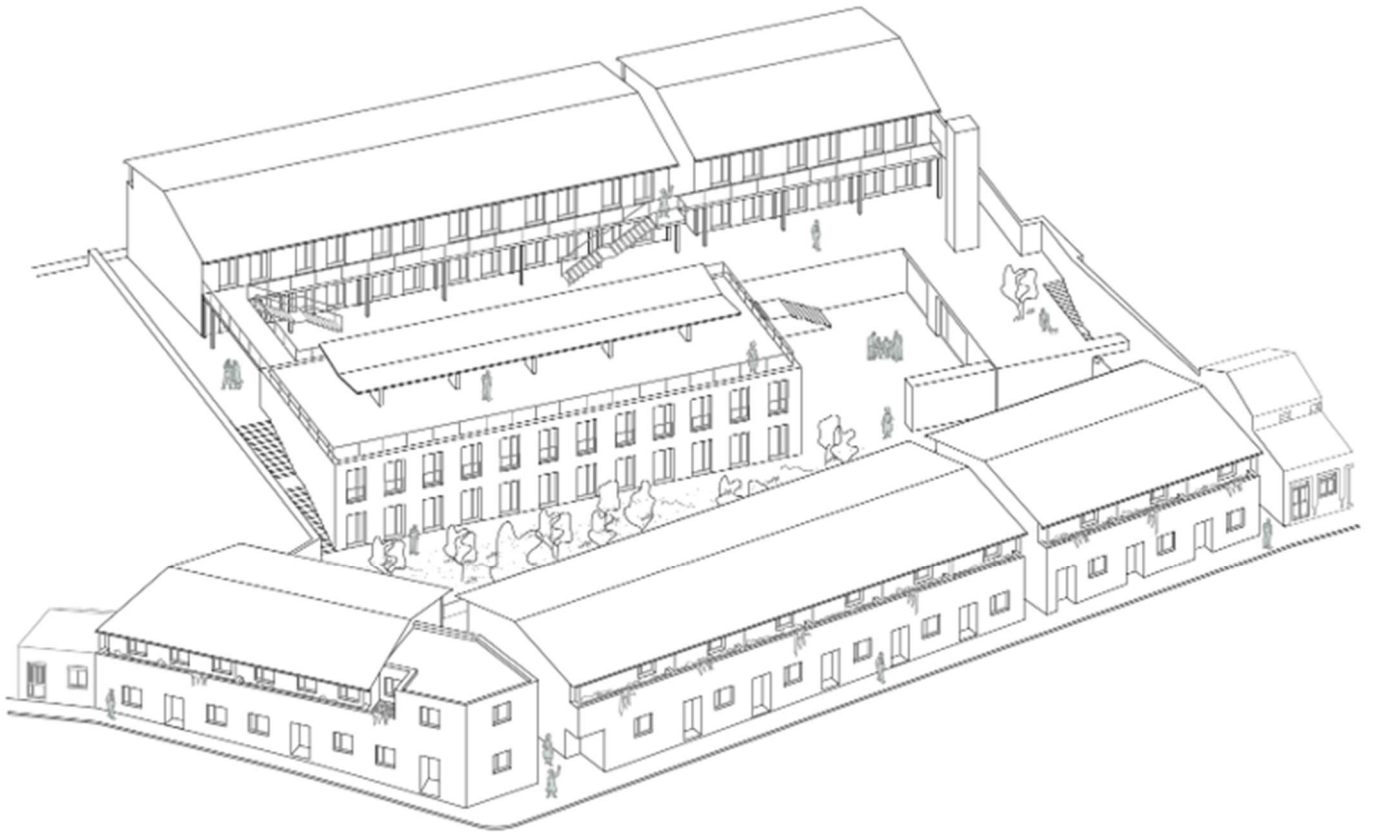


Figura 22 - Modelação total 3D do projeto das Ilhas da Lomba