

AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE TRABALHOS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO POR RECURSO A METODOLOGIAS WORKSAMPLING

CATARINA DA ROCHA BARBOSA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

Coorientador: Professor Doutor Diego Calvetti Ney

JUNHO DE 2025

Versão para Discussão

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2024/2025

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2024/2025 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2025*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais, a fonte da minha força e a minha maior inspiração

Se podes sonhar, podes realizar.

Walt Disney

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação representa o culminar de uma etapa importante da minha vida académica, que só foi possível graças ao apoio, incentivo e orientação de diversas pessoas, a quem aqui expresso a minha sincera gratidão.

Ao meu orientador, Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa, e ao meu coorientador, Professor Doutor Diego Calvetti Ney, pela disponibilidade, pelo acompanhamento e pelos valiosos ensinamentos ao longo deste processo. O vosso apoio foi crucial para o desenvolvimento deste trabalho.

À Construções Corte Reto – Engenharia e Construção, SA, pela oportunidade de realizar esta dissertação num ambiente profissional enriquecedor, e ao Engenheiro Rui Gonçalves, pelo suporte e orientação ao longo desta experiência.

Aos meus pais - as suas palavras de encorajamento nos momentos mais difíceis, sem eles nada disto teria sido possível.

À minha família por todo o amor e incentivo ao longo do meu percurso académico.

Aos meus amigos, pelas lágrimas que derramamos e pelos milhares de risos que demos juntos ao longo destes cinco anos.

Por fim, uma dedicatória especial aos meus avós maternos, que infelizmente já não estão presentes para partilhar este momento comigo, mas cujo amor e ensinamentos permanecerão sempre comigo.

RESUMO

A reabilitação energética de edifícios existentes, especialmente quando habitados, tem ganho crescente relevância no contexto das metas europeias de eficiência energética e sustentabilidade. Este tipo de intervenção representa uma parcela significativa das obras no setor da construção, implicando desafios logísticos e operacionais particulares. Apesar da sua frequência e importância, são ainda escassos os estudos sistemáticos que analisem a produtividade neste contexto específico, o que justifica a pertinência da presente investigação.

Esta dissertação tem como objetivo analisar e avaliar a produtividade na execução de obras de reabilitação energética em edifícios habitados, com foco num caso de estudo real. Tendo em conta as particularidades deste tipo de intervenção – nomeadamente a complexidade logística, a presença de moradores e a multiplicidade de tarefas – foram aplicadas duas metodologias complementares de análise: uma análise macro, centrada no desempenho diário da equipa, e uma abordagem micro, baseada em amostragem de trabalho (*worksampling*).

A análise marco permitiu quantificar o rendimento diário através da relação entre o volume de trabalho executado e os recursos humanos mobilizados (horas-homem), possibilitando uma leitura geral da eficiência da equipa ao longo do tempo. Já a análise micro permitiu observar, com detalhe, como o tempo dos trabalhadores é distribuído por diferentes categorias de atividade, recorrendo ao modelo *Worker 4.0®*, que distingue entre atividades produtivas, contributivas e não produtivas.

Os dados recolhidos revelaram padrões de produtividade, apontaram condicionantes operacionais significativas e permitiram identificar oportunidades de melhoria. A conjugação destas metodologias contribui para uma melhor compreensão do comportamento produtivo em contextos de reabilitação e reforça a importância de ferramentas de medição aplicadas à gestão da obra.

PALAVRAS-CHAVE: produtividade, reabilitação energética, *worksampling*, eficiência energética, métodos de observação

ABSTRACT

The energy rehabilitation of existing buildings, especially when inhabited, has gained increasing relevance in the context of the European energy efficiency and sustainability targets. This type of intervention represents a significant portion of the works in the construction sector, implying particular logistical and operational challenges. Despite its frequency and importance, there are still few systematic studies that analyze productivity in this specific context, which justifies the relevance of the present research.

This dissertation aims to analyze and evaluate the productivity in the execution of energy rehabilitation works in inhabited buildings, focusing on a real case study. Taking into account the particularities of this type of intervention – namely the logistical complexity, the presence of residents and the multiplicity of tasks – two complementary analysis methodologies were applied: a macro analysis, focused on the daily performance of the team, and a micro approach, based on work sampling.

The macro analysis allowed to quantify the daily performance through the relationship between the volume of work performed and the human resources mobilized (man-hours), allowing an overall reading of the team's efficiency over time. The micro analysis, on the other hand, allowed us to observe, in detail, how workers' time is distributed by different categories of activity, using the Worker 4.0® model, which distinguishes between productive, contributory and non-productive activities.

The data collected revealed productivity patterns, pointed out significant operational constraints and allowed the identification of opportunities for improvement. The combination of these methodologies contributes to a better understanding of productive behavior in rehabilitation contexts and reinforces the importance of measurement tools applied to the management of the work.

KEYWORDS: productivity, energy rehabilitation, worksampling, energy efficiency, observation methods

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)	XIV
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	XVI

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. DESAFIOS E LIMITAÇÕES.....	2
1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2

2. REABILITAÇÃO ENERGÉTICA	3
2.1. CONCEITO E IMPORTÂNCIA.....	3
2.2. NORMAS E DIRETRIZES APLICÁVEIS.....	5
2.2.1. ENQUADRAMENTO EUROPEU	5
2.2.2. ENQUADRAMENTO NACIONAL	5
2.2.3. REFLEXÃO CRÍTICA	6
2.3. TÉCNICAS E ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO	8
2.3.1. ESTRATÉGIAS PASSIVAS.....	8
2.3.2. ABORDAGENS ATIVAS	10
2.3.3. ABORDAGEM INTEGRADA E CICLO DE VIDA	12
2.4. IMPACTO DA REABILITAÇÃO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	13
2.5. ESTUDOS DE PRODUTIVIDADE EM CONTEXTO DE REABILITAÇÃO	14

3. PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO E TECNOLOGIAS ASSOCIADAS.....	17
3.1. CONCEITO E PRINCÍPIOS DA PRODUTIVIDADE	17
3.2. FATORES QUE INFLUENCIAM A PRODUTIVIDADE.....	18
3.2.1. FATORES TÉCNICOS.....	19
3.2.2. FATORES ORGANIZACIONAIS	19
3.2.3. FATORES HUMANOS.....	20

3.2.4. CONCLUSÕES GERAIS.....	20
3.3. MODELOS DE MEDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE.....	21
3.3.1. ESCALAS: MACRO, MICRO E NANO.....	21
3.3.2. FÓRMULAS DE MEDIÇÃO.....	22
3.4. TECNOLOGIAS E ABORDAGENS PARA A PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO	22
3.4.1. LEAM CONSTRUCTION (KAIZEN, JIT, LPS).....	23
3.4.2. BIM E DIGITALIZAÇÃO.....	23
3.4.3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, IOT E PLATAFORMAS DE ANÁLISE DE DADOS.....	25
3.4.4. SOFTWARES E APLICAÇÕES DIGITAIS PARA GESTÃO DA PRODUTIVIDADE	26
3.5. WORKSAMPLING.....	27
3.5.1. CONCEITO E PRINCÍPIOS	27
3.5.2. APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	28
3.5.3. VANTAGENS E LIMITAÇÕES	29
3.5.4. ESTUDOS RELEVANTES E EXEMPLOS PRÁTICOS	30
3.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
4. CASO DE ESTUDO.....	33
4.1. INTRODUÇÃO	33
4.2. DEFINIÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	33
4.2.1. EMPRESA	33
4.2.2. OBRA	33
4.2.3. DIAGNÓSTICO DO EXISTENTE E PATOLOGIAS RELEVANTES	36
4.2.4. RECURSOS UTILIZADOS.....	37
4.2.4.1. Material	37
4.2.4.2. Equipamento	37
4.2.4.3. Maquinaria	39
4.2.4.4. Resumo dos Materiais.....	40
4.2.5. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	40
4.2.5.1. COBERTURAS	40
4.2.5.2. FACHADAS E ELEMENTOS EXTERIORES	40
4.2.5.3. CAIXA DE ESCADAS	41
4.2.5.4. CAIXILHARIAS	41
4.2.5.5. REVESTIMENTOS E ESCADAS	42
4.2.5.6. ZONAS COMUNS	43
4.2.5.7. INTERIOR DAS FRAÇÕES	43

4.2.5.8. EQUIPAMENTO SANITÁRIO E DE COZINHA	43
4.2.5.9. TRATAMENTO DE HUMIDADES.....	44
4.2.6. PROCESSOS CONSTRUTIVOS IMPLEMENTADOS	44
4.2.6.1. SEQUÊNCIA TÍPICA DE EXECUÇÃO.....	44
4.2.6.2. EQUIPAS E ESPECIALIDADES ENVOLVIDAS	44
4.2.6.3. DESAFIOS TÉCNICOS OBSERVADOS	45
4.2.7. TRABALHOS OBSERVADOS	45
4.3. CONDICIONANTES DA OBRA	45
4.3.1. LOCAL E TIPO DE OBRA.....	45
4.3.2. CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	46
4.4. ANÁLISE MICRO – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DIÁRIO	47
4.4.1. CARACTERIZAÇÃO.....	47
4.4.2. CONDICIONANTES	47
4.4.3. APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO	47
4.5. ANÁLISE NANO - AVALIAÇÃO POR AMOSTRAGEM DE TRABALHO (WORKSAMPLING).....	48
4.5.1. CARACTERIZAÇÃO.....	48
4.5.2. CONDICIONANTES	50
4.5.3. APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO	51
4.6. SÍNTESE E IMPLICAÇÕES PARA A ANÁLISE DE RESULTADOS	52
 5. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	 55
5.1. INTRODUÇÃO	55
5.2. ANÁLISE MICRO - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DIÁRIO.....	55
5.2.1. RESULTADOS.....	55
5.2.1.1. Pintura	56
5.2.1.2. Cerâmicos.....	58
5.2.1.3. Carpintaria	60
5.2.2. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	62
5.2.2.1. Pintura	63
5.2.2.2. Cerâmicos.....	64
5.2.2.3. Carpintaria	65
5.2.2.4. Comparação de Especialidades.....	65
5.3. ANÁLISE MICRO - AVALIAÇÃO POR WORKSAMPLING (AMOSTRAGEM DE TRABALHO)	68
5.3.1. RESULTADOS.....	68
5.3.2. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	70

5.3.2.1. FASE I – ATIVIDADES POR CATEGORIA	70
5.3.2.2. FASE II - PROCESSO.....	72
5.3.2.3. FASE III – ESTADO PRODUTIVO	73
5.3.2.4. ÍNDICE DE MECANIZAÇÃO.....	75
5.3.3. ANÁLISE COMPARATIVA.....	76
 6. CONCLUSÕES	77
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
 7. ANEXOS	83
 8. ANEXO I: TABELAS E GRÁFICOS DETALHADOS PARA A ANÁLISE DE RESULTADOS	85
 9. ANEXO II: DOCUMENTOS FORNECIDOS DO CASO DE ESTUDO.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Níveis atuais dos edifícios (fonte: autora)	4
Figura 2 - Distribuição das emissões de CO ₂ em Portugal por setor (%).....	4
Figura 3 – Exemplo de um Certificado Energético	6
Figura 4 - Exemplo de ETICS.....	8
Figura 5 - Janela de Vidro Duplo com Câmara de Árgon	9
Figura 6 - Pavimento Radiante	10
Figura 7 - Painel Fotovoltaico	10
Figura 8 - Exemplo de Sistema de Ventilação Mecânica Controlada.....	11
Figura 9 - Integração de estratégias passivas e ativas na reabilitação energética de edifícios (fonte: autora)	13
Figura 10 - Redução média de consumo energético por tipo de medida aplicada (fonte: autora).....	13
Figura 11 - Esquema representativo da lógica da produtividade (fonte: autora)	17
Figura 12 - Fatores que influenciam a produtividade (fonte: autora).....	19
Figura 13 - Esquema de organização de um estaleiro e zonas operacionais (fonte: autora).....	20
Figura 14 - Escalas de análise da produtividade na construção: macro, micro e nano (fonte:autora).....	22
Figura 15 - 5 Principais conceitos do LPS (fonte: autora).....	23
Figura 16 - Utilizações do BIM na construção.....	24
Figura 17 - Exemplo de drone utilizado na construção.....	24
Figura 18 - Exemplo de scanner usado na construção	24
Figura 19 - Tendências Tecnológicas na Reabilitação Energética (fonte: autora).....	26
Figura 20 - Ecossistema Digital na Reabilitação Energética (fonte: autora).....	27
Figura 21 - Etapas do Método <i>worksampling</i> (fonte: autora)	28
Figura 22 - Áreas de Aplicação do <i>worksampling</i> na Construção.....	29
Figura 23 - Exemplo de Resultados com <i>worksampling</i> (Estudo Urbano, 2024).....	30
Figura 24 - Vista aérea do conjunto edificado e identificação dos blocos	34
Figura 25 - Fachada principal inicial do edifício 2.....	34
Figura 26 - Fachada tardoz do edifício 4	34
Figura 27 - Cobertura com acabamento final em godo	35
Figura 28 - Cerâmico utilizado nas zonas comuns.....	37
Figura 29 - Exemplo de utilização da fita métrica no estudo	38

Figura 30 - Serra circular de mesa utilizada para corte de rodapés.....	38
Figura 31 - Exemplo de trabalhador a utilizar a serra de mesa	38
Figura 32 - <i>Bobcat</i> a ser carregado com material	39
Figura 33 - Armazenamento de materiais em obra	39
Figura 34 - Resultado da fachada	41
Figura 35 - Exemplo de caixilharia instalada.....	42
Figura 36 - Exemplo de caixilharia instalada - outro ângulo e tipo de janela diferente	42
Figura 37 - Caixa de escadas com cerâmicos instalados.....	42
Figura 38 - Trabalhador a colocar cerâmico nas instalações sanitárias.....	43
Figura 39 - Exemplo de cozinha praticamente finalizada	44
Figura 40 - Espaço restringido devido à permanência de mobiliário e bens dos moradores	45
Figura 41 - Cômodo com mobiliário.....	46
Figura 42 - Esquema-tipo de execução numa obra corrente.....	50
Figura 43 - Esquema-tipo da execução da obra analisada.....	51
Figura 44 - Evolução da produtividade (dias de visita)	63
Figura 45 - Evolução do desempenho diário (dias de visita)	63
Figura 46 - Evolução da produtividade (dias de visita)	64
Figura 47 - Evolução do desempenho diário (dias de visita)	64
Figura 48 - Evolução da produtividade (dias de visita)	65
Figura 49 - Evolução do desempenho diário (dias de visita)	65
Figura 50 - Comparação dos desempenhos diários de pintura, cerâmicos e carpintaria.....	66
Figura 51 - Comparação da produtividade diária de pintura, cerâmicos e carpintaria	66
Figura 52 - Abrangência dos valores de desempenho e situação do caso de estudo (fonte: autora) ..	67
Figura 53 - Abrangência dos valores da produtividade e situação do caso de estudo (fonte: autora) .	68
Figura 54 - Distribuição percentual das atividades.....	71
Figura 55 - distribuição percentual dos processos	72
Figura 56 - Distribuição percentual do estado produtivo	74

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Quadro 1 - Tabela Comparativa das Normas e Diretivas	7
Quadro 2 - Eficiência comparativa de estratégias passivas na reabilitação energética.....	9
Quadro 3 - Comparação de estratégias ativas em reabilitação energética	12
Quadro 4 - Retorno Médio do Investimento em Projetos de Reabilitação Energética	14
Quadro 5 - Diferenças de Produtividade: Construção Nova vs Reabilitação	16
Quadro 6 - Comparação da produtividade: construção nova vs reabilitação	18
Quadro 7 – Tabela comparativa dos fatores que influenciam a produtividade	20
Quadro 8 - Tabela comparativa das abordagens tecnológicas e metodológicas	26
Quadro 9 - Construção Nova vs Reabilitação Energética	31
Quadro 10 - Principais Patologias Observadas	36
Quadro 11 - Recursos utilizados no caso de estudo	40
Quadro 12 - Valor do desvio padrão Z.....	48
Quadro 13 - Processos Utilizados na Amostragem de Trabalho	49
Quadro 14 - Quadro referência de registo das observações	52
Quadro 15 - Dados recolhidos para a avaliação do desempenho (dias de visita).....	56
Quadro 16 - Desempenho Diário (dias de visita)	57
Quadro 17 - Produtividade diária para a atividade de pintura.....	58
Quadro 18 - Dados recolhidos para a avaliação do desempenho (dias de visita).....	59
Quadro 19 - Desempenho Diário (dias de visita)	60
Quadro 20 - Produtividade diária para a atividade de cerâmicos	60
Quadro 21 - Dados recolhidos para a avaliação do desempenho (dias de visita).....	61
Quadro 22 - Desempenho Diário (dias de visita)	62
Quadro 23 - Produtividade diária para a atividade de carpintaria	62
Quadro 24 - Valores esperados de produtividade e desempenho	66
Quadro 25 - Situação da atividade conforme os valores de produtividade	67
Quadro 26 - Distribuição global das observações segundo o modelo <i>Worker 4.0</i> ®.....	69
Quadro 27 - Número mínimo de observações para os níveis de confiança	70
Quadro 28 - Distribuição percentual dos processos.....	72
Quadro 29 - Distribuição percentual do estado produtivo.....	73
Quadro 30 - Síntese da distribuição percentual por especialidade	74

Quadro 31 - Índice de mecanização	75
---	----

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

UE – União Europeia

GEE – Gases com Efeito de Estufa

AEA – Agência Europeia do Ambiente

CO₂ – Dióxido de Carbono

PNEC – Plano Nacional de Energia e Clima

BPIE – *Building Performance Institute Europe*

EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*

nZEB – *Near Zero Emission Buildings*

PEE – Pacto Ecológico Europeu

RDE - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios

SCE - Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior

ETICS – Isolamento pelo Exterior

EPS - Poliestireno Expandido

VMC – Ventilação Mecânica Controlada

IoT - *Internet of Things*

PVC – Policloreto de Vinila

XPS – Poliestireno Extrudido

AQS – Água Quente Sanitária

ROI – Tempos de Retorno

BIM - *Building Information Modeling*

LC - *Lean Construction*

LPS - *Last Planner System*

IA – Inteligência Artificial

LM - *Lean Manufacturing*

JIT – *Just-in-Time*

3D – três dimensões

LiDAR – *Light Detection and Ranging*

ERP - *Enterprise Resource Planning*

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

FCT – Fator de Contribuição Total

RFID - *Radio-Frequency Identification*

CTE – Código Técnico da Edificação

LSF - *Light Steel Framing*

OSB - *Oriented Strand Board*

SBS – Styrene-Butadiene-Styrene

MDF – Medium Density Fiberboard

LSG – Light Steel Grid

MgO – Óxido de Magnésio

W4MP - *Worker 4.0[®] Motion Productivity*

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

A eficiência energética dos edifícios tem se tornado um dos principais focos das políticas ambientais e económicas no mundo, principalmente devido ao elevado impacto que o setor da construção tem no consumo global de energia. Segundo os dados fornecidos pelo Conselho da União Europeia (CUE), os edifícios “são responsáveis por aproximadamente 40% do consumo de energia final e por 36% das emissões de gases com efeito de estufa”. A Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*) é um exemplo de uma regulamentação implementada pela União Europeia (UE) que impulsiona a adoção de estratégias de reabilitação para melhorar a eficiência do parque edificado existente. A necessidade da adaptação dos edifícios existentes às exigências normativas e ambientais, bem como a procura por soluções habitacionais mais sustentáveis, contribui para o aumento da relevância da reabilitação energética.

Em Portugal, a maioria dos edifícios já existia antes da implementação das normas de eficiência energética, pelo que muitos apresentam elevados consumos energéticos e uma baixa retenção térmica. A reabilitação energética surge desta forma como uma necessidade para melhorar o conforto térmico e consequentemente diminuir a dependência de fontes de energia não renováveis e reduzir o desperdício energético. Assim, o crescente incentivo da reabilitação de edifícios impulsiona a relevância deste tema.

Não obstante, um dos principais desafios destas intervenções situa-se na gestão da produtividade em obra. A construção civil é um setor que possui um dos menores crescimentos de produtividade devido à complexidade das tarefas executadas e à elevada dependência de mão de obra. Os métodos tradicionais de medições de produtividade como os diários de obra apresentam limitações na obtenção de dados viáveis. Estas limitações levaram ao crescimento do uso da metodologia *worksampling* que surge como uma ferramenta eficaz que é capaz de completar as lacunas dos métodos tradicionais, permitindo a observação amostral do trabalho sem interferir com o ritmo da obra de forma direta.

A técnica *worksampling* permite identificar os tempos produtivos e não produtivos, facilitando a perceção das tarefas onde ocorrem perdas de eficiência e de como otimizar os fluxos de trabalho. A aplicação desta técnica na reabilitação energética possibilita o fornecimento de dados objetivos que permitem uma melhor gestão da obra, contribuindo diretamente para uma maior redução de custos e uma maior eficiência na utilização de recursos.

Com a análise detalhada da aplicação da metodologia *worksampling* na obra em estudo, esta dissertação vai permitir avaliar a produtividade das atividades de reabilitação energética nos edifícios residenciais. Recorrendo à recolha sistemática de dados em campo, vai ser possível identificar padrões de desempenho e oportunidades de otimização nos processos construtivos. Assim, a aplicação desta abordagem vai contribuir diretamente para estabelecer relações entre tempo de trabalho, eficiência

operacional e impacto das intervenções energéticas, o que possibilita uma análise objetiva da influência das metodologias adotadas no contexto de obra.

1.2. OBJETIVOS

Esta dissertação foca-se principalmente em avaliar a produtividade dos trabalhos de reabilitação energética em edifícios habitacionais, recorrendo a metodologias *worksampling*. Para obter estes dados, será efetuada uma recolha sistemática de dados em campo, analisando os padrões de desempenho, o índice de mecanização e a interação equipas/máquinas.

Para ajudar a alcançar o objetivo principal, foram definidos alguns objetivos específicos:

- Identificar as atividades-chave em obras de reabilitação da envolvente de edifícios;
- Obter a produtividade das tarefas críticas;
- Avaliação do nível de mecanização em obras de reabilitação;
- Apresentação de indicadores para avaliar níveis de produtividade;

1.3. DESAFIOS E LIMITAÇÕES

Este estudo enfrentou algumas limitações que condicionaram a sua abrangência. O acompanhamento da obra iniciou-se numa fase avançada, o que impossibilitou a análise de trabalhos como alterações de fachadas e coberturas. As observações focaram-se, assim, nas fases finais da empreitada, nomeadamente nos interiores e zonas comuns. Adicionalmente, a presença de moradores nas frações durante os trabalhos afetou o ritmo de execução e limitou o acesso contínuo a algumas áreas, condicionando a recolha de dados. A aplicação das metodologias de análise macro e micro exigiu também uma adaptação à realidade da obra, sendo necessário simplificar alguns indicadores e recorrer a observações intercaladas para garantir validade estatística.

Apesar destas limitações, os dados recolhidos permitiram obter resultados representativos e relevantes para a compreensão do desempenho produtivo numa obra de reabilitação com características semelhantes.

1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Tendo em consideração os objetivos propostos, o trabalho organizou-se em 5 capítulos que se descrevem a seguir de forma sucinta:

- O Capítulo 1 resume o enquadramento do estudo efetuado, os objetivos do mesmo, os desafios e limitações encontradas durante a realização do projeto e por fim uma descrição breve dos capítulos seguintes;
- O Capítulo 2 e o Capítulo 3 possuem o Estado da Arte, onde é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os principais temas relacionados com este estudo, incluindo a metodologia *worksampling* e as práticas de reabilitação energética;
- O Capítulo 4 inclui a metodologia que descreve o processo metodológico utilizado para avaliar a produtividade em obras de reabilitação energética;
- No Capítulo 5 abordam-se os resultados obtidos a partir da metodologia adotada e estes são analisados de acordo com os objetivos propostos;
- O Capítulo 6 sintetiza as principais descobertas do estudo e enfatiza sugestões para desenvolvimentos futuros.

2

REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

2.1. CONCEITO E IMPORTÂNCIA

A reabilitação energética assume um papel cada vez mais central nas estratégias de mitigação das alterações climáticas, particularmente no contexto da União Europeia (UE). Com o objetivo de alcançar a neutralidade carbónica até 2050, a EU tem vindo a reforçar a importância de intervir no edificado existente, responsável por uma parcela significativa das emissões de gases com efeito de estufa (GEE). De acordo com a Agência Europeia do Ambiente (AEA), “os edifícios são responsáveis por cerca de 36% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e por aproximadamente 40% do consumo energético na Europa”.

Neste capítulo, o termo “edificado existente” refere-se predominantemente a edifícios construídos antes da implementação das primeiras regulamentações térmicas em Portugal (anteriores a 1990), com especial foco nos edifícios residenciais e de serviços. Esta categoria inclui tanto construções antigas em alvenaria tradicional (anteriores à generalização do betão armado), como edifícios em betão armado com baixo desempenho energético. A descrição e a análise aqui apresentadas procuram, por isso, ser abrangentes, mas com foco particular nos casos onde as necessidades de reabilitação energética são mais críticas.

Esta realidade é ilustrada na Figura 1, onde se evidencia a elevada contribuição do setor dos edifícios para o total de emissões, destacando a urgência em implementar soluções de reabilitação sustentáveis e eficientes.

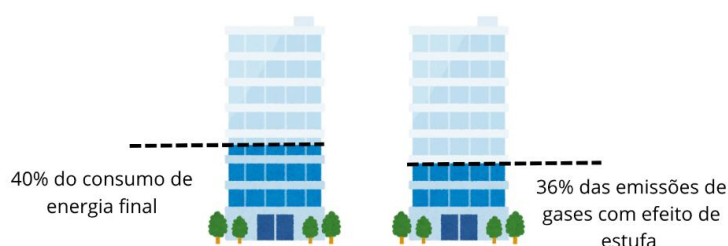


Figura 1 - Níveis atuais dos edifícios (fonte: autora)

A reabilitação energética surge assim como um vetor de transformação, com impactos significativos não apenas no plano ambiental, mas também económico e social. A aplicação coordenada de soluções passivas (como o reforço do isolamento térmico ou substituição de caixilharias) e ativas (como climatização eficiente, ventilação mecânica controlada ou sistemas solares) permite reduzir as necessidades energéticas dos edifícios, diminuir os custos de operação e melhorar o conforto dos utilizadores.

Em Portugal, os avanços são visíveis, mas assimétricos. Segundo a ADENE (2024), cerca de 30% dos edifícios habitacionais já evidenciam melhorias de desempenho energético, ultrapassando ligeiramente a média europeia (25%). No entanto, esta evolução positiva deve ser contextualizada. A maioria das intervenções foca-se ainda em medidas pontuais e a taxa de renovação do edificado continua significativamente abaixo das metas propostas no Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC 2030) e pelo BPIE (2021) - *Building Performance Institute Europe*. Isto limita o impacto estrutural da reabilitação energética a médio e longo prazo.

A Figura 2 permite observar a distribuição das emissões de CO₂ em Portugal por setores.

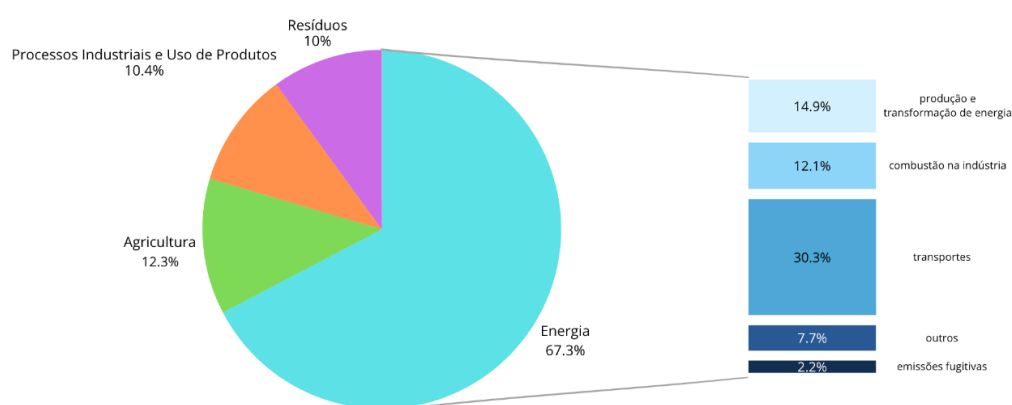


Figura 2 - Distribuição das emissões de CO₂ em Portugal por setor (%)

Além disso, o sucesso destas intervenções depende fortemente da sua adaptação ao contexto real do edifício, da capacitação técnica das equipas, da integração eficaz de soluções e da existência de incentivos consistentes. Em edifícios antigos, a conjugação de sistemas modernos com estruturas

degradadas exige um planeamento técnico detalhado e um conhecimento aprofundado dos materiais e processos construtivos.

Em suma, a reabilitação energética representa uma resposta necessária, mas desafiante. O seu verdadeiro impacto só será alcançado se for abordada de forma crítica e contextualizada, considerando não apenas os benefícios esperados, mas também as limitações técnicas, económicas e operacionais inerentes ao edificado existente.

2.2. NORMAS E DIRETRIZES APLICÁVEIS

A reabilitação energética de edifícios na UE é regulada por um conjunto articulado de diretrizes europeias e regulamentos nacionais, que visam garantir a eficiência energética, promover o uso de fontes renováveis e assegurar a qualidade do ambiente interior. Estes instrumentos normativos refletem uma estratégia concentrada para reduzir o consumo energético no setor da construção, considerado crítico para o cumprimento das metas climáticas.

2.2.1. ENQUADRAMENTO EUROPEU

A EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive* (Diretiva 2010/31/UE e respetivas revisões em 2018 e 2021) constitui a base legal da política europeia para o desempenho energético dos edifícios. Esta diretiva impõe requisitos mínimos aplicáveis a edifícios novos e existentes sujeitos a renovação profunda, promovendo a transição para os chamados nZEB – *nearly Zero Energy Buildings*. De acordo com as revisões mais recentes da EPBD, os edifícios existentes classificados atualmente em classes energéticas mais baixas (F ou G) deverão ser renovados, de forma a alcançar, no mínimo, a classificação energética E até 2030.

Complementarmente, a Diretiva 2012/27/EU, relativa à eficiência energética, estabelece metas vinculativas para os Estados-Membros, obrigando à criação de planos nacionais de ação energética e ao incentivo da reabilitação do edificado.

O programa “Objetivo 55” (*Fit for 55*) surge como meta integrada no pacote do Pacto Ecológico Europeu (PEE), propondo uma redução mínima de 55% das emissões de GEE até 2030 (face a 1990). A renovação energética do parque edificado é considerada um dos pilares estratégicos para alcançar esse objetivo, dada a sua elevada pegada carbónica.

2.2.2. ENQUADRAMENTO NACIONAL

Em Portugal, a transposição destas diretivas europeias materializa-se em instrumentos como o Decreto-Lei nº 95/2019, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios (RDE), o Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE) e o PNEC 2030.

O Decreto-Lei nº 95/2019 estabelece o SCE, aplicável quer aos edifícios sujeitos a obras de reabilitação quer aos edifícios novos. Estabelece os requisitos mínimos de desempenho energético em edifícios sujeitos a obras ou novos, incidindo sobre o isolamento térmico, a ventilação, o uso de energias renováveis e os sistemas de climatização. Exige uma avaliação de desempenho energético do edifício antes e depois da intervenção de reabilitação de forma a obter a certificação energética, que passa a ser obrigatória. A Figura 3 apresenta um exemplo de um certificado energético utilizado em Portugal.



Figura 3 – Exemplo de um Certificado Energético

O SCE é o sistema nacional utilizado para certificar a qualidade do ar interior e a eficiência energética dos edifícios em Portugal, tornando-se uma ferramenta crucial para medir e certificar a eficiência energética e a qualidade do ar interior, antes e depois das intervenções.

O RDE define os critérios técnicos para projetos de reabilitação energética em Portugal, com foco em assegurar que as intervenções cumprem os padrões de eficiência energética. Este regulamento determina que todos os edifícios renovados devem atingir valores mínimos de desempenho pré-determinados, considerando a classificação energética antes e após a intervenção, principalmente em termos de sistemas de ventilação e aquecimento e também isolamento. Para além disso, também define as condições para o uso de fontes de energia renováveis e possibilitam a integração das tecnologias mais sustentáveis nos projetos.

Por fim, o PNEC 2030 é uma estratégia nacional que define metas de eficiência energética e integração de energias renováveis para a próxima década, alinhadas com o objetivo europeu de neutralidade carbónica até 2050.

Estes documentos estabelecem exigências claras para a quantificação energética dos edifícios, reforçando a obrigatoriedade de avaliações energéticas pré e pós-intervenção, bem como a integração de sistemas passivos e ativos eficientes.

2.2.3. REFLEXÃO CRÍTICA

Apesar da robustez normativa, existem limitações práticas na sua aplicação. Vários estudos (como Ribeiro & Henriques, 2019) apontam para a dificuldade na fiscalização e monitorização contínua dos edifícios após a certificação, bem como para a complexidade técnica e burocrática dos procedimentos. A existência de múltiplos documentos e sistemas pode criar entraves à agilização dos processos de

licenciamento, especialmente em edifícios existentes que carecem de documentação técnica consolidada.

Além disso, a atualização das normas nem sempre acompanha o ritmo de inovação tecnológica, sendo comum a existência de lacunas entre a prática em obra e os requisitos regulamentares. Por exemplo, nem todos os materiais inovadores têm previsão regulamentar clara, dificultando a sua adoção.

O Quadro 1 apresenta uma síntese das principais normas e diretivas que enquadram a reabilitação energética, organizadas por escala e finalidade. Esta sistematização permite compreender o papel complementar de cada instrumento na promoção de intervenções mais sustentáveis.

Quadro 1 - Tabela Comparativa das Normas e Diretivas

Norma/Diretiva	Escala	Objetivo Principal	Ano da versão atual	Aplicação Prática
Objetivo 55 (<i>fit for 55</i>)	UE	Redução de 55% das emissões de GEE até 2030	2021	Enquadramento estratégico geral; reforça a importância da reabilitação
EPBD (<i>recast</i>)	UE	Melhorar o desempenho energético dos edifícios e promover nZEB	2023	Aplicável a edifícios novos e renovados
Diretiva 2012/27/UE	UE	Estabelece medidas para promover a eficiência energética na EU	2012 (em revisão)	Obriga os Estados a criar planos e políticas de reabilitação
DL nº 95/2019	Nacional	Regula o SCE e define exigências mínimas	2019	Aplicável a edifícios novos e sujeitos a obra de reabilitação
RDE	Nacional	Define normas técnicas e valores mínimos de desempenho	2020	Projetos de reabilitação energética
SCE	Nacional	Monitorizar e certificar eficiência energética e qualidade do ar	2007 (atualizações em 2013 e 2020)	Avaliação obrigatória antes e após a reabilitação

PNEC 2030	Nacional	Estabelece metas nacionais de energia e clima até 2030	2020	Estratégia nacional alinhada com metas da EU
-----------	----------	--	------	--

A recente revisão da EPBD (2023) introduz alterações significativas, como a obrigatoriedade de renovação de edifícios com classe energética F e G até 2030, e a disponibilização de passaportes de renovação energética para orientar os proprietários em planos de melhoria faseada. Este novo enquadramento reforça a urgência de medidas ambiciosas no setor da reabilitação.

A nível nacional, embora a legislação esteja alinhada com os objetivos europeus, persistem desafios operacionais na implementação prática – como a dificuldade de fiscalização e a complexidade dos procedimentos de certificação para edifícios antigos.

2.3. TÉCNICAS E ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO

A seleção de técnicas e estratégias para a reabilitação energética de edifícios deve considerar uma abordagem holística e adaptada às características do imóvel e ao seu contexto urbano e climático. Estas intervenções devem combinar soluções passivas e ativas, avaliadas segundo critérios de viabilidade técnica, económica e ambiental, promovendo não só a melhoria do desempenho energético, mas também a sustentabilidade do ciclo de vida do edifício.

2.3.1. ESTRATÉGIAS PASSIVAS

As soluções passivas são prioritárias por não dependerem de consumo energético direto e, geralmente, implicarem menores custos de manutenção. Entre as estratégias mais comuns destacam-se a alteração do isolamento térmico e das caixilharias, a utilização de fachadas ventiladas e de ventilação natural melhorada.

O reforço do isolamento térmico de coberturas, pavimentos e fachadas, interior ou exterior (como no sistema ETICS), utilizando materiais como o poliestireno expandido (EPS), poliuretano, lã mineral e painéis de vácuo, reduz as perdas de calor no inverno e o ganho excessivo de calor no verão, tornando-se assim uma das principais estratégias de reabilitação. A escolha destes materiais depende da viabilidade técnica e económica. A Figura 4 possui um exemplo de isolamento com ETICS.



Figura 4 - Exemplo de ETICS

A substituição (ou melhoria) dos envidraçados e caixilharias por recurso a janelas de vidro duplo ou triplo com câmara de árgon e caixilharias de PVC, madeira tratada ou alumínio com corte térmico é essencial para minimizar perdas energéticas. Na Figura 5 é possível observar um exemplo de janela de vidro duplo com câmara de árgon.

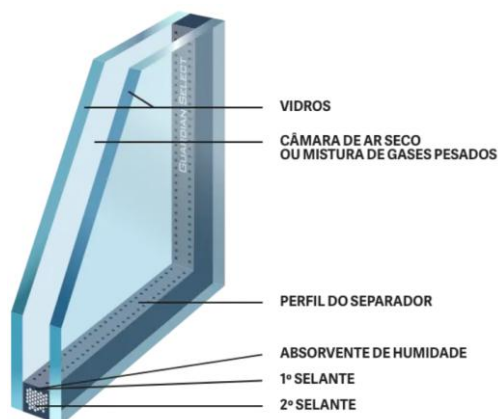


Figura 5 - Janela de Vidro Duplo com Câmara de Árgon

A aplicação de fachadas ventiladas e revestimentos com elevada inércia térmica, bem como a melhoria da ventilação natural, por via de dispositivos arquitetónicos ou reconfiguração de abertura, permitem controlar melhor o sobreaquecimento.

Estes dados são baseados em valores de mercado nacional (Zaask, Habitissimo, Saint-Gobain), gerador de preços CYPE (2024) e ADENE (2024).

O Quadro 2 resume comparativamente o impacto energético, custos e viabilidade das principais soluções passivas, destacando o ETICS como uma das estratégias mais eficazes e com melhor relação custo-benefício a médio prazo.

Quadro 2 - Eficiência comparativa de estratégias passivas na reabilitação energética

Medida Passiva	Potencial de Redução de Consumo Energético	Custo de Implementação (€/m ²)	Durabilidade Estimada	Complexidade de Aplicação
Isolamento Térmico (ETICS)	20-35%	30-70€	Alta (30+ anos)	Média
Substituição de Caixilharias	10-20%	150-300€ (por janela)	Alta (20-30 anos)	Baixa
Fachadas Ventiladas	15-25%	80-120€	Alta	Alta
Ventilação Natural Melhorada	5-10%	5-15€	Média	Baixa

2.3.2. ABORDAGENS ATIVAS

Complementando as medidas passivas, as soluções ativas têm como objetivo otimizar o consumo energético residual, com recurso a sistemas eficientes e, sempre que possível, renováveis.

A utilização de sistemas de climatização eficientes, como bombas de calor, caldeiras de condensação ou piso radiante (Figura 6) conduz a um menor impacto ambiental.



Figura 6 - Pavimento Radiante

Os sistemas solares térmicos e fotovoltaicos (com integração arquitetónica) permitem a produção de energia renovável no próprio edifício, acompanhando a implementação de sistemas de aquecimento e arrefecimento eficientes (Figura 7).



Figura 7 - Painele Fotovoltaico

A instalação de sistemas de ventilação mecânica controlada (VMC) - Figura 8 - com recuperação de calor ou a melhoria da ventilação natural são essenciais para edifícios bem isolados, de forma a garantir uma redução das perdas de calor e assegurar a qualidade do ar interior. Os sistemas de VMC de fluxo duplo com recuperação de calor são especialmente vantajosos já que permitem renovar o ar sem comprometer a eficiência térmica do edifício. A recuperação de calor pode reduzir até 90% das perdas ventilativas.

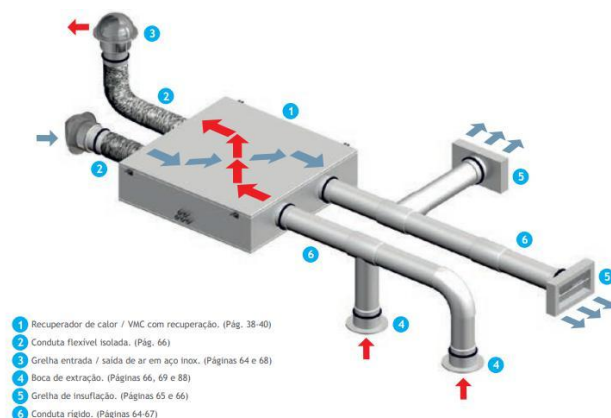


Figura 8 - Exemplo de Sistema de Ventilação Mecânica Controlada

A eficácia das estratégias de reabilitação energética depende não apenas da sua seleção individual, mas sobretudo da forma como são combinadas num sistema integrado. A utilização de plataformas de monitorização energética e sistemas de automação inteligente (*smart energy management*) permite adaptar em tempo real as condições ambientais às necessidades dos ocupantes, otimizando o desempenho global do edifício. Estas soluções, frequentemente baseadas em IoT e sensores de temperatura, humidade e consumo, viabilizam estratégias de gestão energética ativa e preventiva.

A integração sinérgica de soluções passivas e ativas é fundamental: uma envolvente térmica eficiente reduz as necessidades de climatização, o que permite instalar equipamentos de menor potência e menor consumo energético, otimizando o retorno do investimento.

Segue um exemplo prático para melhor compreensão. Numa habitação típica dos anos 80, com fraca eficiência térmica, uma intervenção integrada poderia incluir:

- Instalação de ETICS com EPS de 6cm
- Substituição de janelas por caixilharia em PVC com vidro duplo
- Instalação de sistema VMC com recuperação de calor
- Aplicação de painéis solares térmicos para AQS
- Instalação de sensores e sistema de gestão energética digital

Segundo estimativas do BPIE (2021) e simulações com o *EnergyPlus*, intervenções deste tipo podem resultar em reduções superiores a 50% no consumo energético anual e melhorias significativas no conforto térmico e na qualidade do ar interior.

Para além da eficiência imediata, é crucial considerar o ciclo de vida dos materiais e das soluções adotadas, em linha com os princípios da economia circular. Estudos recentes, como o de Zabalza Bribián et al. (2021), demonstram que a coordenação adequada destas medidas permite não apenas um desempenho energético superior, mas também um retorno económico estimado entre 5 e 15 anos, dependendo da tipologia do edifício, da escala de intervenção e dos apoios financeiros disponíveis.

O Quadro 3 apresenta uma análise comparativa dos principais sistemas ativos utilizados em reabilitação energética, com destaque para as bombas de calor e os sistemas solares, que combinam um forte impacto ambiental com retornos financeiros competitivos.

Quadro 3 - Comparação de estratégias ativas em reabilitação energética

Sistema Ativo	Consumo Energético Médio (kWh/ano)	Redução Esperada de GEE (%)	Investimento Inicial (€)	Retorno Médio (anos)
Bombas de Calor (aerotérmicas)	800-1500	30-50%	4000-7000€	5-8
VMC com recuperação de calor	300-600	15-25%	1200-2500€	4-6
Painéis Solares Térmicos	400-800	20-35%	2500-4000€	6-9
Painéis Fotovoltaicos	1000-2000	40-60%	3000-6000	6-10

Os valores deste quadro são baseados no BPIE (2021), estimativas do mercado português e simulações *EnergyPlus*.

2.3.3. ABORDAGEM INTEGRADA E CICLO DE VIDA

A eficácia da reabilitação energética está fortemente condicionada pela coordenação entre soluções passivas e ativas. Por exemplo, um edifício com elevada inércia térmica pode dispensar sistemas de climatização de grande potência, reduzindo o custo e o impacto ambiental.

É também essencial avaliar o ciclo de vida dos materiais, considerando a origem e impacto da extração, a durabilidade, o potencial de reciclagem e as emissões associadas à produção e transporte.

Segundo Zabalza Bribián et al. (2021), a seleção criteriosa dos materiais pode reduzir entre 20% e 30% a pegada ecológica de uma intervenção, sem comprometer a sua eficácia energética.

Apesar do crescente uso do sistema ETICS em reabilitação energética, ainda não existe um corpo robusto de evidência quanto ao seu desempenho a longo prazo. A durabilidade e eficácia real destas soluções só poderão ser plenamente aferidas com o tempo. Patologias associadas a má execução, má escolha de materiais ou ausência de manutenção adequada começam a surgir, levantando questões quanto à sustentabilidade destas estratégias. Assim, o tempo e a monitorização contínua serão fundamentais para validar (ou corrigir) a confiança depositada nestas tecnologias.

A Figura 9 representa a integração de estratégias passivas e ativas na reabilitação energética de edifícios.

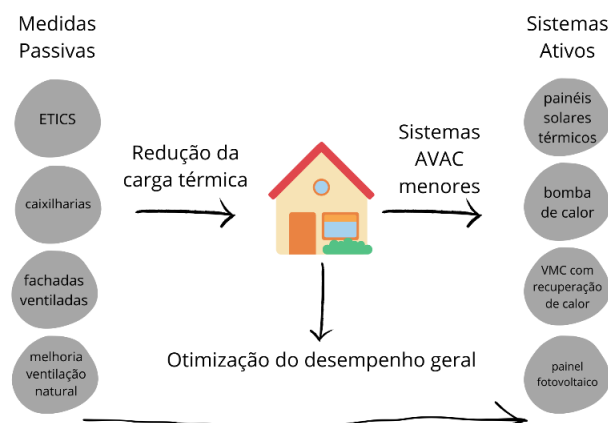


Figura 9 - Integração de estratégias passivas e ativas na reabilitação energética de edifícios (fonte: autora)

2.4. IMPACTO DA REABILITAÇÃO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A reabilitação energética de edifícios apresenta impactos expressivos ao nível ambiental, económico e conforto dos utilizadores. Quando bem planeada e executada, esta intervenção permite reduzir substancialmente a procura de energia para aquecimento e arrefecimento, promovendo um uso mais racional e sustentável dos recursos.

A substituição das janelas ineficientes, o reforço da envolvente térmica e a modernização dos sistemas de climatização e ventilação contribuem para reduções de 30% a 70% no consumo energético, dependendo da profundidade da intervenção.

Em Portugal, programas como o “Vale Eficiência” têm vindo a demonstrar resultados práticos positivos, com milhares de famílias a beneficiar de melhorias significativas no conforto e na fatura energética.

A Figura 10 representa a redução média de consumo energético por tipo de medida aplicada.

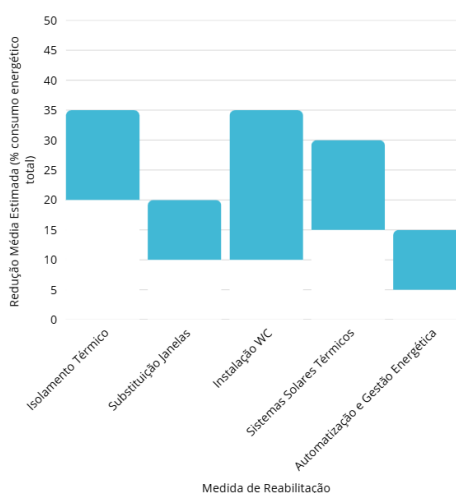


Figura 10 - Redução média de consumo energético por tipo de medida aplicada (fonte: autora)

Além da poupança energética, a redução do consumo implica uma diminuição direta das emissões de GEE, especialmente quando acompanhada da substituição de sistemas baseados em combustíveis fósseis por soluções alimentadas por fontes de energia renovável. Estes efeitos são consistentes com os objetivos definidos no Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050.

Do ponto de vista do conforto térmico, a reabilitação promove ambientes mais estáveis e agradáveis ao longo de todo o ano. A melhoria da ventilação natural ou mecânica reduz problemas relacionados com humidades, condensações e poluentes interiores, com ganhos diretos para a saúde e bem-estar dos ocupantes, particularmente em zonas urbanas densas ou edifícios com ocupação contínua.

Embora o investimento inicial em reabilitação energética possa ser elevado, os custos tendem a ser amortizados a médio prazo. Estudos de caso indicam tempos de retorno (ROI) entre 5 e 15 anos, sendo que em edifícios com maiores consumos (como escolas ou edifícios públicos), esse valor pode ser ainda mais atrativo (Zabalza Bribián et al., 2021). O Quadro 4 apresenta valores de referência para diferentes tipos de edifícios.

Quadro 4 - Retorno Médio do Investimento em Projetos de Reabilitação Energética

Tipo de Edifício	ROI Estimado	Observações
Habitação Unifamiliar	7 a 15 anos	Variável consoante nível de isolamento
Habitação Multifamiliar	5 a 10 anos	Maior eficiência por escala
Edifício Público	3 a 7 anos	Consumo inicial elevado
Comércio e Serviços	4 a 8 anos	Depende dos horários de ocupação

NOTA: Estes valores são indicativos. Existem situações em que o tempo de retorno pode ser consideravelmente superior, sobretudo em contextos com custos iniciais elevados ou com menor eficiência da intervenção

Por fim, importa destacar que a reabilitação energética está também alinhada com os princípios da economia circular, ao prolongar o ciclo de vida dos edifícios existentes e evitar a construção nova – prática muito mais intensiva em consumo de recursos e emissões. Esta abordagem representa uma transição para um modelo construtivo mais sustentável, resiliente e adaptado aos desafios climáticos do século XXI.

No entanto, embora os dados mostrem avanços relevantes, há que reconhecer limitações importantes no panorama nacional. Persistem problemas como o défice de qualificação da mão de obra, a execução deficiente de soluções técnicas e o surgimento de novas patologias relacionadas com intervenções mal planeadas. Assim, embora a reabilitação energética represente um caminho necessário, nem todas as suas promessas se concretizam automaticamente. A qualidade da execução, a fiscalização eficaz e a capacitação técnica são fatores determinantes para o sucesso real destas intervenções.

2.5. ESTUDOS DE PRODUTIVIDADE EM CONTEXTO DE REABILITAÇÃO

A produtividade em obras de reabilitação energética representa um dos maiores desafios do setor da construção, devido à elevada variabilidade dos contextos e à dificuldade de aplicar métodos

padronizados. Ao contrário da construção nova, onde é possível implementar processos repetitivos e padronizados com maior previsibilidade, a reabilitação exige soluções personalizadas, frequentemente ajustadas em obra, o que pode afetar significativamente os prazos e os custos.

Existem várias abordagens para avaliar a produtividade em contexto de reabilitação, entre as quais se destacam:

- *Worksampling* (ou amostragem de trabalho)
- Medição direta de tempo de execução
- Análise de custos e rendimentos operacionais

Estas metodologias permitem obter dados objetivos que podem ser utilizados para redesenhar processos, reduzir desperdícios e otimizar os fluxos de trabalho.

Diversos fatores influenciam a produtividade neste tipo de intervenções:

- Condições do edifício: elementos degradados ou desconhecidos requerem mais tempo e soluções técnicas específicas;
- Mão de obra e qualificação profissional: equipas especializadas tendem a obter melhor desempenho, sobretudo em trabalhos complexos;
- Planeamento e logística: uma coordenação deficiente entre tarefas e equipas resulta em interferências e períodos de inatividade;
- Técnicas e materiais utilizados: a introdução de soluções pré-fabricadas pode reduzir o tempo de execução, embora nem sempre seja viável.

Segundo estudos recentes (e.g., Barbosa et al., 2020; Formoso et al., 2019), as principais limitações à produtividade incluem a ausência de padronização de tarefas, o elevado risco de interferências e atrasos, a adaptação difícil de sistemas energéticos modernos a estruturas antigas e as limitações logísticas em edifícios ocupados.

De forma a ilustrar estas limitações, apresenta-se o seguinte exemplo prático, onde foi aplicada a técnica de *worksampling* num edifício multifamiliar de quatro frações durante cinco dias de reabilitação da envolvente térmica. Os resultados demonstraram que apenas 62% do tempo foi efetivamente produtivo, 25% do tempo foi classificado como auxiliar (montagem/desmontagem) e 13% de tempo foi considerado improdutivo (esperas e pausas forçadas).

Esta análise permitiu identificar falhas no planeamento diário e na distribuição de materiais, com impacto direto no desempenho da equipa. Com base nesses dados, foi possível propor ajustes simples que aumentaram a produtividade efetiva nos dias seguintes.

Estudos recentes reforçam que a integração de ferramentas como o *Building Information Modeling* (BIM), associadas a plataformas de análise de dados, contribuem para uma melhor previsibilidade e controlo das intervenções. Adicionalmente, a aplicação de princípios do *Lean Construction* permite reduzir desperdícios e aumentar o valor gerado para o cliente. No entanto, em reabilitação, a sua aplicação enfrenta limitações significativas, como a dificuldade de antecipar imprevistos ou aplicar planeamentos estáveis e colaborativos (*Last Planner System*), dadas as constantes incertezas em obras.

Quadro 5 - Diferenças de Produtividade: Construção Nova vs Reabilitação

Aspeto	Construção Nova	Reabilitação Energética
Padrões de Execução	Padronizados	Variáveis e Personalizados
Condições de Trabalho	Previsíveis	Dependentes do Edifício
Risco de Imprevistos	Baixo	Elevado
Flexibilidade das Equipas	Alta	Limitada (edifícios ocupados)
Uso de Pré-Fabricados	Frequente	Nem sempre é possível

A análise da produtividade em reabilitação energética é essencial para garantir projetos mais sustentáveis e economicamente viáveis. A adoção de metodologias empíricas como o *worksampling*, combinada com ferramentas digitais (BIM) e filosofias de gestão como o *Lean*, pode contribuir para intervenções mais eficientes. Contudo, é fundamental adaptar estas metodologias à complexidade e imprevisibilidade características das obras de reabilitação urbana.

Este enquadramento metodológico estabelece a base para o capítulo seguinte, onde será analisada a produtividade em detalhe, nomeadamente a técnica de *worksampling* e a sua aplicação prática no caso de estudo desta dissertação.

3

PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO E TECNOLOGIAS ASSOCIADAS

3.1. CONCEITO E PRINCÍPIOS DA PRODUTIVIDADE

A produtividade, no contexto da construção, é habitualmente definida como a relação entre a quantidade de produto gerado e os recursos utilizados para a sua obtenção – sendo o tempo o principal fator de análise.

Segundo SINK, (1985) a produtividade representa “a relação entre tudo aquilo que é produzido e os recursos consumidos para essa produção, num determinado período de tempo”, sendo esta uma definição amplamente utilizada em estudos de engenharia de produção e gestão. Em termos simples, é uma medida de eficiência na conversão de inputs (mão de obra, materiais, equipamentos) em outputs (m² construídos, elementos instalados, tarefas concluídas).

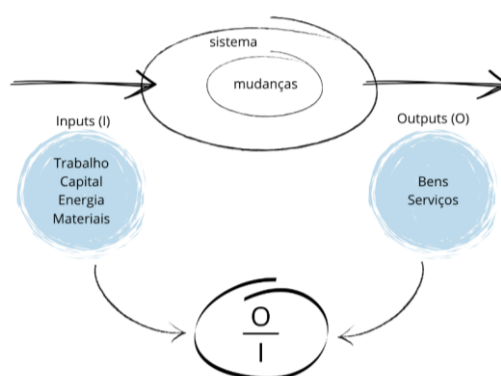


Figura 11 - Esquema representativo da lógica da produtividade (fonte: autora)

A Figura 11 representa a lógica da produtividade como a relação entre os outputs (bens e serviços gerados) e os inputs (recursos utilizados, como trabalho, capital, energia e materiais), num determinado sistema de produção sujeito a mudanças. Esta abordagem evidencia que a produtividade resulta da eficiência com que os recursos são transformados em produtos ou serviços. No contexto da construção

civil, essa transformação é afetada por diversos fatores físicos, humanos e contextuais, o que torna a medição da produtividade um desafio particular.

Contudo, a aplicação deste conceito na construção civil revela-se mais complexa do que noutros setores industriais. A natureza fragmentada, artesanal e dependente do contexto físico e humano da construção dificulta a uniformização dos critérios de medição. Esta realidade é ainda mais evidente em obras de reabilitação, onde os processos são pouco padronizados e sujeitos a múltiplos imprevistos.

A produtividade pode ser analisada em diferentes escalas:

- Macro: produtividade global de um projeto (ex: edifício concluído vs tempo total de obra);
- Micro: produtividade por atividade ou equipa (ex: aplicação de isolamento térmico por m²/hora);
- Nano: produtividade instantânea ou pontual, normalmente medida com métodos como o *worksampling*.

Segundo Formoso et al. (2019), os fatores que mais condicionam a produtividade não são exclusivamente técnicos, mas também organizacionais: má comunicação, falta de planeamento de curto prazo e gestão ineficaz do tempo em obra têm um impacto superior à escolha dos materiais ou à qualificação individual dos trabalhadores.

Adicionalmente, há uma diferença importante entre produtividade medida e produtividade percebida. Muitos gestores de obra baseiam-se em intuições e experiência acumulada para avaliar o desempenho das equipas, o que pode levar a decisões pouco fundamentadas. Por isso, torna-se cada vez mais relevantes utilizar métodos objetivos e baseados em dados – como será abordado nas secções seguintes. Em projetos de reabilitação, onde os desafios operacionais são maiores, a adoção desses princípios é essencial para garantir a sustentabilidade, a eficiência e a rentabilidade das intervenções.

Quadro 6 - Comparação da produtividade: construção nova vs reabilitação

Tipo de Obra	Complexidade	Produtividade Média Estimada	Fatores de Impacto
Construção Nova	Média	Alta	Processos Repetitivos
Reabilitação	Alta	Variável	Interferências, Imprevistos, Coordenação

3.2. FATORES QUE INFLUENCIAM A PRODUTIVIDADE

A produtividade na construção é influenciada por um conjunto complexo e interdependente de fatores. Estes podem ser agrupados em três categorias principais: técnicos, organizacionais e humanos (Figura 12). A análise destes fatores é fundamental para identificar obstáculos e potenciar melhorias no desempenho em obra, especialmente em intervenções de reabilitação, onde a variabilidade e imprevisibilidade são ainda mais marcadas.

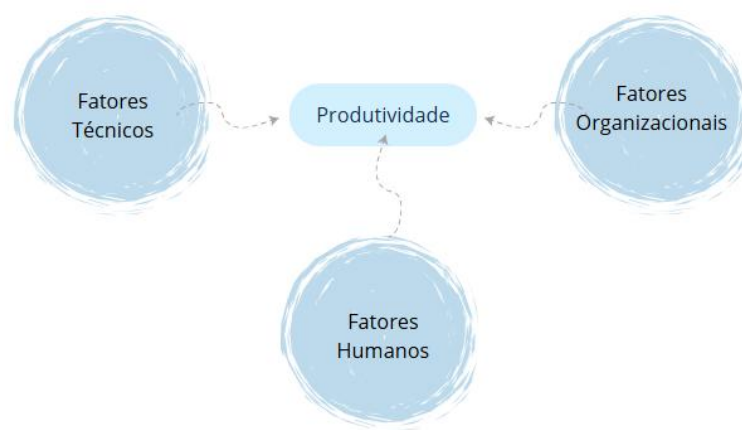


Figura 12 - Fatores que influenciam a produtividade (fonte: autora)

3.2.1. FATORES TÉCNICOS

No plano técnico, a produtividade pode ser condicionada pela escolha dos métodos construtivos, pela compatibilidade dos materiais aplicados e até pelo acesso físico às zonas de intervenção. A implementação de sistemas modernos, como o ETICS ou a VMC, em estruturas envelhecidas ou com patologias ocultas, pode obrigar a adaptações demoradas que comprometem o ritmo previsto. Além disso, os edifícios reabilitados localizam-se frequentemente em zonas densas ou com ocupação parcial, o que limita os acessos, dificulta o armazenamento de materiais e obriga à adoção de soluções de menor escala, menos produtivas.

3.2.2. FATORES ORGANIZACIONAIS

Do ponto de vista organizacional, a ausência de planeamento detalhado e adaptado ao contexto real da obra é uma das principais causas de improdutividade. Quando não existe coordenação eficaz entre as equipas e fases de trabalho, surgem inevitavelmente sobreposições de tarefas, tempos mortos e retrabalhos. Também a gestão de materiais e a logística em obra, por vezes negligenciadas, podem representar perdas consideráveis. Uma entrega mal programada ou um armazenamento deficiente obrigam a pausas imprevistas e a deslocações repetidas, com impacto direto no tempo produtivo.

A Figura 13 mostra um exemplo simplificado da organização de um estaleiro, destacando a importância da definição clara de zonas de armazenagem, circulação e áreas operacionais.

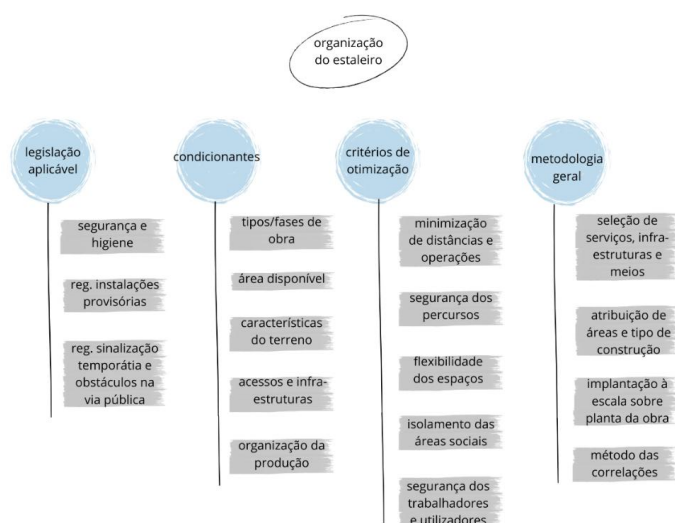


Figura 13 - Esquema de organização de um estaleiro e zonas operacionais (fonte: autora)

3.2.3. FATORES HUMANOS

A dimensão humana não deve ser subestimada. A produtividade depende da qualificação dos trabalhadores, da sua experiência em sistemas contemporâneos e da forma como são liderados. A rotatividade de pessoal, frequente em obras de menor escala, dificulta a continuidade dos ritmos de trabalho e a criação de equipas coesas. Por outro lado, a ausência de motivação e envolvimento nos objetivos do projeto tende a refletir-se em tempos de execução mais prolongados e em menor capacidade de adaptação a imprevistos.

3.2.4. CONCLUSÕES GERAIS

Para consolidar estas ideias, apresenta-se o Quadro 7 com uma síntese exemplificativa dos principais fatores com impacto na produtividade, agrupados por área de influência. Importa referir que esta tabela não é exaustiva e que outros fatores podem também interferir significativamente na produtividade, dependendo das características específicas de cada obra.

Quadro 7 – Tabela comparativa dos fatores que influenciam a produtividade

Categoria	Fatores Identificados
Técnicos	Compatibilidade entre sistemas, acessibilidade limitada, qualidade dos materiais, soluções não industrializadas
Organizacionais	Falta de planeamento de curto prazo, logística inadequada, má coordenação entre equipas, gestão de tempo ineficaz
Humanos	Falta de formação, baixa motivação, rotatividade elevada, ausência de envolvimento com os objetivos da obra

Este conjunto de fatores demonstra que a produtividade em reabilitação é um fenómeno multidimensional, onde as decisões técnicas, a organização do estaleiro e o capital humano devem ser analisados de forma integrada. Tecnologias como o BIM ou filosofias como o *Lean* podem ser importantes aliados, mas não substituem uma cultura de planeamento rigoroso, de comunicação clara e de adaptação contínua ao contexto da obra – pontos que, na prática, continuam a falhar em muitos projetos.

3.3. MODELOS DE MEDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE

3.3.1. ESCALAS: MACRO, MICRO E NANO

Medir a produtividade na construção exige antes de tudo compreender o que se pretende medir. A produtividade pode ser observada em diferentes escalas, consoante o detalhe e o objetivo da análise (Figura 14).

A medição em escala macro refere-se ao desempenho global do projeto. Um exemplo simples será a relação entre a área total intervencionada (em m²) e o tempo total da obra (dias ou semanas), ou entre o custo total e a produção gerada. Outros indicadores típicos incluem o índice de produtividade global da mão de obra ou produtividade global do estaleiro. Este tipo de análise fornece uma visão ampla, útil para comparações entre projetos ou avaliação de tendências históricas – mas pode ocultar ineficiências locais ou problemas pontuais.

A escala micro centra-se em atividades específicas ou unidades de trabalho – como, por exemplo, o rendimento da aplicação de isolamento térmico (m/hora), ou a produtividade de equipas por tarefa específica (unidade/homem.hora). Este tipo de medição pode ser realizado por meio de fichas de registo diário, observações diretas ou sensores, e permite intervenções de ajuste mais localizadas, exigindo, no entanto, acompanhamento contínuo e detalhado em obra.

Já a escala nano é baseada na observação direta e pontual de comportamentos em tempo real, analisando a utilização do tempo ao segundo ou minuto. Uma ferramenta amplamente utilizada para este nível é o *worksampling*, método de amostragem que permite medir a distribuição do tempo entre atividades produtivas, auxiliares e improdutivas. Através do *worksampling*, é possível calcular o percentual de tempo produtivo, o índice de produtividade e diversos outros indicadores que ajudam a compreender padrões de comportamento e ineficiências no estaleiro.



Figura 14 - Escalas de análise da produtividade na construção: macro, micro e nano (fonte:autora)

Estas três escalas não são mutuamente exclusivas – podem e devem ser complementares. A produtividade de uma obra só pode ser compreendida na sua totalidade quando se cruzam visões estratégicas (macro), operacionais (micro) e comportamentais (nano).

3.3.2. FÓRMULAS DE MEDIÇÃO

Uma vez definida a escala de análise, torna-se necessário aplicar métricas que traduzam a produtividade em valores mensuráveis. As fórmulas mais comuns utilizam a razão entre produção e tempo ou entre recursos investidos e resultado obtido.

Na sua forma mais básica, a produtividade pode ser expressa como:

$$Produtividade (P) = \frac{Produção (unidade)}{Tempo (hora)} \quad (1)$$

No entanto, uma versão mais representativa do contexto da construção civil, e particularmente útil para análises comparativas entre equipas, é a fórmula baseada em horas-homem (hH):

$$Produtividade (P) = \frac{Quantidade Executada (\Phi)}{Horas.Homem (hH)} \quad (2)$$

Esta abordagem permite medir a eficiência da mão de obra, considerando não só o tempo total, mas também a dimensão da equipa envolvida na tarefa. Por exemplo, uma tarefa que exigiu 60 horas-homem para executar 120 m² de revestimento apresenta uma produtividade de 2 m²/hH.

Este tipo de indicador é particularmente valioso para identificar equipas com baixo desempenho, calibrar estimativas em obras futuras e apoiar decisões de subcontratação e alocação de recursos.

3.4. TECNOLOGIAS E ABORDAGENS PARA A PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO

A evolução tecnológica tem oferecido ao setor da construção um conjunto crescente de ferramentas e metodologias orientadas para a melhoria da produtividade. Entre estas, destacam-se o *Lean Construction*, o *Building Information Modeling* (BIM) e, mais recentemente, a aplicação de Inteligência Artificial (IA) e análise de dados em tempo real. Embora estas abordagens revelem um elevado potencial em contextos de construção nova, a sua aplicabilidade no universo da reabilitação energética continua a enfrentar desafios significativos.

3.4.1. LEAN CONSTRUCTION (KAIZEN, JIT, LPS)

Inspirado nos princípios de *Lean Manufacturing*, o *Lean Construction* promove a redução de desperdícios, a valorização do trabalho que efetivamente gera valor e a melhoria contínua dos processos em obra. Ferramentas como o *Last Planner System* (LPS), Kaizen ou o *Just-in-Time* (JIT) procuram tornar a gestão da obra mais colaborativa, previsível e orientada para resultados tangíveis.

Contudo, em obras de reabilitação, a aplicação destes princípios tende a revelar limitações. A essência do *Lean* baseia-se na padronização e repetição de processos, algo que dificilmente se verifica em edifícios existentes com características únicas, acessos difíceis e inúmeras incertezas. O LPS, por exemplo, pressupõe que as equipas consigam planear de forma fiável a curto prazo – mas numa obra onde surgem patologias imprevistas ou constrangimentos físicos inesperados, essa previsibilidade é constantemente posta em causa (Figura 15).

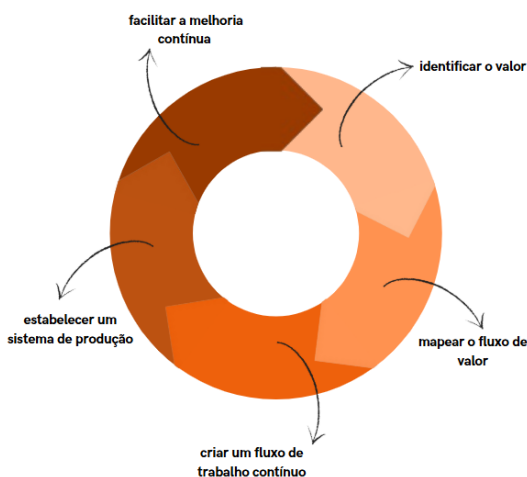


Figura 15 - 5 Principais conceitos do LPS (fonte: autora)

Além disso, o tempo e esforço necessários para implementar uma cultura *Lean* sólida raramente estão disponíveis em obras de menor escala ou curta duração, com muitas intervenções de reabilitação energética. A intenção existe – mas, como referem Tezel et al. (2021), a transformação organizacional necessária para o *Lean* ser efetivo raramente acompanha a realidade dos estaleiros portugueses.

3.4.2. BIM E DIGITALIZAÇÃO

O BIM tem sido uma das revoluções digitais mais significativas no setor, permitindo a criação de modelos tridimensionais integrados com dados de materiais, custos, planeamento e desempenho. A sua aplicação permite simulações de obra, deteção de conflitos e melhoria da comunicação entre os intervenientes (Figura 16).



Figura 16 - Utilizações do BIM na construção

Contudo, a transição do BIM da teoria à prática encontra obstáculos importantes em obras de reabilitação. Em primeiro lugar, a falta de informação técnica sobre o edifício existente torna difícil a modelação fiável. A criação de modelos BIM “*as-built*” exige frequentemente levantamentos 3D com recurso a fotogrametria (Figura 17) ou *laser scanning* (Figura 18), tecnologias que nem sempre estão disponíveis ou previstas no orçamento da obra.



Figura 17 - Exemplo de drone utilizado na construção

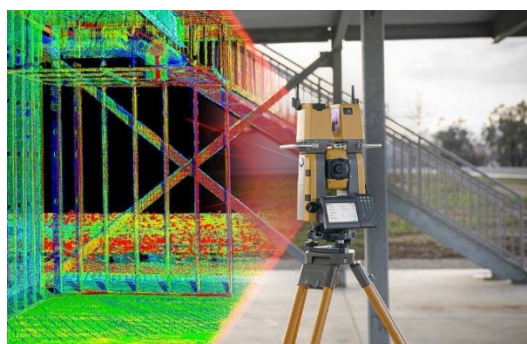


Figura 18 - Exemplo de scanner usado na construção

Neste contexto, a digitalização do edificado existente tem assumido um papel cada vez mais relevante. Tecnologias como drones equipados com câmaras de alta resolução, fotogrametria aérea, scanners LiDAR e sensores IoT de medição ambiental permitem recolher dados precisos do edifício sem contacto

direto com todas as superfícies, facilitando o desenvolvimento de modelos BIM fidedignos. Em zonas de difícil acesso ou em coberturas, por exemplo, os drones representam uma alternativa mais segura e económica a métodos tradicionais de levantamento.

Apesar do seu potencial, estas tecnologias continuam a ser subutilizadas na prática. Os principais entraves são o custo do equipamento, a necessidade de software específico para tratamento dos dados e a escassez de técnicos com formação adequada. Muitos projetos de reabilitação energética, por operarem com orçamentos reduzidos ou prazos apertados, acabam por recorrer a medições manuais ou plantas desatualizadas – comprometendo logo à partida a eficácia de todo o processo de modelação e planeamento em BIM.

Adicionalmente, muitos dos intervenientes em reabilitação – como pequenos empreiteiros ou técnicos de obra – não têm formação específica em BIM, o que compromete a eficácia da sua implementação. Em vez de melhorar a produtividade, o BIM pode, nestes casos, gerar frustrações, atrasos e falhas de comunicação.

Apesar do seu potencial inegável, a aplicação real do BIM na reabilitação ainda depende de um processo de democratização tecnológica e capacitação profissional, que permanece por concretizar.

3.4.3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, IoT E PLATAFORMAS DE ANÁLISE DE DADOS

Nos últimos anos, têm surgido aplicações crescentes de Inteligência Artificial (IA), *Internet of Things* (IoT) e análise preditiva na construção, com o objetivo de melhorar o controlo da obra e antecipar desvios de produtividade. Estas tecnologias permitem, por exemplo, a monitorização de equipas em tempo real, a deteção automática de inatividade e até a previsão de atrasos com base em dados históricos.

A utilização de sensores ligados a sistemas de gestão energética, já comum em edifícios em uso, começa a migrar também para o estaleiro, permitindo registar padrões de trabalho, condições ambientais e até localização de materiais. Contudo, a implementação destes sistemas em obras de reabilitação está ainda numa fase embrionária. O custo, a complexidade e a pouca maturidade digital no setor constituem barreiras significativas.

A produtividade na reabilitação continuará a depender, a curto prazo, de abordagens mais simples e adaptadas, como a observação direta ou a recolha manual de dados – sendo a tecnologia um apoio, e não o ponto de partida.

A tecnologia é, sem dúvida, uma aliada poderosa na construção civil. No entanto, o impacto real destas abordagens na produtividade das obras de reabilitação energética continua a ser modesto. A heterogeneidade dos edifícios, a informalidade de muitos processos e a limitação de recursos tornam difícil replicar os casos de sucesso amplamente divulgados na literatura. Cabe, portanto, aos profissionais adaptar estas ferramentas à realidade das obras – e não esperar que a tecnologia, por si só, resolva os problemas de base (Figura 19).

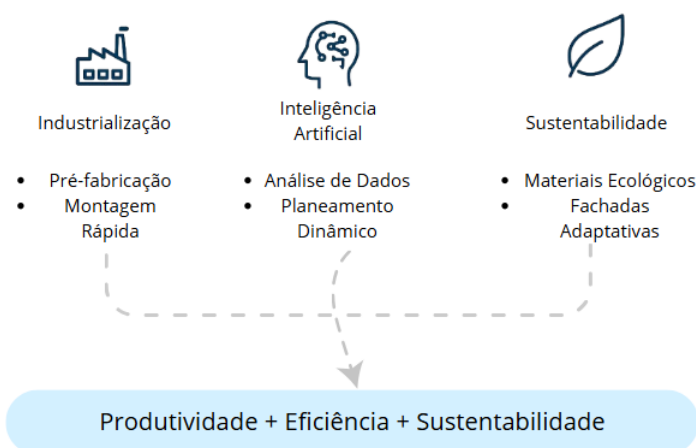


Figura 19 - Tendências Tecnológicas na Reabilitação Energética (fonte: autora)

O Quadro 8 resume de forma comparativa as principais abordagens tecnológicas e metodológicas analisadas, destacando as suas vantagens, limitações práticas no contexto da reabilitação energética, e o seu grau atual de aplicabilidade no setor português.

Quadro 8 - Tabela comparativa das abordagens tecnológicas e metodológicas

Abordagem	Potenciais Vantagens	Limitações em Reabilitação	Aplicabilidade Real (atualmente)
Lean Construction	Redução de desperdícios, planeamento colaborativo, melhoria contínua	Dificuldade de padronização, imprevisibilidade das tarefas, resistência à mudança	Moderada – útil em obras maiores com equipas envolvidas e treinadas
BIM (e Digitalização)	Visualização integrada, simulações, deteção de conflitos, apoio à decisão	Falta de dados do edifício, custo de levantamento 3D, baixa formação dos intervenientes	Baixa a moderada – aplicação limitada de grandes projetos ou obras públicas
Inteligência Artificial / IoT	Monitorização em tempo real, previsão de desvios, apoio à análise de dados	Elevado custo inicial, pouca maturidade tecnológica no setor, baixa adoção	Muito baixa – aplicação pontual e ainda experimental

3.4.4. SOFTWARES E APLICAÇÕES DIGITAIS PARA GESTÃO DA PRODUTIVIDADE

Para além das abordagens metodológicas, a evolução dos softwares de apoio à construção tem desempenhado um papel relevante na gestão da produtividade em obra.

O BIM, já referido anteriormente, é um dos pilares da digitalização no setor. Para além da modelação tridimensional, permite a integração de informações como materiais, cronogramas, custos e simulação

de diferentes cenários construtivos. O uso de softwares como *Revit*, *AutoCAD* ou *Navisworks* permite reduzir significativamente os erros de execução e os atrasos. Por exemplo, com o *Navisworks* é possível verificar possíveis colisões entre elementos estruturais de um projeto antes da obra começar.

Os *Enterprise Resource Planning* (ERP) adaptados à construção civil (como o *Primavera Construction* ou o *SAP Build*) permitem integrar áreas como logística, finanças e gestão de pessoal numa única plataforma, para além de automatizarem tarefas repetitivas e garantirem o controlo de custos e prazos em tempo real. Assim, um ERP pode alertar o diretor de obra sobre desvios orçamentais ou atrasos de entrega de materiais.

Baseadas em tecnologias IoT, inteligência artificial e *machine learning*, as aplicações de monitorização de obra recolhem dados em tempo real diretamente do estaleiro. Os dados são analisados por algoritmos que fornecem alertas, previsões e sugestões de melhoria. Um exemplo prático desta tecnologia é a implementação de sensores em betoneiras que vão monitorizar a temperatura do betão e notificar automaticamente caso ocorra variação fora do ideal.

Os softwares como o *EnergyPlus*, *DesignBuilder* ou *Therm* simulam o comportamento térmico e estrutural dos edifícios em diferentes condições climáticas e de uso. Isto orienta a escolha de soluções construtivas mais eficientes e ajuda a reduzir o impacto ambiental a longo prazo. Na prática, o uso de simuladores pode indicar que uma solução de isolamento exterior garante maior conforto com menor espessura, reduzindo custos e impacto estético (Figura 20).

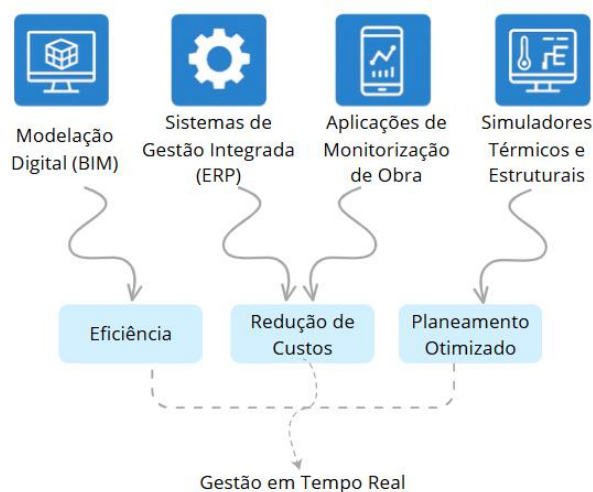


Figura 20 - Ecossistema Digital na Reabilitação Energética (fonte: autora)

Assim, a digitalização do setor da construção permite maior integração, precisão e eficiência em todas as fases do projeto – do planeamento à execução. A combinação destas ferramentas não só reduz custos e prazos, como melhora a qualidade final dos edifícios e facilita a sua manutenção futura.

3.5. WORKSAMPLING

3.5.1. CONCEITO E PRINCÍPIOS

O *worksampling*, ou amostragem de trabalho, é uma metodologia estatística utilizada para analisar a produtividade através da observação intermitente e aleatória das atividades em obra. Ao contrário da

cronometragem contínua, este método é menos intrusivo, exigindo menos recursos e interferindo menos com a dinâmica do estaleiro – o que o torna particularmente adequado para contextos complexos e imprevisíveis, como os das obras de reabilitação energética.

A técnica baseia-se na observação direta de trabalhadores ou equipas em momentos escolhidos aleatoriamente, classificando cada observação segundo categorias predefinidas:

- Atividades produtivas (geradoras de valor, como execução de tarefas construtivas);
- Auxiliares (suporte logístico, montagem, preparação);
- Atividades improdutivas (esperas, pausas não planeadas, retrabalhos).

O objetivo é estimar a distribuição do tempo entre estas categorias, permitindo identificar desperdícios e oportunidades de melhoria.

A sua aplicação segue geralmente cinco etapas (Figura 21):

1. Definição das categorias de atividades – com base nos objetivos do estudo e na realidade do estaleiro (por exemplo: produtiva, auxiliar, improdutiva);
2. Planeamento estatístico da amostra - cálculo do número mínimo de observações com margem de erro aceitável;
3. Elaboração do plano de observação – definição dos turnos, localizações, períodos e observadores envolvidos, garantindo a aleatoriedade e a diversidade temporal (manhã/tarde, início/fim da semana);
4. Recolha e registo dos dados – realização das observações em campo, anotando a tarefa observada, o trabalhador, o horário e a categoria atribuída, idealmente com o uso de fichas ou aplicações móveis;
5. Tratamento e análise estatística dos dados – cálculo da percentagem de tempo em cada categoria e de indicadores derivados como percentagem de tempo produtivo, índice de mecanização, comparações entre equipas ou tarefas.



Figura 21 - Etapas do Método *worksampling* (fonte: autora)

Com um número adequado de observações, é possível obter resultados estatisticamente significativos, que fornecem aos gestores uma base objetiva para analisar o desempenho real das equipas, detetar causas da improdutividade, ajustar métodos e recursos e melhorar a eficiência operacional da obra.

3.5.2. APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O *worksampling* tem sido amplamente utilizado em obras de construção civil, em especial onde existem múltiplas frentes de trabalho ou elevada complexidade operacional. Na reabilitação energética, este

método permite mapear os tempos dedicados a tarefas específicas, avaliar interferências entre equipas e verificar a eficácia da logística em obra.

É particularmente eficaz em trabalhos como instalação de sistemas ETICS, montagem de sistemas de ventilação mecânica (VMC) e substituição de caixilharias ou equipamentos AVAC.

Além disso, o método ajuda a diagnosticar problemas de organização (ex: má distribuição de materiais), ao revelar padrões de deslocamento excessivo, espera por recursos ou uso inefficiente do tempo (Figura 22).

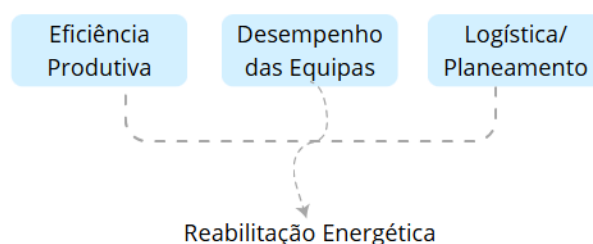


Figura 22 - Áreas de Aplicação do *worksampling* na Construção

As particularidades destas obras – como acessos condicionados, coexistência com moradores ou integração de soluções modernas em edifícios antigos – tornam o *worksampling* ainda mais relevante.

A recolha de dados pode ser automatizada com sensores e aplicações móveis, acelerando a análise e reduzindo erros humanos. Em combinação com algoritmos de IA, torna-se possível avaliar continuamente a produtividade, gerar alertas automáticos e otimizar a tomada de decisão em tempo real.

3.5.3. VANTAGENS E LIMITAÇÕES

Este método tem sido amplamente adotado no setor da construção civil devido à sua eficiência na análise da produtividade sem necessidade de monitorização contínua. Apesar das suas claras vantagens, apresenta também algumas limitações que devem ser consideradas na sua aplicação prática.

Começando pelas vantagens, é possível distinguir o custo reduzido já que não exige equipamentos ou *softwares* avançados, sendo acessível para empresas de diferentes dimensões, a menor interferência em obra por recorrer a observações pontuais (tornando-se menos intrusivo que a cronometragem contínua) e a sua boa representatividade estatística através de um número adequado de observações aleatórias. Para além disso, adapta-se bem a obras mais complexas (ótimo para contextos como a reabilitação onde o fluxo de trabalho é mais variável), permite identificar desperdícios como tempos mortos, deslocamentos excessivos ou falhas na logística e por fim, cria uma base para melhorias *Lean* através da separação das atividades de valor e de não valor.

Relativamente às limitações, a menor precisão em atividades de curta duração e a necessidade de muitas observações para garantir validade estatística são as principais. No entanto, também é essencial referir que o observador pode causar alterações no comportamento da equipa (influenciando o ritmo natural dos trabalhadores), para além de o método se focar apenas na quantidade e não identificar as causas para os padrões observados. Também pode exigir formação do observador para garantir classificações consistentes das atividades.

Para potenciar os resultados, o *worksampling* deve ser complementado com outras ferramentas – como entrevistas, análise de processos ou uso de sensores – de forma a obter uma visão mais completa da produtividade e dos fatores que a influenciam. O seu uso, aliado a uma abordagem *Lean* e digitalizada, maximiza o impacto das intervenções de reabilitação energética.

3.5.4. ESTUDOS RELEVANTES E EXEMPLOS PRÁTICOS

A análise de estudos práticos é fundamental para validar a eficácia do *worksampling* na construção civil. Estes casos não só demonstram os benefícios reais da metodologia, como também permitem a sua adaptação a diferentes contextos e projetos. Em particular, os estudos aplicados à reabilitação energética são essenciais para compreender como o método pode contribuir para melhorar a eficiência em ambientes complexos.

Diversos estudos têm comprovado a utilidade do método em ambientes de construção. Por exemplo, Barbosa et al. (2020) aplicaram o método em obras de reabilitação multifamiliar, concluindo que cerca de 38% do tempo total era não-produtivo, sobretudo devido à má coordenação logística e a esperas por materiais.

Um estudo particularmente relevante é o de Urbano (2024), aplicado em obras de infraestruturas urbanas, com o objetivo de identificar entraves à produtividade na execução de condutas subterrâneas e pavimentações. A aplicação do *worksampling* revelou que (Figura 23):

- 28% do tempo total correspondia a atividades improdutivas, como esperas por materiais e deslocamentos entre frentes de obra;
- Foram identificadas falhas na comunicação entre equipas, com impacto direto no desempenho diário;
- Após a análise, foram implementadas medidas simples, como reorganização logística e reuniões de planeamento diário, que resultaram em melhorias significativas de produtividade.

Estes dados confirmam a utilidade do método não apenas como ferramenta de diagnóstico, mas também como base para processos de melhoria contínua. Com base em observações sistemáticas, é possível comparar o desempenho entre equipas, avaliar a consistência dos ritmos de produção e implementar mudanças rápidas e baseadas em dados.

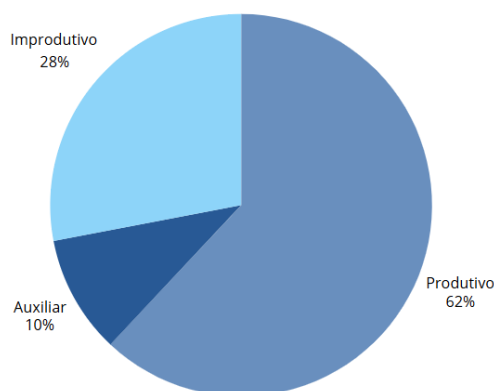


Figura 23 - Exemplo de Resultados com *worksampling* (Estudo Urbano, 2024)

A metodologia é especialmente adequada em obras de reabilitação energética, onde a coexistência com ocupantes, acessos limitados e intervenções técnicas exigentes dificultam a aplicação de métodos mais intrusivos ou padronizados. A sua combinação com ferramentas digitais (apps móveis, sensores, *dashboards*) pode acelerar a análise, permitir avaliações em tempo real e apoiar a tomada de decisão no terreno.

Quadro 9 - Construção Nova vs Reabilitação Energética

Tipo de Obra	Complexidade	Produtividade Média Estimada	Fatores de Impacto
Construção Nova	Média	Alta	Processos Repetitivos
Reabilitação Energética	Alta	Variável	Interferências, Imprevistos, Coordenação

Apesar da utilidade do *worksampling* na identificação de tempos não produtivos, a principal questão reside em compreender as causas e consequências práticas desses tempos na gestão e no custo da obra.

Em muitos casos, atividades improdutivas – como esperas por materiais, deslocações desnecessárias ou pausas não planeadas – não decorrem de fatores inevitáveis, mas sim de falhas de planeamento, comunicação ou organização logística. Quando esses problemas se tornam recorrentes, geram ineficiências sistémicas, que não afetam apenas o cronograma, mas também os custos reais da empreitada.

É importante questionar se os preços unitários praticados no mercado já absorvem estas ineficiências ou, pior ainda, se estão a pagar mais do que seria necessário devido a problemas evitáveis de gestão.

Estudos como o de Urbano (2024) mostram que mais de 25% do tempo total pode ser improdutivo, o que representa um impacto direto nos custos com mão de obra, equipamentos e prazos. Se estes tempos forem sistematicamente incorporados nos orçamentos e medições – sem ação corretiva – o cliente estará a financiar ineficiências que, em última instância, são responsabilidade de má coordenação entre os intervenientes.

Assim, a identificação dos tempos não produtivos devem ser acompanhada de uma estratégia de mitigação, com medidas como a melhoria da logística da obra (fluxo de materiais, sinalização, armazenamento), o planeamento de curto prazo com reuniões diárias, a atribuição clara de responsabilidades e formas de comunicação eficientes e também o uso de *dashboards* e aplicações para *feedback* em tempo real.

A transparência na análise da produtividade pode ainda permitir negociações mais justas de preços, baseadas em dados reais e não em estimativas padronizadas com margem para desperdício.

Em suma, o *worksampling* não serve apenas para observar: é uma ferramenta de responsabilização, que pode e deve ser usada para alinhar práticas de gestão com resultados efetivos – evitando que erros internos se tornem custos externos injustificados.

3.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do estado de arte permitiu compreender a complexidade da reabilitação energética de edifícios e a forma como a produtividade se relaciona com fatores técnicos, organizacionais e humanos. A literatura científica e os dados mais recentes mostram que, apesar do entusiasmo legislativo e tecnológico, persistem lacunas estruturais na forma como estas práticas são aplicadas em contexto real.

A integração de soluções passiva e ativas é essencial, mas requer conhecimento técnico, planeamento eficaz e adaptação à realidade física e ocupacional dos edifícios existentes. No plano da produtividade, ferramentas como o *worksampling* revelam-se fundamentais para a identificação de desperdícios e a tomada de decisão baseada em evidência, sobretudo em obras com elevada variabilidade.

Por outro lado, as abordagens digitais – como o BIM, os sensores IoT e os algoritmos de *machine learning* – ainda enfrentam obstáculos práticos relacionados com custo, formação e resistência à mudança. A sua aplicação na reabilitação energética continua a ser promissora, mas exige capacitação técnica, investimento e cultura colaborativa.

Assim, conclui-se que o sucesso da reabilitação energética passa por um equilíbrio entre conhecimento teórico rigoroso, ferramentas de apoio à decisão, planeamento adaptativo e realista e avaliação crítica contínua.

Este enquadramento servirá de base para a análise do caso de estudo, onde serão aplicados os conceitos desenvolvidos neste capítulo e testadas metodologias de medição de produtividade num contexto específico de reabilitação urbana.

4

CASO DE ESTUDO

4.1. INTRODUÇÃO

A aplicação prática das metodologias de análise de produtividade é essencial para validar os conceitos que foram apresentados nos capítulos anteriores. O presente capítulo apresenta um caso de estudo que visa avaliar a produtividade em trabalhos de reabilitação energética de edifícios habitacionais, com recurso à metodologia *worksampling*. Vai ser efetuada uma descrição do contexto de estudo que inclui as características da obra analisada e os critérios de seleção e posteriormente vão ser detalhados os processos adotados para a recolha e análise dos dados, oferecendo destaque à adaptação do método ao ambiente específico da reabilitação energética. Por fim, vão ser discutidos os principais desafios encontrados e as limitações do estudo, de forma a preparar para a análise de resultados no capítulo seguinte. O objetivo central é demonstrar como a aplicação do método *worksampling* pode fornecer dados quantitativos e qualitativos relevantes para a melhoria da produtividade em obras de reabilitação energética, com base num caso real.

4.2. DEFINIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

4.2.1. EMPRESA

Os dados necessários para a realização deste estudo foram recolhidos numa obra da CCR – Engenharia & Construção (uma empresa pertencente ao Grupo CCR). Esta empresa gere e executa projetos de forma altamente competitiva e com elevados níveis de qualidade e eficiência, na construção de empreendimentos de habitação, edifícios de utilidade pública, multiusos, construção industrial e requalificação urbana. O Grupo CCR administra um portefólio diverso de empresas que abrangem vários setores, o que permite uma gestão eficiente de recursos e a maximização de oportunidades.

4.2.2. OBRA

A obra escolhida para implementação do tema localiza-se na Rua do Manso, em Leça do Balio, Matosinhos, e é constituída por seis edifícios com subcave, rés-do-chão e três pisos elevados destinados a habitação e serviços. O projeto de arquitetura para o Conjunto Habitacional de Custió é da autoria do arquiteto Carlos Borges e a construção da obra foi realizada no ano 2000 pela empresa Ferseque.

Esta obra foi selecionada por representar um exemplo típico de reabilitação energética em edifícios multifamiliares, com múltiplas frentes de trabalho e condicionantes operacionais significativas.

O acesso às cento e cinquenta e quatro frações habitacionais, com tipologia variável de T1 a T4, é realizado através de treze entradas. As entradas 41, 75, 87, 99, 111, 123, 13, 25 e 37 incluem T2 duplex ao nível do último piso. A Figura 24 representa a distribuição das frações por blocos.



Figura 24 - Vista aérea do conjunto edificado e identificação dos blocos

Na subcave do edifício 2 existe o Centro Social de Leça do Balio e na subcave do edifício 4 existe um infantário chamado Manso que pertence ao Centro Social referido. O edifício 5 possui também um berçário na sua subcave.

Analisando construtivamente, os edifícios apresentam estruturas semelhantes (reticuladas em betão armado), onde os panos de parede materializados em tijolo cerâmico, com a execução das paredes enterradas, que são compostas por betão armado. As lajes são aligeiradas, ou seja, são formadas por vigotas e abobadilhas.

Nas fachadas (Figura 25 e Figura 26), em termos gerais, encontram-se dois tipos de revestimentos: tijolo de face à vista e sistema ETICS, cuja espessura do isolamento varia entre 40 e 60mm. Nas zonas de tijolo à vista, a fachada é de pano duplo com isolamento térmico em espuma de poliestireno.

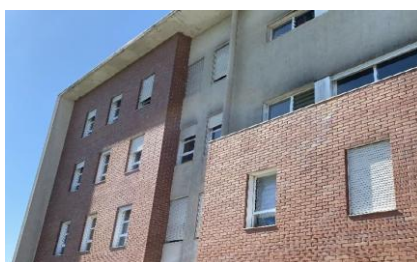


Figura 25 - Fachada principal inicial do edifício 2



Figura 26 - Fachada tardoz do edifício 4

As coberturas dos edifícios (Figura 27) são materializadas através de uma solução plana invertida, com sistema de impermeabilização em membrana betuminosa, uma camada de separação em geotêxtil, um isolamento térmico XPS com aproximadamente 6cm e godo como camada final de proteção.



Figura 27 - Cobertura com acabamento final em godo

Em função do estudo de inspeção e diagnóstico e tendo em consideração as diretivas apontadas pelo Dono de Obra (MatosinhosHabit) durante as reuniões e comunicações da entrega do estudo prévio, foi possível definir duas operações distintas que servem de base à realização do projeto de execução para a reabilitação do Conjunto Habitacional de Custiú. O projeto de execução contempla dois tipos de intervenção que podem ser realizadas em conjunto ou separadamente.

A intervenção do tipo A consiste na reabilitação da envolvente exterior e zonas comuns e inclui a resolução de patologias em termos gerais, o reforço térmico da envolvente exterior, o fecho da caixa de escadas, a minimização de humidades ascensionais, a alteração de caixilharias, a remodelação de zonas comuns e a remodelação pontual do interior de frações, diretamente relacionada com a resolução de patologias da envolvente exterior.

De um modo geral, estão incluídos os seguintes trabalhos:

- Impermeabilização e reforço térmico das coberturas;
- Impermeabilização e reforço térmico do terraço;
- Reforço térmico de fachadas;
- Conceção de cobertura para fecho de caixas de escada;
- Colocação de compartimentação corta-fogo em algumas caixas de escada e inclusão de outras medidas de proteção contra incêndios;
- Minimização de humidades ascensionais no interior de frações do rés-do-chão;
- Substituição integral de caixilharias;
- Colocação de palas e caixas de correio novas;
- Revisão do sistema elétrico em zonas interiores comuns, incluindo substituição de campainhas, luminárias e armários técnicos;
- Substituição de revestimentos e execução de pinturas em zonas interiores comuns;
- Substituição de pavimentos, revestimentos e mobiliário, peças sanitárias e equipamentos fixos no interior de frações de rés-do-chão, cuja intervenção seja necessária para a minimização de humidades ascensionais;
- Pintura de paredes e tetos no interior de todas as frações do rés-do-chão.

A intervenção do tipo B consiste na remodelação de interiores de frações. De modo geral inclui a remodelação de interiores de todas as frações habitacionais, designadamente substituição de pavimentos, revestimentos, mobiliário de cozinhas e peças sanitárias.

A nível geral, as intervenções em passeios e ruas correspondem ao mínimo e ocorrem apenas em detrimento das ações a levar a cabo em volumes construídos.

Após a reabilitação, o conjunto vai ter um novo aspeto, mais homogéneo e monolítico, mas ao mesmo tempo, mais cuidado e com possibilidade de manutenção mais simples e económica.

4.2.3. DIAGNÓSTICO DO EXISTENTE E PATOLOGIAS RELEVANTES

Durante as visitas técnicas realizadas pela equipa de projeto em abril e maio de 2021, foi possível identificar diversas patologias que afetavam o desempenho energético e funcional do conjunto habitacional. A informação foi recolhida através de inspeção visual, registos fotográficos e relatos dos moradores, tendo resultado num diagnóstico técnico preliminar, que serviu de base para o desenvolvimento do projeto de execução.

Este diagnóstico encontra-se documentado nos relatórios técnicos do projeto, que serviram como fonte para a análise apresentada nesta dissertação, uma vez que o acompanhamento de obra pela autora apenas teve início em março de 2025.

As principais patologias observadas encontram-se resumidas no Quadro 10.

Quadro 10 - Principais Patologias Observadas

Elemento	Patologia Identificada	Solução Adotada
Fachadas	Fissuração, descolamento de revestimento, pontes térmicas	Aplicação de ETICS com espessura variável, reboco e pintura
Coberturas	Infiltrações, deficiente escoamento	Remoção da impermeabilização existente e aplicação de nova tela asfáltica + XPS
Rés-do-chão	Humidades ascensionais	Injeção de produto químico e colocação de tela betuminosa
Caixilharias	Perda de estanquidade, oxidação, fraca performance térmica	Substituição por caixilharias em alumínio lacado com vidro duplo e corte térmico
Zonas comuns	Degradação de acabamentos e iluminação deficiente	Remodelação total com novos revestimentos, luminárias e armários técnicos
Instalações sanitárias	Equipamentos obsoletos, perdas de água	Substituição integral de equipamentos e redes interiores

Este diagnóstico revelou a necessidade de uma abordagem integrada, focada na melhoria do conforto térmico, na segurança contra incêndios, na durabilidade dos materiais e na valorização global do edificado.

4.2.4. RECURSOS UTILIZADOS

4.2.4.1. Material

Apesar da análise da autora se ter centrado exclusivamente na reabilitação dos espaços interiores – derivado do avanço da obra no momento da realização do relatório - considera-se pertinente apresentar brevemente os materiais utilizados na envolvente do edifício. Esta contextualização permite compreender de forma mais abrangente o impacto das estratégias adotadas no desempenho energético global do edifício.

Optou-se por soluções-tipo com vista à racionalização dos trabalhos e à uniformização de procedimentos. Nas coberturas e fachadas foram utilizados sistemas de isolamento térmico (XPS e ETICS, respetivamente), com espessuras adaptadas às condições existentes. As caixilharias foram substituídas por modelos em alumínio lacado com corte térmico e vidro duplo, e os estores foram complementados com grelhas de ventilação natural, sempre que possível com reforço térmico nas caixas.

A estrutura das caixas de escada recorreu a soluções em aço leve (LSF), promovendo uma montagem mais rápida e precisa. Estas intervenções, embora exteriores ao foco principal deste estudo, influenciaram diretamente a logística, o planeamento e os tempos de execução das frentes de trabalho.

No interior foram utilizados cerâmicos para as paredes das instalações sanitárias e para o chão das cozinhas e da zona comum (Figura 28), para além de tinta para as paredes dos cômodos e painéis de pavimento vinílico.



Figura 28 - Cerâmico utilizado nas zonas comuns

4.2.4.2. Equipamento

Durante a execução dos trabalhos observou-se o uso de diversos equipamentos, tanto manuais como elétricos, essenciais para garantir a eficiência, precisão e qualidade das intervenções. A escolha e utilização destes equipamentos teve impacto direto nos ritmos de trabalhos e na produtividade da equipa, nomeadamente na preparação e aplicação de materiais e acabamento.

Foram utilizados equipamentos manuais simples e de apoio como a vassoura para limpeza das áreas de trabalho, fita métrica (Figura 29) e nível para medições e alinhamentos e o serrote para cortes simples em rodapés. Foram utilizados também rolos e pincéis de pintura, fitas de isolamento, martelos, lixas, entre outros, para acabamentos, pintura e fixações pontuais.



Figura 29 - Exemplo de utilização da fita métrica no estudo

Destacou-se ainda o uso de serras circulares de mesa (Figura 30 e Figura 31), fundamentais na realização de cortes rápidos e precisos em painéis, réguas de pavimento vinílico ou perfis de acabamento, contribuindo para uma instalação mais rápida e com menor desperdício de material.



Figura 30 - Serra circular de mesa utilizada para corte de rodapés



Figura 31 - Exemplo de trabalhador a utilizar a serra de mesa

4.2.4.3. Maquinaria

Ao longo do período de observação, a única máquina observada em uso foi um *Bobcat*, que desempenhou um papel essencial no transporte de materiais. Dado que o local de armazenamento do material se encontrava a uma distância considerável dos blocos de apartamentos em obra, o recurso a esta máquina revelou-se necessário, sobretudo quando era preciso transportar grandes quantidades de materiais em simultâneo.

A sua utilização permitiu uma maior eficiência logística, reduzindo significativamente o tempo e o esforço físico associados ao transporte manual e contribuindo, assim, para uma melhor organização e produtividade da equipa em obra (Figura 32 e Figura 33).



Figura 32 - *Bobcat* a ser carregado com material



Figura 33 - Armazenamento de materiais em obra

4.2.4.4. Resumo dos Materiais

O Quadro 11 apresenta os materiais, equipamentos e máquinas utilizados na obra de forma organizada.

Quadro 11 - Recursos utilizados no caso de estudo

Tipo de Recurso	Elemento	Finalidade/Aplicação	Observações
Material	Pavimento vinílico	Aplicado em salas e quartos	Instalação rápida e fácil manutenção
Material	Azulejos cerâmicos	Cozinhas e instalações sanitárias	Revestimento resistente e higiénico
Material	Alumínio lacado (caixilharias)	Envidraçados exteriores	Boa eficiência térmica e durabilidade
Equipamento	Fita métrica, nível	Medição e marcação	Essencial para precisão na execução
Equipamento	Serra circular de mesa	Corte de painéis e pavimentos	Aumenta a rapidez e a uniformidade dos cortes
Maquinaria	<i>Bobcat</i>	Transporte de materiais	Reduz esforço físico e acelera logística

4.2.5. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Com o objetivo de otimizar a execução da obra, foram adotadas soluções-tipo que permitissem uniformizar processos, reduzir tempos de intervenção e racionalizar recursos.

4.2.5.1. COBERTURAS

As coberturas dos edifícios foram reforçadas termicamente com painéis de XPS de 16cm, sempre que possível e aplicável. As coberturas dos pisos recuados, por apresentarem uma menor espessura disponível, foram isoladas com XPS de 6cm. A impermeabilização é assegurada por tela asfáltica, aplicada sob camada de godo ou com acabamento final em autoproteção mineral, conforme o tipo de exposição. Os rufos são executados em zinco.

4.2.5.2. FACHADAS E ELEMENTOS EXTERIORES

O reforço térmico das fachadas é realizado com sistema ETICS (Figura 34), com espessura de 2, 4, 6 ou 8 cm, dependendo da situação específica e conforme definido nas Condições Técnicas Especiais (CTE). Em elementos salientes de fachada, foi também aplicada tela asfáltica com autoproteção mineral e remates em zinco.

A menor espessura (2 cm) foi utilizada em zonas com limitações construtivas, como áreas junto a caixilharias existentes, molduras ou remates em pedra, onde não era possível alterar significativamente o plano da fachada. Espessuras intermédias (4 e 6 cm) foram aplicadas em panos de fachada com boa orientação solar ou baixa exposição aos ventos dominantes, garantindo um equilíbrio entre desempenho térmico e viabilidade construtiva. Por fim, a espessura máxima (8 cm) foi aplicada em fachadas mais

expostas ou com menor proteção solar (como as orientadas a norte ou poente), ou em zonas onde se pretendia melhorar significativamente o desempenho energético global do edifício. Importa referir que, sempre que existia isolamento térmico anterior (como camadas de 6 cm de EPS), este foi removido antes da aplicação do novo sistema ETICS, de modo a garantir a compatibilidade dos materiais, corrigir eventuais patologias e evitar aumentos excessivos de espessura nas fachadas. Esta abordagem permitiu manter a integridade arquitetónica e assegurar a durabilidade do novo sistema.

Os muros exteriores existentes foram regularizados e revestidos com reboco delgado armado, posteriormente pintado. As soleiras são em granito cinza, com 3cm de espessura, enquanto os peitoris foram executados em perfis de alumínio lacado. As palas nas entradas são em vidro incolor laminado termoendurecido com espessura de 17,52mm, com prolongamento de 700 mm em consola, fixas por perfil de alumínio sem necessidade de tirantes.

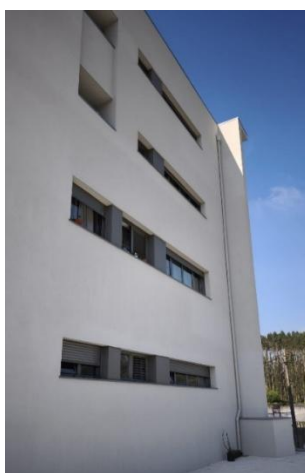


Figura 34 - Resultado da fachada

4.2.5.3. CAIXA DE ESCADAS

O fecho das caixas de escadas é feito com estrutura em *Light Steel Framing* (LSF), revestida exteriormente com sistema ETICS e, no interior, com reboco pintado. A cobertura destas caixas é igualmente impermeabilizada com tela asfáltica com autoproteção mineral.

Para colocação de portas corta-fogo, os vãos são executados em alvenaria cerâmica de 15cm, com reforço de padieira, e acabados com reboco e pintura. As portas são em alumínio lacado, cumprindo os requisitos legais de segurança contra incêndios.

4.2.5.4. CAIXILHARIAS

Nas lavandarias e zonas comuns, foram instaladas caixilharias em alumínio lacado com venezianas fixas, permitindo ventilação permanente. Utilizou-se vidro simples laminado (3+3). Nas restantes zonas, optou-se por caixilharias em alumínio lacado com corte térmico, vidro duplo composto por 5mm temperado + câmara de 16mm com gás árgon + laminado 3+3.

As caixas de estore são reforçadas termicamente com XPS sempre que tecnicamente viável. Os estores são do tipo persiana de enrolar em alumínio, com fita, integrando grelhas reguláveis manualmente no seu interior para ventilação natural. A Figura 35 e a Figura 36 representam exemplos de caixilharias.



Figura 35 - Exemplo de caixilharia instalada



Figura 36 - Exemplo de caixilharia instalada - outro ângulo e tipo de janela diferente

4.2.5.5. REVESTIMENTOS E ESCADAS

Nas escadas exteriores do Bloco 4 foi aplicada resina epóxi com acabamento antiderrapante. No interior das zonas comuns, as escadas foram revestidas com peças cerâmicas com aspeto de granito cinza (Figura 37).

As guardas metálicas foram tratadas e pintadas com tinta esmalte para metais. Sempre que se encontraram irrecuperáveis, foram substituídas por guardas com aspeto semelhante.



Figura 37 - Caixa de escadas com cerâmicos instalados

4.2.5.6. ZONAS COMUNS

As paredes e tetos foram regularizados e pintados e os armários técnicos foram executados com estrutura em pinho, portas e guarnições em MDF hidrófugo. Foram revistas todas as instalações elétricas das zonas comuns, com colocação de novas luminárias de teto com sensores de movimento, luzes de entrada de fração e iluminação de emergência.

4.2.5.7. INTERIOR DAS FRAÇÕES

Nos quartos e salas, foi aplicado pavimento vinílico em régua, com alta resistência e aspeto de madeira clara tipo “orvalho”. Os rodapés são em madeira maciça, com acabamento semelhante ao pavimento e 5cm de altura.

Nas instalações sanitárias, cozinhas e lavandarias, os pavimentos são em cerâmica de elevada resistência ao desgaste. As paredes dos sanitários foram revestidas com azulejo branco brilhante 15x30 cm (Figura 38), colocado na vertical, e nas cozinhas, para além desse, foi utilizado cerâmico liso mate 30x30 cm.



Figura 38 - Trabalhador a colocar cerâmico nas instalações sanitárias

4.2.5.8. EQUIPAMENTO SANITÁRIO E DE COZINHA

Nas cozinhas foram instalados: lava-loiça com escorredor e torneira, placa a gás em inox com 4 bicos, forno em inox, exaustor e esquentador. Nas instalações sanitárias, os equipamentos incluem móvel com lavatório, espelho, sanita com tanque acoplado, bidé e banheira ou base de duche, conforme o tipo de compartimento. A ventilação destas zonas é assegurada mecanicamente por extratores. A Figura 39 representa uma cozinha quase finalizada.



Figura 39 - Exemplo de cozinha praticamente finalizada

4.2.5.9. TRATAMENTO DE HUMIDADES

Para minimizar a humidade ascensional ao nível do rés-do-chão, foi aplicada tela betuminosa SBS em toda a área, complementada com injeção de produto químico à base de poliuretano nos elementos porosos.

4.2.6. PROCESSOS CONSTRUTIVOS IMPLEMENTADOS

A execução da obra baseou-se em soluções-tipo com vista à uniformização dos processos e racionalização dos recursos. A adoção de métodos construtivos otimizados teve impacto direto na produtividade das equipas e no tempo total da empreitada.

4.2.6.1. SEQUÊNCIA TÍPICA DE EXECUÇÃO

Embora os trabalhos tivessem frentes distintas e simultâneas – como fachadas exteriores, coberturas, zonas comuns e frações habitacionais –, a sequência geral seguiu os seguintes passos:

1. Preparação do local: remoção de revestimentos antigos, proteção dos elementos a manter, montagem de estaleiro e vedação parcial.
2. Intervenções exteriores: reforço térmico de coberturas, fachadas, substituição de caixilharias e fecho das caixas de escadas.
3. Intervenções interiores: zonas comuns (pinturas, elétrica, caixilharias), frações (pavimentos, revestimentos, equipamentos sanitários).
4. Acabamentos e limpezas finais: retorques, testes de funcionamento e limpeza final para receção técnica.

4.2.6.2. EQUIPAS E ESPECIALIDADES ENVOLVIDAS

- Equipa de demolições e preparação de superfície
- Aplicadores de ETICS e impermeabilizadores
- Carpinteiros de estruturas (LSF)
- Eletricistas e técnicos de AVAC
- Pintores, ladrilhadores, canalizadores
- Supervisores e fiscalização técnica

4.2.6.3. DESAFIOS TÉCNICOS OBSERVADOS

Os desafios observados incluem a adaptação das soluções ao existente (níveis irregulares e/ou obstáculos não previstos), a necessidade de coordenação constante entre especialidades e os ritmos de execução afetados pela logística, pelas frentes dispersas e pela ocupação dos apartamentos.

4.2.7. TRABALHOS OBSERVADOS

As visitas ao local da obra tiveram início em março, já numa fase avançada da intervenção. Por este motivo, não foi possível acompanhar os trabalhos iniciais relacionados com a alteração de fachada e das coberturas.

A observação centrou-se essencialmente nos trabalhos de interior – tanto nas frações habitacionais como zonas comuns.

4.3. CONDICIONANTES DA OBRA

4.3.1. LOCAL E TIPO DE OBRA

A intervenção de reabilitação energética em estudo teve lugar num complexo habitacional composto por múltiplas frações, o que impôs desafios específicos ao nível logístico, de planeamento e execução.

Uma das principais condicionantes foi a permanência de vários moradores nas suas habitações durante o decorrer da obra. Esta situação implicou uma abordagem cuidadosa e adaptada, com o objetivo de minimizar o impacto da intervenção na rotina diária dos residentes e garantir condições mínimas de habitabilidade.

A presença dos moradores não apenas exigiu soluções como a execução faseada dos trabalhos, a definição de horários mais compatíveis e a comunicação regular com os ocupantes, mas também condicionou diretamente o ritmo da obra. Por vezes, os trabalhos tiveram de ser interrompidos ou ajustados por não ser possível aceder ao interior de determinadas frações, o que afetou a produtividade e a sequência natural dos serviços. Esta realidade é particularmente visível em frações onde os moradores mantinham uma grande quantidade de bens e mobiliário, dificultando o avanço dos trabalhos – situação registada em várias imagens durante as visitas de obras (Figura 40 e Figura 41).



Figura 40 - Espaço restringido devido à permanência de mobiliário e bens dos moradores



Figura 41 - Cômodo com mobiliário

Nos casos em que a intervenção exigia a desocupação temporária da habitação, foi fornecido alojamento alternativo. Estas frações foram deixadas para fases mais avançadas da empreitada, numa tentativa de manter uma organização sequencial do processo.

Adicionalmente, por se tratar de um conjunto habitacional com circulação livre nas zonas exteriores, não foi possível vedar completamente o perímetro da obra. A exposição constante a residentes e transeuntes aumentou os riscos de segurança, conduzindo a medidas reforçadas e uma maior coordenação com as entidades locais para garantir a segurança de todos.

Por fim, a coexistência com infraestruturas existentes – como redes de abastecimento de água, gás e eletricidade – exigiu cuidados redobrados e um levantamento rigoroso das instalações. A compatibilização dos trabalhos com estas infraestruturas foi fundamental para evitar falhas nos serviços e prevenir riscos, assegurando a continuidade dos serviços essenciais aos moradores.

Estas condicionantes evidenciam a necessidade de uma gestão eficiente, centrada na comunicação constante, na flexibilidade dos métodos e no compromisso com a minimização dos impactos sociais e ambientais.

4.3.2. CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

As condições meteorológicas também tiveram um papel relevante no desenvolvimento da obra, influenciando diretamente o planeamento e a execução de diversas tarefas, sobretudo as realizadas em exterior.

Durante os períodos de maior pluviosidade, a elevada humidade dificultou a aplicação de sistemas ETICS, que requerem superfícies secas para uma boa aderência. Foram necessárias medidas preventivas como a proteção de superfícies com lonas e a reprogramação de trabalhos para dias mais secos.

Já nos meses mais quentes, registaram-se desafios distintos: o aumento das temperaturas acelerava a secagem de argamassas, tintas e outros revestimentos, afetando a sua trabalhabilidade e acabamento. Também o desempenho físico dos trabalhadores foi impactado, exigindo ajustes nos horários de trabalho e pausas mais frequentes.

O vento, quando intenso, dificultou a aplicação de elementos leves como isolamentos e palas, além de representar um risco acrescido na segurança dos trabalhos em altura.

Para mitigar os efeitos destes, foi adotada uma estratégia de monitorização meteorológica contínua, ajustando-se os cronogramas sempre que necessário e recorrendo a proteções temporárias para salvaguardar a qualidade da execução.

4.4. ANÁLISE MICRO – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DIÁRIO

4.4.1. CARACTERIZAÇÃO

Nesta fase da análise, pretende-se avaliar o desempenho diário da equipa de trabalho responsável pela execução dos serviços de reabilitação energética, com foco principal nos trabalhos realizados no interior das frações e zonas comuns.

Para a recolha dos dados, o acompanhamento da obra foi feito de forma sistemática durante a reta final da empreitada, com observações diretas no local por parte da autora deste estudo. Foram registadas diariamente as tarefas realizadas, os recursos humanos envolvidos e os progressos obtidos, de modo a permitir uma análise quantitativa da produtividade.

A abordagem metodológica utilizada baseia-se no conceito clássico de produtividade como a relação entre os outputs (trabalho produzido) e os inputs (recursos utilizados), seguindo a lógica de análise macro, tal como descrito anteriormente. O objetivo é identificar padrões de desempenho e eventuais desvios relativamente aos referenciais teóricos, contribuindo para uma melhor compreensão do impacto das condicionantes da obra no rendimento real.

A fórmula aplicada nesta análise é a (2), ou seja, o desempenho diário foi determinado com base na quantidade de trabalho executado (em unidades físicas relevantes, como o m² de pintura efetuada ou o ml de rodapés instalados, consoante o tipo de tarefa) e no total de horas-homem despendidas pela equipa nesse mesmo dia.

4.4.2. CONDICIONANTES

A natureza fragmentada dos trabalhos, a variedade de tarefas envolvidas e a constante adaptação às condições reais de cada fração habitada tornaram complicada a medição individualizada do tempo e esforço por atividade. Para além disso, a imprevisibilidade causada pela presença dos moradores e pelas diferentes configurações de cada apartamento originou um contexto operacional muito variável, dificultando a padronização dos dados.

Deste modo, optou-se por uma análise macro do desempenho global diário, considerando a produtividade média em função do esforço humano total despendido, sem segmentação por tipo de tarefa. Embora esta abordagem não permita uma comparação direta com rendimentos de referência, fornece uma visão concreta e representativa da realidade vivida no local da obra.

4.4.3. APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO

Durante as visitas técnicas, foi feita a medição diária do progresso das atividades executadas, definido em função da natureza do trabalho observado. Por exemplo, no caso da instalação de cerâmicos nas instalações sanitárias, considerou-se a área total executada no fim das horas observadas no dia como *output*.

Em paralelo, foi registado o número de operários presentes e o tempo efetivo de trabalho por jornada, sendo que, na maioria dos dias observados, um trabalhador podia estar a efetuar diversos trabalhos em apartamentos diferentes, o que influencia diretamente o *output* numericamente.

Através desta recolha diária, foi possível calcular o rendimento médio por dia de trabalho. No entanto, a maior recolha efetuada foi utilizando a análise micro, abordada a seguir.

4.5. ANÁLISE NANO - AVALIAÇÃO POR AMOSTRAGEM DE TRABALHO (WORKSAMPLING)

4.5.1. CARACTERIZAÇÃO

A análise nano aqui apresentada baseia-se na metodologia de Amostragem de Trabalho (*worksampling*), um método observacional utilizado para estimar a proporção de tempo que os trabalhadores despendem em diferentes tipos de atividades, através de observações realizadas em momentos aleatórios ao longo do tempo. Ao contrário de outras técnicas como o *Time Study*, que exige uma observação contínua e detalhada de tarefas específicas, o *worksampling* permite obter resultados estatisticamente relevantes com um número menor de horas de observação, reduzindo a interferência na rotina normal de trabalho.

Este método é particularmente útil em ambientes onde coexistem diversas frentes de trabalho e tarefas simultâneas, como é o caso da presente obra de reabilitação em edifícios habitados. Através desta abordagem é possível capturar uma “fotografia” real do estado produtivo das equipas no momento da observação, sem necessidade de medir a duração das tarefas.

Para garantir a validade estatística, o número de observações necessárias é determinado pela fórmula:

$$N = \frac{Z^2(1 - P)}{(P)(A)^2} \quad (3)$$

Onde:

- N = número de observações necessárias
- Z = valor do desvio padrão para um determinado nível de confiança
- P = menor percentagem obtida num processo
- A = precisão da confiança (é comum se utilizar $\pm 5\%$ de precisão)

Os valores de Z podem ser obtidos através do Quadro 12.

Quadro 12 - Valor do desvio padrão Z

Nível de Confiança	Z
90%	1,645
95%	1,960
99%	2,575

Para classificar as atividades observadas, foi adotado o modelo *Worker 4.0*[®] desenvolvido no artigo de Diego Calvetti, que categoriza as ações dos trabalhadores em nove grupos distintos de acordo com o seu grau de contribuição para o avanço da obra. Estes grupos encontram-se ilustrados no Quadro 13.

Quadro 13 - Processos Utilizados na Amostragem de Trabalho

<i>Worker 4.0</i> <i>Motion Productivity</i> (W4MP)	Tipo de Trabalho	Grupo de Movimentos de Desempenho	Exemplo	Estado de Produtividade
Trabalho Manual (free-hand performing)	Operação	uma ou ambas as mãos estão a manusear materiais ou produtos	colocação de calçada, colocação de pedra, etc	Produtivo
Ferramentas Auxiliares (auxiliary tools)	Inspeção	uma ou ambas as mãos estão a manusear ferramentas auxiliares	utilizar um nível, utilizar fita métrica, etc	Contributivo
Ferramentas Manuais (manual tools)	Operação	uma ou ambas as mãos estão a manusear ferramentas manuais	utilizar um martelo, etc	Produtivo
Ferramentas Elétricas/Eletrónicas (electric/electronic tools)	Operação	uma ou ambas as mãos estão a manusear ferramentas elétricas ou eletrónicas	utilizar serra elétrica, etc	Produtivo
Operação Mecânica (machines operation)	Operação	uma ou ambas as mãos estão a utilizar máquinas ou equipamentos	utilizar serra circular de mesa, utilizar de retroescavadora, etc	Produtivo
Automação Robótica (robotic automation)	Operação	trabalho automatizado através de equipamentos robóticos	braço robótico, etc	Produção Autónoma
Não Opera Valor (does not operate value)	Atraso	não realiza qualquer trabalho produtivo; não faz progredir a tarefa	planejar, procurar, conversar, descansar, etc	Não Produtivo
Caminhar (walking)	Atraso	caminhar sem transportar nada nas mãos	caminhar	Não Produtivo
Carregar/Transportar (carrying)	Transporte ou Armazenamento	caminhar enquanto carrega algo nas mãos	carregar, transportar material, etc	Contributivo

No caso específico desta obra, a categoria “Automação Robótica” não foi aplicada por inexistência de tecnologias automatizadas no local.

4.5.2. CONDICIONANTES

A aplicação do método de amostragem de trabalho nesta obra enfrentou várias condicionantes práticas. A principal prende-se com a variedade de tarefas e tipologias de trabalho, bem como a rotatividade e variabilidade das equipas. Em muitas situações, as equipas eram compostas por diferentes profissionais consoante a natureza da tarefa, o que exigiu um acompanhamento atento e a separação dos dados por tipologia de atividade.

Outro fator condicionante foi a presença dos moradores em muitas das frações durante os trabalhos, o que dificultava o acesso, causava interrupções imprevisíveis e por vezes obrigava os trabalhadores a períodos de inatividade enquanto se resolviam questões pontuais. Estes períodos foram, naturalmente, registados nas observações como tempo não produtivo (categoria “Não Opera Valor”).

Além disso, o layout fragmentado da obra, com apartamentos dispersos em diferentes blocos, implicava deslocações frequentes, que se traduziram numa proporção significativa de tempo na categoria “Caminhar” ou “Carregar/Transportar”.

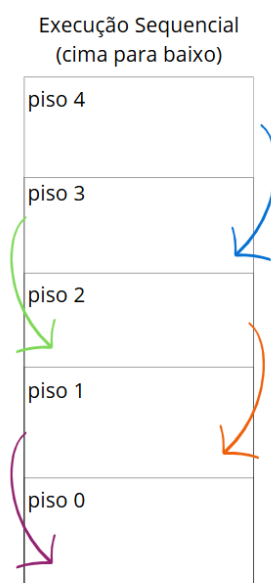


Figura 42 - Esquema-tipo de execução numa obra corrente

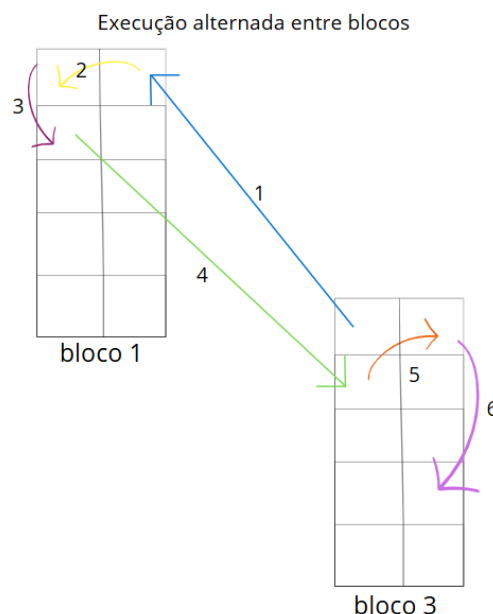


Figura 43 - Esquema-tipo da execução da obra analisada

As figuras anteriores comparam dois esquemas-tipo de execução: o modelo sequencial tradicional (Figura 42), comum em obras correntes, e o modelo alternado observado na obra analisada (Figura 43). Enquanto o primeiro segue uma progressão vertical contínua, do topo para a base do edifício, a execução na obra estudada decorreu de forma alternada entre blocos, com frentes de trabalho não lineares e fases que saltavam entre pisos e edifícios.

A Figura 43 ilustra um exemplo dessa dinâmica alternada, em que as cores e numeração indicam a ordem cronológica da execução. Por exemplo, após a intervenção no piso 4 do bloco 3, os trabalhos avançaram para o piso 4 do bloco 1 (passo 1 – cor verde), os trabalhos continuaram no mesmo piso do mesmo bloco (passo 2 – amarelo), depois avançaram para o piso 3 do bloco 1 (passo 3 – vermelho), mas logo em seguida passaram para o piso 3 do bloco 3 (passo 4 – verde), evidenciando a complexidade da coordenação e a sobreposição de frentes.

Esta alternância de frentes exigiu um esforço redobrado de planeamento e logística, tendo impacto direto na produtividade, na gestão de recursos e na capacidade de manter ritmos constantes entre equipas.

Estas condicionantes refletem-se diretamente na produtividade real observada e justificam a abordagem quantitativa, mas também qualitativa, adotada nesta fase do estudo.

4.5.3. APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO

As observações foram registadas de forma aleatória durante várias visitas ao local da obra. Em cada momento de observação, era anotada a atividade que o trabalhador se encontrava a realizar, utilizando as categorias do modelo selecionado. A recolha foi feita de forma sistemática, assegurando que cada registo refletia uma ação concreta e presente no exato instante da observação, sem qualquer influência do observador.

Os dados foram organizados por tipologia (pintura, cerâmicos e carpintaria), permitindo análises comparativas entre diferentes especialidades e também por localização.

A produtividade foi posteriormente analisada através do cálculo da percentagem de observações em cada categoria, seguindo a estrutura do Quadro 14.

Quadro 14 - Quadro referência de registo das observações

Worker 4.0®	Processo	Estado de Produtividade	Número de Observações	Peso Relativo %
Trabalho Manual	Operação	Produtivo (trabalho direto)	xx	x%
Ferramentas Auxiliares	Operação	Contribuição (trabalho de suporte)	xx	x%
Ferramentas Manuais	Operação	Produtivo (trabalho direto)	xx	x%
Ferramentas Elétricas/Eletrónicas	Operação	Produtivo (trabalho direto)	xx	x%
Operação Mecânica	Operação	Produtivo (trabalho direto)	xx	x%
Automação Robótica	Operação	Produção Autónoma	xx	x%
Não Opera Valor	Atraso	Trabalho Não Produtivo	xx	x%
Caminhar	Atraso	Trabalho Não Produtivo	xx	x%
Carregar/Transportar	Transporte ou Armazenamento	Contribuição (Trabalho de Suporte)	xx	x%
Total			xx	100%

Este tipo de análise permitiu não só quantificar os tempos produtivos e não produtivos, mas também identificar ineficiências recorrentes, fornecendo uma base concreta para futuras ações de melhoria e planeamento mais eficiente.

4.6. SÍNTESE E IMPLICAÇÕES PARA A ANÁLISE DE RESULTADOS

O caso de estudo analisado demonstra os múltiplos fatores que influenciam o desempenho produtivo em intervenções de reabilitação energética em contexto urbano. A coexistência com os moradores, a elevada fragmentação do espaço e a variedade de soluções técnicas implementadas exigiram uma gestão adaptativa e contínua.

A metodologia aplicada permitiu identificar as principais condicionantes da produtividade, mapear os recursos e equipamentos com maior impacto nos ritmos de execução e observar na prática os efeitos de decisões técnicas, logísticas e humanas na eficiência do processo.

Este contexto servirá de base para o próximo capítulo, onde será feita a análise detalhada dos resultados recolhidos, com recurso a abordagens quantitativas e qualitativas, de forma a validar as hipóteses levantadas ao longo da investigação.

5

ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. INTRODUÇÃO

A análise de resultados tem como principal objetivo avaliar, de forma quantitativa e qualitativa, a produtividade verificada em contexto real numa obra de reabilitação energética. Com base na recolha de dados diretamente da obra, foram aplicadas duas abordagens complementares: a análise micro, que avalia o desempenho global das equipas por jornada de trabalho, e a análise nano, assente na metodologia de amostragem de trabalho (*worksampling*), que permite detalhar a natureza das atividades executadas e o grau de contribuição de cada um para o avanço da obra.

Para aplicar estas duas abordagens de forma complementar, foi desenvolvido um plano de recolha de dados diretamente em obra, durante 15 dias úteis de acompanhamento contínuo. Na análise micro, os registos centraram-se na medição da produção diária por equipa e especialidade, com base nas unidades executadas e no número de horas de trabalho, permitindo calcular valores de produtividade e desempenho diário. Os dados foram recolhidos através de medições no local.

Paralelamente, a análise nano foi realizada segundo a metodologia de amostragem de trabalho (*worksampling*), com observações sistemáticas e aleatórias dos trabalhadores em diferentes frentes, recorrendo a uma grelha de classificação baseada no modelo *Worker 4.0*[®]. Cada observação correspondia a um registo instantâneo da atividade em curso, classificada como produtiva, auxiliar ou improdutiva. Este método permitiu caracterizar o uso do tempo e identificar desperdícios operacionais com maior detalhe.

5.2. ANÁLISE MICRO - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DIÁRIO

5.2.1. RESULTADOS

A análise micro baseou-se em observações sistemáticas realizadas ao longo de 15 dias de acompanhamento de obra, durante os quais foram registadas informações relativas ao número de trabalhadores presentes, número de horas de trabalho (input) e área ou extensão de trabalho executado (output), separadas por especialidades: pintura, cerâmicos e carpintaria.

A produção foi registada com base nas unidades relevantes: m² para pintura e cerâmicos e ml (metros lineares) para carpintaria.

5.2.1.1. Pintura

De forma a poder analisar os resultados, foi criada a tabela presente no Quadro 15, separando os dias e os diversos apartamentos onde se verificou atividade desta especialidade.

Quadro 15 - Dados recolhidos para a avaliação do desempenho (dias de visita)

Dias de Visita	Apartamento em Análise	Número de Trabalhadores (un)	Horas de Trabalho (h)	Área Efetuada (m2)
Dia 1	20 2º esq	2	5	5,72
Dia 5	21 r/c esq trás	2	6	14,45
Dia 6	21 r/c esq trás	2	6	17,81
Dia 7	20 r/c dir trás	2	8	75,5
Dia 7	20 1º esq	5	8	72,13
Dia 8	20 r/c dir trás	5	8	72,13
Dia 8	20 1º esq	5	8	70,41
Dia 8	20 1º dir	5	8	76,24
Dia 9	20 r/c dir trás	5	8	71,14
Dia 9	20 1º esq	2	7	55,71
Dia 9	20 1º esq frente	2	5	11,37
Dia 10	41 2º dir trás	2	7	58,6
Dia 11	41 2º dir trás	2	8	58,6
Dia 12	20 r/c dir frente	4	7	66,8
Dia 13	20 r/c dir frente	4	7	66,8
Dia 14	20 r/c dir frente	2	7	18,4
Dia 15	20 r/c dir frente	2	6	15,6
Total			119	827,41

No primeiro dia de registos relativos à especialidade de pintura, observou-se uma área executada significativamente inferior à média dos restantes dias. Esta diferença justifica-se pelo facto de os trabalhos já se encontrarem em fase de conclusão no respetivo apartamento, tendo sido intervencionadas apenas áreas residuais, nomeadamente a segunda demão no teto e numa pequena porção de parede (onde não havia revestimento cerâmico) do compartimento sanitário. Acresce ainda que os dados de produção consideram a aplicação de duas demãos de tinta, conforme é possível verificar através por exemplo do apartamento 20 r/c dir frente que nos dias 12 e 13 foram efetuadas áreas iguais, correspondendo então à primeira e segunda demão dos compartimentos, respetivamente. Assim, o valor reduzido do primeiro dia corresponde efetivamente à conclusão de trabalhos pontuais e não a uma quebra de desempenho por parte da equipa.

Através desta recolha foi possível calcular a produção total diária, obtendo desta forma o desempenho diário (Quadro 16). A produção representa, assim, a quantidade de trabalho efetuado, resultante da soma das áreas dos vários apartamentos visualizados no respetivo dia.

A média do desempenho diário foi calculada com base numa média ponderada, tendo em conta o número de horas-homem registadas por dia. Esta abordagem justifica-se pelo facto de a composição das equipas variar entre dias, tanto em número de trabalhadores como na duração efetiva do trabalho. Assim, evitou-se que dias com menor representatividade distorcessem o valor médio, garantindo uma análise mais realista do desempenho global da especialidade em estudo.

Quadro 16 - Desempenho Diário (dias de visita)

Dias de Visita	Horas da Equipa* (Hh)	Produção Total Diária (m ²)	Desempenho Diário (Hh/m ²)
Dia 1	8	5,72	1,748
Dia 5	12	14,45	0,830
Dia 6	12	17,81	0,674
Dia 7	56	147,63	0,379
Dia 8	120	218,78	0,548
Dia 9	64	138,22	0,463
Dia 10	14	58,6	0,239
Dia 11	16	58,6	0,273
Dia 12	28	66,8	0,419
Dia 13	28	66,8	0,419
Dia 14	14	18,4	0,761
Dia 15	12	15,6	0,769
Total	386	827,41	0,527 (média ponderada)

(*) Neste quadro, para o cálculo do campo “Horas da Equipa” foram utilizadas as equipas todas em trabalho nesse dia, ou seja, a soma das equipas dos apartamentos. Optou-se por esta junção para facilitar a compreensão e a análise através de gráficos.

O desempenho diário foi avaliado com base na razão entre as horas-homem despendidas e a quantidade executada, resultando num indicador expresso em Hh/m². Valores mais baixos refletem maior eficiência, uma vez que implicam menor esforço por unidade de produção.

Para facilitar compreensão e complementar a análise, foi calculado o valor de produtividade, definido como a razão entre a produção executada e o número de horas-homem despendidas. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 17, evidenciando que os valores variam entre 0,572 e 4,186 m²/Hh, com uma média de 2,093 m²/Hh para a atividade de pintura.

No caso da produtividade diária, o valor médio também foi obtido através de média ponderada, considerando-se como peso o total de horas-homem envolvidas em cada jornada. Esta metodologia permite refletir com maior precisão o contributo relativo de cada dia na análise, já que a variabilidade na dimensão e composição das equipas influenciava diretamente a produção observada. A média ponderada garante, assim, que os dias mais representativos tenham maior impacto no valor final.

Quadro 17 - Produtividade diária para a atividade de pintura

Dias de Visita	Produtividade (m ² /Hh)
Dia 1	0,572
Dia 5	1,204
Dia 6	1,484
Dia 7	2,636
Dia 8	1,823
Dia 9	2,160
Dia 10	4,186
Dia 11	3,663
Dia 12	2,386
Dia 13	2,386
Dia 14	1,314
Dia 15	1,3
Total	2,144 (média ponderada)

5.2.1.2. Cerâmicos

Para facilitar a análise dos resultados, criou-se a tabela presente no Quadro 18, dividindo os dias e os diversos apartamentos onde se verificou atividade desta especialidade.

Quadro 18 - Dados recolhidos para a avaliação do desempenho (dias de visita)

Dias de Visita	Apartamento em Análise	Número de Trabalhadores (un)	Horas de Trabalho (h)	Área Efetuada (m2)
Dia 1	20 1º esq	2	1	2,05
Dia 1	20 2º esq	1	1,5	5,6
Dia 1	22 zona comum	1	2,5	3,8
Dia 1	20 1º esq trás	1	1	1,36
Dia 1	20 2º dir frente	1	1	1,39
Dia 1	20 zona comum	2	1	3,61
Dia 2	20 1º esq	1	1,5	3,25
Dia 2	20 2º esq	1	1	1,6
Dia 2	22 zona comum	1	3,5	5,34
Dia 2	20 1º esq trás	1	2,5	5,3
Dia 2	20 zona comum	1	2	3,08
Dia 3	20 1º esq	1	4,5	6,34
Dia 4	20 1º esq	1	6	6,34
Dia 5	20 1º esq	1	5,5	8,43
Dia 5	20 r/c dir trás	1	4,5	4,95
Dia 6	20 1º esq	1	7	8,43
Dia 6	20 zona comum	1	1	3,47
Dia 6	20 r/c dir trás	1	2	3,18
Dia 6	20 r/c esq trás	1	4,5	3,01
Total			53,5	80,53

Através desta recolha foi possível calcular a produção total diária, obtendo desta forma o desempenho diário. A produção representa, assim, a quantidade de trabalho efetuado, resultante da soma das áreas dos vários apartamentos visualizados no respetivo dia.

Quadro 19 - Desempenho Diário (dias de visita)

Dias de Visita	Horas da Equipa (Hh)	Produção Total Diária (m ²)	Desempenho Diário (Hh/m ²)
Dia 1	10	17,81	0,561
Dia 2	10,5	18,57	0,565
Dia 3	4,5	6,34	0,710
Dia 4	6	6,34	0,946
Dia 5	10	13,38	0,747
Dia 6	14,5	18,09	0,802
Total	55,5	80,53	0,712 (média ponderada)

O desempenho diário foi avaliado com base na razão entre as horas-homem despendidas e a quantidade executada, resultando num indicador expresso em Hh/m². Valores mais baixos refletem maior eficiência, uma vez que implicam menor esforço por unidade de produção.

Para facilitar compreensão e complementar a análise, foi calculado o valor de produtividade, definido como a razão entre a produção executada e o número de horas-homem despendidas. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 20, evidenciando que os valores variam entre 1,057 e 1,781 m²/Hh, com uma média de 1,433 m²/Hh para a atividade de cerâmicos.

Quadro 20 - Produtividade diária para a atividade de cerâmicos

Dias de Visita	Produtividade (m ² /Hh)
Dia 1	1,781
Dia 2	1,769
Dia 3	1,409
Dia 4	1,057
Dia 5	1,338
Dia 6	1,248
Total	1,451 (média ponderada)

5.2.1.3. Carpintaria

O Quadro 21 permite analisar os dados diários desta especialidade, separado por dias e apartamentos.

Quadro 21 - Dados recolhidos para a avaliação do desempenho (dias de visita)

Dias de Visita	Apartamento em Análise	Número de Trabalhadores (un)	Horas de Trabalho (h)	Área Efetuada (ml)
Dia 1	20 2º dir frente	3	2,5	15,4
Dia 1	22 r/c esq trás	2	2	12,9
Dia 2	20 2º dir frente	2	4	15,4
Dia 2	22 r/c esq trás	2	3,5	12,9
Dia 3	20 1º dir frente	1	2,5	41,43
Dia 3	20 1º esq	1	1,5	25,7
Dia 3	20 1º esq trás	1	1,5	25,7
Dia 3	20 r/c dir trás	1	2,5	52,35
Dia 3	20 r/c esq trás	1	2	10
Dia 4	20 1º dir frente	2	4	41,43
Dia 4	20 1º esq	2	2,5	25,7
Dia 4	20 1º esq trás	2	3	25,7
Dia 4	20 r/c dir trás	1	3,5	36,62
Dia 4	20 r/c esq trás	1	2	10
Dia 5	20 r/c dir trás	1	2	15,73
Dia 5	20 r/c esq trás	1	3	10
Dia 6	20 r/c dir trás	1	1,5	1,58
Dia 6	20 r/c esq trás	1	3,5	10
Dia 6	20 r/c esq	1	3	10
Total			50	398,54

Através desta recolha foi possível calcular a produção total diária, obtendo desta forma o desempenho diário. A produção representa, assim, a quantidade de trabalho efetuado, resultante da soma das áreas dos vários apartamentos visualizados no respetivo dia.

Quadro 22 - Desempenho Diário (dias de visita)

Dias de Visita	Horas da Equipa (Hh)	Produção Total Diária (ml)	Desempenho Diário (Hh/ml)
Dia 1	11,5	28,3	0,406
Dia 2	15	28,3	0,530
Dia 3	10	155,18	0,064
Dia 4	24,5	139,45	0,176
Dia 5	5	25,73	0,194
Dia 6	8	21,58	0,371
Total	74	398,54	0,291 (média)

O desempenho diário foi avaliado com base na razão entre as horas-homem despendidas e a quantidade executada, resultando num indicador expresso em Hh/ml. Valores mais baixos refletem maior eficiência, uma vez que implicam menor esforço por unidade de produção.

Para facilitar compreensão e complementar a análise, foi calculado o valor de produtividade, definido como a razão entre a produção executada e o número de horas-homem despendidas. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 23, evidenciando que os valores variam entre 1,887 e 15,518 ml/Hh, com uma média de 5,567 ml/Hh para a atividade de carpintaria.

Quadro 23 - Produtividade diária para a atividade de carpintaria

Dias de Visita	Produtividade (ml/Hh)
Dia 1	2,461
Dia 2	1,887
Dia 3	15,518
Dia 4	5,692
Dia 5	5,146
Dia 6	2,698
Total	5,386 (média)

5.2.2. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A avaliação dos resultados da análise macro foi realizada com base em três especialidades distintas – pintura, cerâmicos e carpintaria -, analisadas individualmente e comparadas entre si, tanto a nível da produtividade como do desempenho diário. Cada uma das especialidades foi acompanhada durante vários dias de trabalho, com registo sistemático do número de trabalhadores, número de horas-homem (Hh) e área (m²) ou extensão (ml) executada.

A interpretação dos dados foi organizada por especialidade, complementada por gráficos que ilustram a evolução da produtividade (m^2/Hh ou ml/Hh) e a evolução do desempenho diário (Hh/m^2 ou $\text{Hh}(\text{ml})$).

No final, apresenta-se uma comparação global entre as três áreas, tanto em termos de produtividade como de desempenho.

5.2.2.1. Pintura

O gráfico da Figura 44 revela variações significativas ao longo dos dias de observação. Registaram-se dias com produtividade mais elevada, coincidentes com frentes de trabalho ampla, desobstruídas e com boa organização logística. Por outro lado, os dias com produtividade interior parecem estar associados à existência de diversos obstáculos físicos no acesso às zonas de intervenção, bem como sobreposição de tarefas entre equipas.

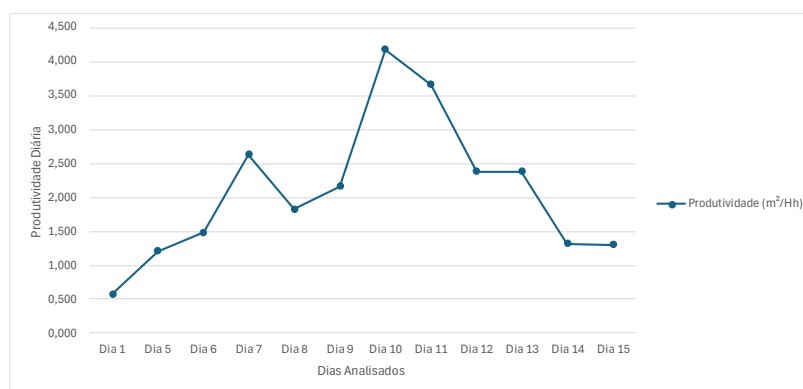


Figura 44 - Evolução da produtividade (dias de visita)

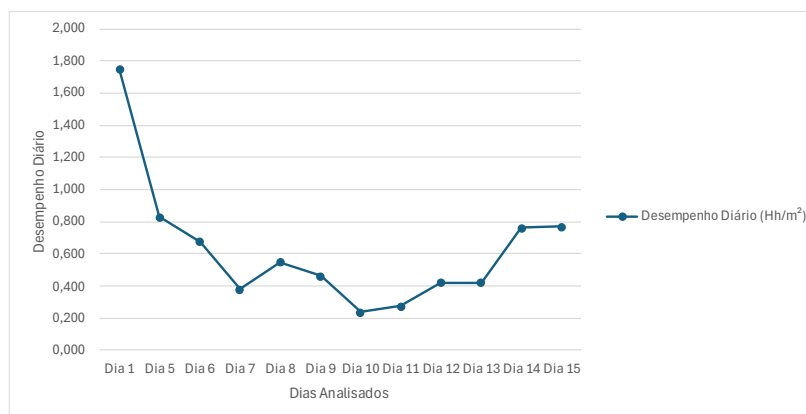


Figura 45 - Evolução do desempenho diário (dias de visita)

A análise do desempenho diário (Figura 45) reflete essa variabilidade, com valores que oscilam entre 0,239 e 1,748 Hh/m^2 . Os valores médios obtidos para a pintura (2,144 m^2/Hh de produtividade e 0,527 Hh/m^2 de desempenho) enquadram-se nos intervalos considerados típicos para obras de reabilitação urbana. Segundo Barbosa et al. (2020), os valores esperados em ambientes habitados variam entre 1,0 e 2,5 m^2/Hh , o que confirma a coerência dos dados recolhidos com a realidade operacional deste tipo de

obra. Além disso, os valores de desempenho diário também coincidem com os intervalos definidos por Frade (2019), reforçando a validade dos resultados.

Apesar de algumas frentes apresentarem condicionantes importantes – como permanência de mobiliário, circulação de moradores ou acessos limitados - as equipas conseguiram, na maioria dos dias, atingir níveis de desempenho considerados eficientes para o tipo de obra em análise.

5.2.2.2. Cerâmicos

No caso da colocação de cerâmicos, os dados indicam uma produtividade mais estável, com valores situados entre 1,057 e 1,781 m²/Hh (Figura 46). Esta consistência pode estar relacionada com a menor interferência de outras especialidades durante esta fase, com a experiência das equipas alocadas e, principalmente, com o facto de não haver obstáculos de grandes dimensões na zona de intervenção.

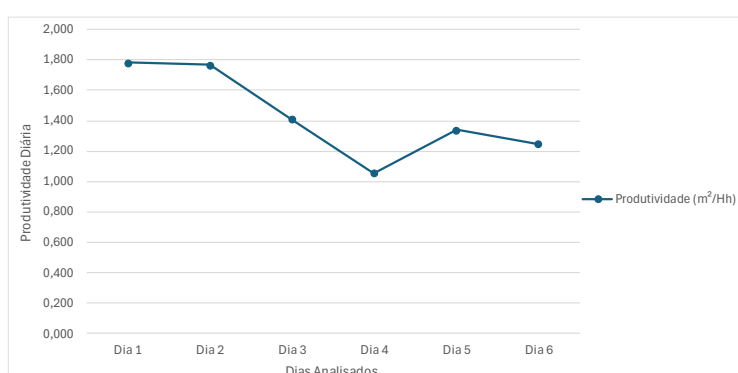


Figura 46 - Evolução da produtividade (dias de visita)

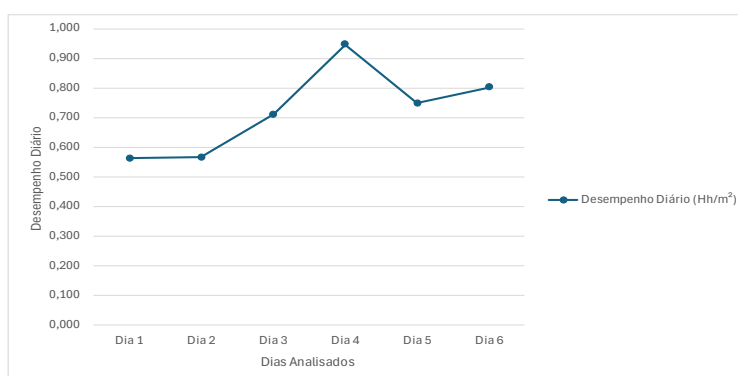


Figura 47 - Evolução do desempenho diário (dias de visita)

O desempenho diário manteve-se dentro de um intervalo estreito, com variações entre 0,561 e 0,946 Hh/m², com uma média de 0,712 Hh/m² (Figura 47). No caso dos trabalhos cerâmicos, a produtividade média obtida (1,451 m²/Hh) e o desempenho diário (0,712 Hh/m²) situam-se dentro dos intervalos indicados por autores como Gonçalves (2021), que aponta para valores típicos entre 1,2 e 1,8 m²/Hh em obras de reabilitação, dependendo da complexidade dos recortes e interferência de outras especialidades. Esta consistência reforça a credibilidade dos dados recolhidos e da metodologia aplicada.

5.2.2.3. Carpintaria

A execução de rodapés em pavimento vinílico revelou uma produtividade média de 5,386 ml/Hh, ao longo de 6 dias de registo. Apesar do número limitado de observações, os dados evidenciam uma tendência geral de estabilidade, com exceção de um pico significativo no Dia 3, em que a produtividade ultrapassou os 15 ml/Hh.

Este valor excecional pode estar relacionado com a execução em compartimentos mais simples ou amplos, sem restrições de mobiliário, com menor exigência de cortes e ajustes. Nos restantes dias, a produtividade manteve-se em intervalos consistentes, variando entre 2 e 6 ml/Hh.

A produtividade média da carpintaria revelou-se acima do intervalo de referência (1,8 a 3,0 ml/Hh), conforme indicado por Calvetti (2021) e dados do relatório “*Productivity Rate in Construction Work*”. Esta diferença pode ser atribuída ao uso de soluções construtivas otimizadas, como rodapés vinílicos pré-cortados e o planeamento sequencial das frentes de trabalho, que permitiram uma execução fluída e com reduzidas interrupções.

A Figura 48 representa a variação da produtividade e a Figura 49 a evolução do desempenho diário.

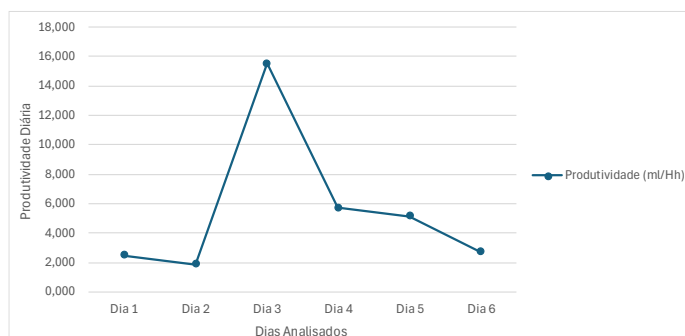


Figura 48 - Evolução da produtividade (dias de visita)

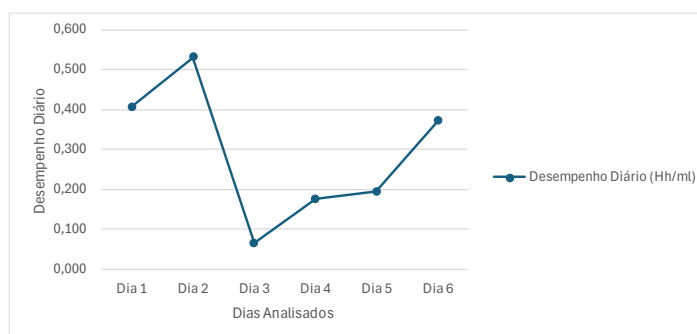


Figura 49 - Evolução do desempenho diário (dias de visita)

O uso de ferramentas como serra circular de mesa e a simplificação das soluções construtivas (régua vinílica, pré-corte) contribuíram para esta consistência. As variações pontuais estão associadas à geometria dos espaços, ao número de portas ou cantos e à eventual necessidade de recortes específicos.

5.2.2.4. Comparação de Especialidades

Para uma leitura integrada, foram construídos dois gráficos (Figura 50 e Figura 51) que permitem comparar diretamente o desempenho diário e a produtividade média entre as três especialidades, nos três dias comuns a estas.

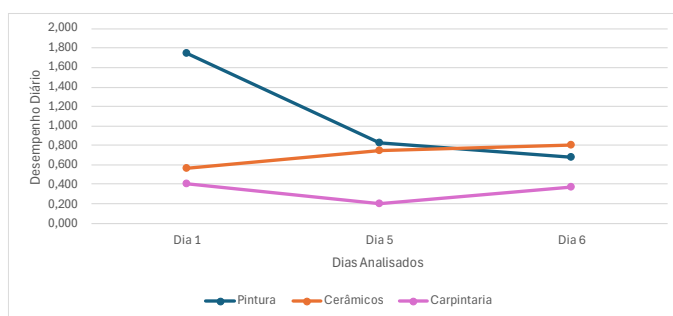


Figura 50 - Comparação dos desempenhos diários de pintura, cerâmicos e carpintaria

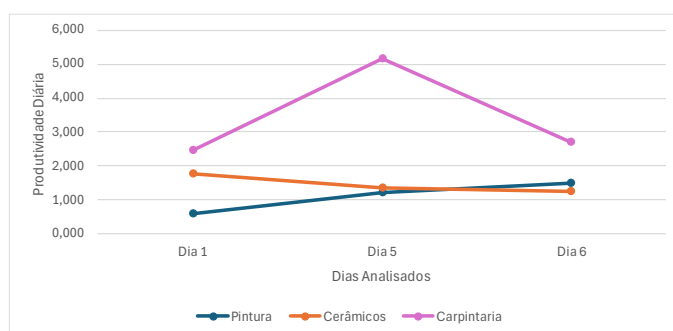


Figura 51 - Comparação da produtividade diária de pintura, cerâmicos e carpintaria

A pintura apresentou maior variabilidade nos desempenhos diários, o que reflete interferências operacionais e dispersão das frentes de trabalho. Os cerâmicos evidenciam maior estabilidade, beneficiando de frentes bem definidas e condições de execução mais homogêneas. A carpintaria, embora com menos dados disponíveis, demonstrou consistência nos resultados e níveis de produtividade próximos dos valores de referência.

Para reforçar a análise, os resultados médios observados foram comparados com valores de produtividade considerados típicos para obras de reabilitação energética de edifícios habitacionais multifamiliares. No Quadro 24 é possível ver os valores de referência.

Quadro 24 - Valores esperados de produtividade e desempenho

Atividade	Produtividade Esperada (m^2/Hh ou ml/Hh)	Desempenho Esperado (Hh/m^2 ou Hh/ml)
Pintura	1,0 - 2,5 m^2/Hh	0,4 - 1,0 Hh/m^2
Cerâmicos	1,2 - 1,8 m^2/Hh	0,55 - 0,9 Hh/m^2
Carpintaria	1,8 - 3,0 ml/Hh	0,35 - 0,6 Hh/ml

Os valores esperados da pintura foram obtidos através do fabricante Resene, que possui “Productivity Tables”, enquanto os cerâmicos e carpintaria foram obtidos através do documento “Productivity rate in construction work”.

De forma a facilitar a visualização e comparação, foram criados os gráficos presentes na Figura 52 e Figura 53, bem como o Quadro 25 que permitiu analisar melhor a comparação e criar os gráficos.

Quadro 25 - Situação da atividade conforme os valores de produtividade

Atividade	Produtividade Esperada (m ² /Hh ou ml/Hh)	Produtividade obtida (m ² /Hh ou ml/Hh)	Situação
Pintura	1,0 - 2,5 m ² /Hh	2,144 m ² /Hh	Dentro do esperado
Cerâmicos	1,2 – 1,8 m ² /Hh	1,451 m ² /Hh	Dentro do esperado
Carpintaria	1,8 – 3,0 ml/Hh	5,386 ml/Hh	Acima da média

A produtividade obtida na carpintaria foi superior à produtividade esperada devido a vários fatores favoráveis durante o período de medição. Primeiramente, as equipas trabalharam em diversos apartamentos que se encontravam em condições ótimas, ou seja, sem obstáculos que pudessem dificultar ou atrasar a execução dos trabalhos. Além disso, houve uma baixa ocorrência de interrupções causadas por moradores ou pela presença de outras especialidades, permitindo que a equipa mantivesse um ritmo de trabalho contínuo e eficiente.

Outro fator relevante foi a composição da equipa, que contou com profissionais mais especializados e experientes na área, para além de recorrer ao uso de pré-cortes e ferramentas elétricas, o que contribuiu para uma execução mais rápida e de maior qualidade. Adicionalmente, a equipa foi maior, o que aumentou a capacidade produtiva e permitiu um avanço mais rápido dos trabalhos.

Estes fatores em conjunto explicam o valor de produtividade obtido, que superou a média esperada para esta especialidade.

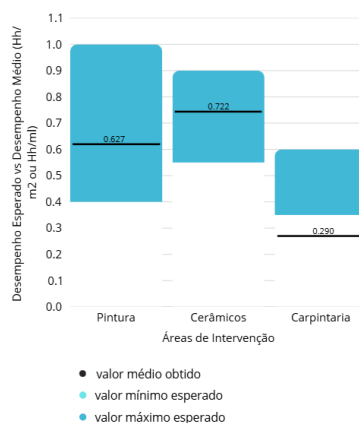


Figura 52 - Abrangência dos valores de desempenho e situação do caso de estudo (fonte: autora)

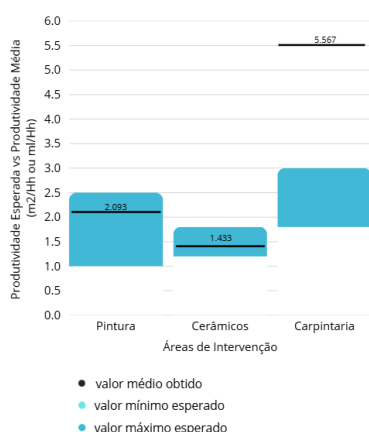


Figura 53 - Abrangência dos valores da produtividade e situação do caso de estudo (fonte: autora)

A análise destes gráficos mostra que:

- No caso da pintura, a produtividade média situou-se dentro dos intervalos esperados. Este valor confirma uma execução coerente com os parâmetros de obras de reabilitação urbana, considerando a existência de condicionantes como interferência com moradores e zonas parcialmente ocupadas;
- A carpintaria apresentou produtividade significativamente acima dos valores de referência, o que sugere elevada eficácia na execução e uma organização otimizada das tarefas;
- Na carpintaria, o uso de régua vinílica pré-cortada e a baixa interferência de outras equipas contribuíram para ganhos relevantes de produtividade;
- Por sua vez, a produtividade dos trabalhos cerâmicos situou-se dentro dos intervalos de referência, o que valida a consistência de amostragem e do método de registo utilizado;
- Os valores não comprometem a fiabilidade dos dados, mas refletem contextos operacionais favoráveis que podem ser destacados como exemplos de boas práticas.

Apesar dos valores elevados em alguns momentos, é importante notar que os gráficos de desempenho diário demonstram coerência com os intervalos expectáveis, reforçando que a produtividade aumentada não resulta de erro de medição, mas sim de condições favoráveis nessas zonas de intervenção.

Os valores médios observados nas três especialidades demonstram coerência com os intervalos de produtividade e desempenho descritos na literatura técnica e científica. Estudos como os de Barbosa et al. (2020), Frade (2019), Gonçalves (2021) e Calvetti (2021) fornecem benchmarks validados para ambientes de reabilitação urbana, especialmente em contextos parcialmente habitados. A análise comparativa revela que, apesar das particularidades logísticas da obra, os resultados obtidos alinham-se com os padrões esperados, reforçando a validade metodológica da investigação.

5.3. ANÁLISE MICRO - AVALIAÇÃO POR WORKSAMPLING (AMOSTRAGEM DE TRABALHO)

5.3.1. RESULTADOS

A análise micro da produtividade foi realizada com base na metodologia de amostragem de trabalho (*worksampling*), tendo como referência a abordagem proposta por Diego Calvetti (2021) no modelo

Worker 4.0®. Esta técnica consistiu em observar de forma aleatória, mas sistemática, os trabalhadores em diferentes frentes de obra, classificando cada ação segundo categorias pré-definidas.

A recolha de dados decorreu ao longo de 15 dias, com um total de 16931 observações válidas.

O número de trabalhadores observados simultaneamente variou consoante a especialidade e a acessibilidade da frente de obra. Inicialmente foram registadas algumas ocorrências associadas a “*Machine Operation*” (operação de maquinaria), relacionadas com a utilização pontual do *Bobcat*. No entanto, como a sua presença foi esporádica e não significativa na totalidade das observações, optou-se por excluir estes dados da análise final.

A totalidade das observações recolhidas encontra-se resumida no Quadro 26, com a respetiva distribuição percentual por categoria, segundo o modelo *Worker 4.0®*.

Quadro 26 - Distribuição global das observações segundo o modelo *Worker 4.0®*

Worker 4.0®	Processo	Estado Produtivo	Ranking	Número de Observações	Peso Relativo %
Trabalho Manual	Operação	Produtivo (trabalho direto)	5	1834	10,34%
Ferramentas Auxiliares	Inspeção	Contribuição (trabalho de suporte)	6	1595	9,42%
Ferramentas Manuais	Operação	Produtivo (trabalho direto)	2	3191	18,85%
Ferramentas Elétricas/Eletrónicas	Operação	Produtivo (trabalho direto)	7	1426	8,42%
Não Opera Valor	Atraso	Trabalho Não Produtivo	1	3578	21,13%
Caminhar	Atraso	Trabalho Não Produtivo	4	2553	15,08%
Carregar/Transportar	Transporte ou Armazenamento	Contribuição (Trabalho de Suporte)	3	2754	16,27%
Total				16931	100%

As observações representam o número total de vezes que foram registadas tarefas específicas durante o estudo, classificadas dentro das categorias apresentadas na tabela do sistema *Worker 4.0®*.

Cada observação corresponde à identificação de uma determinada atividade ou estado produtivo num momento de amostragem.

A partir destes dados, foi realizada uma análise em três fases distintas:

1. Por categoria de atividade
2. Por tipo de processo (operação, inspeção, transporte, etc);

3. Por estado produtivo global, com base no cálculo do Fator de Contribuição Total (FCT)

5.3.2. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

5.3.2.1. FASE I – ATIVIDADES POR CATEGORIA

Com base nos dados recolhidos durante a aplicação da metodologia *worksampling*, foi possível calcular o número mínimo de observações necessário para garantir validade estatística, recorrendo à fórmula (3).

Utilizando o menor peso relativo ($P=8,42\%$) e uma precisão de 5% (A), obtém-se os resultados apresentados no Quadro 27.

Quadro 27 - Número mínimo de observações para os níveis de confiança

Nível de Confiança	Número Mínimo de Observações
90%	11769
95%	16708
99%	28838

Foram realizadas 16931 observações, o que corresponde a um valor acima do necessário para assegurar validade estatística com um intervalo de confiança de 95%. Isto garante que os resultados obtidos têm significado estatístico e podem ser generalizados ao contexto da obra observada.

Recorrendo à fórmula (4) é possível calcular o erro da amostra.

$$E = Z \times \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (4)$$

Onde:

- E = erro da amostra (margem);
- Z = valor da distribuição normal (1,96 para 95%);
- p = proporção de ocorrência da variável (menor proporção observada = 8,42%);
- n = número de observações

O intervalo de confiança de 95% para a produtividade estimada, corresponde a uma margem de erro de aproximadamente $\pm 0,417\%$, considerando 16931 observações, o que confirma a validade estatística dos resultados.

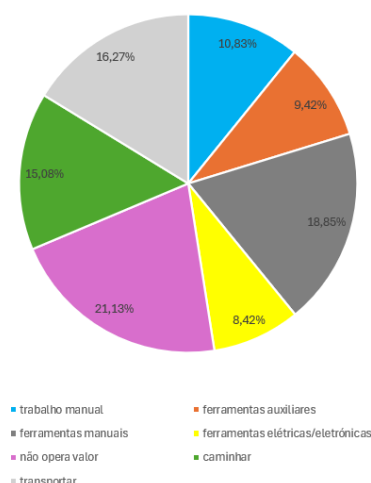


Figura 54 - Distribuição percentual das atividades

A análise mostra que a categoria com maior peso corresponde às atividades não operacionais (“não opera valor”), com 21,13% do total das observações. Este valor é coerente com obras de reabilitação urbana em edifícios habitados, onde as paragens e o tempo não produtivo assumem proporções significativas devido a interferências, circulação de moradores, limitações de espaço e ajustes constantes no planeamento.

A segunda categoria mais relevante foi o uso de ferramentas manuais (18,85%), seguido por transporte de materiais (16,27%) e deslocamentos a pé, “caminhar”, (15,08%). Esta distribuição reflete a natureza ainda manual das tarefas em obra e a escassez de equipamentos automatizados.

A utilização de ferramentas auxiliares (9,42%) e elétricas/eletrónicas (8,42%) revela uma presença moderada de apoio tecnológico, mas sem grande impacto na mecanização global da obra – reforçando a ideia de que a intervenção analisada se baseou em métodos construtivos convencionais e adaptados ao contexto habitado.

Não foram registadas observações nas categorias de operação de maquinaria nem de automatização robótica, o que é coerente com o tipo de obra em causa.

Apesar do tempo não produtivo representar mais de um quinto das ações observadas, é importante reconhecer que nem todas as atividades “não produtivas” são necessariamente negativas. Tarefas como supervisão, pausas estratégicas ou planeamento são essenciais para garantir segurança, qualidade e continuidade do processo construtivo. Num contexto de obra reabilitada com ocupação parcial, muitas destas atividades são inevitáveis – e até benéficas – para o bom funcionamento do estaleiro.

A distribuição por especialidade, apresentada nos anexos, permite observar padrões distintos de alocação de tempo e esforço em função da natureza das tarefas. A pintura, por exemplo, revela maior incidência de deslocamentos e pausas, enquanto a cerâmica regista maior percentagem de operação direta.

Esta análise reforça a utilidade do método *worksampling* na compreensão das dinâmicas específicas de cada frente de trabalho.

5.3.2.2. FASE II - PROCESSO

Numa segunda fase da análise, procedeu-se a uma classificação mais abrangente das atividades, agrupando as categorias inicialmente definidas com base no processo construtivo em quatro grandes grupos: operação, inspeção, paragens e deslocações, e transporte e armazenamento. Os dados utilizados mantêm-se os mesmos, sendo esta abordagem apenas uma forma de organizar as atividades de forma mais generalizada. A distribuição percentual dos processos analisados está ilustrada no Quadro 28 e na Figura 55.

Quadro 28 - Distribuição percentual dos processos

Processo	Ranking	Número de Observações	Peso Relativo (%)
Operação	1	6451	38,10%
Inspeção	4	1595	9,42%
Paragens e Deslocações	2	6131	36,21%
Transporte e Armazenamento	3	2754	16,27%
Total		16931	100%

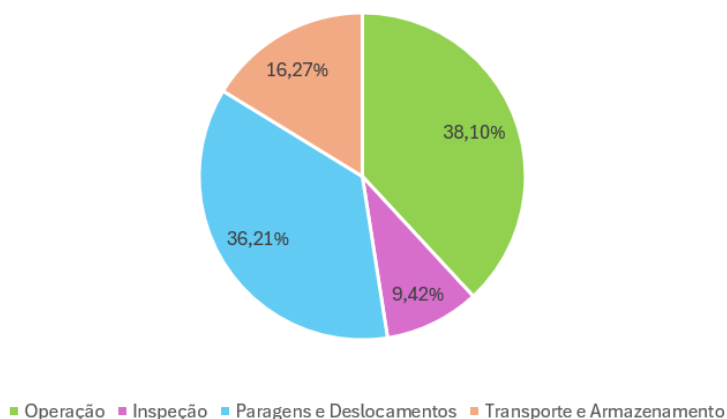


Figura 55 - distribuição percentual dos processos

No processo de operação incluem-se as tarefas que contribuem diretamente para o avanço da obra, como trabalho manual, utilização de ferramentas manuais e operação de maquinaria. Estas atividades correspondem às principais ações executadas no local, por exemplo, a colocação manual de materiais e execução de tarefas que requerem o uso de ferramentas específicas.

O processo de inspeção compreende atividades associadas ao uso de ferramentas auxiliares, que permitem a verificação e controlo da qualidade da obra, como medições de inclinação e alinhamento. Neste tipo de projeto, as inspeções são geralmente limitadas a verificações pontuais que asseguram a conformidade com as especificações técnicas, sendo comuns o uso de fitas métricas e níveis de bolha.

As paragens e deslocações correspondem a tempo não produtivos relacionados com a movimentação dos trabalhadores dentro do estaleiro ou à espera pela conclusão de atividades prévias. Considerando a natureza não linear da obra, onde as tarefas apesar de se repetirem de apartamento para apartamento, encontram realidades diferentes de local de trabalho, estes tempos assumem um peso considerável no total da amostragem, refletindo a necessidade de deslocamentos frequentes e esperas associadas.

Finalmente, o processo de transporte e armazenamento inclui as atividades relacionadas com o transporte de materiais e a sua organização no estaleiro. Apesar de representarem uma menor fração do tempo total, estas atividades são essenciais devido à necessidade de relocação diária dos materiais e equipamentos, resultado das limitações de espaço e da natureza temporária dos locais de armazenamento ao longo da obra.

Conforme apresentado no Quadro 28, o processo de operação destaca-se como o mais representativo, correspondendo a 38,10% do tempo total, seguido por paragens e deslocações com 36,21%, transporte e armazenamento com 16,27% e, por fim, inspeção com 9,42%. Estes resultados evidenciam que, apesar da predominância das tarefas operacionais, os tempos dedicados a deslocações e paragens constituem uma parcela significativa do fluxo de trabalho, impactando a produtividade global da obra.

Esta análise permite compreender melhor a distribuição do tempo entre os diferentes processos, fornecendo subsídios para otimizações futuras, seja na redução dos tempos não produtivos, na organização do estaleiro ou na gestão dos recursos durante a execução.

5.3.2.3. FASE III – ESTADO PRODUTIVO

Nesta terceira fase da análise, as categorias iniciais foram reorganizadas conforme a influência direta no progresso da obra, bem como no tipo de trabalho realizado. Cada atividade foi classificada num dos três estados produtivos principais: trabalho produtivo (direto), trabalho auxiliar (apoio) e trabalho não produtivo. A figura x apresenta a distribuição percentual das categorias originais entre estes três estados produtivos, evidenciando a proporção relativa de cada um. O Quadro 29 apresenta os valores que permitiram criar a Figura 56.

Quadro 29 - Distribuição percentual do estado produtivo

Estado Produtivo	Ranking	Número de Observações	Peso Relativo (%)
Produtivo ou Trabalho Direto	1	6451	38,10%
Auxiliar ou Trabalho de Apoio	3	4349	25,69%
Trabalho Não Produtivo	2	6131	36,21%
Total		16931	100%

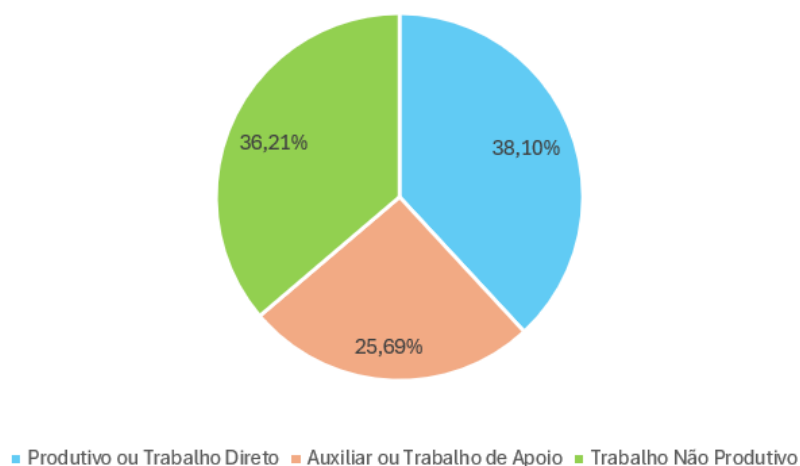


Figura 56 - Distribuição percentual do estado produtivo

Segundo Adrian, o Fator de Classificação de Trabalho (FCT) engloba o trabalho direto (TD) de um projeto, acrescido em 25% do trabalho auxiliar (TA). Este fator pode ser calculado através da fórmula (5).

$$FCT = TD + 0,25TA \quad (5)$$

Ao observar o Quadro 29, relativo ao caso de estudo, é possível verificar que o trabalho direto constitui 38,10% do total. Ao adicionar 25% da percentagem do trabalho auxiliar, o FCT atinge os 44,52%, aproximando ligeiramente do valor referenciado por Adrian (50%) como padrão esperado.

Esta diferença pode sugerir que existe margem para melhoria na organização das atividades auxiliares, ou na redução do tempo dedicado a tarefas não produtivas, de forma a aumentar a eficiência global do processo produtivo. Alternativamente, fatores específicos do projeto, como condições do local, tipo de tarefa ou restrições logísticas, podem justificar este valor um pouco inferior ao padrão teórico.

Em suma, o FCT de 44,52% reflete uma produtividade aceitável para o contexto estudado, mas que pode beneficiar de medidas de otimização para alcançar um desempenho ainda mais eficiente.

No final desta fase, foi ainda possível comparar os resultados por especialidade, como sintetizado no Quadro 30.

Quadro 30 - Síntese da distribuição percentual por especialidade

Especialidade	Número de Observações	Produtivo Direto (%)	Auxiliar ou Apoio (%)	Não Produtivo (%)
Pintura	5542	32,68%	29,23%	38,09%
Cerâmicos	5101	37,29%	26,68%	36,03%
Carpintaria	6288	43,54%	21,76%	34,70%

Através deste quadro é possível verificar que a especialidade com maior peso de trabalho auxiliar é a pintura, o que pode indicar um excesso de deslocações de materiais ou tentativa de organização do espaço de trabalho. Também se verifica que a pintura possui o maior peso de trabalho não produtivo, o que aponta para tempos de espera elevados, interrupções frequentes e espaço de trabalho obstruído. Já no trabalho produtivo direto, a carpintaria é a especialidade com maior peso e que está próxima do objetivo de 50%.

Concluindo, a carpintaria destaca-se com a melhor *performance* global, sugerindo um bom planeamento e execução, enquanto os cerâmicos apresentam um desempenho intermédio, com espaço para redução do tempo não produtivo e otimização das tarefas auxiliares. Por fim, a pintura tem o pior desempenho produtivo e o maior tempo não produtivo, o que sinaliza a necessidade de ações corretivas.

5.3.2.4. ÍNDICE DE MECANIZAÇÃO

Com base na metodologia *worksampling*, é possível calcular o índice de mecanização, indicador que reflete a proporção de tarefas mecanizadas em relação ao total das atividades observadas numa obra. A fórmula utilizada segue a equação (5) proposta por Diego Calvetti.

$$\text{Índice de Mecanização} = \frac{EET + MOP + RBA}{\sum \text{Processos de Operação}} \quad (5)$$

Onde:

- EET = ferramentas elétricas/eletrónicas (electric/electronic tools)
- MOP = operação de máquinas (machine operation);
- RBA = tarefas com recurso a automação robótica (robotic automation)
- Processos de Operação = FHP + MNT + EET + MOP + RBA
- FHP = trabalhos manuais (free-hand performing);
- MNT = ferramentas manuais (manual tools);

No caso de estudo não foi registada a utilização de máquinas (MOP) nem a automação robótica (RBA), pelo que esses valores são nulos.

Calvetti propõe no seu artigo uma escala para avaliar os valores deste índice:

- Baixo: 0 a 20%
- Moderado: 21 a 40%
- Elevado: 41 a 60%
- Muito elevado: mais de 61%

Aplicando ao caso de estudo, obtemos a proporção apresentada no Quadro 31.

Quadro 31 - Índice de mecanização

EET	MOP	RBA	Processos de Operação	Índice de Mecanização (%)
1426	0	0	6451	22,11%

Assim, segundo o artigo, este caso de estudo possui índice de mecanização moderado (22,11%), situando-se muito próximo do limiar inferior (20%), o que evidencia uma predominância de métodos tradicionais, manuais ou com ferramentas de pequeno corte.

Este resultado é coerente com o contexto da obra em análise, que se trata de uma intervenção de reabilitação energética em edifícios com ocupação parcial por parte dos moradores. Esta condição impõe fortes restrições logísticas e operacionais, limitando o uso de maquinaria pesada ou de processos mais intrusivos. Assim, o recurso a ferramentas elétricas portáteis revela-se uma solução mais compatível com o ambiente residencial habitado, permitindo a execução das tarefas com menor impacto para os ocupantes.

A mecanização moderada (22,11%) pode estar na origem da produtividade mais contida observada nas especializações analisadas, sobretudo na pintura onde os tempos não produtivos foram mais expressivos. Comparando com estudos de obras novas ou industriais (onde o índice pode ultrapassar com 50-60%), é evidente que a presença de maquinaria e processos automatizados influencia diretamente a eficiência global. No entanto, em contextos de reabilitação com ocupação parcial, a mecanização tem limites operacionais naturais que devem ser respeitados, reforçando a necessidade de um planeamento logístico apurado e de metodologias adaptadas, como o próprio *worksampling* demonstrou.

5.3.3. ANÁLISE COMPARATIVA

Importa salientar que, após uma pesquisa extensiva, não foram identificados estudos diretamente comparáveis que analisem o índice de mecanização em contextos de reabilitação energética com ocupação parcial. Este fator condiciona significativamente a execução de atividades construtivas, limitando o uso de maquinaria pesada e obrigando a uma abordagem mais manualizada, com maior necessidade de ferramentas manuais e trabalhos de apoio.

Apesar disso, existem estudos que abordam a eficiência energética e os desafios de reabilitação de edifícios existentes, embora sem focar diretamente a produtividade ou mecanização. Frade (2019) apresenta uma metodologia para a avaliação de medidas de reabilitação energética, enquanto Gonçalves (2021) analisa a rentabilidade económica dessas medidas em edifícios multifamiliares antigos.

A ausência de estudos focados no impacto da ocupação parcial durante a reabilitação reforça a originalidade do presente trabalho, que contribui com dados relevantes e pode servir de base para futuras investigações ou tomadas de decisão em intervenções de características semelhantes.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação teve como principal objetivo analisar a produtividade em obras de reabilitação energética em edifícios habitacionais, recorrendo à metodologia *worksampling*. Através da recolha sistemática de dados em campo, foi possível identificar padrões de desempenho, níveis de mecanização e fatores que influenciam diretamente a eficiência operacional no contexto específico de uma obra com ocupação parcial por parte dos moradores.

Os resultados obtidos revelam que a produtividade direta se situou nos 38,10%, valor reforçado em 25%, originando um FCT de 44,52%. Considerando o número de observações realizadas, esta estimativa apresenta uma margem de erro aproximada de $\pm 0,417\%$ (IC 95%), refletindo a variabilidade do método *worksampling*. Apesar de se aproximar do valor de referência apontado na literatura (50%), este resultado indica a existência de margem para melhorias, especialmente na gestão de tarefas auxiliares e na minimização de tempos não produtivos.

A especialidade de carpintaria destacou-se com um desempenho produtivo superior, resultado de boas práticas como o uso de materiais pré-cortados e de uma menor interferência com outras equipas. Em contraste, a pintura apresentou maiores percentagens de trabalho auxiliar e não produtivo, refletindo desafios operacionais associados à logística e à ocupação parcial do edifício. A cerâmica, por sua vez, apresentou valores consistentes e dentro dos padrões esperados para este tipo de intervenção.

O índice de mecanização apurado foi de 22,11%, situando-se na categoria “moderado”, embora muito próximo do limiar inferior. Este valor confirma a forte presença de métodos tradicionais e ferramentas manuais, o que se compreende perante a natureza da obra e as limitações impostas pela convivência com os moradores durante a execução dos trabalhos.

Em suma, os dados obtidos evidenciam que, embora a produtividade global seja aceitável para o contexto em estudo, existem oportunidades claras de otimização, nomeadamente na organização logística, na redução de interferências e na promoção de práticas mais mecanizadas compatíveis com o ambiente habitacional.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Com base nos resultados alcançados, surgem diversas possibilidades para o desenvolvimento de estudos futuros. Em primeiro lugar, seria vantajoso alargar a amostragem a outras fases da obra, nomeadamente à fase inicial da reabilitação (fachadas, coberturas e reforços estruturais), de forma a obter uma visão mais abrangente do desempenho global.

Além disso, recomenda-se a aplicação da metodologia *worksampling* em diferentes contextos de reabilitação – incluindo obras sem ocupação – para avaliar o impacto direto da presença de moradores na produtividade e no índice de mecanização.

Outro caminho promissor reside na integração de ferramentas digitais e sensores de monitorização em tempo real, que poderiam complementar e enriquecer os dados observacionais, melhorando a precisão das medições e a capacidade de resposta em obra.

Por fim, seria pertinente desenvolver uma base de dados de produtividade específica para obras de reabilitação urbana em Portugal, que permita aos profissionais comparar o desempenho das suas intervenções com valores de referência, promovendo uma melhoria contínua do setor da construção sustentável.

Este estudo representa um contributo inicial para um tema ainda pouco explorado na literatura técnica nacional: a produtividade na reabilitação energética em edifícios ocupados. Ao sistematizar dados empíricos num cenário real, espera-se que esta investigação sirva de base para estudos comparativos futuros, para o aperfeiçoamento de metodologias de planeamento e para uma gestão mais eficiente das equipas em contexto urbano. A reabilitação sustentável, para além de um imperativo ambiental, exige também abordagens construtivas mais conscientes e produtivas – e este trabalho pretende ser um passo nesse caminho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE. (s.d). *Portugal lidera na eficiência energética e supera média europeia*. <https://www.adene.pt/portugal-lidera-na-eficiencia-energetica-e-supera-media-europeia/>
- Homify. (s.d). *O que todos precisamos de saber sobre piso radiante*. https://www.homify.pt/livros_de_ideias/565569/o-que-todos-precisamos-de-saber-sobre-piso-radiante
- LG Portugal. (s.d). *O que é uma bomba de calor?* <https://www.lg.com/pt/aquecimento-bomba-de-calor/o-que-e-uma-bomba-de-calor/>
- Enbiente. (s.d). *Os painéis solares danificam o telhado?* <https://enbiente.com/os-paineis-solares-danificam-o-telhado/>
- Temper Fenómeno. (s.d). *VMC: sistema de ventilação para casas*. <https://temperfenomeno.pt/blog/climatizacao/vmc-sistema-de-ventilacao-para-casas>
- Inácio & Baptista. (s.d). *Janelas com gás argon*. <https://inacioebaptista.pt/janelas-com-gas-argon/>
- Unatudo. (s.d). *Isolamento térmico*. <https://unatudo.pt/isolamento-termico/>
- Fundo Ambiental. (s.d.-a). *Programa Vale Eficiência*. <https://www.fundoambiental.pt/apoios-prr/c13-eficiencia-energetica-em-edificios/02c13-i01-programa-vale-eficiencia.aspx>
- Fundo Ambiental. (s.d.-b). *Vale Eficiência – 2.ª fase (e-Balcão)*. <https://www.fundoambiental.pt/vale-eficiencia-2-fase/e-balcao.aspx>
- Fundo Ambiental. (s.d.-c). *Plataforma Vales de Eficiência*. <https://www.fundoambiental.pt/plataforma-vales-de-eficiencia.aspx>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (s.d.-a). *Roteiro para a neutralidade carbónica 2050*. <https://apambiente.pt/clima/roteiro-para-neutralidade-carbonica-2050>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (s.d.-b). *Emissões de gases com efeito de estufa*. <https://rea.apambiente.pt/content/emiss%C3%B5es-de-gases-com-efeito-de-estufa>
- RG Drones. (s.d). *Drones na construção*. <https://www.rgdrones.pt/drones-na-construcao>
- Topcon Positioning. (s.d). *GLS-2200*. <https://www.topconpositioning.com/br/pt/solutions/technology/infrastructure-products/gls-2200>
- Agência Internacional de Energia (2022). *World Energy Outlook 2022*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- Conselho da União Europeia (2025). *Objetivo 55: tornar os edifícios da UE mais ecológicos*. <https://www.consilium.europa.eu/pt/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>
- DGEG (2020). *Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios*. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/sistema-de-certificacao-energetica-dos-edificios/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/>
- EUR-Lex (2012). *Diretiva 2012/27/UE*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/pt/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0027>
- Ministério Público Portugal (2019). *DL n° 95/2019, de 18 de julho: Regime aplicável à reabilitação de edifícios ou frações autónomas*. https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=3189&tabela=leis&so_miolo=

- ADENE – Agência para a Energia. *Certificação Energética de Edifícios*. <https://www.sce.pt/certificacao-energetica-de-edificios/consumidores/>
- DGGE (2004). *Reabilitação Energética da Envolvente de Edifícios Residenciais*. Novembro/2004, DGGE/IP-3E, Lisboa.
- EUROPEAN COMMISSION. *Energy performance of buildings directive (EPBD)*. 2018. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive-epbd_en
- REHVA - Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations. *European standards for energy efficiency in buildings*. <https://www.rehva.eu/>
- Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro. *Regime aplicável ao desempenho energético dos edifícios em Portugal*. <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-149912708>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Wiley.
- Koskela, L. (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction*. Technical Report #72, CIFE, Stanford University.
- McKinsey & Company. (2020). *The Next Normal in Construction*. <https://www.mckinsey.com/industries/engineering-construction-and-building-materials/our-insights/the-next-normal-in-construction>
- Gerber, D. J., Becerik-Gerber, B., & Kunz, A. (2010). *Building Information Modeling and Lean Construction: Technology, Methodology and Advances from Practice*. International Group for Lean Construction.
- CITB. (2016). *The Construction Skills Network Programme 2015-2017*.
- Antunes, R., & Poshdar, M. (2018). *Envision of an Integrated Information System for Project-Driven Production in Construction*.
- Wang, X., Yu, H., McGee, W., Menassa, C. C., & Kamat, V. R. (2023). *Enabling Building Information Model-Driven Human-Robot Collaborative Construction Workflows with Closed-Loop Digital Twins*.
- Urbano, L. T. R. M. (2024). *Avaliação da Produtividade de Trabalhos de Infraestruturas por Recurso a Metodologias Worksampling*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Silva, M.D.B.P.P (2021). *Impacto da Produtividade na Eficiência e Modernização da Construção*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Faria, J.A.D (2020). *Avaliação do Impacto de Aspetos de Forma dos Elementos na Produtividade do Assentamento de Alvenarias*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Freitas, Vasco - *Manual de apoio ao projeto de reabilitação de edifícios antigos*. Porto: Ordem dos Engenheiros da Região Norte, 2012. ISBN 978-972-99918-7-5
- Appleton, João Augusto da Silva - *Reabilitação de edifícios antigos: patologias e tecnologias de intervenção*, 2ª. ed., rev. e aumentada. Alfragide: Edições Orion, 2011. ISBN 972-8620-03-9
- Cóias, Vítor - *Reabilitação estrutural de edifícios antigos: alvenaria, madeira: técnicas pouco intrusivas*. Lisboa: Argumentum, 2007. ISBN 978-972-8479-40-9

- Queirós, Dóris - *Comportamento acústico de edifícios com valor patrimonial: manual técnico*. Porto: Gequaltec/FEUP, 2013. ISBN 978-989-98633-2-3
- Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F., Serrano, S., Barreneche, C., & Petrichenko, K. (2020). *Energy use and GHG emissions in the built environment*. *Energy and Buildings*, 174, 562–580.
- BPIE – Buildings Performance Institute Europe. (2021). *Renovation: A strategic opportunity for Europe*. <https://www.bpie.eu>
- European Commission (2023) – *Recast of the EPBD – Energy Performance of Buildings Directive*
- Ribeiro, F. & Henriques, C. O. (2019) – *Energy efficiency and buildings: a critical review on EU policy tools*. *Energy Policy*, 128, 113–122.
- IEA (2022) – *EU Buildings Policy Pathway – Recommendations to decarbonise the EU building stock*
- ADENE. (2023). *Relatório Anual do SCE – Sistema de Certificação Energética*. <https://www.adene.pt>
- Zabalza Bribián, I., Aranda Usón, A., & Scarpellini, S. (2011). *Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification*. *Building and Environment*, 44(12), 2510–2520.
- Perez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). *A review on buildings energy consumption information*. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398.
- World Health Organization (WHO). (2018). *Housing and health guidelines*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550376>
- Barbosa, G., Formoso, C., & Tzortzopoulos, P. (2020). *Productivity in refurbishment projects: barriers and strategies*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(5), 04020034.
- Formoso, C. T., Sommer, L., & Ribeiro, J. L. D. (2019). *Barriers and enablers for improving productivity in construction*. *Built Environment Project and Asset Management*, 9(4), 529–545.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *Productivity measurement in construction: A review of current methods*. *Construction Management and Economics*, 36(9), 457–474.
- Tezel, A., Koskela, L., & Aziz, Z. (2021). *Last Planner System: Experiences and challenges in refurbishment projects*. *Lean Construction Journal*, Spring 2021, 44–55. <https://leanconstruction.org>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*. Wiley.
- World Economic Forum. (2020). *The next normal in construction: How disruption is reshaping the world's largest ecosystem*. <https://www.weforum.org>
- Adrian, J. J. (2004). *Construction Productivity: Measurement and Improvement*. Stipes Publishing.
- Frade, A. M. C. (2019). *Avaliação de Medidas de Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra.
- Gonçalves, M. P. F. (2021). *Reabilitação Energética de Edifícios Multifamiliares Anteriores a 1960: Avaliação da Rentabilidade das Medidas de Eficiência Energética*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra.
- Alaloul, W.S., et al., *Productivity monitoring in building construction projects: a systematic review*. *Engineering Construction and Architectural Management*, 2022.

- Dixit, S., et al., *Evolution of studies in construction productivity: A systematic literature review* (2006–2017). *Ain Shams Engineering Journal*, 2019
- Horta, I.M., et al., *Performance trends in the construction industry worldwide: an overview of the turn of the century*. *Journal of Productivity Analysis*, 2013
- Bernstein, H.M., *measuring productivity*. *Civil Engineering*, 2003.
- Calvești, D., et al., *Worker 4.0: The future of sensed construction sites*. *Buildings*, 2020.
- OECD, *Measuring Productivity - OECD Manual*. 2001.
- Liou, F.S. and D. Borcharding John, *Work Sampling Can Predict Unit Rate Productivity*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1986
- Resene Paints Ltd. *Productivity tables*. Recuperado de <https://www.resene.com/comn/services/productivity.htm>
- PM-ProGuide. *Standard labor productivity rates in construction*. Recuperado de <https://pm-proguide.com/standard-labor-productivity-rates-in-construction/>
- Philippine Construction Productivity Rates (Mengistu, Z.). (2020). *Productivity Rate – labor & equipment*. Recuperado de <https://pdfcoffee.com/151591149-productivity-rate-labor-eqpt-pdf-free.html>
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 50001:2018 – Energy management systems – Requirements with guidance for use*.
- Kang, J., & Kim, H. (2021). *Digital twin for sustainable building operation and maintenance: A review*. *Journal of Cleaner Production*.
- Azhar, S. (2011). *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry*. *Leadership and Management in Engineering*.
- Bibri, S.E., & Krogstie, J. (2020). *Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review*. *Sustainable Cities and Society*.
- U.S. Green Building Council. (2023). *LEED v4.1 Building Design and Construction*.

ANEXOS

ANEXO I

TABELAS E GRÁFICOS DETALHADOS PARA A ANÁLISE DE RESULTADOS

Pintura

Dias de visita	Apartamento	Número de Trabalhadores (un.)	Horas de Trabalho (h)	Área Realizada (m ²)
Dia 1	20 2º esq	2	5	5,72
Dia 5	21 r/c esq trás	2	6	14,45
Dia 6	21 r/c esq trás	2	6	17,81
Dia 7	20 r/c dir trás	2	8	75,5
Dia 7	20 1º esq	5	8	72,13
Dia 8	20 1º esq	5	8	72,13
Dia 8	20 r/c dir trás	5	8	70,41
Dia 8	20 1º dir	5	8	76,24
Dia 9	20 r/c dir trás	5	8	71,14
Dia 9	20 1º esq	2	7	55,71
Dia 9	20 1º esq frente	2	5	11,37
Dia 10	41 2º dir trás	2	7	58,6
Dia 11	41 2º dir trás	2	8	58,6
Dia 12	20 r/c dir frente	4	7	66,8
Dia 13	20 r/c dir frente	4	7	66,8
Dia 14	20 r/c dir frente	2	7	18,4
Dia 15	20 r/c dir frente	2	6	15,6
			119	827,41

Dias de visita	Horas da Equipa (Hh)	Produção Total Diária (m²)	Desempenho Diário (Hh/m²)	Produtividade (m²/Hh)
Dia 1	10	5,72	1,748	0,572
Dia 5	12	14,45	0,830	1,204
Dia 6	12	17,81	0,674	1,484
Dia 7	56	147,63	0,379	2,636
Dia 8	120	218,78	0,548	1,823
Dia 9	64	138,22	0,463	2,160
Dia 10	14	58,6	0,239	4,186
Dia 11	16	58,6	0,273	3,663
Dia 12	28	66,8	0,419	2,386
Dia 13	28	66,8	0,419	2,386
Dia 14	14	18,4	0,761	1,314
Dia 15	12	15,6	0,769	1,300
	386	827,41	0,527	2,144

Cerâmicos

Dias de visita	Apartamento	Número de Trabalhadores (un.)	Horas de Trabalho (h)	Área Realizada (m ²)
Dia 1	20 1º esq	2	1	2,05
Dia 1	20 2º esq	1	1,5	5,6
Dia 1	22 zona comum	1	2,5	3,8
Dia 1	20 1º esq trás	1	1	1,36
Dia 1	20 2º dir frente	1	1	1,39
Dia 1	20 zona comum	2	1	3,61
Dia 2	20 1º esq	1	1,5	3,25
Dia 2	20 2º esq	1	1	1,6
Dia 2	22 zona comum	1	3,5	5,34
Dia 2	20 1º esq trás	1	2,5	5,3
Dia 2	20 zona comum	1	2	3,08
Dia 3	20 1º esq	1	4,5	6,34
Dia 4	20 1º esq	1	6	6,34
Dia 5	20 1º esq	1	5,5	8,43
Dia 5	20 r/c dir trás	1	4,5	4,95
Dia 6	20 1º esq	1	7	8,43
Dia 6	20 zona comum	1	1	3,47
Dia 6	20 r/c dir trás	1	2	3,18
Dia 6	20 r/c esq trás	1	4,5	3,01
			53,5	80,53

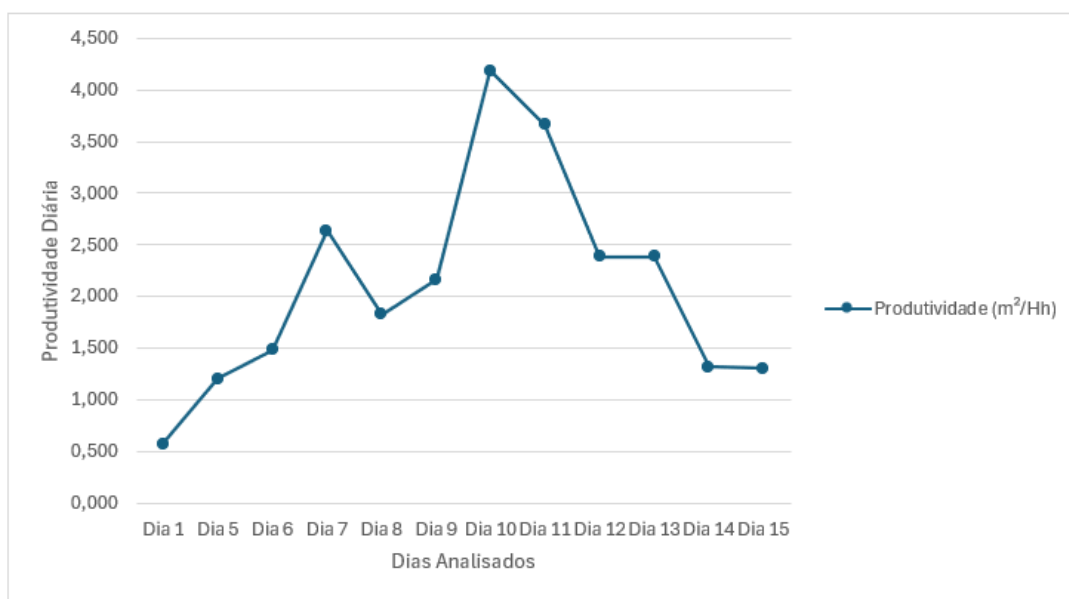
Dias de visita	Horas da Equipa (Hh)	Produção Total Diária (m²)	Desempenho Diário (Hh/m²)	Produtividade (m²/Hh)
Dia 1	10	17,81	0,561	1,781
Dia 2	10,5	18,57	0,565	1,769
Dia 3	4,5	6,34	0,710	1,409
Dia 4	6	6,34	0,946	1,057
Dia 5	10	13,38	0,747	1,338
Dia 6	14,5	18,09	0,802	1,248
	55,5	80,53	0,712	1,451

Carpintaria

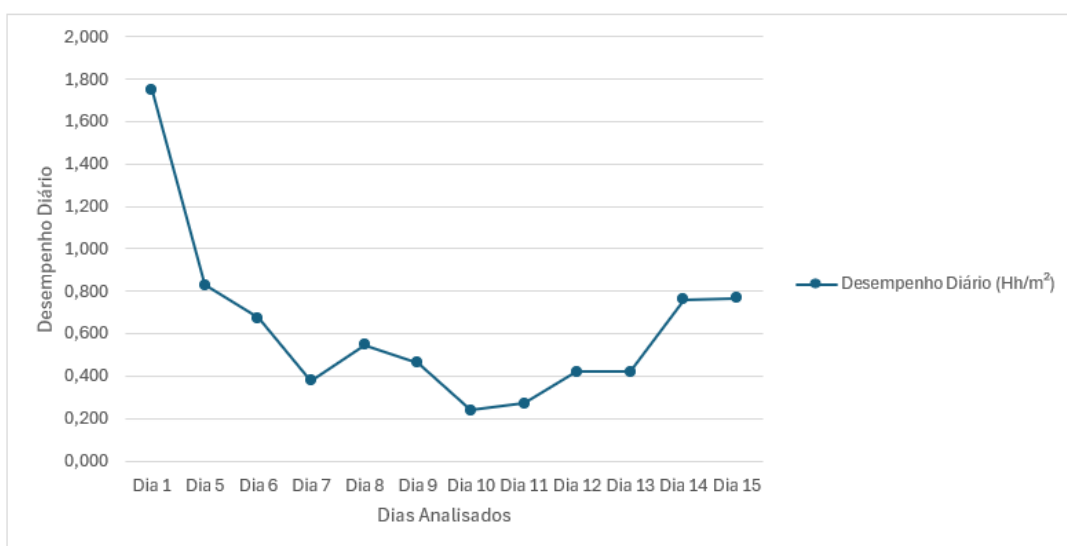
Dias de visita	Apartamento	Número de Trabalhadores (un.)	Horas de Trabalho (h)	Área Realizada (ml)
Dia 1	20 2º dir frente	3	2,5	15,4
Dia 1	22 r/c esq trás	2	2	12,9
Dia 2	20 2º dir frente	2	4	15,4
Dia 2	22 r/c esq trás	2	3,5	12,9
Dia 3	20 1º dir frente	1	2,5	41,43
Dia 3	20 1º esq	1	1,5	25,7
Dia 3	20 1º esq trás	1	1,5	25,7
Dia 3	20 r/c dir trás	1	2,5	52,35
Dia 3	20 r/c esq trás	1	2	10
Dia 4	20 1º dir frente	2	4	41,43
Dia 4	20 1º esq	2	2,5	25,7
Dia 4	20 1º esq trás	2	3	25,7
Dia 4	20 r/c dir trás	1	3,5	36,62
Dia 4	20 r/c esq trás	1	2	10
Dia 5	20 r/c dir trás	1	2	15,73
Dia 5	20 r/c esq trás	1	3	10
Dia 6	20 r/c dir trás	1	1,5	1,58
Dia 6	20 r/c esq trás	1	3,5	10
Dia 6	20 r/c esq	1	3	10
			50	398,54

Dias de visita	Horas da Equipa (Hh)	Produção Total Diária (ml)	Desempenh o Diário (Hh/ml)	Produtividade (ml/Hh)
Dia 1	11,5	28,3	0,406	2,461
Dia 2	15	28,3	0,530	1,887
Dia 3	10	155,18	0,064	15,518
Dia 4	24,5	139,45	0,176	5,692
Dia 5	5	25,73	0,194	5,146
Dia 6	8	21,58	0,371	2,698
	74	398,54	0,291	5,386

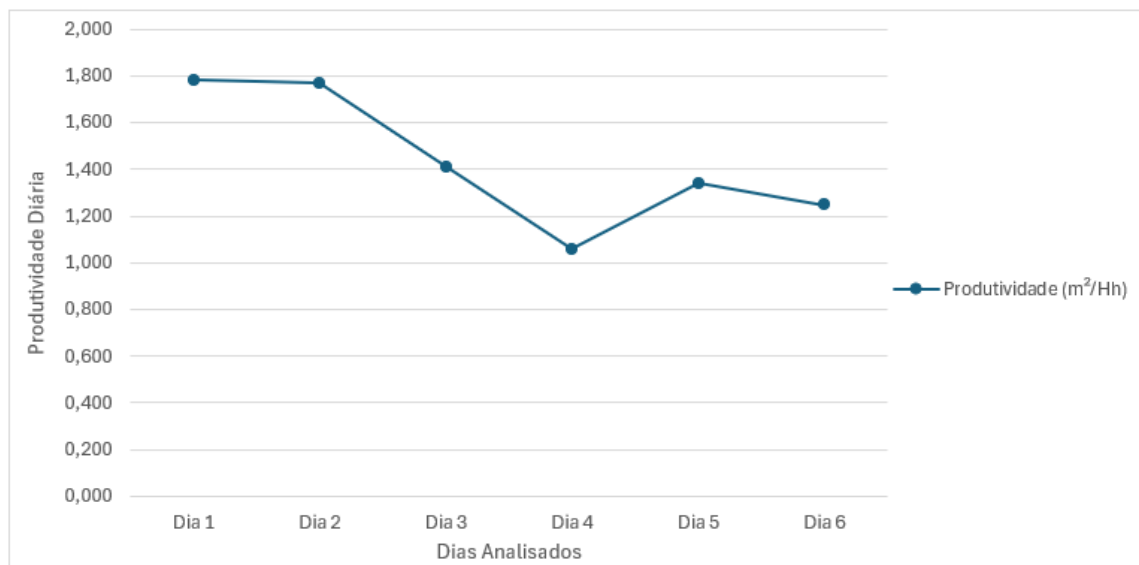
Pintura - Produtividade



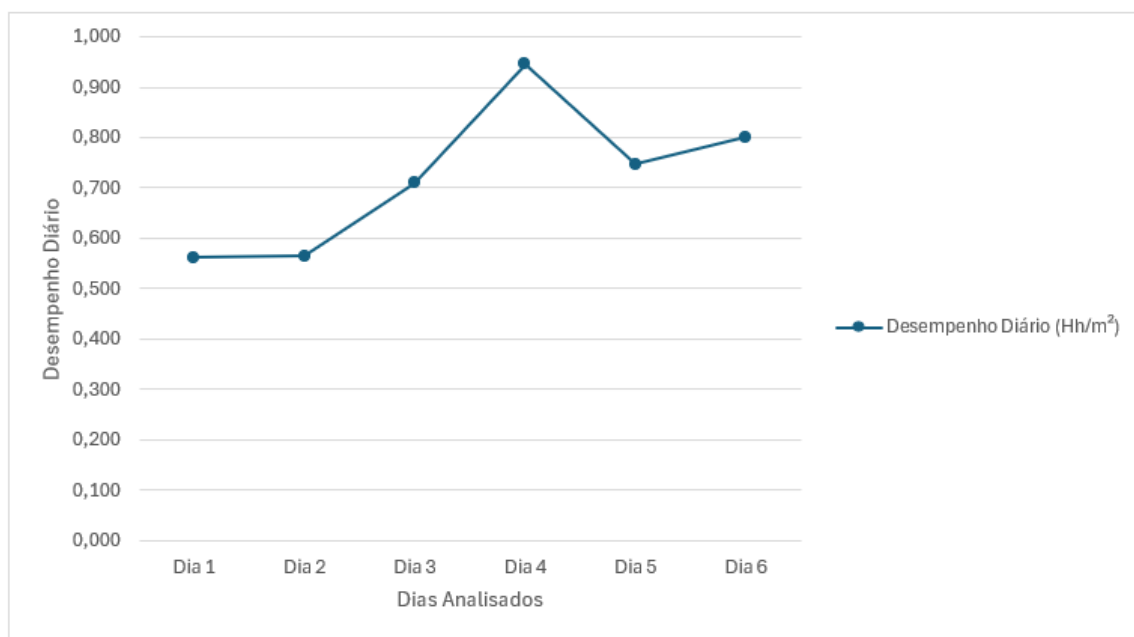
Pintura - Desempenho



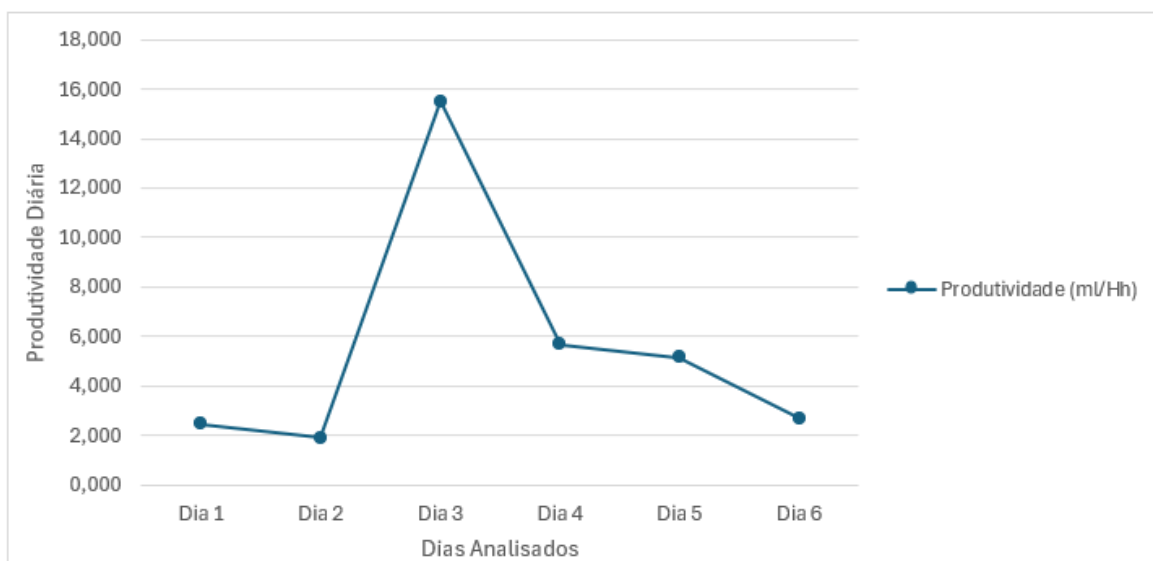
Cerâmicos - Produtividade



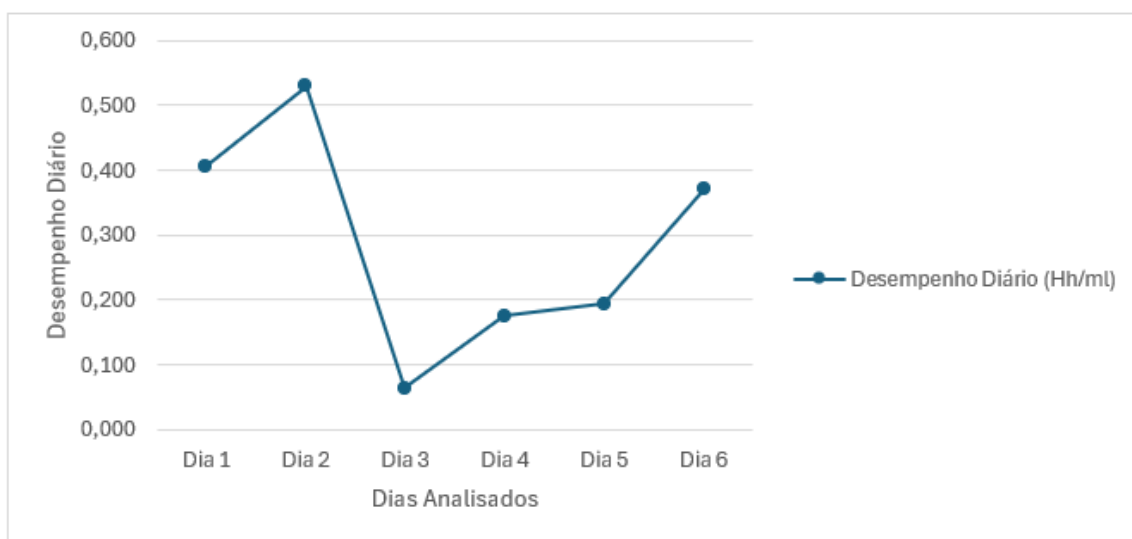
Cerâmicos - Desempenho

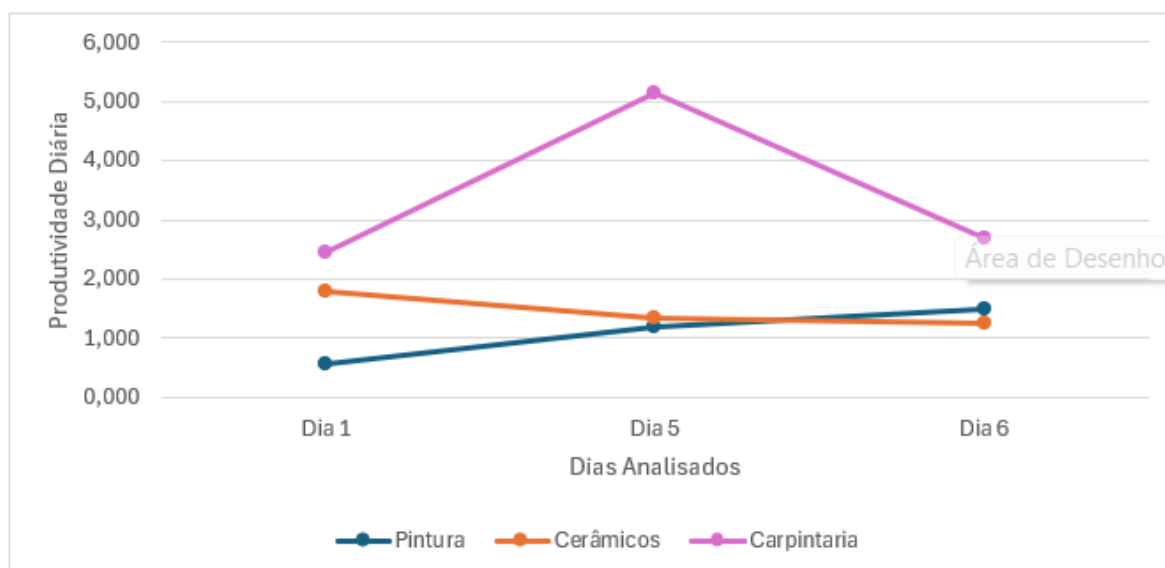
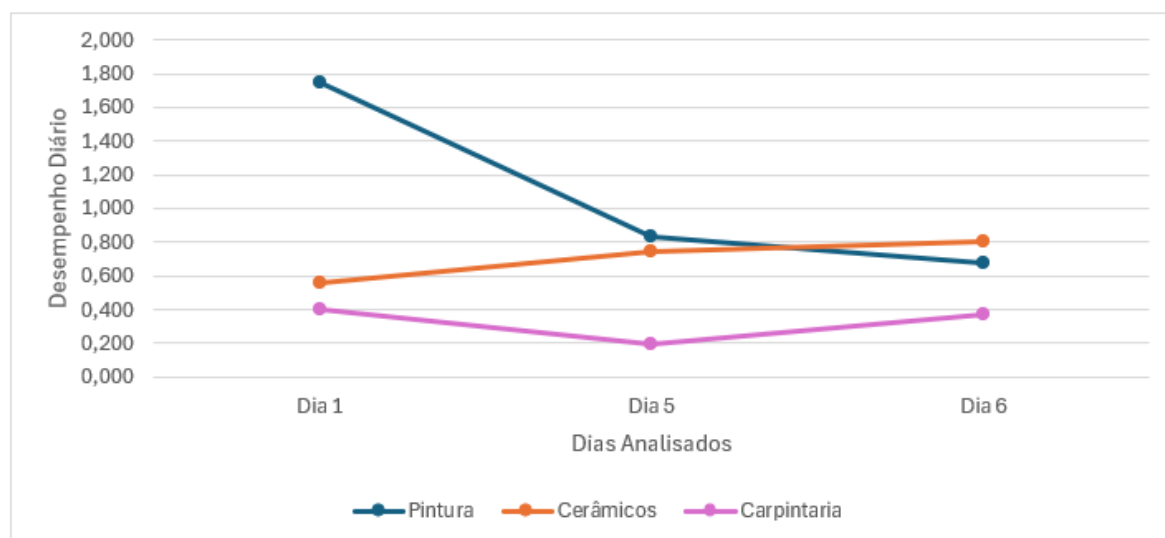


Carpintaria - Produtividade



Carpintaria - Desempenho





Pintura

Worker 4.0	Dia 1	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9
free-hand performing	3	19	33	127	126	116
auxiliary tools	7	11	41	95	72	94
manual tools	27	67	71	156	136	148
electric/electronic tools	0	0	0	78	64	62
machines operation	0	0	0	0	0	0
robotic automation	-	-	-	-	-	-
do not operate value	13	41	66	184	180	189
walking	8	39	57	152	153	160
carrying	11	35	51	166	155	185
nº total de medições	69	212	319	958	886	954

Pintura

Dia 10	Dia 11	Dia 12	Dia 13	Dia 14	Dia 15	total
29	34	25	29	33	31	605
33	41	41	44	40	39	558
48	61	67	61	89	71	1002
0	0	0	0	0	0	204
0	0	0	0	0	0	0
-	-	-	-	-	-	0
94	76	77	72	91	61	1144
71	84	59	63	66	55	967
88	97	66	51	72	85	1062
363	393	335	320	391	342	5542

Cerâmicos

Worker 4.0	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	total
free-hand performing	160	111	47	56	137	102	613
auxiliary tools	99	100	39	37	115	140	530
manual tools	175	223	41	64	145	166	814
electric/electronic tools	97	72	23	41	107	135	475
machines operation	0	0	0	0	0	0	0
robotic automation	-	-	-	-	-	-	0
do not operate value	266	236	85	76	155	226	1044
walking	142	165	53	91	161	182	794
carrying	151	151	59	97	182	191	831
nº total de medições	1090	1058	347	462	1002	1142	5101

Carpintaria

Worker 4.0	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	total
free-hand performing	56	54	121	173	97	115	616
auxiliary tools	51	60	32	132	99	133	507
manual tools	104	156	266	394	229	226	1375
electric/electronic tools	67	76	175	234	83	112	747
machines operation	0	0	0	0	0	0	0
robotic automation	-	-	-	-	-	-	0
do not operate value	92	149	257	439	227	226	1390
walking	52	91	160	264	120	105	792
carrying	76	132	184	240	91	138	861
nº total de medições	498	718	1195	1876	946	1055	6288

Totais

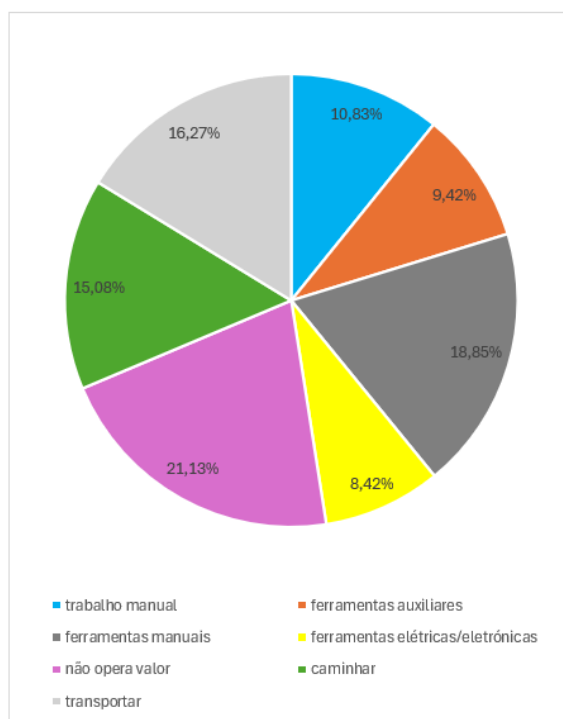
Worker 4.0	TOTAL	Peso
free-hand performing	1834	10,83%
auxiliary tools	1595	9,42%
manual tools	3191	18,85%
electric/electronic tools	1426	8,42%
machines operation	0	0,00%
robotic automation	0	0,00%
do not operate value	3578	21,13%
walking	2553	15,08%
carrying	2754	16,27%
nº total de medições	16931	100,00%

95% viabilidade	
Z	1,96
Z ²	3,8416
A	5,00%
P	8,42%
1-P	91,58%
A ²	0,25%
N	16708

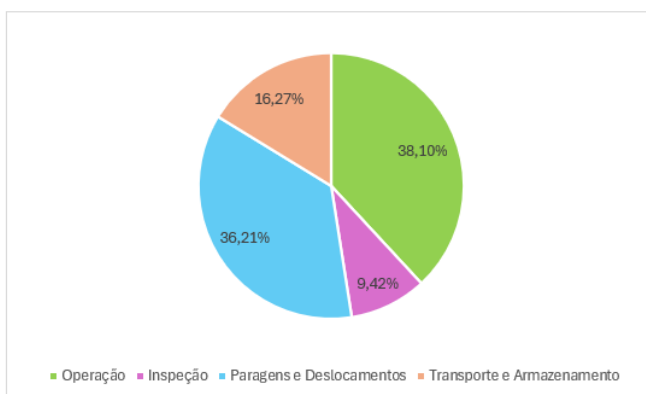
90% viabilidade	
Z	1,645
Z ²	2,706025
A	5,00%
P	8,42%
1-P	0,915775796
A ²	0,25%
N	11769

95% viabilidade	
Z	2,575
Z ²	6,63063
A	5,00%
P	8,42%
1-P	91,58%
A ²	0,25%
N	28838

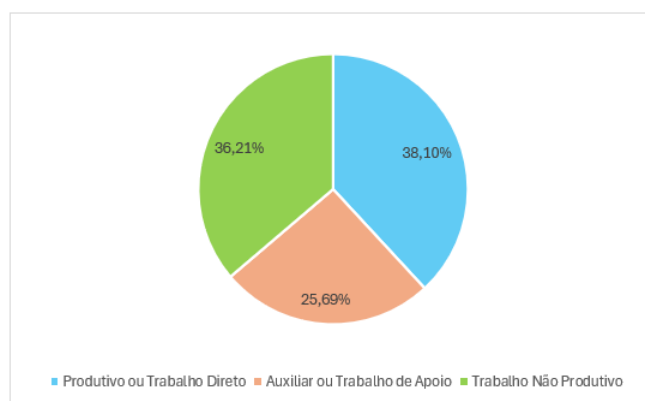
trabalho manual	10,83%
ferramentas auxiliares	9,42%
ferramentas manuais	18,85%
ferramentas elétricas/eletrónicas	8,42%
não opera valor	21,13%
caminhar	15,08%
transportar	16,27%



Processo	Nº Observações	Peso Relativo
Operação	6451	38,10%
Inspeção	1595	9,42%
Paragens e Deslocamentos	6131	36,21%
Transporte e Armazenamento	2754	16,27%
Total	16931	100,00%



Estado produtivo	Nº Observações	Peso Relativo
Produtivo ou Trabalho Direto	6451	38,10%
Auxiliar ou Trabalho de Apoio	4349	25,69%
Trabalho Não Produtivo	6131	36,21%
Total	16931	100,00%



Especialidade	Nº observações	Produtivo Direto (%)	Auxiliar (%)	Não Produtivo	
Pintura	5542	32,68%	29,23%	38,09%	100,00%
Cerâmicos	5101	37,29%	26,68%	36,03%	100,00%
Carpintaria	6288	43,54%	21,76%	34,70%	100,00%

ANEXO II

DOCUMENTOS FORNECIDOS DO CASO DE ESTUDO



[illegible]



