

Aplicação do Earned Value Management na Gestão de Projetos Industriais

DIOGO MANUEL ALMEIDA COSTA

julho de 2026

POLITÉCNICO DO PORTO
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

Aplicação do Earned Value Management na Gestão de Projetos Industriais

Diogo Manuel Almeida Costa

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial

ISEP INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA DO PORTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Julho, 2026

*Esta dissertação satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de
Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Área de Especialização em
Sistemas e Planeamento Industrial.*

Candidato: Diogo Manuel Almeida Costa, N.º 1200598,
1200598@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Carlos Freitas, cpf@isep.ipp.pt

Coorientação Científica: João Pedro Vieira Moreira, jvm@isep.ipp.pt

Empresa: Nestlé Portugal, Unipessoal.

Supervisor: Tomás Castro, tomas.castro@pt.nestle.com

ISEP INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA DO PORTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
Instituto Superior de Engenharia do Porto
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto

Julho, 2026

Agradecimentos

A conclusão desta dissertação não teria sido possível sem o apoio e a colaboração de diversas pessoas, às quais expresso o meu sincero reconhecimento.

Ao Professor Carlos Freitas e ao Professor João Pedro Vieira Moreira, orientador e coorientador desta dissertação, agradeço a disponibilidade, os ensinamentos e o acompanhamento prestado ao longo deste trabalho.

Ao Engenheiro Tomás Castro, supervisor na Nestlé Portugal, agradeço a confiança depositada, o apoio na recolha de dados e a partilha de conhecimento sobre a realidade industrial que tornou este estudo possível. A toda a equipa de projetos da unidade industrial de Avanca, o meu obrigado pela integração e pela colaboração ao longo do estágio.

Aos meus pais e às minhas duas irmãs, o meu profundo agradecimento pelo apoio incondicional, pela paciência e por estarem sempre presentes nos momentos mais exigentes deste percurso. À minha avó, pela força e pelo carinho de sempre.

À minha esposa, agradeço a compreensão, o incentivo constante e por nunca ter deixado de acreditar em mim, mesmo nos momentos de maior dificuldade.

Aos meus amigos e primos, pela presença, pela leveza que souberam trazer nos momentos certos e por tornarem este caminho mais fácil de percorrer.

A todos, o meu sincero obrigado.

Resumo

A crescente complexidade dos projetos industriais e a necessidade de controlar simultaneamente custos, prazos e progresso físico têm impulsionado a adoção de metodologias integradas de monitorização do desempenho. O Earned Value Management (EVM) destaca-se como uma das abordagens mais reconhecidas internacionalmente para este fim, ao combinar num único referencial analítico o valor planeado, o valor ganho e o custo real.

Esta dissertação apresenta a aplicação do modelo EVM a um projeto industrial real desenvolvido na unidade industrial da Nestlé em Avanca, Portugal. O projeto analisado correspondeu à atualização dos sistemas de segurança da instalação, incluindo a modernização do sistema de videovigilância (CCTV) e do sistema de controlo de acessos, com um orçamento total de €243 506,83 e uma duração planeada de catorze meses.

A metodologia adotada baseou-se na definição de uma Work Breakdown Structure (WBS) e de uma baseline de custo e prazo no Microsoft Project, na extração periódica dos custos reais do sistema SAP e no cálculo dos principais indicadores do modelo — CPI, SPI, EAC e VAC — em cinco pontos de análise trimestrais e num ponto de conclusão ao longo do ciclo de vida do projeto.

Os resultados obtidos demonstram que o EVM permitiu identificar situações relevantes que não seriam detetáveis com métodos tradicionais de controlo, nomeadamente o adiantamento do projeto resultante da negociação antecipada de equipamentos e o atraso crítico na fase de implementação causado por um bloqueio técnico no sistema de controlo de acessos. O projeto foi concluído em dezembro de 2025, com um atraso de aproximadamente um mês face à data planeada, e um desvio de custo de apenas 0,8% face ao orçamento inicial, evidenciando um controlo de custos globalmente eficaz.

O estudo identifica ainda limitações relevantes para a aplicação do *Earned Value Management* (EVM) em contexto industrial, em particular a influência da estrutura de pagamentos por marcos contratuais nos indicadores de custo, situação em que o *Schedule Performance Index* (SPI) se revelou um indicador mais fiável do que o *Cost Performance Index* (CPI). A integração manual entre o Microsoft Project e o *Systems, Applications and Products in Data Processing* (SAP) constituiu a principal barreira operacional identificada, sendo proposta como trabalho futuro a automação desta integração através de plataformas como o Microsoft Power BI.

Palavras-Chave: Earned Value Management, Gestão de Projetos, Controlo de Desempenho, Projetos Industriais, Microsoft Project, SAP

Abstract

The increasing complexity of industrial projects and the need to simultaneously control costs, schedules and physical progress have driven the adoption of integrated performance monitoring methodologies. Earned Value Management (EVM) stands out as one of the most internationally recognised approaches for this purpose, combining planned value, earned value and actual cost into a single analytical framework.

This dissertation presents the application of the EVM model to a real industrial project developed at the Nestlé industrial facility in Avanca, Portugal. The project analysed corresponded to the upgrade of the site's security systems, including the modernisation of the CCTV surveillance system and the access control system, with a total budget of € 243 506.83 and a planned duration of fourteen months.

The adopted methodology was based on defining a Work Breakdown Structure (WBS) and a cost and schedule baseline in Microsoft Project, periodically extracting actual costs from the SAP system, and calculating the main EVM indicators — CPI, SPI, EAC and VAC — at five quarterly analysis points and a final closure point throughout the project lifecycle.

The results demonstrate that EVM enabled the identification of relevant situations that would not have been detectable through traditional control methods, namely the project advancement resulting from the early negotiation of equipment delivery and the critical delay in the implementation phase caused by a technical blockage in the access control system. The project was completed in December 2025, approximately one month later than planned, with a cost variance of only 0.8% against the initial budget, reflecting overall effective cost control.

The study also identifies relevant limitations for the application of EVM in an industrial context, particularly the influence of milestone-based contractual payment structures on cost indicators, a situation in which the SPI proved to be a more reliable indicator than the CPI. The manual integration between Microsoft Project and SAP was identified as the main operational barrier, and the automation of this integration through platforms such as Microsoft Power BI is proposed as future work.

Keywords: Earned Value Management, Project Management, Performance Control, Industrial Projects, Microsoft Project, SAP

Índice

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Lista de Acrónimos	xiii
1 Introdução	1
1.1 Contextualização geral	1
1.2 Justificação do tema	1
1.3 Objetivos do trabalho	2
1.4 Metodologia adotada	3
1.5 Estrutura da dissertação	4
2 Revisão da Literatura	5
2.1 Gestão de Projetos	5
2.2 Iniciação do Projeto	7
2.2.1 Identificação da Necessidade e Definição de Objetivos	7
2.2.2 <i>Business Case</i> e Viabilidade	8
2.2.3 <i>Project Charter</i> (Termo de Abertura do Projeto)	8
2.2.4 Levantamento de Requisitos e URS	9
2.2.5 Identificação de Stakeholders e Governação	9
2.2.6 Riscos Iniciais e Alinhamento de Limites do Ambito	10
2.3 Planeamento de Projetos	10
2.3.1 Estruturação do Âmbito e Work Breakdown Structure	11
2.3.2 Planeamento Temporal e de Recursos	11
2.3.3 Linhas de Base do Projeto	11
2.3.4 Planeamento do Controlo e Ligação ao Earned Value Management	11
2.4 Modelos de Controlo e Monitorização de Projetos	12
2.4.1 Controlo Tradicional	12
2.4.2 Limitações dos Métodos Convencionais	13
2.5 Earned Value Management (EVM)	14
2.5.1 Evolução e Normalização	14
2.5.2 Conceitos-Chave	14

2.5.3	Indicadores de Desempenho	15
2.5.4	Earned Schedule	15
2.5.5	Interpretação e Utilização	16
2.6	Vantagens e Limitações do EVM	17
2.6.1	Vantagens do EVM	17
2.6.2	Limitações do EVM	19
2.7	Aplicações do EVM na Indústria	20
2.7.1	Projetos de Engenharia e Construção	21
2.7.2	Projetos de Manufatura e Modernização Fabril	21
2.7.3	Projetos de Engenharia Industrial e Automação	21
2.7.4	Estudos de Caso Reais	22
2.8	Fatores Críticos para uma Implementação Eficaz do EVM	22
2.8.1	Planeamento Detalhado do Projeto	22
2.8.2	Sistema de Medição de Progresso	23
2.8.3	Integração com Sistemas de Informação	24
2.8.4	Capacitação e Cultura Organizacional	24
2.8.5	Suporte da Alta Direção e Chefias	24
2.9	Síntese da Revisão da Literatura	25
3	Contexto Industrial e Descrição do Projeto	27
3.1	Enquadramento da Unidade Industrial	27
3.2	Contexto e Motivação do Projeto	28
3.3	Descrição Técnica do Projeto	28
3.4	Planeamento do Projeto	29
3.4.1	Recursos do Projeto	30
3.5	Estrutura de Decomposição do Trabalho	30
3.6	Linha de Base do Projeto	32
3.6.1	Orçamento e Linha de Base de Custo	33
3.6.2	Linha de Base Temporal e Curva do Valor Planeado	33
3.6.3	Pressupostos e Limitações da Baseline	34
4	Aplicação do Earned Value Management	37
4.1	Metodologia de Aplicação do EVM	37
4.2	Definição das Linhas de Base	38
4.3	Recolha de Dados e Pontos de Análise	38
4.3.1	Nota sobre o Período de Arranque (T4-2024)	39
4.4	Análise do Desempenho do Projeto	40
4.4.1	Indicadores EVM	40
4.4.2	Evolução dos Indicadores ao Longo do Tempo	42
	Fase 1 – Adiantamento inicial (T4-2024)	42
	Fase 2 – Estabilização (T1-2025)	42

Fase 3 – Atraso crítico na implementação (T2 e T3-2025) . . .	43
Fase 4 – Recuperação e encerramento (T4-2025)	44
4.4.3 Análise dos Índices de Desempenho	45
4.4.4 Estimativa do Custo à Conclusão	47
4.5 Contributo do EVM para a Gestão do Projeto	47
4.5.1 Detecção Precoce de Desvios	47
4.5.2 Integração com Sistemas de Informação Empresariais	48
4.5.3 Comparação entre o Modelo EVM e o Controlo de Budget Interno	49
4.5.4 Síntese da Análise EVM	50
5 Conclusões	53
5.1 Conclusões Gerais	53
5.2 Resposta aos Objetivos Específicos	55
5.3 Limitações do Estudo	56
5.4 Trabalho Futuro	58
Referências	60

Lista de Figuras

2.1	Grupos de processos na Gestão de Projetos [7]	6
2.2	Desenvolvimento do Project Charter: Inputs e Outputs [5]	9
2.3	Passos para formar a <i>baseline</i> do projeto [12]	10
2.4	Exemplo de controlo tradicional baseado em comparação entre custo planeado e custo real	13
2.5	Comportamento típico do CPI: estabilização após 15-20% de conclusão do projeto.	18
3.1	Cronograma do projeto definido na linha de base temporal (<i>schedule baseline</i>)	30
3.2	Estrutura de decomposição do trabalho (<i>Work Breakdown Structure</i> (WBS)) simplificada do projeto Site Security.	32
3.3	Curva do valor planeado (<i>Planned Value</i> (PV)) ao longo do tempo	34
4.1	Curva S do projeto – evolução do PV, <i>Earned Value</i> (EV) e <i>Actual Cost</i> (AC) ao longo do ciclo de vida (pontos de análise trimestrais e ponto de conclusão)	45
4.2	Evolução da variância de custo (<i>Cost Variance</i> (CV)) e da variância de prazo (<i>Schedule Variance</i> (SV)) ao longo do ciclo de vida do projeto	46
4.3	Arquitetura proposta para a integração automatizada dos sistemas de informação e o cálculo do EVM.	49

Lista de Tabelas

3.1	Valor Planeado (PV) por período de análise – Baseline do projeto	34
4.1	Síntese dos indicadores <i>Earned Value Management</i> (EVM) ao longo da execução do projeto	41
4.2	Comparação entre métodos de estimativa do custo à conclusão (<i>Estimate at Completion</i> (EAC))	41
4.3	Evolução da estimativa do custo à conclusão (EAC) e da variação prevista (<i>Variance at Completion</i> (VAC))	47

Lista de Acrónimos

AC	<i>Actual Cost</i>
BAC	<i>Budget at Completion</i>
CCTV	<i>Closed-Circuit Television</i>
CII	<i>Construction Industry Institute</i>
CPI	<i>Cost Performance Index</i>
CV	<i>Cost Variance</i>
EAC	<i>Estimate at Completion</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ETC	<i>Estimate to Complete</i>
EV	<i>Earned Value</i>
EVM	<i>Earned Value Management</i>
FAT	<i>Factory Acceptance Test</i>
OBS	<i>Organizational Breakdown Structure</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PV	<i>Planned Value</i>
RACI	<i>Responsible, Accountable, Consulted, Informed</i>
RAM	<i>Responsibility Assignment Matrix</i>
ROI	<i>Return on Investment</i>
SAP	<i>Systems, Applications and Products in Data Processing</i>
SAT	<i>Site Acceptance Test</i>
SMART	<i>Specific, Measurable, Achievable, Relevant and Time-bound</i>
SPI	<i>Schedule Performance Index</i>

SV	<i>Schedule Variance</i>
URS	<i>User Requirements Specifications</i>
VAC	<i>Variance at Completion</i>
WBS	<i>Work Breakdown Structure</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização geral

A crescente complexidade dos projetos industriais, em particular nos setores da engenharia, da produção e da transformação, tem vindo a reforçar a necessidade de abordagens estruturadas de planeamento e controlo. Estes projetos caracterizam-se frequentemente pela coexistência de múltiplas áreas técnicas, restrições operacionais significativas e elevados níveis de investimento, o que torna crítica a capacidade de monitorizar o seu desempenho de forma fiável e atempada. Neste contexto, a gestão eficaz de prazos, custos e recursos assume um papel determinante para o cumprimento dos objetivos estratégicos das organizações.

A utilização de ferramentas que permitam acompanhar o progresso dos projetos de forma integrada tornou-se, assim, essencial. Entre as metodologias existentes, o EVM destaca-se pelo seu reconhecimento internacional enquanto modelo quantitativo de controlo de projetos, ao integrar informação relativa ao custo, ao tempo e ao progresso físico num único sistema de medição de desempenho. Esta capacidade integradora confere ao EVM um potencial relevante para apoiar a tomada de decisão e a identificação precoce de desvios ao longo do ciclo de vida dos projetos.

1.2 Justificação do tema

A escolha do tema deste trabalho resulta da necessidade crescente de as empresas industriais melhorarem o controlo da execução dos seus projetos e reforçarem

a sua capacidade de antecipação face a desvios orçamentais e temporais. Apesar de o modelo EVM se encontrar amplamente difundido e consolidado em setores como a construção, a defesa ou as grandes infraestruturas, a sua aplicação prática em projetos industriais de natureza tecnológica e operacional continua a apresentar desafios relevantes. Entre estes destacam-se a fiabilidade dos dados disponíveis, a medição consistente do progresso físico e a adaptação do modelo à realidade operacional das organizações [1, 2]. Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do estágio curricular realizado na empresa Nestlé, na unidade industrial de Avanca, durante o último ano do ciclo de estudos. Durante este período, o autor integrou a equipa de engenharia responsável por diversos projetos de melhoria da fábrica e do centro de distribuição, participando ativamente no planeamento, acompanhamento e controlo dos mesmos. Este enquadramento proporcionou uma oportunidade concreta para aplicar o modelo EVM a um projeto industrial real, permitindo uma análise prática e fundamentada da sua aplicabilidade, bem como das limitações associadas à sua implementação em contexto industrial.

O envolvimento do autor na unidade industrial da Nestlé em Avanca decorreu ao longo de um período alargado, o que se revelou determinante para o acesso continuado aos dados do projeto e para o acompanhamento próximo da sua execução. O percurso teve início em julho de 2024, com um estágio curricular de um ano integrado na equipa de engenharia responsável pelos projetos de melhoria da fábrica e do centro de distribuição. Após a conclusão do estágio, o autor manteve funções na empresa durante um período adicional de aproximadamente seis meses, até ao final de 2025. Esta permanência assegurou o acompanhamento do projeto *Site Security* de forma praticamente integral — desde as fases de planeamento, em setembro de 2024, até ao seu encerramento, em dezembro de 2025 —, permitindo recolher os dados de planeamento, de progresso físico e de custo em contacto direto com a execução, e não de forma reconstruída *a posteriori*.

1.3 Objetivos do trabalho

O objetivo principal deste trabalho consiste na aplicação do modelo EVM a um projeto real numa unidade industrial, com vista a avaliar a sua utilidade enquanto ferramenta de monitorização e controlo do desempenho. Em particular, pretende-se analisar a capacidade do EVM para acompanhar o progresso do projeto em termos de custo e de prazo, antecipar desvios relevantes e apoiar a tomada de decisão ao longo da fase de execução.

De forma a concretizar este objetivo, foram definidos os seguintes **objetivos específicos**:

- Avaliar a capacidade do EVM para detetar desvios de custo e de prazo em fases precoces da execução de um projeto industrial;

- Demonstrar a aplicabilidade prática do modelo em contexto industrial, identificando as condições necessárias a uma implementação eficaz;
- Identificar os principais obstáculos e limitações associados à implementação do EVM num ambiente de produção real, nomeadamente ao nível da medição do progresso físico e da integração com sistemas de informação empresariais.

Para atingir estes objetivos, foram desenvolvidas as seguintes **atividades**:

- Revisão da literatura sobre gestão de projetos e o modelo EVM, enquadrando os seus princípios, evolução e aplicações industriais;
- Estruturação do projeto através de uma *Work Breakdown Structure* (WBS) e definição das linhas de base de custo e de prazo;
- Integração dos custos reais extraídos do sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP) (SAP) com os dados de planeamento do Microsoft Project, para cálculo e interpretação dos principais indicadores do EVM;
- Desenvolvimento de uma ferramenta de análise em Microsoft Excel que permite avaliar de forma rápida e objetiva o estado do projeto em cada ponto de monitorização.

1.4 Metodologia adotada

Do ponto de vista metodológico, este trabalho classifica-se como um **estudo de caso único, de natureza exploratório-descritiva**. Esta classificação assenta nos critérios definidos por Yin [3], segundo os quais o estudo de caso é a estratégia de investigação adequada quando se pretende responder a questões do tipo “*como*” e “*porquê*”, o fenómeno em análise não pode ser separado do seu contexto real, e o investigador não exerce controlo sobre os eventos estudados. Estas condições verificam-se integralmente no presente trabalho: a aplicação do EVM é analisada no contexto específico de um projeto industrial real, sem manipulação experimental das variáveis, e com o objetivo de compreender como o modelo se comporta e porquê apresenta as limitações identificadas. A dimensão exploratória justifica-se pela escassez de estudos empíricos sobre a aplicação do EVM em projetos industriais de média dimensão no contexto europeu; a dimensão descritiva decorre da necessidade de documentar sistematicamente os indicadores de desempenho ao longo do ciclo de vida do projeto [4].

A recolha e análise de dados seguiu uma abordagem mista. Os dados quantitativos — valores de PV, EV e AC em cinco pontos de monitorização trimestrais — foram obtidos a partir do Microsoft Project e do sistema *Systems, Applications*

and Products in Data Processing (SAP), e processados numa ferramenta desenvolvida em Microsoft Excel. Os dados qualitativos — relativos às causas dos desvios identificados, às dificuldades de implementação e à comparação com o sistema de controlo interno da organização — foram recolhidos através da participação direta do autor nas atividades de gestão do projeto ao longo do estágio curricular, em linha com a lógica de *insider research* característica dos estudos de caso em contexto organizacional [3].

A validade interna dos resultados é assegurada pela triangulação entre três fontes independentes: o planeamento do Microsoft Project, os registos financeiros do SAP e o sistema de controlo de budget interno da organização. As limitações inerentes ao estudo de caso único — nomeadamente a impossibilidade de generalização estatística — são reconhecidas e discutidas na Secção 5.3, sendo substituídas pelo objetivo de **generalização analítica**: transferir os resultados obtidos para um quadro teórico mais amplo sobre as condições de aplicabilidade do EVM em ambientes industriais [3].

1.5 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos principais:

- **Capítulo 1** – Introdução ao tema, apresentando o enquadramento geral do trabalho, a justificação da escolha do tema, os objetivos definidos e a metodologia adotada.
- **Capítulo 2** – Revisão da literatura, onde são abordados os conceitos fundamentais da gestão de projetos, as práticas de planeamento e controlo e os princípios do modelo *Earned Value Management*.
- **Capítulo 3** – Caracterização do contexto industrial e descrição do projeto analisado, incluindo o enquadramento organizacional e técnico do caso de estudo.
- **Capítulo 4** – Apresentação da metodologia aplicada e dos resultados obtidos com a implementação do modelo EVM, bem como a análise dos indicadores de desempenho do projeto.
- **Capítulo 5** – Conclusões do trabalho, identificação das principais limitações do estudo e propostas para desenvolvimentos e trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

2.1 Gestão de Projetos

A gestão de projetos é uma disciplina fundamental no contexto industrial, uma vez que permite o planeamento, a execução, o controlo e a finalização eficaz dos projetos, assegurando o alinhamento entre os objetivos técnicos, temporais e financeiros e a estratégia da organização. De acordo com o *Project Management Institute* (PMI), um projeto é definido como “um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único” [5]. Esta definição evidencia duas características essenciais dos projetos: a temporariedade, que implica a existência de um início e de um fim claramente definidos, e a unicidade, que traduz a realização de um objetivo específico, distinto das operações contínuas da organização.

O ciclo de vida de um projeto, ilustrado na Figura 2.1, é normalmente dividido em cinco grupos de processos ¹, de acordo com o *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* [5].

- Iniciação
- Planeamento
- Execução

¹Na 8.ª edição do *PMBOK® Guide*, o conceito de *Process Groups* é enquadrado como *Focus Areas* (Áreas de Foco), mantendo-se a designação das cinco componentes (iniciação, planeamento, execução, monitorização e controlo, e encerramento). Para consistência com o trabalho de campo e com a literatura usada neste capítulo, adota-se neste relatório a terminologia de “grupos de processos” conforme a 6.ª edição. [6].

- Monitorização e Controlo
- Encerramento

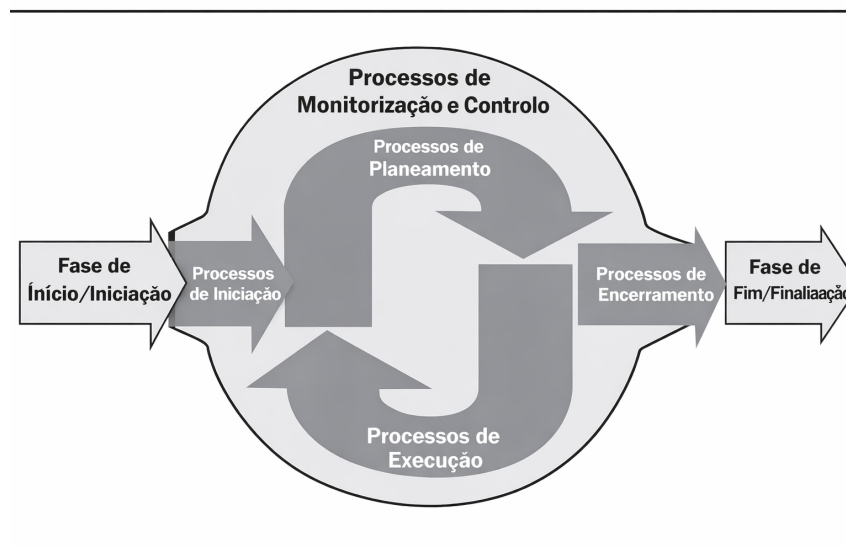


Figura 2.1: Grupos de processos na Gestão de Projetos [7]

Cada um destes grupos de processos está associado a áreas de conhecimento que estruturam a gestão do projeto, nomeadamente a gestão do âmbito (*scope*), do tempo, do custo, da qualidade, dos recursos, das comunicações, dos riscos, das aquisições e das partes interessadas², conforme definido no *PMBOK® Guide* [5].

No âmbito desta dissertação, destaca-se particularmente a relevância das áreas de gestão do tempo e da gestão de custos, uma vez que se encontram diretamente relacionadas com a implementação do modelo de EVM.

A gestão de projetos industriais apresenta desafios adicionais, tais como a coordenação de múltiplas áreas técnicas — incluindo engenharia civil, mecânica, elétrica e automação —, a gestão de condicionantes físicas e operacionais inerentes ao ambiente fabril, bem como o cumprimento de prazos rigorosos, frequentemente impostos por paragens de produção programadas ou por janelas logísticas críticas.

Para além das áreas de conhecimento tradicionalmente associadas ao controlo de prazo e de custo, o *PMBOK® Guide* enfatiza a gestão da integração do projeto como uma atividade central da gestão de projetos. Esta área tem como principal responsabilidade assegurar que os diferentes processos, planos e decisões sejam coordenados e organizados de forma coerente ao longo de todo o ciclo de vida do projeto.

²Na 8.ª edição do *PMBOK® Guide*, o conceito de Áreas de Conhecimento foi substituído pelo de Domínios de Desempenho (*Performance Domains*). Esta alteração representa uma mudança estrutural relevante, não existindo uma correspondência direta entre as áreas de conhecimento das edições anteriores e os domínios de desempenho atualmente definidos. Neste trabalho adota-se a estrutura da 6.ª edição do PMBOK, uma vez que o desenvolvimento do caso de estudo e do trabalho de campo ocorreu com base nesse enquadramento metodológico [6].

Neste contexto, o EVM assume um papel particularmente relevante enquanto instrumento de integração, ao combinar informação relativa ao âmbito, ao cronograma e aos custos num único referencial analítico. Esta abordagem integrada contribui para uma tomada de decisão mais estruturada, consistente e fundamentada, reforçando a eficácia dos processos de monitorização e controlo do projeto [6].

Nestes contextos, o controlo rigoroso do progresso e da utilização dos recursos torna-se essencial, fazendo com que a implementação de modelos como o EVM represente uma vantagem estratégica para as organizações. Importa salientar que o EVM é, pela sua natureza, uma ferramenta orientada para a gestão de projetos, não sendo adequada à gestão de operações contínuas.

Enquanto os projetos se caracterizam por um conjunto de entregas delimitadas e por um término previamente definido, as operações distinguem-se pela natureza contínua do trabalho e por objetivos que evoluem ao longo do tempo. Deste modo, o EVM revela-se particularmente adequado em situações em que é possível estabelecer um âmbito claramente definido, um orçamento aprovado e um cronograma estruturado, criando as condições necessárias para a aplicação eficaz do modelo.

2.2 Iniciação do Projeto

A iniciação do projeto corresponde ao grupo de processos onde se formaliza o arranque do projeto e se estabelece a base para as fases seguintes, clarificando o problema/oportunidade, os objetivos de alto nível, as principais partes interessadas (*stakeholders*) e as fronteiras iniciais do âmbito. Nesta fase, são normalmente produzidos documentos de natureza estratégica e de alto nível, que consolidam o conhecimento disponível e permitem autorizar o avanço para o planeamento detalhado [8].

2.2.1 Identificação da Necessidade e Definição de Objetivos

O ponto de partida de um projeto é, normalmente, a identificação de uma necessidade operacional, regulamentar ou estratégica. A partir dessa necessidade, definem-se objetivos do projeto, frequentemente estruturados segundo o princípio *Specific, Measurable, Achievable, Relevant and Time-bound* (SMART), bem como critérios preliminares de sucesso. Em contexto industrial, esta clarificação deve considerar condicionantes próprias do ambiente produtivo, tais como parâmetros planeados, janelas de intervenção, requisitos de segurança, continuidade de serviço e interfaces com outras áreas técnicas.

Em paralelo, é comum elaborar uma *scope statement* (declaração de âmbito), entendida como o documento que define o conteúdo do projeto e as suas fronteiras. A clarificação do âmbito assume um papel central na fase de iniciação, uma vez que condiciona diretamente o que será planeado, executado e controlado nas fases

subsequentes, bem como a forma como serão avaliadas e geridas as alterações ao longo do ciclo de vida do projeto [8].

2.2.2 *Business Case* e Viabilidade

Ainda na fase de iniciação, é comum a consolidação de um *Business Case* que justifique o investimento proposto, comparando alternativas e evidenciando os benefícios esperados, tais como conformidade legal, redução de risco ou melhoria de eficiência operacional. Esta análise apoia a decisão de avançar com o projeto e contribui para o estabelecimento de uma visão realista sobre o orçamento e os prazos a um nível macro.

O *Business Case* pode ser entendido como um argumento formal que sustenta a decisão de aprovação do projeto, justificando a ação ou as diferentes alternativas consideradas com base nos benefícios esperados, nos riscos associados e no racional económico subjacente, incluindo, quando aplicável, a perspectiva de retorno do investimento (por exemplo, *Return on Investment* (ROI)) [9]. Assim, o *Business Case* responde tipicamente às questões “porquê este projeto?”, “porquê agora?” e “porquê esta opção face a alternativas?”, suportando os processos de decisão, aprovação e priorização no portefólio de projetos [9].

2.2.3 *Project Charter* (Termo de Abertura do Projeto)

O principal documento de iniciação é o *Project Charter*, que autoriza formalmente o projeto e confere legitimidade ao gestor de projeto para mobilizar recursos. O *Charter* estabelece os elementos de alto nível que orientam o planeamento e a execução, incluindo:

- contexto e justificação do projeto;
- objetivos e entregáveis principais (âmbito de alto nível);
- principais stakeholders e papéis (incluindo sponsor e gestor de projeto);
- pressupostos e restrições (prazo, custo, requisitos operacionais);
- riscos iniciais e dependências relevantes;
- marcos principais e orçamento preliminar.

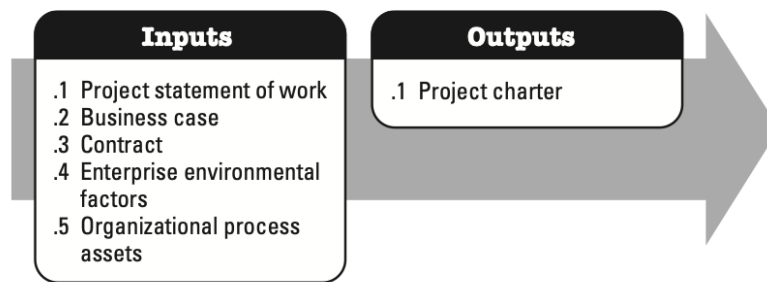


Figura 2.2: Desenvolvimento do Project Charter: Inputs e Outputs [5]

Ao concentrar esta informação, o *Charter* funciona como referência para decisões subsequentes e como base para a gestão de alterações, especialmente quando surgem pedidos de mudança ao longo do ciclo de vida [8].

2.2.4 Levantamento de Requisitos e URS

Em projetos industriais que envolvem a aquisição ou implementação de sistemas e equipamentos, torna-se importante formalizar os requisitos de forma estruturada desde a fase de iniciação. A *User Requirements Specifications* (URS), ou Especificação de Requisitos do Utilizador, constitui o instrumento habitual para esse fim, descrevendo o que se espera que o sistema realize — contemplando requisitos funcionais e não funcionais e critérios de aceitação — e servindo de base para as fases subsequentes de desenho, verificação e validação. Uma URS bem definida contribui para a redução de ambiguidades, para a prevenção de *scope creep* e para o suporte à validação das entregas através de evidências objetivas [10, 11].

2.2.5 Identificação de Stakeholders e Governação

O *stakeholder register* constitui outro elemento relevante da fase de iniciação, permitindo mapear os principais intervenientes do projeto, os seus interesses, níveis de influência e expectativas. Este mapeamento apoia a definição de uma estratégia de comunicação adequada e constitui a base para um envolvimento estruturado das partes interessadas ao longo do ciclo de vida do projeto. Em paralelo, procede-se à definição da governação do projeto, incluindo a estrutura de decisão, responsabilidades, cadência de reuniões e mecanismos de escalonamento, aspetos fundamentais para assegurar alinhamento organizacional e decisões atempadas durante a execução.

Para além da definição do *quê* (âmbito) e do *quanto* (custos e prazos), a fase de iniciação deve igualmente clarificar o *quem*. Instrumentos como a *Organizational Breakdown Structure* (OBS) e as matrizes de responsabilidades (*Responsibility Assignment Matrix* (RAM)), incluindo abordagens do tipo *Responsible, Accountable, Consulted, Informed* (RACI), permitem explicitar a estrutura da equipa de projeto

e a atribuição clara de responsabilidades. Esta clarificação contribui para a redução de conflitos, ambiguidades e lacunas de coordenação, reforçando a eficácia da governação do projeto desde as fases iniciais [8].

2.2.6 Riscos Iniciais e Alinhamento de Limites do Ambito

A iniciação deve também incluir uma avaliação preliminar de riscos e incertezas (técnicas, operacionais, contratuais e de segurança), frequentemente registada num *risk register* inicial. Complementarmente, clarificam-se limites do âmbito (o que está dentro e fora), interfaces e dependências, preparando o trabalho de decomposição detalhada que será realizado na fase de planeamento.

2.3 Planeamento de Projetos

O planeamento constitui uma fase central da gestão de projetos, estabelecendo as bases para as atividades subsequentes de execução, monitorização e controlo. Um planeamento eficaz permite definir de forma estruturada o âmbito do projeto, identificar e organizar as tarefas necessárias, estimar recursos e custos, bem como sequenciar as atividades ao longo do tempo. De acordo com o *PMBOK® Guide*, o planeamento corresponde ao grupo de processos responsável por detalhar os objetivos do projeto e definir as ações necessárias para os alcançar, assegurando a coerência entre âmbito, prazo e custo [6].

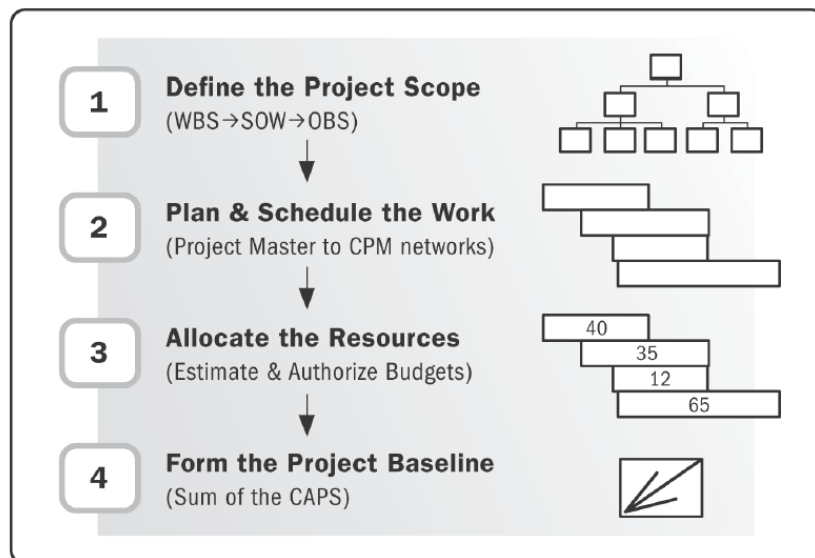


Figura 2.3: Passos para formar a *baseline* do projeto [12]

2.3.1 Estruturação do Âmbito e Work Breakdown Structure

A estruturação do âmbito do projeto é um elemento fundamental do planeamento, sendo a WBS uma das ferramentas mais relevantes neste contexto. A WBS permite decompor o trabalho total do projeto em componentes menores e geríveis, organizadas de forma hierárquica, assegurando que todo o trabalho necessário à entrega do projeto é identificado e claramente definido. Esta decomposição facilita a estimativa de custos e prazos, a atribuição de responsabilidades e o controlo do progresso, sendo amplamente reconhecida como uma boa prática em gestão de projetos [13, 8].

2.3.2 Planeamento Temporal e de Recursos

Após a definição do âmbito e da WBS, procede-se à identificação e sequenciação das atividades, culminando no desenvolvimento do cronograma do projeto. Esta sequenciação é habitualmente representada através de ferramentas como o diagrama de Gantt ou métodos de análise de rede, nomeadamente o *Critical Path Method* (CPM). Em paralelo, são estimados os recursos humanos, materiais e financeiros necessários à execução das diferentes atividades, garantindo a coerência entre prazos, custos e a capacidade operacional disponível [6, 8].

2.3.3 Linhas de Base do Projeto

A consolidação das informações relativas ao âmbito, ao tempo e ao custo conduz à definição das linhas de base do projeto (*baselines*), que funcionam como referência para a monitorização do desempenho ao longo da execução. A linha de base de custos estabelece o orçamento planeado, enquanto a linha de base temporal define o calendário previsto de execução. Estas referências são essenciais para a avaliação de desvios e para a implementação de mecanismos de controlo estruturados, permitindo comparar sistematicamente o desempenho real com o planeado [6].

2.3.4 Planeamento do Controlo e Ligação ao Earned Value Management

Para além do planeamento da execução, a fase de planeamento deve igualmente prever os mecanismos de controlo de custos e prazos, definindo os métodos, indicadores e procedimentos de acompanhamento a utilizar. É neste enquadramento que se insere a aplicação do EVM, uma vez que a sua eficácia depende diretamente da qualidade do planeamento inicial e da robustez das linhas de base estabelecidas. Sem dados fiáveis e consistentes relativos ao orçamento, ao cronograma e ao progresso físico, a aplicação do EVM perde precisão e utilidade enquanto ferramenta de monitorização e apoio à decisão [6, 12].

2.4 Modelos de Controlo e Monitorização de Projetos

O controlo e a monitorização constituem uma das fases mais críticas na gestão de projetos, uma vez que permitem acompanhar o progresso real face ao planeado e tomar decisões corretivas sempre que são detetados desvios significativos. De acordo com o PMBOK Guide, o objetivo principal do controlo é garantir que o projeto permanece dentro dos limites definidos no âmbito, no tempo e custo[6].

2.4.1 Controlo Tradicional

Tradicionalmente, o controlo de projetos baseia-se na comparação direta entre:

- Custo Orçamentado (ou estimado)
- Custo Real Efetivo
- Progresso Físico Reportado

Por exemplo, se uma determinada tarefa estava orçamentada em 10.000€ e já se gastaram 8.000€, presume-se que o progresso esteja em 80%. Contudo, esta abordagem tem sérias limitações, pois não estabelece uma relação direta entre o valor gasto e o valor efetivamente produzido. Assim, pode haver situações onde o custo real é inferior ao orçamentado, mas o progresso real também é significativamente inferior ao previsto, o que compromete os objetivos do projeto sem que isso seja imediatamente perceptível.

Na prática, muitos projetos continuam a apresentar o controlo de custos sob a forma clássica de *plan versus actual*, isto é, comparando o valor acumulado planeado com o valor acumulado efetivamente gasto. Embora este tipo de gráfico permita verificar se o projeto está ou não a respeitar o limite de financiamento autorizado, ele não fornece informação sobre a quantidade de trabalho fisicamente concluído. Como salientam Fleming e Koppelman, um projeto pode aparentar “perfeita performance financeira” (custo real igual ao custo planeado), enquanto, em paralelo, se encontra atrasado na execução física das atividades, precisamente porque o custo e o progresso não estão integrados num mesmo referencial de análise[12].

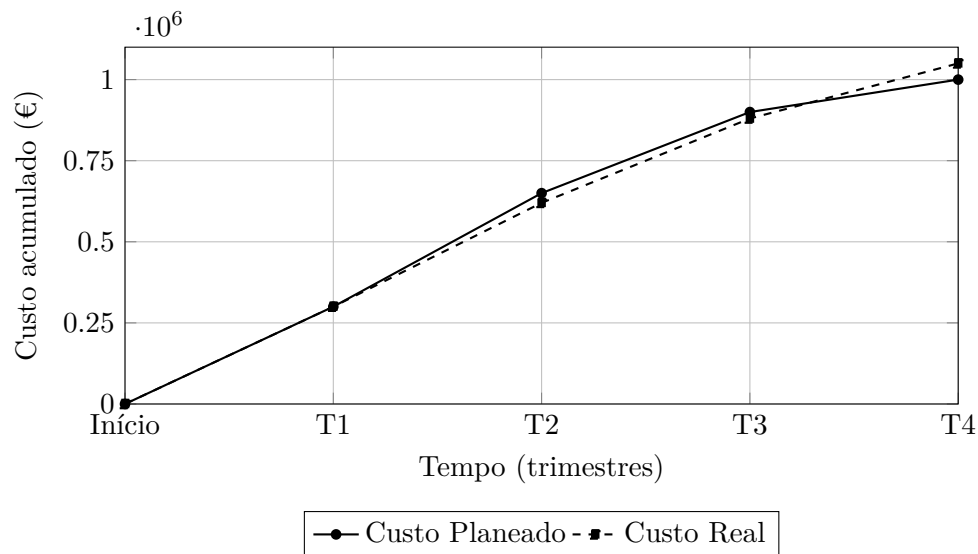


Figura 2.4: Exemplo de controlo tradicional baseado em comparação entre custo planeado e custo real

Além disso, o controlo baseado apenas em prazos e custos não permite avaliar eficiência nem produtividade. Pode, por exemplo, indicar que o projeto está dentro do orçamento, sem refletir que se gastou metade do dinheiro planeado mas apenas se concluiu um terço do trabalho, o que significa que o projeto está com desempenho insatisfatório.

2.4.2 Limitações dos Métodos Convencionais

Entre as principais limitações dos métodos tradicionais de controlo de projetos, destacam-se:

- Falta de ligação entre o custo e o progresso físico real;
- Dificuldade em prever o custo final do projeto com base no desempenho atual;
- Subjetividade na medição do progresso (especialmente em tarefas de natureza qualitativa ou contínua);
- Reação tardia a desvios de desempenho.

Estas limitações impulsionaram o desenvolvimento de métodos mais integrados de controlo, que combinam tempo, custo e progresso físico de forma sistemática sendo o Earned Value Management (EVM) o mais consolidado e amplamente reconhecido entre eles.

O EVM surge como uma resposta robusta a estas falhas, oferecendo indicadores quantitativos que possibilitam uma análise simultânea do desempenho em custo e prazo, além de permitir a previsão da performance futura do projeto com base em métricas objetivas.

2.5 Earned Value Management (EVM)

O modelo Earned Value Management (EVM) é uma técnica de controlo integrada que permite medir objetivamente o desempenho de um projeto em termos de custo e prazo. É amplamente reconhecido como uma das ferramentas mais eficazes para monitorizar a execução de projetos complexos, especialmente em ambientes industriais e de engenharia. O EVM proporciona uma abordagem quantitativa que compara o trabalho planeado, o trabalho executado e os custos incorridos, permitindo uma avaliação simultânea da eficiência temporal e financeira do projeto [12].

2.5.1 Evolução e Normalização

O conceito de EVM teve origem em projetos de defesa dos Estados Unidos na década de 1960, no âmbito do chamado Cost/Schedule Control Systems Criteria (C/SCSC) desenvolvido pelo *U.S. Department of Defense* (DoD) para gerir programas complexos onde técnicas como o PERT não eram suficientes. Este conjunto de critérios integrava o controlo de custo e prazo num único sistema de medição de desempenho, sem prescrever ferramentas específicas, e foi aplicado inicialmente em programas de grande escala dentro do DoD [14].

Ao longo dos anos seguintes, o conceito de EVM começou a sair das raízes exclusivamente militares e a ser adotado noutras indústrias, incluindo engenharia e construção. A formalização e normalização do modelo avançou com o estabelecimento de critérios mínimos que vieram a ser incorporados na norma ANSI/EIA-748 para sistemas de Earned Value Management (EVMS), tornando-os referência para contratações públicas e privadas. Atualmente, o EVM é reconhecido como boa prática pelo PMI e encontra-se enquadrado em guias de gestão de projetos, sendo tipicamente articulado com a exigência de conformidade com a norma ANSI/EIA-748 quando se pretende uma implementação formal e auditável de EVMS [15].

2.5.2 Conceitos-Chave

A base do EVM assenta em três métricas fundamentais:

- **PV** – Valor Planeado: representa o valor do trabalho que deveria ter sido realizado até uma data específica, com base no plano do projeto.
- **EV** – Valor Ganho: representa o valor do trabalho que foi efetivamente concluído até essa data, segundo os preços planeados (e não reais).
- **AC** – Custo Real: corresponde ao custo efetivamente incorrido para executar o trabalho até à data de análise.

Estas métricas permitem determinar se o projeto está adiantado ou atrasado, e se está dentro ou fora do orçamento.

Em termos conceptuais, o EVM introduz uma medição tridimensional do desempenho do projeto, articulando simultaneamente: (i) o valor do trabalho que deveria ter sido realizado (PV), (ii) o valor do trabalho que foi efetivamente concluído (EV) e (iii) o custo incorrido para realizar esse trabalho (AC). Esta perspetiva integrada permite avaliar, em cada momento, não apenas “quanto se gastou”, mas sobretudo “o que se obteve em contrapartida” pelos recursos despendidos, algo que não é possível obter com abordagens tradicionais baseadas apenas em curvas de custo planeado versus custo real.

2.5.3 Indicadores de Desempenho

Através do cruzamento das métricas acima, obtêm-se indicadores que permitem monitorizar a performance do projeto:

- **CV** = EV - AC
Indica a diferença entre o valor ganho e o custo real. $CV < 0$ significa sobre-custo.
- **SV** = EV - PV
Mede o desvio temporal. $SV < 0$ indica atraso no cronograma.
- **Cost Performance Index (CPI)** = EV / AC
Mede a eficiência dos custos. $CPI < 1$ indica gasto superior ao planeado.
- **Schedule Performance Index (SPI)** = EV / PV
Mede a eficiência temporal. $SPI < 1$ indica que o progresso está abaixo do esperado.
- **EAC** = Budget at Completion (BAC) / CPI
Estimativa do custo total do projeto com base no desempenho atual.
- **VAC** = BAC - EAC
Diferença entre o orçamento inicial (BAC) e a nova estimativa de custo.

2.5.4 Earned Schedule

Uma extensão relevante do modelo EVM é o *Earned Schedule* (ES), proposto por Lipke [16] e posteriormente validado empiricamente por Vanhoucke e Vandevoorde [17]. O ES reformula o indicador de desempenho temporal em unidades de tempo em vez de unidades monetárias, resolvendo uma limitação estrutural conhecida do SPI clássico: à medida que o projeto se aproxima da conclusão, o PV tende para o BAC e o EV converge para o mesmo valor, fazendo com que o SPI se aproxime sempre de 1,0 independentemente do atraso real acumulado [16]. Esta propriedade

torna o SPI convencional um indicador progressivamente menos fiável nas fases finais do ciclo de vida do projeto.

O ES é obtido identificando, na curva do PV, o instante temporal em que o valor planeado acumulado é igual ao EV atual — ou seja, a data em que o trabalho efetivamente realizado deveria ter estado concluído segundo o plano. A partir deste valor, definem-se dois indicadores análogos aos do EVM clássico, mas expressos em tempo:

- **Variância de prazo temporal:** $SV_t = ES - AT$, onde AT representa o tempo decorrido (*Actual Time*). Um valor $SV_t < 0$ indica atraso expresso em unidades de tempo, sem a distorção introduzida pela convergência monetária no final do projeto.
- **Índice de desempenho temporal:** $SPI_t = ES/AT$. Ao contrário do SPI convencional, SPI_t não converge artificialmente para 1,0 no encerramento, mantendo-se como preditor robusto do atraso real mesmo nas fases finais [17].

Em projetos com desvios temporais significativos na fase final, o ES tem-se revelado um preditor mais robusto do que o SPI tradicional [17]. A sua adoção é hoje reconhecida como o principal desenvolvimento metodológico do EVM nas últimas duas décadas [16], sendo recomendada sempre que a análise do desempenho temporal se estenda às fases finais do ciclo de vida do projeto, onde a convergência do SPI clássico pode mascarar atrasos reais ainda não recuperados.

2.5.5 Interpretação e Utilização

O principal benefício do EVM reside na sua capacidade de fornecer informação integrada sobre o desempenho do projeto, permitindo aos gestores interpretar desvios de custo e de prazo de forma objetiva e fundamentada. Os índices de desempenho de custos (CPI) e de prazos (SPI) são particularmente úteis para analisar tendências de execução e comunicar o estado do projeto a diferentes *stakeholders* de forma clara e consistente.

A estimativa do custo total à conclusão (EAC) constitui uma das aplicações mais relevantes do EVM. Fleming e Koppelman [12] identificam três cenários principais de estimativa, correspondentes a diferentes pressupostos sobre o desempenho futuro do projeto:

- **Cenário otimista:** $EAC = AC + (BAC - EV)$, que assume que o trabalho restante será executado exatamente ao custo planeado, independentemente do desempenho passado;
- **Cenário intermédio:** $EAC = BAC/CPI$, que assume que a eficiência de custos observada até ao momento se manterá constante até ao final do projeto.

Este é o método mais utilizado na prática e constitui, segundo os autores, o caso mais provável quando o desvio de custos tem origem estrutural;

- **Cenário pessimista:** $EAC = AC + (BAC - EV)/(CPI \times SPI)$, que incorpora simultaneamente o desempenho em custo e em prazo para estimar um custo final mais conservador, adequado quando os atrasos de cronograma têm impacto direto nos custos restantes [12].

A correta interpretação dos indicadores do EVM pressupõe um planeamento rigoroso, uma medição consistente do progresso físico e um registo fiável dos custos incorridos. Em contextos industriais, caracterizados pela coexistência de tarefas de natureza diversa (civis, elétricas, mecânicas, entre outras), a uniformização dos critérios de medição pode constituir um desafio operacional relevante, exigindo procedimentos claros e padronizados.

2.6 Vantagens e Limitações do EVM

O modelo Earned Value Management (EVM) tem sido amplamente adotado em projetos de diferentes naturezas devido à sua capacidade de oferecer uma visão integrada e objetiva do desempenho do projeto. No entanto, como qualquer ferramenta, apresenta não só benefícios, mas também algumas limitações, especialmente quando aplicado em contextos complexos ou com baixa maturidade em gestão de projetos.

2.6.1 Vantagens do EVM

Integração entre *scope*, prazo e custo

O EVM é uma das poucas metodologias que fornece uma visão conjunta do progresso físico, da execução financeira e do cumprimento do cronograma, permitindo análises mais completas e menos sujeitas a interpretações subjetivas.

Deteção precoce de desvios

Um dos contributos mais relevantes do EVM para a gestão de projetos é a sua capacidade de atuar como um *early warning system*, integrando informação de custo, prazo e progresso físico para permitir a deteção precoce de desvios de desempenho. Esta característica é amplamente documentada na literatura e reconhecida como um dos principais diferenciais do EVM face às abordagens tradicionais de controlo, que se baseiam predominantemente em comparações financeiras [12, 15].

Diversos estudos empíricos, nomeadamente em projetos do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, demonstraram que o índice de desempenho de custos cumulativo (CPI) tende a estabilizar quando o projeto atinge aproximadamente 15 a 20% de conclusão. A partir deste ponto, o CPI mantém-se, historicamente, dentro de

uma faixa relativamente estreita até ao final da execução, tornando-se um preditor fiável do custo total à conclusão (EAC) [12]. Assim, desvios adversos observados no CPI numa fase inicial constituem indicadores robustos de potenciais derrapagens financeiras, mesmo quando os impactos ainda não são visíveis no orçamento global.

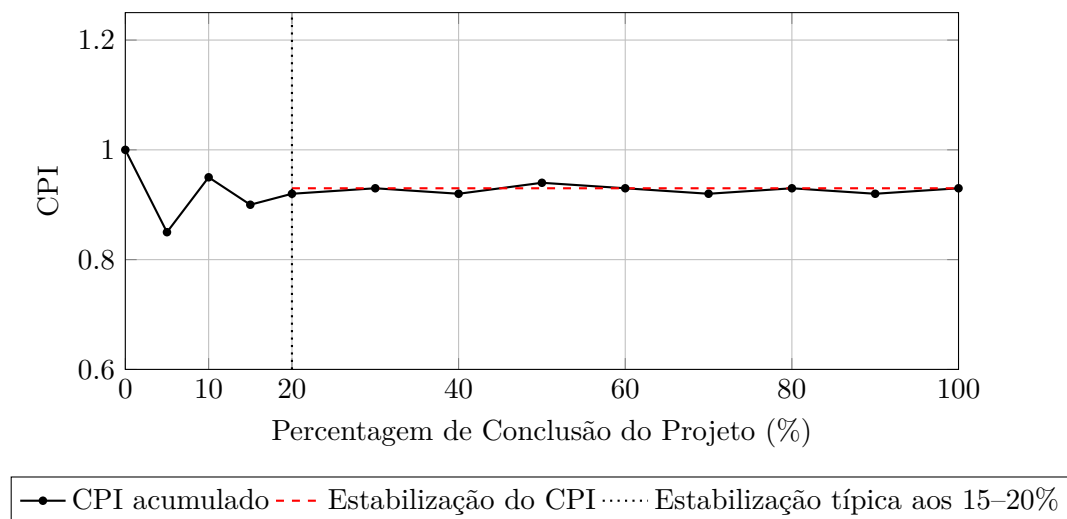


Figura 2.5: Comportamento típico do CPI: estabilização após 15–20% de conclusão do projeto.

Este comportamento permite identificar tendências adversas numa fase ainda inicial do ciclo de vida do projeto, quando os impactos globais no orçamento são limitados e existem maiores margens de manobra para a adoção de medidas corretivas. De forma semelhante, o índice de desempenho temporal (SPI) possibilita a identificação de atrasos estruturais que não são evidentes nos métodos tradicionais de controlo, uma vez que incorpora explicitamente o progresso físico na avaliação do desempenho temporal.

A análise conjunta dos índices CPI e SPI permite projetar cenários de desempenho futuro e estimar não apenas o custo final do projeto, mas também o impacto potencial de desvios no cronograma. Embora o EVM não seja, em si, uma ferramenta de gestão de riscos conforme definida no *PMBOK® Guide*, os seus indicadores de desempenho desempenham um papel complementar relevante na identificação precoce de riscos associados a derrapagens de custo e de prazo. Esta capacidade cria condições para uma gestão proativa do desempenho, permitindo a implementação atempada de medidas corretivas e de mitigação [6].

Em síntese, o EVM não se limita a descrever o desempenho passado do projeto, oferecendo antes uma leitura antecipada do que poderá ocorrer caso as tendências observadas se mantenham. Esta capacidade preditiva distingue o EVM das metodologias tradicionais de controlo e constitui um dos principais argumentos para a sua adoção em ambientes industriais complexos, onde atrasos e derrapagens financeiras podem ter consequências significativas para a operação.

Capacidade de previsão

O EVM permite estimar o custo final do projeto (EAC) e a variação esperada em relação ao orçamento (VAC), oferecendo suporte à tomada de decisão estratégica e à gestão de riscos.

Para além de fornecer uma estimativa pontual do custo final (EAC), o EVM permite ainda definir um intervalo estatístico de custos finais com base em combinações do CPI e do SPI. Métodos simples, como $EAC = BAC/CPI$, podem ser complementados por abordagens mais conservadoras que incorporam simultaneamente o desempenho em custo e em prazo para estimar um cenário de “alto custo provável”.

Melhoria da comunicação

Os indicadores normalizados do EVM facilitam a comunicação com as partes interessadas, pois fornecem métricas objetivas e de fácil interpretação sobre o estado do projeto.

Adicionalmente, os índices normalizados CPI e SPI permitem comparar o desempenho de múltiplos projetos dentro de um mesmo portefólio, funcionando como indicadores sintéticos de eficiência que podem ser utilizados pela gestão de topo na priorização de investimentos e na alocação de recursos.

De acordo com o PMBOK Guide, a gestão eficaz das partes interessadas constitui um fator crítico para o sucesso dos projetos, uma vez que expectativas desalinhadas ou informação ambígua podem comprometer a tomada de decisão e o apoio organizacional. Neste enquadramento, o Earned Value Management (EVM) contribui para uma comunicação mais objetiva e transparente com os stakeholders, ao disponibilizar indicadores normalizados de desempenho, como o CPI e o SPI, que permitem avaliar de forma clara e comparável o estado do projeto em termos de custo e prazo [6].

Promoção da responsabilidade e do controlo

Ao quantificar o desempenho, o EVM fomenta a responsabilização das equipas de projeto e promove uma cultura de controlo e melhoria contínua.

2.6.2 Limitações do EVM

Dependência de um planeamento rigoroso

O sucesso do EVM depende da qualidade da linha de base (baseline) de custos e prazos. Caso o planeamento inicial esteja incorreto ou incompleto, os resultados do modelo perdem validade.

Dificuldade na medição do progresso físico

Em tarefas de difícil quantificação (por exemplo, atividades de design, comissionamento ou integração), a atribuição do Earned Value pode ser subjetiva ou arbitrária, comprometendo a fiabilidade dos indicadores.

Curva de aprendizagem e necessidade de formação

A implementação eficaz do EVM exige conhecimento técnico específico, podendo exigir a formação de equipas e a adoção de ferramentas de apoio, como software especializado.

Limitações em projetos ágeis ou altamente dinâmicos

O modelo foi originalmente concebido para ambientes com planeamento detalhado, âmbito relativamente estável e linhas de base bem definidas. Em projetos caracterizados por elevada incerteza, requisitos evolutivos ou que adotem metodologias ágeis, a aplicação do EVM tradicional pode revelar-se limitada, exigindo adaptações significativas ao nível do planeamento, da medição do progresso e da definição de valor ganho. Contudo, a literatura mais recente evidencia esforços no sentido da incorporação dos princípios do Earned Value Management em contextos ágeis, dando origem a abordagens conhecidas como *Agile Earned Value Management* (AgileEVM). Estas metodologias procuram adaptar os indicadores tradicionais do EVM a ciclos iterativos, *sprints* e métricas ágeis, permitindo manter a análise integrada de custo e prazo em ambientes mais dinâmicos [18, 19, 20]. Apesar do interesse crescente, estas abordagens ainda não se encontram totalmente normalizadas, sendo frequentemente aplicadas de forma híbrida e dependentes do grau de maturidade das organizações em gestão de projetos.

Custos administrativos

A recolha contínua de dados de progresso e custos, bem como a análise dos indicadores, pode implicar um esforço administrativo adicional, especialmente em projetos de pequena escala ou com recursos limitados.

2.7 Aplicações do EVM na Indústria

O modelo Earned Value Management (EVM) tem vindo a ser aplicado em diferentes contextos industriais, em particular em projetos caracterizados por elevada complexidade técnica e elevados níveis de investimento. Setores como engenharia, construção, energia, aeroespacial e manufatura recorrem ao EVM como ferramenta

de apoio ao controlo integrado de custos, prazos e âmbito, sobretudo em projetos de média e grande dimensão.

2.7.1 Projetos de Engenharia e Construção

Em projetos de engenharia civil e construção, o EVM é frequentemente utilizado para:

- Monitorizar o avanço físico da obra (como terraplanagem, estrutura ou instalações);
- Detetar desvios de custos e atrasos de forma precoce;
- Reforçar a tomada de decisão com base em indicadores como o CPI e SPI;
- Facilitar a comunicação entre os diferentes stakeholders (empreiteiros, donos de obra e fiscalização), através de relatórios objetivos e indicadores normalizados.

Nestes casos, a medição do Earned Value é feita com base na percentagem concluída de cada fase da obra, muitas vezes apoiada por cronogramas detalhados (como o cronograma de barras ou o cronograma físico-financeiro).

2.7.2 Projetos de Manufatura e Modernização Fabril

Na indústria transformadora, especialmente em ambientes de modernização fabril ou implementação de novas linhas de produção, o EVM ajuda a:

- Controlar o investimento em equipamentos, instalação e automação;
- Avaliar a performance dos fornecedores e contratados;
- Prever o impacto de desvios na entrega de máquinas ou integração de sistemas;
- Suportar auditorias internas e externas com registo estruturado do desempenho do projeto.

O EV é frequentemente associado à entrega de milestones importantes: instalação de um equipamento, conclusão de testes *Factory Acceptance Test* (FAT)/*Site Acceptance Test* (SAT), entrada em operação, etc.

2.7.3 Projetos de Engenharia Industrial e Automação

Em projetos de automação industrial, o EVM permite um acompanhamento rigoroso de fases como:

- Desenvolvimento e testes de software PLC/SCADA;
- Montagem e passagem de cabos;

- Integração de sistemas e comissionamento;
- Formação de operadores e validação final.

A aplicação do EVM nestes contextos exige especial atenção à definição dos pacotes de trabalho (work packages) e critérios claros de medição de progresso, pois muitas tarefas são de natureza imaterial (por exemplo, programação de sistemas).

2.7.4 Estudos de Caso Reais

Vários estudos documentam a aplicação do EVM na indústria: Um estudo da *Construction Industry Institute* (CII) demonstrou que projetos que usaram EVM desde a fase inicial apresentaram uma taxa de sucesso significativamente superior em termos de controlo de custos e prazos[21]. Adicionalmente, a literatura empírica evidencia a aplicação sistemática do EVM em projetos industriais de grande escala. Bryde *et al.* [22], num estudo baseado numa amostra alargada de projetos, demonstraram uma associação positiva entre a utilização do EVM e o desempenho dos projetos em termos de custo, reforçando a evidência de que medições periódicas de desempenho permitem ações corretivas pró-ativas antes que os desvios comprometam os resultados finais. No setor energético, especialmente em projetos de centrais elétricas e instalações petroquímicas, o EVM é considerado uma prática recomendada pela AACE e PMI[23].

2.8 Fatores Críticos para uma Implementação Eficaz do EVM

Embora o modelo Earned Value Management (EVM) seja uma ferramenta poderosa para o controlo de projetos, a sua eficácia depende de uma implementação adequada e alinhada com as particularidades do contexto industrial. Diversos estudos e práticas do setor apontam fatores críticos que influenciam o sucesso da aplicação do EVM. Estes fatores podem ser agrupados em dimensões técnicas, organizacionais e humanas.

2.8.1 Planeamento Detalhado do Projeto

A eficácia do EVM depende de um planeamento rigoroso e devidamente estruturado. Sem um cronograma realista e um orçamento detalhado por pacotes de trabalho (*Work Breakdown Structure* – WBS), os indicadores do EVM perdem validade e utilidade enquanto ferramenta de controlo do desempenho.

Os principais requisitos incluem:

- Definição clara do âmbito do projeto;

- Cronograma base com marcos (*milestones*) mensuráveis;
- Orçamento atribuído por entregas ou pacotes de trabalho (*work packages*);
- Estrutura de controlo de custos e codificação unificada entre planeamento e execução.

2.8.2 Sistema de Medição de Progresso

A medição do progresso físico constitui um elemento central na aplicação do EVM, uma vez que o valor ganho (EV) representa o trabalho efetivamente realizado, expresso em termos do orçamento planeado. Para que os indicadores de desempenho derivados do EVM sejam fiáveis, o sistema de medição do progresso deve ser objetivo, consistente e padronizado ao longo do projeto. A utilização de critérios subjetivos ou mal definidos compromete a qualidade da informação produzida e reduz a utilidade do modelo como ferramenta de apoio à decisão [12].

A literatura identifica diferentes abordagens para a medição do progresso físico ao nível dos pacotes de trabalho, devendo a escolha do método ser coerente com a natureza, duração e complexidade das atividades. Entre os métodos mais utilizados encontram-se as regras de creditização por marcos fixos, tais como 0/100, 50/50, 25/75 ou outras distribuições equivalentes, desde que a soma das percentagens totalize 100%. Nestes métodos, uma fração predefinida do valor orçamentado é reconhecida no início da atividade, sendo o remanescente creditado aquando da sua conclusão.

As regras de medição por marcos fixos são particularmente adequadas para atividades de curta duração e bem delimitadas no tempo, tipicamente com duração não superior a um ou dois períodos de reporte. Por exemplo, no método 25/75, 25% do valor orçamentado é reconhecido no início da atividade, enquanto os restantes 75% são creditados após a sua conclusão. Este método é frequentemente aplicado a pacotes de trabalho associados à aquisição de materiais, nos quais uma parte do valor é reconhecida no momento da encomenda e o restante aquando da receção e utilização dos materiais [12].

Uma boa prática fundamental consiste em evitar a aplicação destas regras a atividades de longa duração, uma vez que tal pode originar períodos prolongados sem qualquer medição efetiva do progresso, reduzindo a capacidade do EVM atuar como *early warning system*. Para atividades mais extensas ou contínuas, a medição baseada em percentagens físicas concluídas ou em marcos intermédios claramente definidos tende a produzir resultados mais fiáveis.

Independentemente do método adotado, recomenda-se que o sistema de medição do progresso esteja integrado com ferramentas de planeamento e controlo, como software de gestão de projetos, sistemas ERP ou plataformas de gestão de obra. Esta integração contribui para a consistência dos dados, reduz erros de reporte e reforça a

rastreadabilidade entre progresso físico, custos incorridos e cronograma, potenciando a eficácia do EVM enquanto instrumento de monitorização do desempenho do projeto.

2.8.3 Integração com Sistemas de Informação

Para que o EVM funcione de forma contínua e automatizada, é crucial que haja integração entre as áreas de planeamento, custos, compras e execução. Isso requer:

- Plataformas digitais integradas (ex.: MS Project, SAP, Primavera P6, MS Power BI);
- Atualização frequente dos dados reais (AC) e planeados (PV);
- Dashboards interativos para visualização dos principais KPIs do projeto.

2.8.4 Capacitação e Cultura Organizacional

A implementação do EVM exige competências específicas e um alinhamento cultural voltado para a gestão por desempenho. Entre os fatores humanos mais críticos estão:

- Formação das equipas em conceitos de gestão de valor agregado;
- Envolvimento da direção e dos gestores funcionais;
- Criação de rotinas de análise e tomada de decisão com base nos indicadores EVM;
- Comunicação eficaz dos resultados entre todas as partes interessadas.

2.8.5 Suporte da Alta Direção e Chefias

O apoio da alta gestão é fundamental para institucionalizar o uso do EVM. Isso inclui:

- Estabelecer políticas e normas internas de controlo de projetos;
- Garantir recursos para as ferramentas e formação necessárias;
- Promover auditorias internas sobre a aplicação do modelo;
- Alinhar o EVM com outros sistemas de governação de projetos (ex.: PMO, ISO 21500, PMBOK).

2.9 Síntese da Revisão da Literatura

A revisão da literatura permitiu enquadrar os fundamentos da gestão de projetos e evidenciar as limitações dos métodos tradicionais de controlo baseados apenas em custo e prazo. Neste contexto, o Earned Value Management destaca-se como uma metodologia integrada capaz de fornecer informação objetiva sobre o desempenho dos projetos, combinando âmbito, tempo e custo num único referencial analítico.

Apesar das suas vantagens, a literatura evidencia que a aplicação eficaz do EVM depende de fatores críticos, nomeadamente a qualidade do planeamento, a definição rigorosa das linhas de base, a medição consistente do progresso físico e o suporte organizacional. Estas condicionantes assumem particular relevância em ambientes industriais, caracterizados por elevada complexidade técnica e operacional.

Este enquadramento teórico serve de base ao estudo de caso apresentado nos capítulos seguintes, onde o modelo EVM é aplicado a um projeto industrial real, permitindo avaliar a sua utilidade prática, limitações e contributos para a gestão do desempenho em contexto fabril.

Capítulo 3

Contexto Industrial e Descrição do Projeto

Este capítulo apresenta o enquadramento do projeto analisado, bem como a sua estrutura e planeamento. São descritos o contexto organizacional, a decomposição do trabalho e a linha de base definida para suporte à aplicação do modelo EVM, apresentada no capítulo seguinte.

O projeto em análise corresponde à atualização dos sistemas de segurança de uma unidade industrial da Nestlé, incluindo a modernização do sistema de videovigilância (*Closed-Circuit Television* (CCTV)) e do sistema de controlo de acessos.

3.1 Enquadramento da Unidade Industrial

O projeto analisado neste trabalho foi desenvolvido numa unidade industrial da Nestlé localizada em Avanca, Portugal. Esta unidade integra operações industriais de produção e logística, incluindo áreas de produção, armazéns, zonas técnicas e áreas administrativas.

Devido à dimensão da instalação e à diversidade de atividades realizadas no local, os sistemas de segurança assumem um papel essencial na proteção de pessoas, infraestruturas e ativos da organização. Entre estes sistemas destacam-se os sistemas de videovigilância (CCTV) e os sistemas de controlo de acessos, que permitem monitorizar diferentes áreas da instalação e gerir a circulação de pessoas em zonas restritas.

Com o passar do tempo, os sistemas de segurança existentes apresentavam limitações associadas à evolução tecnológica e à necessidade de melhorar a cobertura da instalação. Neste contexto, surgiu a necessidade de desenvolver um projeto de atualização e modernização desses sistemas.

3.2 Contexto e Motivação do Projeto

O projeto teve como principal objetivo a atualização dos sistemas de segurança da unidade industrial, incluindo a modernização do sistema de videovigilância e do sistema de controlo de acessos.

Antes da execução do projeto, parte significativa da infraestrutura de segurança encontrava-se baseada em equipamentos instalados em diferentes períodos e com diferentes níveis tecnológicos. Esta situação originava limitações operacionais, incluindo dificuldades de integração entre sistemas, cobertura limitada em determinadas áreas e complexidade na gestão centralizada da segurança.

Assim, o projeto foi concebido com os seguintes objetivos:

- aumentar a cobertura de videovigilância em diferentes zonas da instalação;
- modernizar os sistemas de controlo de acessos existentes;
- integrar os diferentes sistemas de segurança numa plataforma centralizada de gestão;
- melhorar a capacidade de monitorização e resposta a eventos de segurança.

A solução implementada baseou-se na instalação de novos equipamentos de videovigilância e controlo de acessos, bem como na migração dos sistemas existentes para uma plataforma de gestão centralizada.

3.3 Descrição Técnica do Projeto

O projeto incluiu a instalação e integração de diversos componentes de segurança distribuídos pela unidade industrial e pelo centro de distribuição associado à instalação.

No âmbito da videovigilância, foram instaladas novas câmaras IP em diferentes pontos estratégicos da instalação, incluindo áreas exteriores, zonas de acesso, áreas de produção e zonas técnicas. Para além das novas câmaras instaladas, foram também integradas no novo sistema diversas câmaras já existentes, permitindo consolidar toda a infraestrutura de videovigilância numa única plataforma de gestão. No total, o sistema passou a integrar aproximadamente 127 câmaras de videovigilância, incluindo equipamentos novos e equipamentos previamente existentes que foram migrados para a nova plataforma.

Relativamente ao controlo de acessos, o projeto incluiu a instalação e atualização de leitores de cartões e controladores associados a diferentes pontos de acesso da instalação, permitindo melhorar a gestão de permissões de acesso e reforçar o controlo de circulação de pessoas em áreas sensíveis.

Todos os dispositivos de segurança encontram-se ligados à infraestrutura de rede da unidade industrial, comunicando através da rede corporativa com servidores instalados na sala de servidores da fábrica. Estes servidores executam o software Genetec Security Center, responsável pela gestão centralizada do sistema de videovigilância e controlo de acessos, bem como pelo armazenamento das gravações de vídeo e gestão de eventos de segurança.

3.4 Planeamento do Projeto

O planeamento do projeto foi desenvolvido com base numa abordagem estruturada de gestão de projetos, alinhada com as boas práticas do *PMBOK® Guide* [5], com o objetivo de assegurar a organização das atividades, a definição de responsabilidades e o controlo do prazo e custo ao longo da execução.

O processo de planeamento iniciou-se com a definição do âmbito do projeto, seguida da decomposição do trabalho através de uma WBS. Esta decomposição permitiu identificar os principais pacotes de trabalho e estruturar as atividades necessárias à implementação da solução.

Com base na WBS, foi elaborado o cronograma detalhado do projeto, no qual foram definidas as durações das atividades, as suas dependências e a sequência lógica de execução. Este cronograma foi desenvolvido com recurso ao software Microsoft Project, permitindo uma visão integrada do planeamento temporal.

O cronograma do projeto foi definido para um período de aproximadamente catorze meses, com início em setembro de 2024 e conclusão planeada para novembro de 2025. Esta duração reflete a complexidade técnica do projeto, que envolveu a modernização de sistemas de segurança críticos em ambiente industrial, incluindo a instalação e integração de múltiplos dispositivos e a migração de sistemas existentes. A extensão temporal está igualmente associada à necessidade de execução faseada das atividades, de forma a minimizar o impacto nas operações da unidade industrial, garantindo a continuidade produtiva e a compatibilidade com os constrangimentos operacionais da fábrica.

A Figura 3.1 apresenta o cronograma do projeto definido na fase de planeamento, evidenciando a distribuição temporal das principais fases e a sequência de execução das atividades. A definição deste cronograma constituiu a base para a linha de base temporal do projeto (*schedule baseline*), permitindo estabelecer um referencial para a monitorização do progresso e identificação de desvios durante a execução.

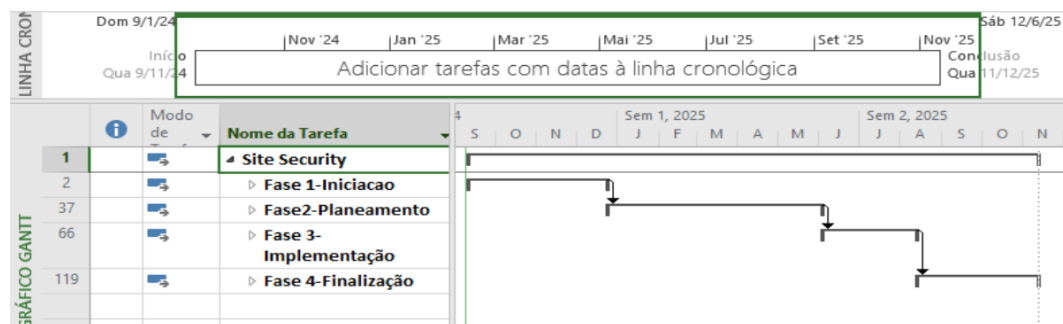


Figura 3.1: Cronograma do projeto definido na linha de base temporal (*schedule baseline*)

3.4.1 Recursos do Projeto

Para além do planeamento temporal, o projeto foi dotado de uma estrutura de recursos humanos e materiais, definida com base nas necessidades identificadas na WBS. Os recursos de trabalho incluíram o gestor de projeto, um engenheiro de projeto, um responsável de segurança (*CSO*), técnicos de instalação e manutenção e técnicos de suporte informático. Os recursos materiais corresponderam principalmente aos equipamentos de videovigilância (*CCTV*), ao equipamento de controlo de acessos e às licenças de software e servidores necessários à implementação da plataforma Genetec Security Center.

A estimativa de custos associada a estes recursos, em conjunto com os custos de instalação e configuração, resultou num orçamento total do projeto (*Budget at Completion* – *BAC*) de **€ 243 506,83**, que constitui a referência financeira para a aplicação do modelo EVM. A composição detalhada deste orçamento e a sua relação com o orçamento interno aprovado pela organização são discutidas na Secção 3.6.3.

3.5 Estrutura de Decomposição do Trabalho

Para suportar o planeamento e controlo do projeto foi desenvolvida uma *Work Breakdown Structure* (*WBS*), permitindo a decomposição do projeto em pacotes de trabalho organizados de forma hierárquica.

A *WBS* foi definida com o objetivo de estruturar o projeto de forma clara e sistemática, facilitando a organização das atividades, a atribuição de responsabilidades e a definição da sequência de execução. Esta decomposição permitiu ainda associar a cada componente do projeto uma duração prevista e os recursos necessários à sua concretização.

Com base no planeamento desenvolvido, a estrutura do projeto foi organizada em quatro fases principais:

- Fase 1 – Iniciação;

- Fase 2 – Planeamento;
- Fase 3 – Implementação;
- Fase 4 – Finalização.

A fase de iniciação incluiu atividades relacionadas com o levantamento de necessidades, identificação de requisitos de segurança, avaliação do sistema existente, análise de limitações e definição dos requisitos técnicos e funcionais do projeto. Nesta fase foram ainda desenvolvidos entregáveis como a lista de requisitos, o cronograma preliminar, o plano de recursos e a estimativa inicial de custos.

A fase de planeamento integrou os pacotes de trabalho associados ao processo de *tender*, seleção de fornecedores, avaliação de propostas, negociação de condições contratuais, adjudicação e preparação da obra. Esta fase revelou-se particularmente importante para consolidar os requisitos definidos anteriormente e preparar as condições necessárias para a execução do projeto.

A fase de implementação correspondeu ao núcleo técnico do projeto, integrando os pacotes de trabalho relativos à preparação da infraestrutura física, instalação de equipamentos de videovigilância, implementação do sistema de controlo de acessos, configuração do software de gestão e realização de testes de funcionamento. Nesta fase foram ainda incluídas atividades de formação dos utilizadores e das equipas envolvidas na operação do sistema.

Por fim, a fase de finalização abrangeu as atividades de verificação final do projeto, avaliação dos resultados obtidos, aprovação formal pelos *stakeholders*, preparação da documentação final e encerramento contratual com fornecedores e prestadores de serviços.

A Figura 3.2 apresenta uma representação simplificada da estrutura de decomposição do trabalho do projeto.

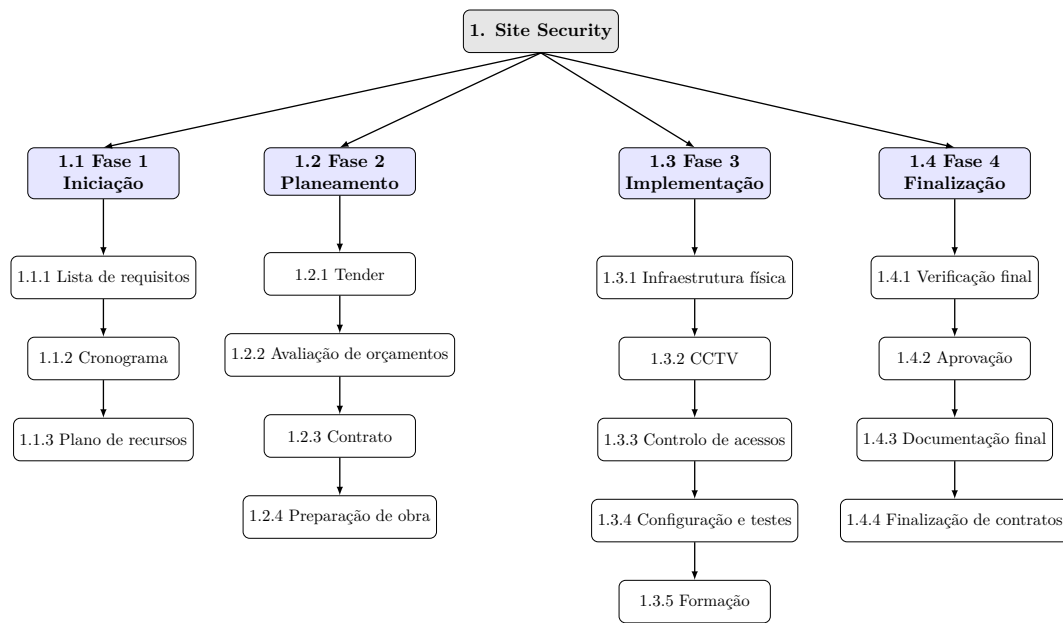


Figura 3.2: Estrutura de decomposição do trabalho (WBS) simplificada do projeto Site Security.

A decomposição apresentada permitiu estruturar o projeto de forma hierárquica, facilitando a organização das atividades e a definição da linha de base temporal e financeira. Esta estrutura foi também essencial para a posterior aplicação do modelo EVM, permitindo associar o progresso físico e os custos reais aos diferentes pacotes de trabalho.

Importa notar que a WBS adotada segue uma estrutura de dois níveis – fases e pacotes de trabalho –, sem um nível intermédio explícito de entregas (*deliverables*). Embora a configuração conceitualmente mais completa de uma WBS contemple três níveis (fases, entregas e pacotes de trabalho), a estrutura de dois níveis é igualmente válida e revelou-se adequada à dimensão e à natureza do projeto, em que cada pacote de trabalho corresponde diretamente a uma entrega tangível – por exemplo, o sistema de CCTV instalado ou o sistema de controlo de acessos operacional. Esta opção privilegiou a simplicidade e a rastreabilidade direta entre pacotes de trabalho, progresso físico e custos, sem comprometer a aplicação do modelo EVM.

3.6 Linha de Base do Projeto

A aplicação do modelo EVM pressupõe a existência de uma linha de base do projeto (*baseline*) que integre o planeamento temporal e financeiro, servindo como referência estável para a avaliação do desempenho ao longo da execução [15]. No presente projeto, a linha de base foi definida com base no cronograma desenvolvido em Microsoft Project e na estimativa de custos associada aos diferentes pacotes de trabalho identificados na WBS, conforme descrito nas subsecções seguintes.

A construção da linha de base de custo exigiu a transposição da informação financeira detalhada, contida no mapa de trabalhos do projeto, para a estrutura de controlo definida pela WBS. O mapa de trabalhos, resultante do processo de contratação (*tender*), discriminava os diversos itens da solução — equipamentos, materiais, mão de obra e serviços — por descrição, quantidade e valor. Cada rubrica deste mapa foi analisada e associada ao pacote de trabalho da WBS a que dizia respeito: a título de exemplo, as câmaras IP e respetivos acessórios foram imputadas ao pacote de videovigilância (CCTV), os leitores e controladores ao pacote de controlo de acessos, a cablagem e as adaptações físicas ao pacote de infraestrutura, e as licenças e a parametrização do software ao pacote de configuração e testes. A agregação dos valores dos itens ao nível de cada pacote de trabalho permitiu determinar o orçamento atribuído a cada componente e, conseqüentemente, o Valor Planeado (PV) correspondente. Esta correspondência direta entre as rubricas do mapa de trabalhos e os pacotes de trabalho assegurou a rastreabilidade entre os custos contratualizados e a estrutura de controlo do EVM, bem como uma codificação de custos coerente entre o planeamento e a execução.

3.6.1 Orçamento e Linha de Base de Custo

O orçamento total do projeto, denominado *Budget at Completion* (BAC), fixou-se em **€ 243 506,83**, valor que corresponde à soma de todos os custos planeados para os pacotes de trabalho definidos na WBS, incluindo equipamentos, instalação, configuração e recursos humanos diretamente imputáveis às atividades do projeto.

Importa referir que o orçamento aprovado internamente pela organização, designado *Budget CAPEX*, ascendeu a **€ 286 000**, valor superior ao BAC utilizado na baseline do modelo EVM. Esta diferença resulta da estrutura de controlo de custos da organização: o orçamento interno inclui uma margem de contingência e custos de recursos humanos internos que, por razões de disponibilidade de dados desagregados por atividade, não foram integralmente incorporados na baseline do Microsoft Project. O modelo EVM foi, por isso, aplicado com base nos custos diretamente associados aos pacotes de trabalho da WBS, excluindo a componente de contingência e parte dos encargos com recursos internos, controlados de forma separada no sistema SAP. As implicações desta delimitação para a interpretação dos indicadores EVM são discutidas na Secção 3.6.3 e retomadas nas limitações do estudo (Secção 5.3).

3.6.2 Linha de Base Temporal e Curva do Valor Planeado

O valor planeado (PV) foi distribuído temporalmente de acordo com o progresso esperado das atividades, permitindo construir a curva de evolução do PV ao longo do projeto. Esta curva constitui o referencial temporal do modelo EVM, representando o custo acumulado do trabalho previsto em cada momento do ciclo de vida.

A Tabela 3.1 apresenta os valores do PV por período de análise, conforme definidos na baseline do Microsoft Project.

Tabela 3.1: Valor Planeado (PV) por período de análise – Baseline do projeto

Período	Data de Estado	PV Acumulado (€)
2024 – T4	31/12/2024	823,33
2025 – T1	31/03/2025	81 073,33
2025 – T2	30/06/2025	150 251,67
2025 – T3	30/09/2025	241 263,33
2025 – T4	30/11/2025	243 506,83

A distribuição do PV evidencia o perfil de execução planeado: um arranque modesto no final de 2024, correspondente às primeiras atividades de iniciação; um crescimento acentuado no primeiro trimestre de 2025, coincidente com a fase de aquisição de equipamentos e preparação de obra; uma aceleração significativa nos trimestres T2 e T3 de 2025, correspondentes à fase de Implementação; e uma estabilização no T4 aquando da Finalização do projeto.

A Figura 3.3 ilustra graficamente a curva do PV ao longo do tempo, evidenciando o perfil típico em forma de curva S, característico de projetos com fases de arranque gradual e execução concentrada na fase intermédia [12].

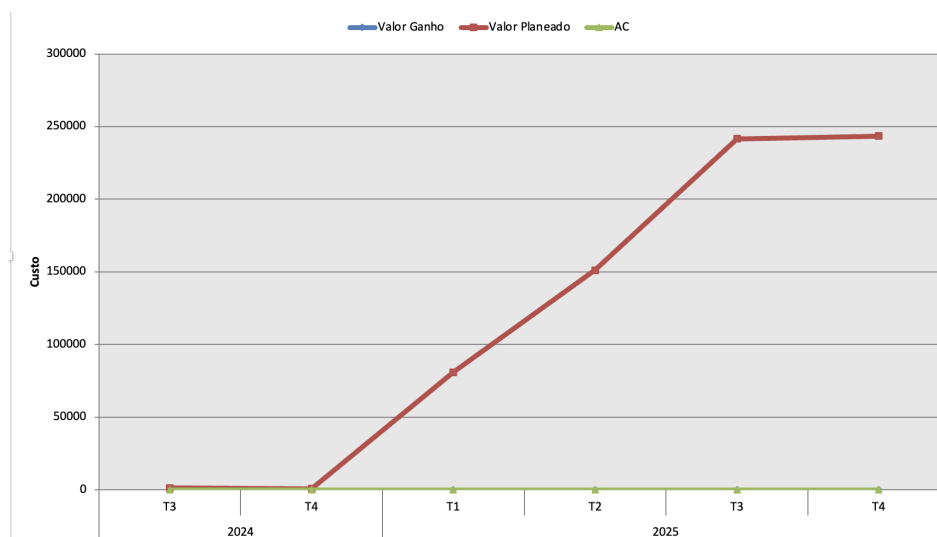


Figura 3.3: Curva do valor planeado (PV) ao longo do tempo

3.6.3 Pressupostos e Limitações da Baseline

A definição da linha de base assentou num conjunto de pressupostos que importa explicitar, uma vez que condicionam a interpretação dos indicadores EVM calculados no Capítulo 4.

Faseamento sequencial e execução antecipada. A baseline foi construída com base num faseamento predominantemente sequencial, no qual a Fase 2 (Planeamento) estava agendada para se iniciar após a conclusão da Fase 1 (Iniciação). Este pressuposto não refletiu a execução efetivamente ocorrida: algumas atividades foram realizadas em paralelo ainda no terceiro trimestre de 2024, antes do início formal da baseline. Por esta razão, o período 2024-T3 foi excluído dos pontos de análise EVM, tendo o primeiro ponto formal de monitorização sido fixado em 31 de dezembro de 2024. Esta decisão não compromete a validade dos resultados obtidos, uma vez que os custos e o progresso físico significativos do projeto se concentraram a partir desse momento.

Diferença entre BAC e Budget CAPEX. Conforme referido na Secção 3.6.1, o BAC utilizado no modelo EVM (€ 243 506,83) é inferior ao orçamento interno aprovado (€ 286 000). Esta delimitação implica que o modelo EVM controla o desempenho face a um subconjunto dos custos totais do projeto, devendo os indicadores EVM ser interpretados nesse contexto e não como representação integral do investimento realizado.

Alterações de âmbito não incorporadas na baseline. A baseline não foi revista para incorporar os trabalhos adicionais de serralharia identificados durante a fase de implementação, por se tratarem de alterações de âmbito não previstas no planeamento inicial. Este facto introduziu um desvio de custo no encerramento do projeto que o modelo EVM não conseguiu antecipar, ilustrando uma limitação estrutural da metodologia: o EVM controla o desempenho face ao plano aprovado, mas não substitui um processo formal de gestão de alterações ao âmbito [5]. A opção por não rever a baseline – isto é, por não gravar uma nova linha de base que incorporasse as alterações de custo e de prazo decorrentes destas alterações de âmbito – foi deliberada. Por um lado, manter a baseline original como referência estável preserva a comparabilidade dos indicadores EVM ao longo de todo o ciclo de vida e evita o efeito de *rebaselining* sucessivo, frequentemente apontado como uma prática que mascara desvios de desempenho. Por outro lado, esta opção torna visível, de forma quantitativa, a própria limitação do modelo: ao não reconhecer trabalho fora da baseline, o EVM não antecipa o impacto de alterações de âmbito não geridas formalmente – o que constitui um dos resultados analíticos deste estudo. A revisão da baseline teria, neste caso, ocultado esse efeito.

Método de medição do progresso físico. O progresso físico do projeto, necessário para o cálculo do valor ganho (*Earned Value* – EV), foi medido com base na percentagem de conclusão das atividades, registada periodicamente no Microsoft Project por data de estado. O método adotado baseou-se na percentagem concluída de cada tarefa face à sua duração planeada, em linha com as práticas descritas na revisão da literatura [12]. Esta abordagem, embora amplamente utilizada, introduz

um elemento de subjetividade nas atividades de natureza imaterial – como a configuração de software e a realização de testes – em que a conclusão física é mais difícil de quantificar objetivamente. Esta limitação é retomada na Secção 5.3.

A recolha e organização dos dados de planeamento, progresso físico e custos reais constituíram a base para a aplicação do modelo EVM, cuja metodologia de implementação e análise de resultados são apresentadas no capítulo seguinte.

Capítulo 4

Aplicação do Earned Value Management

Este capítulo apresenta a aplicação prática do modelo EVM ao projeto de atualização do sistema de segurança descrito no Capítulo 3. Com base no planeamento definido e nos dados de execução recolhidos ao longo do ciclo de vida do projeto, são analisados os principais indicadores de desempenho associados ao custo, prazo e progresso físico das atividades.

Inicialmente são apresentadas as linhas de base e a metodologia de recolha de dados. Seguidamente procede-se ao cálculo e interpretação dos indicadores do modelo EVM para cada ponto de análise, incluindo a comparação entre métodos alternativos de estimativa do custo à conclusão. Por fim, é realizada uma análise integrada do desempenho do projeto, discutindo os desvios identificados, as suas causas e o contributo do modelo para a gestão do projeto.

4.1 Metodologia de Aplicação do EVM

O modelo EVM foi aplicado ao projeto com base na integração da linha de base definida no Capítulo 3 e dos dados reais recolhidos durante a execução. A análise foi estruturada em quatro pontos de monitorização trimestrais, correspondentes ao final de cada trimestre do ciclo de vida do projeto, entre março de 2025 e novembro de 2025, complementados por um ponto de conclusão referente ao fecho efetivo

do projeto, em dezembro de 2025. O período de dezembro de 2024 é apresentado separadamente como contexto de arranque, pelas razões descritas na Secção 4.3.1.

Para cada ponto de análise, foram recolhidos os três elementos fundamentais do modelo:

- **PV** – obtido diretamente da baseline do Microsoft Project, através do campo BCWS (*Budgeted Cost of Work Scheduled*), após definição da data de estado (*status date*) correspondente a cada período;
- **EV** – calculado pelo Microsoft Project com base na percentagem de conclusão de cada tarefa, através do campo BCWP (*Budgeted Cost of Work Performed*);
- **AC** – correspondente ao campo ACWP (*Actual Cost of Work Performed*), obtido a partir dos registos financeiros do sistema SAP e correspondendo aos custos efetivamente incorridos e lançados no projeto até cada data de análise.

Com base nestes três valores, foram calculados os principais indicadores de desempenho do modelo EVM: as variâncias de custo e de prazo (CV e SV), os índices de desempenho de custo e de prazo (CPI e SPI), o custo estimado para concluir o trabalho restante (Estimate to Complete (ETC)) e a estimativa do custo total à conclusão (EAC). A metodologia de cálculo e a escolha das fórmulas de estimativa são descritas na Secção 4.4.1.

4.2 Definição das Linhas de Base

As linhas de base de custo e prazo foram definidas com base no planeamento detalhado apresentado no Capítulo 3, conforme descrito na Secção 3.6. O orçamento total do projeto (BAC) fixou-se em **€ 243 506,83**, distribuído pelos pacotes de trabalho da WBS ao longo de catorze meses, entre setembro de 2024 e novembro de 2025.

A linha de base foi guardada no Microsoft Project como *Baseline 1*, tendo sido configurado o campo *Linha Base para cálculo do Valor Ganho* para esta baseline nas opções avançadas do projeto. A data de estado (*status date*) foi atualizada em cada ponto de análise para permitir o cálculo correto dos campos BCWS e BCWP pelo Microsoft Project.

4.3 Recolha de Dados e Pontos de Análise

A monitorização do projeto foi realizada ao longo de cinco momentos correspondentes ao final de cada trimestre do ciclo de vida do projeto, acrescidos do ponto de conclusão referente ao fecho efetivo do projeto, em dezembro de 2025. Para cada ponto, foi definida a data de estado (*status date*) no Microsoft Project, a partir da

qual se obtiveram os valores de BCWS (PV) e BCWP (EV). Os custos reais (AC), correspondentes ao campo ACWP, não são calculados pelo Microsoft Project, sendo extraídos do sistema SAP – onde se encontram registados os custos efetivamente imputados aos pacotes de trabalho da baseline – e validados com a ferramenta de controlo de *budget* interno da organização. Após a sua obtenção no SAP, estes valores de AC foram transferidos para o Microsoft Project, permitindo o cálculo integrado dos indicadores do modelo em cada ponto de análise. A relação entre estes custos e o orçamento interno aprovado (*Budget CAPEX*) encontra-se discutida na Secção 3.6.3.

A distribuição temporal dos custos reais reflete a entrega antecipada dos equipamentos de videovigilância e controlo de acessos negociada com o fornecedor: uma parte significativa do AC foi imputada ainda em 2024 (€ 77 702 dos € 235 634 totais), enquanto a maioria dos custos de instalação e configuração ocorreu em 2025. Este padrão é consistente com a evolução dos indicadores EVM descrita na Secção 4.4.

4.3.1 Nota sobre o Período de Arranque (T4-2024)

O período de dezembro de 2024 merece uma clarificação metodológica prévia à análise dos indicadores. Nesse momento, o EV acumulado atingiu € 81 073, enquanto o PV da baseline era de apenas € 823 – um desfasamento que resulta de dois fatores conjugados.

Por um lado, a entrega antecipada dos equipamentos, negociada com o fornecedor, gerou um volume de trabalho fisicamente concluído muito superior ao previsto na baseline para esse período. Por outro, a baseline foi construída com faseamento sequencial, não refletindo a execução em paralelo de algumas atividades que ocorreu ainda em setembro e outubro de 2024 (conforme explicado na Secção 3.6.3).

A combinação destes dois fatores origina um SPI de 98,47 para este período – valor que, pela sua magnitude, não é analiticamente comparável com os indicadores dos trimestres seguintes e não deve ser interpretado como um índice de desempenho convencional. Por esta razão, o período T4-2024 é apresentado na tabela de indicadores como contexto de arranque, sendo excluído da análise de tendências e da representação gráfica da curva S. Os quatro pontos de análise formais iniciam-se em março de 2025, quando a baseline e a execução se encontravam alinhadas.

Esta situação constitui, em si mesma, uma ilustração do valor do EVM: o modelo capturou de forma imediata e quantitativa o adiantamento físico do projeto, algo que um sistema de controlo baseado exclusivamente na comparação entre custo planeado e custo real não permitiria detetar. A interpretação deste episódio é desenvolvida na Secção 4.4.2.

4.4 Análise do Desempenho do Projeto

4.4.1 Indicadores EVM

A Tabela 4.1 apresenta a síntese dos valores recolhidos em cada ponto de análise, bem como os indicadores calculados, incluindo o ETC e o EAC. Uma vez que a coluna do EAC desta síntese depende do método de estimativa adotado, apresentam-se previamente os dois métodos considerados neste estudo, antes da apresentação da tabela.

A estimativa do custo à conclusão (EAC) pode ser calculada através de diferentes métodos, consoante os pressupostos assumidos sobre o desempenho futuro do projeto [12, 15]. Neste estudo foram considerados dois métodos, cujos resultados são comparados na Tabela 4.2:

- **Método 1 – Desempenho futuro ao ritmo atual (EAC₁):** $EAC_1 = BAC/CPI$. Este método assume que a eficiência de custos observada até ao momento se manterá constante até ao final do projeto. Corresponde ao cenário mais provável quando o desvio de custos tem origem estrutural e não em eventos pontuais [12].
- **Método 2 – Trabalho restante ao custo planeado (EAC₂):** $EAC_2 = AC + (BAC - EV)$. Este método assume que o trabalho ainda não realizado será executado conforme o orçamento original, independentemente do desempenho passado. É frequentemente utilizado quando os desvios de custo são considerados atípicos ou já resolvidos [15].

A síntese dos indicadores é apresentada na Tabela 4.1, na qual a coluna do EAC foi calculada pelo **Método 1** ($EAC_1 = BAC/CPI$), por constituir a estimativa principal adotada neste estudo, pelas razões discutidas adiante. O período T4-2024 é incluído para efeitos de registo histórico, com a ressalva metodológica descrita na Secção 4.3.1.

Tabela 4.1: Síntese dos indicadores EVM ao longo da execução do projeto

Período	PV (€)	EV (€)	AC (€)	SV (€)	CV (€)	CPI	SPI	ETC (€)	EAC (€)	VAC (€)
31/12/2024 [†]	823,33	81 073,33	77 702,13	+80 250,00	+3 371,20	1,04	—	155 679,18	233 381,31	+10 125,52
31/03/2025	81 073,33	81 566,67	78 195,47	+493,33	+3 371,20	1,04	1,01	155 247,08	233 442,55	+10 064,28
30/06/2025	150 251,67	147 330,00	143 958,80	-2 921,67	+3 371,20	1,02	0,98	93 976,12	237 934,92	+5 571,91
30/09/2025	241 263,33	152 451,87	149 080,67	-88 811,47	+3 371,19	1,02	0,63	89 041,46	238 122,13	+5 384,70
30/11/2025 [‡]	243 506,83	233 600,53	235 634,17	-9 906,30	-2 033,64	0,99	0,96	9 872,66	245 506,83	-2 000,00
Conclusão [§]	243 506,83	243 506,83	245 506,83	0,00	-2 000,00	0,99	1,00	0,00	245 506,83	-2 000,00

[†] O período T4-2024 é apresentado apenas para efeitos de registo histórico. O SPI não é calculado para este período por razões metodológicas descritas na Secção 4.3.1. O ETC é calculado como $ETC = EAC - AC$. A coluna EAC corresponde ao Método 1 ($EAC = BAC / CPI$).

[‡] O ponto de 30/11/2025 corresponde à data de conclusão planeada na baseline e ao último ponto trimestral de monitorização; nesse momento o projeto encontrava-se a cerca de 96% do âmbito previsto.

[§] A linha “Conclusão” refere-se ao fecho efetivo do projeto, em dezembro de 2025. Por estar integralmente concluído, verifica-se, por definição, $EV = PV = BAC$, do que resultam $SV = 0$ e $SPI = 1$; o ETC é nulo. O SPI unitário não traduz, neste ponto, qualquer informação de desempenho temporal: o atraso real do projeto (aproximadamente um mês face à data planeada) é reportado em unidades de tempo, conforme discutido na Secção 4.4.2.

O ETC representa o custo estimado para concluir o trabalho restante, calculado como $ETC = EAC - AC$. A sua evolução ao longo do projeto reflete a redução progressiva do trabalho por realizar: de €155 247 em março de 2025, quando a fase de implementação ainda não havia iniciado formalmente, para €9 873 na última revisão trimestral (30/11/2025) e, finalmente, zero na conclusão do projeto, em dezembro de 2025, confirmando a entrega integral do âmbito planeado.

A comparação entre os dois métodos de estimativa do EAC ao longo do ciclo de vida do projeto é apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Comparação entre métodos de estimativa do custo à conclusão (EAC)

Período	BAC (€)	EAC ₁ (€) (BAC/CPI)	EAC ₂ (€) (AC+(BAC-EV))	Diferença (€)
31/03/2025	243 506,83	233 442,55	240 135,63	6 693,08
30/06/2025	243 506,83	237 934,92	240 135,63	2 200,71
30/09/2025	243 506,83	238 122,13	240 135,49	2 013,36
30/11/2025	243 506,83	245 506,83	245 540,47	33,64
Conclusão	243 506,83	245 506,83	245 506,83	0,00

A análise comparativa revela que, ao longo da maior parte do ciclo de vida do projeto, o Método 1 produziu estimativas mais otimistas do que o Método 2, refletindo o CPI consistentemente superior a 1 nos primeiros trimestres. Na conclusão

do projeto, os dois métodos convergem exatamente para o custo real final (diferença nula), o que é teoricamente expectável: com o trabalho integralmente concluído ($EV = BAC$), ambas as fórmulas se reduzem ao AC. Esta convergência valida a robustez das estimativas produzidas pelo modelo EVM ao longo da execução.

A opção pelo Método 1 como estimativa principal neste estudo justifica-se pelo facto de o desvio de custos observado ter sido consistente ao longo de todo o projeto, não resultando de eventos pontuais, mas de uma eficiência de execução ligeiramente superior ao planeado na maior parte das fases. Contudo, importa reconhecer que o Método 2 constitui uma estimativa mais conservadora e, em projetos com maior incerteza, poderá ser preferível [12].

4.4.2 Evolução dos Indicadores ao Longo do Tempo

A análise da evolução dos indicadores EVM ao longo do ciclo de vida do projeto permite identificar quatro fases distintas de desempenho, que se descrevem de seguida.

Fase 1 – Adiantamento inicial (T4-2024)

O primeiro momento de análise, referente a 31 de dezembro de 2024, registou um valor de EV acumulado de € 81 073 face a um PV de € 823, traduzindo-se numa variância de prazo positiva de $SV = +€ 80 250$. Este desfasamento, cuja origem metodológica é explicada na Secção 4.3.1, tem uma justificação operacional concreta: foi possível negociar com o fornecedor a entrega antecipada dos equipamentos de videovigilância e controlo de acessos, avaliados em aproximadamente € 75 000, que estavam inicialmente previstos para entrega em janeiro de 2025. Esta antecipação permitiu utilizar verba disponível no final do exercício de 2024 e acelerar o arranque da fase de implementação.

O CPI de 1,04 confirma que a antecipação foi realizada de forma financeiramente eficiente, com o custo real ligeiramente abaixo do valor ganho. Do ponto de vista metodológico, este episódio ilustra uma das principais vantagens do EVM face ao controlo tradicional: um sistema baseado exclusivamente na comparação entre custo planeado e custo real não teria identificado este adiantamento de âmbito, ao passo que o EV capturou de imediato o progresso físico efetivamente realizado, independentemente do momento em que estava planeado.

Fase 2 – Estabilização (T1-2025)

Em março de 2025, o projeto apresentava um desempenho alinhado com o planeamento ($SPI = 1,01$; $SV = +€ 493$). O CPI manteve-se em 1,04, refletindo a consistência no controlo de custos estabelecida no trimestre anterior. O EAC de € 233 443 sugeria que o projeto poderia concluir com uma poupança face ao BAC de

aproximadamente € 10 000, estimativa que se revelaria parcialmente otimista, como se analisa adiante.

Esta fase correspondeu à consolidação do processo de planeamento e ao início formal das atividades de implementação, com a preparação da infraestrutura física e a integração dos equipamentos previamente entregues. O ETC de € 155 247 neste ponto refletia o volume significativo de trabalho de instalação e configuração ainda por realizar.

Fase 3 – Atraso crítico na implementação (T2 e T3-2025)

A partir do segundo trimestre de 2025, o desempenho temporal do projeto deteriorou-se progressivamente. Em junho de 2025, o SPI desceu para 0,98 ($SV = -€ 2 922$), sinalizando o início de um desvio de progresso que se agravaria no trimestre seguinte. Em setembro de 2025, o SPI atingiu o valor mínimo de 0,63 ($SV = -€ 88 811$), com o projeto a registar apenas 63% de progresso face aos 99% previstos na baseline para aquela data.

Do ponto de vista da deteção precoce de desvios, importa salientar que a descida do SPI para 0,98 em junho de 2025 constituiu um sinal antecipado do atraso que se materializaria no trimestre seguinte. Nesse momento, o CPI mantinha-se em 1,02 – os custos estavam controlados – o que implica que, num sistema de controlo baseado exclusivamente em indicadores financeiros, este desvio de progresso não seria detetável. A combinação de um CPI estável com um SPI em declínio permitiu ao gestor de projeto identificar que o problema era de natureza operacional e não financeira, direcionando as ações corretivas para a causa raiz.

A causa do atraso foi identificada como um bloqueio técnico relacionado com o *card format* dos cartões de identificação utilizados na instalação. O fornecedor do sistema de controlo de acessos recusou inicialmente fornecer o *card format* necessário para a integração na plataforma Genetec Security Center, sem o qual não era possível configurar a leitura de cartões e avançar com a instalação do sistema. A resolução desta situação, que envolveu negociação prolongada com o fornecedor, atrasou consideravelmente as atividades de configuração e testes, concentradas precisamente neste período.

Para quantificar o impacto deste atraso, considerando que o projeto tinha uma duração planeada de catorze meses e que o SPI de 0,63 em setembro de 2025 indica que apenas 63% do trabalho previsto estava concluído num momento em que deveriam estar completos 99%, o desvio acumulado de progresso correspondeu a aproximadamente dois meses de trabalho em atraso relativamente ao plano. Este cálculo, de natureza indicativa, suporta a análise qualitativa e é consistente com o esforço de recuperação observado no trimestre seguinte.

Apesar do atraso de prazo, o controlo de custos manteve-se rigoroso durante toda esta fase: o CPI permaneceu em 1,02 em setembro de 2025, com o CV positivo

(+€3 371), evidenciando que o trabalho realizado foi executado de forma eficiente do ponto de vista financeiro.

Fase 4 – Recuperação e encerramento (T4-2025)

A Fase 4 distingue dois momentos: a última revisão trimestral, em 30 de novembro de 2025 – data de conclusão planeada na baseline –, e o fecho efetivo do projeto, em dezembro de 2025.

Na revisão de 30 de novembro de 2025, o projeto apresentava um SPI de 0,96 ($SV = -€9 906$), encontrando-se a cerca de 96% do âmbito previsto. Este valor reflete que, na data planeada para o encerramento, uma fração residual do trabalho permanecia por concluir, em consequência do atraso acumulado na fase de implementação que não foi integralmente recuperado a tempo. As atividades de finalização prolongaram-se, assim, para além da data prevista, na sequência do esforço de recuperação subsequente à resolução do bloqueio técnico do *card format*.

O projeto foi concluído em dezembro de 2025. Por estar integralmente terminado, este ponto de conclusão verifica, por definição, $EV = PV = BAC = €243 506,83$, do que resultam $SV = 0$ e $SPI = 1,00$, com o ETC nulo (Tabela 4.1, linha “Conclusão”). Importa sublinhar, em linha com a observação metodológica desenvolvida adiante, que este SPI unitário é uma consequência necessária da conclusão do projeto e não traduz qualquer informação sobre o desempenho temporal real.

Do ponto de vista do custo, o CPI desceu abaixo da unidade pela primeira vez ao longo do ciclo de vida do projeto ($CPI = 0,99$), e o custo real final ultrapassou o orçamento ($AC = €245 507$ vs. $BAC = €243 507$), resultando num CV e num VAC de $-€2 000$. Esta derrapagem ficou a dever-se à realização de trabalhos adicionais de serralharia nas portas da instalação, não previstos na baseline original, que acrescentaram aproximadamente €10 000 ao custo total do projeto. Tratando-se de uma alteração de âmbito não incorporada na baseline, o modelo EVM não a antecipou nas estimativas dos trimestres anteriores, o que é consistente com as limitações estruturais do modelo discutidas na Secção 5.3.

Importa clarificar a interpretação do desempenho temporal na conclusão do projeto. Por definição, num projeto integralmente concluído verifica-se $EV = PV = BAC$, do que resultam $SV = 0$ e $SPI = 1$: à medida que o projeto se aproxima da conclusão, tanto o PV como o EV convergem para o BAC, fazendo com que o SPI tenda necessariamente para a unidade, independentemente do atraso real acumulado. Por esta razão, o SPI de conclusão não constitui um indicador útil de desempenho temporal; o desvio de prazo do projeto é, em rigor, reportado pela comparação direta entre a data de conclusão efetiva (dezembro de 2025) e a data planeada na baseline (30 de novembro de 2025), correspondente a um atraso de aproximadamente um mês. Esta propriedade do SPI convencional – a convergência para a unidade no fecho do projeto – é precisamente a limitação que motiva a adoção

do *Earned Schedule* (Secção 2.5.4), que permitiria expressar o atraso diretamente em unidades de tempo ao longo de toda a execução.

4.4.3 Análise dos Índices de Desempenho

A Figura 4.1 apresenta a curva S do projeto, ilustrando a evolução do PV, EV e AC ao longo dos quatro pontos de análise trimestrais e do ponto de conclusão. O período T4-2024 é excluído desta representação pelas razões descritas na Secção 4.3.1.

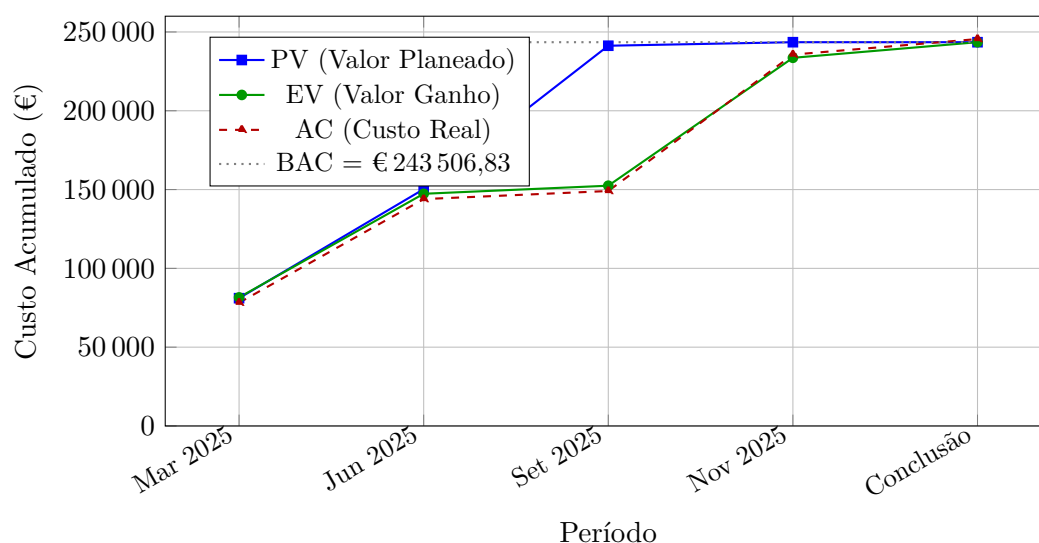


Figura 4.1: Curva S do projeto – evolução do PV, EV e AC ao longo do ciclo de vida (pontos de análise trimestrais e ponto de conclusão)

A análise da curva S evidencia os momentos de desempenho descritos nas subsecções anteriores: o alinhamento entre EV e PV no primeiro trimestre de 2025; a divergência progressiva entre PV e EV a partir do segundo trimestre, com o projeto a acumular atraso de progresso físico; a manutenção do AC próximo do EV ao longo do ciclo de vida, refletindo o controlo de custos consistente; e a convergência do EV para o PV no ponto de conclusão ($EV = PV = BAC$), com o AC a situar-se ligeiramente acima, em consequência da pequena derrapagem de custo associada aos trabalhos adicionais de serralharia. Salienta-se que o ponto de conclusão se reporta a dezembro de 2025; o atraso de cerca de um mês face à data planeada (30 de novembro de 2025) não é visível na curva de custos, sendo expresso em unidades de tempo, conforme discutido na Secção 4.4.2.

A Figura 4.2 ilustra a evolução da variância de custo (CV) e da variância de prazo (SV) ao longo do ciclo de vida do projeto.

4.4.4 Estimativa do Custo à Conclusão

A evolução do EAC ao longo dos cinco pontos de análise, calculada pelo Método 1 ($EAC_1 = BAC/CPI$), é apresentada na Tabela 4.3. Os valores do Método 2 constam da Tabela 4.2.

Tabela 4.3: Evolução da estimativa do custo à conclusão (EAC) e da variação prevista (VAC)

Período	EAC (€)	BAC (€)	VAC (€)
31/12/2024	233 381,31	243 506,83	+10 125,52
31/03/2025	233 442,55	243 506,83	+10 064,28
30/06/2025	237 934,92	243 506,83	+5 571,91
30/09/2025	238 122,13	243 506,83	+5 384,70
30/11/2025	245 506,83	243 506,83	-2 000,00

Nos primeiros quatro pontos de análise, o EAC manteve-se consistentemente abaixo do BAC, com o VAC positivo a indicar que o projeto terminaria dentro do orçamento. Esta estimativa revelou-se parcialmente otimista: o EAC final de € 245 507 superou o BAC em € 2 000, resultando num VAC de –€ 2 000. A principal razão para esta divergência – os trabalhos adicionais de serralharia não previstos na baseline – não constituía um desvio de eficiência de execução, mas uma alteração de âmbito, o que explica a razão pela qual o modelo não a antecipou. Este caso ilustra que a precisão preditiva do EAC depende da estabilidade do âmbito do projeto, reforçando a importância de um processo formal de gestão de alterações ao âmbito para a eficácia do modelo [6].

4.5 Contributo do EVM para a Gestão do Projeto

4.5.1 Detecção Precoce de Desvios

A aplicação do modelo EVM demonstrou a sua utilidade enquanto sistema de alerta precoce ao longo da execução do projeto. Em particular, a descida do SPI para 0,98 em junho de 2025 – num momento em que o CPI se mantinha em 1,02 – constituiu um sinal antecipado do atraso que se materializaria no trimestre seguinte. Num sistema de controlo baseado exclusivamente na comparação entre custo planeado e custo real, este desvio de progresso não seria detetável, uma vez que os custos se mantinham dentro dos limites previstos.

A combinação de um CPI estável com um SPI em declínio permitiu ao gestor de projeto identificar que o problema era de natureza operacional – o bloqueio técnico do *card format* – e não financeira, direcionando as ações corretivas para a causa raiz em vez de para uma eventual contenção de custos desnecessária. Esta capacidade

de diagnóstico diferenciado entre desvios de custo e desvios de progresso é uma das características distintivas do EVM face às metodologias tradicionais de controlo [12].

4.5.2 Integração com Sistemas de Informação Empresariais

A implementação do modelo EVM neste projeto beneficiou da integração entre duas ferramentas: o Microsoft Project, utilizado para o planeamento e monitorização do progresso físico, e o SAP, utilizado para o registo e extração dos custos reais. Esta integração, embora realizada de forma manual através da exportação periódica de dados de ambos os sistemas, permitiu obter uma visão consolidada do desempenho do projeto em cada ponto de análise.

A experiência demonstrou que a principal dificuldade na aplicação do EVM em contexto industrial não reside no cálculo dos indicadores, mas na recolha e reconciliação dos dados provenientes de sistemas distintos. A ausência de integração automática entre o Microsoft Project e o SAP implicou um esforço manual adicional em cada ponto de monitorização, constituindo uma limitação operacional relevante que é discutida na Secção 5.3.

No projeto analisado, a integração entre os sistemas de informação foi realizada de forma manual: o custo real (ACWP) foi extraído do SAP e transferido para o *Microsoft Project*, e os indicadores do EVM foram posteriormente calculados numa ferramenta em *Microsoft Excel*. Embora funcional, esta abordagem é morosa, propensa a erros de transcrição e dificilmente compatível com uma monitorização de elevada frequência.

Como evolução natural deste trabalho, propõe-se uma arquitetura de integração automatizada assente em três camadas, ilustrada na Figura 4.3. Na camada de origem, o SAP fornece os custos reais (AC), enquanto o *Microsoft Project* disponibiliza o cronograma, a linha de base e o Valor Planeado (PV). Na camada intermédia, um processo de extração e consolidação periódica reúne os dados das duas fontes, relacionando-os através de uma chave comum — o código da WBS. Na camada de apresentação, uma ferramenta de *business intelligence*, como o *Microsoft Power BI*, calcula e visualiza automaticamente os indicadores (CPI, SPI, EAC e VAC) e a curva S, em painéis atualizados periodicamente.

O elemento crítico desta arquitetura é a existência de uma codificação unificada entre os dois sistemas. Uma vez que o módulo de gestão de projetos do SAP (*Project System*) organiza os custos por elementos de WBS, o alinhamento entre a WBS definida no *Microsoft Project* e os elementos de WBS do SAP permite associar automaticamente cada custo real ao pacote de trabalho correspondente. A extração pode ser concretizada através das interfaces normalizadas do SAP (por exemplo, serviços *OData* ou exportações programadas) e do acesso aos dados do *Project* (por exemplo, através do *feed OData* do *Project Online*), sendo ambos consumidos diretamente pelo *Power BI*.

Com esta automatização, a atualização dos indicadores deixaria de depender de transferências manuais, reduzindo o esforço administrativo e os erros associados, e permitindo aumentar a cadência de monitorização de trimestral para mensal — ou mesmo contínua. Deste modo, o EVM evoluiria de um instrumento de análise periódica para um sistema de monitorização operacional em tempo quase real, reforçando a sua capacidade de deteção precoce de desvios.

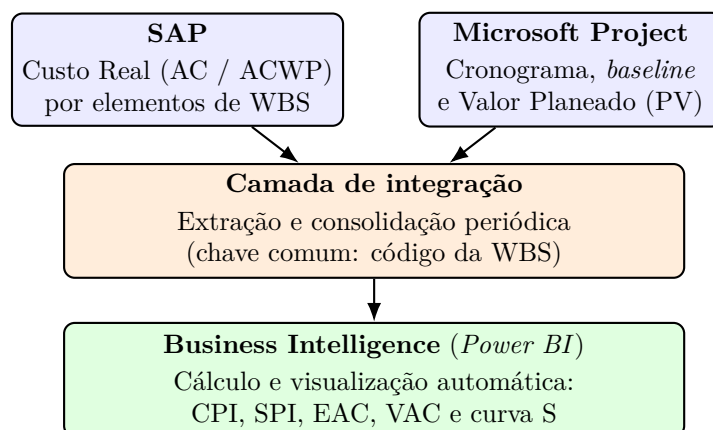


Figura 4.3: Arquitetura proposta para a integração automatizada dos sistemas de informação e o cálculo do EVM.

4.5.3 Comparação entre o Modelo EVM e o Controlo de Budget Interno

A aplicação do modelo EVM foi desenvolvida em paralelo com o sistema de controlo de *budget* interno utilizado pela Nestlé, baseado numa ferramenta Excel que acompanha, ao nível de cada linha de encomenda, o estado de adjudicação, receção e faturação dos equipamentos e serviços do projeto.

Esta coexistência de dois instrumentos de controlo permitiu identificar diferenças metodológicas relevantes entre as duas abordagens. O controlo de *budget* interno foca-se exclusivamente na dimensão financeira – comparando o orçamento aprovado (€ 286 000) com os valores adjudicados e efetivamente gastos – sem estabelecer qualquer relação com o progresso físico das atividades ou com o cronograma do projeto. Esta abordagem, embora útil para o controlo de autorizações de despesa e para o reporte financeiro interno, não permite avaliar se o trabalho realizado está alinhado com o planeamento ou se o projeto está a ser executado de forma eficiente.

O modelo EVM, ao integrar simultaneamente o PV, o EV e o AC, fornece uma perspetiva tridimensional do desempenho que vai além da simples comparação entre orçamento e gasto real. A título de exemplo, o controlo de *budget* interno registava em dezembro de 2024 as receções de material (*Goods Receipt*) já efetuadas, sem qualquer indicação sobre se o seu valor correspondia ao progresso planeado para

essa data. O modelo EVM, ao identificar um EV de € 81 073 face a um PV de € 823 no mesmo período, confirmou que o projeto estava significativamente adiantado face ao plano – informação que o controlo financeiro tradicional não conseguia expressar.

Esta comparação ilustra de forma concreta a limitação dos métodos tradicionais de controlo identificada na revisão da literatura [12]: a incapacidade de distinguir entre um projeto que gasta conforme o planeado porque avança conforme o esperado, e um projeto que apresenta o mesmo perfil de despesa mas com um progresso físico substancialmente diferente do previsto. O EVM resolve esta ambiguidade ao incorporar explicitamente a dimensão do progresso físico na análise do desempenho.

4.5.4 Síntese da Análise EVM

Em síntese, a aplicação do modelo EVM ao projeto Site Security permitiu:

- identificar e quantificar o adiantamento inicial resultante da negociação antecipada de equipamentos, demonstrando o valor da gestão proativa do calendário de entregas;
- detetar antecipadamente o atraso na fase de implementação, antes que o mesmo se tornasse evidente nos indicadores financeiros tradicionais, através da divergência entre CPI e SPI;
- identificar a causa operacional do atraso – o bloqueio técnico do *card format* – e monitorizar a recuperação após a sua resolução;
- estimar o custo final do projeto com razoável precisão ao longo da execução, com os dois métodos de EAC a convergirem para valores próximos do custo real no encerramento;
- documentar de forma objetiva e quantitativa o desempenho do projeto para reporte aos *stakeholders*, através de indicadores normalizados e comparáveis entre períodos.

O projeto terminou com um desvio de custo de –€ 2 000 (correspondente a 0,8% do BAC) e foi concluído em dezembro de 2025, com um atraso de aproximadamente um mês face à data planeada na baseline. O SPI de 0,96 registado a 30 de novembro reflete o estado do projeto à data planeada de encerramento, ainda incompleto; em rigor, o desvio temporal final é mais corretamente expresso pelo atraso de cerca de um mês na conclusão efetiva do que pelo SPI, que converge para a unidade na conclusão (Secção 4.4.2). No contexto das dificuldades encontradas durante a execução – nomeadamente o bloqueio técnico do *card format* e os trabalhos adicionais de serralharia –, estes resultados podem ser considerados globalmente satisfatórios. A aplicação do EVM contribuiu para manter este nível de controlo ao longo de

um projeto de catorze meses, com múltiplas áreas técnicas e fontes de informação distintas. As limitações identificadas durante esta aplicação são sistematizadas e discutidas no capítulo seguinte.

Capítulo 5

Conclusões

Este capítulo sintetiza os principais resultados obtidos com a aplicação do modelo EVM ao projeto industrial analisado, avalia o cumprimento dos objetivos definidos, identifica as limitações do estudo e formula propostas para desenvolvimentos futuros.

5.1 Conclusões Gerais

O presente trabalho teve como objetivo principal a aplicação do modelo Earned Value Management (EVM) a um projeto industrial real, desenvolvido na unidade industrial da Nestlé em Avanca, Portugal, com vista a avaliar a sua utilidade enquanto ferramenta de monitorização e controlo do desempenho. O projeto analisado correspondeu à atualização dos sistemas de segurança da instalação, incluindo a modernização do sistema de videovigilância (CCTV) e do sistema de controlo de acessos, com um orçamento total (BAC) de €243 506,83 e uma duração planeada de catorze meses.

Os resultados obtidos permitem formular as seguintes conclusões, organizadas por ordem de relevância para a prática da gestão de projetos industriais.

O modelo EVM demonstrou utilidade prática em contexto industrial, mas a sua eficácia depende criticamente da qualidade do planeamento inicial. A aplicação ao projeto Site Security permitiu obter uma visão integrada do desempenho em custo e prazo em cada ponto de análise, algo que não seria possível com as abordagens tradicionais de controlo baseadas exclusivamente na comparação

entre custo planeado e custo real. Contudo, esta capacidade analítica só foi possível porque o projeto dispunha de uma WBS estruturada, de uma baseline de custo e prazo bem definida e de um sistema de registo de custos (SAP) com imputação consistente por atividade. Sem estes elementos, os indicadores do modelo perderiam validade enquanto referência de monitorização, confirmando o que a literatura identifica como o principal fator crítico de sucesso na implementação do EVM [12].

A capacidade de deteção precoce de desvios foi a contribuição operacional mais relevante do modelo neste estudo. O caso mais ilustrativo foi a descida do SPI para 0,98 em junho de 2025, num momento em que o CPI se mantinha em 1,02. A divergência entre os dois índices sinalizou antecipadamente que o projeto enfrentava um problema de progresso físico e não de eficiência financeira, permitindo direcionar as ações corretivas para a causa raiz – o bloqueio técnico relacionado com o *card format* do sistema de controlo de acessos – antes que o atraso se tornasse crítico. Num sistema de controlo tradicional baseado em indicadores financeiros, este sinal de alerta seria invisível.

Em projetos com contratos de pagamento por marcos, o SPI revelou-se um indicador mais fiável do que o CPI para avaliar o desempenho real. A estrutura de pagamentos contratuais introduziu descontinuidades no AC que não refletem o ritmo real de execução, distorcendo pontualmente o CPI. Esta constatação constitui uma das contribuições analíticas mais originais deste estudo e tem implicações práticas relevantes: a aplicação do EVM em projetos industriais com contratos de empreitada deve ser acompanhada de uma análise crítica da estrutura de pagamentos, de forma a distinguir desvios de custo genuínos de artefactos introduzidos pela calendarização contratual.

A integração entre o Microsoft Project e o SAP mostrou-se viável, mas operacionalmente exigente. A metodologia adotada, baseada na extração periódica de dados de ambos os sistemas, permitiu aplicar o modelo sem recorrer a ferramentas especializadas de gestão de valor ganho. Contudo, a reconciliação manual constituiu a principal barreira operacional identificada e representa o obstáculo mais significativo à adoção sistemática do EVM no contexto organizacional estudado. A automatização desta integração, por exemplo através de plataformas como o Microsoft Power BI, é identificada como a proposta de trabalho futuro com maior potencial de impacto prático imediato.

O projeto terminou com desvios globalmente controlados, validando a aplicabilidade do modelo ao contexto estudado. O desvio de custo final foi de -€2 000 face ao BAC (0,8%). Em termos de prazo, o projeto foi concluído em dezembro de 2025, com um atraso de aproximadamente um mês face à data planeada na baseline (30 de novembro de 2025); no ponto de conclusão, por estar o âmbito integralmente entregue, verifica-se por definição $EV = PV = BAC$ e, consequentemente, $SPI = 1$, pelo que o desvio temporal final é reportado em unidades de

tempo, e não através do SPI – que, por convergir necessariamente para a unidade na conclusão, deixa de ter significado nessa fase. Estes resultados, no contexto das dificuldades encontradas durante a execução – nomeadamente o bloqueio técnico do *card format* e os trabalhos adicionais de serralharia não previstos na baseline –, podem ser considerados globalmente satisfatórios. A comparação entre os dois métodos de estimativa do EAC revelou uma convergência para valores próximos do custo real no encerramento, o que valida a robustez preditiva do modelo ao longo do ciclo de vida do projeto.

Em termos mais amplos, os resultados deste estudo sugerem que o EVM é aplicável a projetos industriais de média dimensão, desde que sejam asseguradas as condições de base descritas na literatura: planeamento estruturado, baseline estável, medição objetiva do progresso e registo fiável dos custos reais. A principal limitação estrutural identificada – a incapacidade do modelo de antecipar alterações de âmbito não planeadas – não é específica deste contexto, mas é inerente à natureza do EVM enquanto ferramenta de controlo face a um plano aprovado, reforçando a necessidade de o complementar com um processo formal de gestão de alterações [5].

5.2 Resposta aos Objetivos Específicos

Os objetivos específicos definidos no Capítulo 1 foram atingidos da seguinte forma, com uma avaliação crítica do grau de cumprimento de cada um.

- **Enquadramento teórico do EVM** – concretizado no Capítulo 2, com revisão dos conceitos fundamentais, evolução histórica, indicadores de desempenho, vantagens, limitações e aplicações industriais do modelo. A revisão privilegiou as referências mais consolidadas na literatura, nomeadamente Fleming e Koppelman [12] e os normativos do PMI [15], tendo sido complementada com estudos empíricos de aplicação industrial.
- **Estruturação do projeto através de uma WBS** – concretizado no Capítulo 3, com a definição de uma WBS em quatro fases e dezasseis pacotes de trabalho, desenvolvida no Microsoft Project. A decomposição revelou-se adequada ao nível de detalhe necessário para a aplicação do EVM, embora uma maior granularidade nos pacotes de trabalho da fase de implementação pudesse ter facilitado a medição mais precisa do progresso físico em atividades de configuração e testes.
- **Definição das linhas de base de custo e prazo** – realizado com recurso ao Microsoft Project, com a baseline guardada e configurada para suportar o cálculo dos campos BCWS e BCWP. A principal fragilidade identificada foi a

diferença entre o BAC da baseline (€ 243 506,83) e o orçamento interno aprovado (€ 286 000), resultante da exclusão de custos de contingência e recursos internos, o que limita a representatividade financeira integral do modelo.

- **Integração dos custos reais do SAP com os dados de planeamento** – concretizado através da extração periódica dos custos lançados no SAP e da sua reconciliação manual com os dados de progresso do Microsoft Project em cada ponto de análise. O objetivo foi cumprido, embora o carácter manual desta integração constitua a limitação operacional mais significativa do estudo, conforme discutido na Secção 5.3.
- **Desenvolvimento de uma metodologia de análise rápida e objetiva** – materializado numa ferramenta desenvolvida em Microsoft Excel que integra os valores de PV, EV e AC e calcula automaticamente os indicadores CPI, SPI, ETC, EAC e VAC, com visualização gráfica da curva S e comparação entre métodos de estimativa do EAC. Esta ferramenta representa um contributo prático tangível do trabalho para a organização de acolhimento.
- **Cálculo e interpretação dos indicadores EVM** – apresentado no Capítulo 4, com análise detalhada de cinco pontos de monitorização e do ponto de conclusão ao longo do ciclo de vida do projeto, incluindo a comparação entre dois métodos de estimativa do EAC e a quantificação do impacto do atraso na fase de implementação. A inclusão do ETC e da análise comparativa de fórmulas de EAC conferiu maior profundidade técnica à análise face ao que seria expectável numa aplicação elementar do modelo.
- **Identificação de benefícios, limitações e dificuldades** – desenvolvido na Secção 5.3 deste capítulo, com seis limitações sistematizadas e, onde aplicável, com propostas de abordagens alternativas para as mitigar.

5.3 Limitações do Estudo

Não obstante os resultados obtidos, o presente estudo apresenta um conjunto de limitações que importa reconhecer, abrangendo limitações de âmbito e generalização, de natureza metodológica e de carácter operacional.

Estudo de caso único. A análise baseia-se num único projeto, o que limita a generalização das conclusões. Os resultados obtidos refletem as especificidades do projeto Site Security e do contexto organizacional da Nestlé em Avanca, não podendo ser extrapolados diretamente para outros projetos ou organizações sem validação adicional. Em particular, as conclusões relativas ao comportamento do CPI e do SPI em contextos de pagamento por marcos, e à viabilidade da integração MS Project–SAP, são específicas do caso estudado e carecem de confirmação em

contextos distintos. Esta limitação é característica dos estudos de caso únicos e é reconhecida na literatura como uma restrição à generalização analítica, não invalidando, contudo, a profundidade da análise nem o contributo para a compreensão do fenómeno estudado [3].

Número reduzido de pontos de análise. A monitorização foi realizada em cinco pontos trimestrais, o que pode não capturar desvios de curta duração ou eventos que ocorreram e foram resolvidos dentro de um mesmo trimestre. Uma periodicidade mensal proporcionaria uma análise mais granular e maior capacidade de deteção precoce de desvios. Esta limitação foi particularmente relevante na Fase 3, onde o bloqueio técnico do *card format* se desenvolveu e agravou entre dois pontos de análise consecutivos, sem que o modelo pudesse fornecer sinais intermédios de alerta.

Medição do progresso físico baseada em estimativas. O EV foi calculado com base na percentagem de conclusão das tarefas registada no Microsoft Project, a qual depende da avaliação do gestor de projeto. Em atividades de natureza imaterial – como a configuração de software, a realização de testes ou a formação de utilizadores, que representam uma parte significativa da Fase 3 do projeto – esta estimativa é inerentemente menos precisa do que em atividades físicas mensuráveis, como a instalação de equipamentos. A adoção de critérios formais de medição de progresso, como as regras de creditização por marcos fixos (por exemplo, 0/100 ou 25/75), reduziria esta subjetividade e aumentaria a reprodutibilidade dos resultados, em linha com as boas práticas descritas na literatura [12].

Ausência de integração automática entre sistemas. A reconciliação manual entre o Microsoft Project e o SAP introduziu um risco de erro e aumentou o esforço administrativo associado à aplicação do modelo. A ausência de uma plataforma integrada que agregasse automaticamente os dados de planeamento e de execução financeira constituiu a principal barreira operacional à implementação eficaz do EVM neste contexto. Em projetos com maior número de pacotes de trabalho ou com ciclos de monitorização mais curtos, este esforço manual poderia tornar-se proibitivo, comprometendo a sustentabilidade da metodologia a longo prazo.

Estrutura de pagamentos contratuais por fases. Uma limitação específica deste estudo prende-se com a estrutura de pagamentos do contrato celebrado com o fornecedor principal, baseada em marcos contratuais predefinidos. Neste tipo de contratos, o AC registado no SAP reflete os pagamentos efetuados em momentos discretos – tipicamente associados à adjudicação, à entrega de equipamentos e à conclusão dos trabalhos – e não uma acumulação contínua de custos proporcional ao progresso físico das atividades. Esta característica introduz descontinuidades no AC que não correspondem necessariamente ao ritmo real de execução do projeto, podendo distorcer os indicadores EVM, em particular o CPI. A situação foi evidente no período de arranque do projeto (T4-2024), onde o pagamento associado à entrega

antecipada dos equipamentos provocou um salto abrupto no AC sem que o progresso físico correspondente tivesse sido integralmente realizado nesse período, conforme discutido na Secção 4.3.1. Em projetos com estruturas contratuais desta natureza, o SPI tende a ser um indicador mais fiável do desempenho temporal do que o CPI, uma vez que este último pode ser influenciado pela calendarização contratual de pagamentos e não apenas pela eficiência real de execução; a aplicação do EVM em projetos industriais com contratos de empreitada deve, por isso, ser acompanhada de uma análise crítica da estrutura de pagamentos [12]. Uma abordagem alternativa que poderia mitigar esta limitação consistiria em utilizar o AC baseado no valor do trabalho efetivamente executado e aceite – e não nos pagamentos realizados – recorrendo a autos de medição ou a registos de receção parcial de obra, produzindo um AC mais alinhado com o progresso físico real.

Custos fora da baseline. Os trabalhos adicionais de serralharia, que não estavam previstos na baseline original, introduziram um desvio de custos no encerramento do projeto que o modelo EVM não conseguiu antecipar, por se tratar de um evento de alteração de âmbito não planeado. Esta situação ilustra uma limitação estrutural do modelo: o EVM controla o desempenho face ao plano aprovado, mas não substitui um processo formal de gestão de alterações ao âmbito [5]. Em projetos com maior exposição a alterações de âmbito – por exemplo, em ambientes de elevada incerteza técnica – a eficácia preditiva do EVM pode ser significativamente reduzida se não for complementada por mecanismos robustos de controlo de alterações e de revisão da baseline.

5.4 Trabalho Futuro

Com base nas conclusões e limitações identificadas, propõem-se as seguintes linhas de desenvolvimento futuro, ordenadas por prioridade decrescente de impacto prático esperado.

A proposta com maior potencial de impacto imediato é o **desenvolvimento de uma solução de integração automática entre o Microsoft Project e o SAP**, por exemplo através de um *dashboard* em Microsoft Power BI com ligação direta a ambos os sistemas. Esta solução eliminaria o principal obstáculo operacional identificado neste estudo – a reconciliação manual de dados – tornando a aplicação do EVM mais eficiente, menos suscetível a erros e sustentável a longo prazo. A sua implementação constituiria também a condição necessária para aumentar a periodicidade de monitorização de trimestral para mensal, o que aumentaria substancialmente a capacidade de deteção precoce de desvios.

A segunda prioridade consiste na **implementação de critérios formais de medição do progresso físico** para cada tipo de pacote de trabalho. A definição de regras de creditização por marcos fixos (por exemplo, 0/100 para atividades discretas

ou 25/75 para atividades de aquisição de materiais) reduziria a subjetividade inerente à medição baseada em percentagens de conclusão, aumentaria a reprodutibilidade dos resultados e facilitaria a comparação de desempenho entre projetos distintos [12].

A **replicação da metodologia a um conjunto alargado de projetos industriais da mesma organização** permitiria validar os resultados obtidos neste estudo de caso único, identificar padrões de desempenho recorrentes e estabelecer *benchmarks* de CPI e SPI para o portefólio de projetos da unidade industrial. Esta extensão contribuiria também para superar a principal limitação de generalização identificada, ao fornecer uma base empírica mais ampla para as conclusões sobre a aplicabilidade do EVM em contexto industrial.

Em projetos com contratos de pagamento por marcos, recomenda-se a **adoção de AC baseado no valor do trabalho efetivamente executado**, recorrendo a autos de medição ou registos de receção parcial de obra em substituição dos pagamentos realizados. Esta abordagem produziria indicadores EVM mais precisos e menos suscetíveis às distorções identificadas na Secção 5.3, melhorando em particular a fiabilidade do CPI como indicador de eficiência de custos.

Por fim, a crescente adoção de metodologias ágeis em projetos de tecnologia industrial justifica a **exploração de abordagens de Agile EVM**, que adaptem os princípios do modelo a ciclos iterativos e entregas incrementais, mantendo a capacidade de análise integrada de custo e prazo [18]. Embora estas abordagens ainda não se encontrem totalmente normalizadas, o seu desenvolvimento e validação em contextos industriais representa uma linha de investigação relevante para a evolução do EVM enquanto metodologia de controlo de projetos.

A formalização da metodologia desenvolvida neste trabalho num **procedimento interno de gestão de projetos**, com *templates* padronizados e um ciclo de *reporting* estruturado, permitiria institucionalizar o uso do EVM na unidade industrial e estender os seus benefícios à carteira de projetos de investimento da organização, independentemente da escala ou natureza técnica de cada projeto.

Referências

- [1] E. Kim, W. G. Wells, and M. R. Duffey, “A model for effective implementation of earned value management methodology,” *International Journal of Project Management*, vol. 21, no. 5, pp. 375–382, 2003. [Citado na página 2]
- [2] A. De Marco and T. Narbaev, “Earned value-based performance monitoring of facility construction projects,” *Journal of Facilities Management*, vol. 11, no. 1, pp. 69–80, 2013. [Citado na página 2]
- [3] R. K. Yin, *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 6 ed., 2018. [Citado nas páginas 3, 4 e 57]
- [4] K. M. Eisenhardt, “Building theories from case study research,” *Academy of Management Review*, vol. 14, no. 4, pp. 532–550, 1989. [Citado na página 3]
- [5] Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 6 ed., 2017. [Citado nas páginas ix, 5, 6, 9, 29, 35, 55 e 58]
- [6] Project Management Institute, *The Standard for Project Management and A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 8 ed., 2025. [Citado nas páginas 5, 6, 7, 10, 11, 12, 18, 19 e 47]
- [7] Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 5 ed., 2013. [Citado nas páginas ix e 6]
- [8] J. S. Russell, W. P. Pferdehirt, J. S. Nelson, *et al.*, “Project initiation, scope, and structure,” *Technical Project Management in Living and Geometric Order*, 2018. [Citado nas páginas 7, 8, 9, 10 e 11]
- [9] I. Wigmore, “How to write a business case,” 2020. [Citado na página 8]
- [10] ISPE, “Gamp italy packaging line urs template (rev01),” 2022. [Citado na página 9]
- [11] ISPE, “Q&a: User requirements specifications related to commissioning & qualification,” 2020. [Citado na página 9]

- [12] Q. W. Fleming and J. M. Koppelman, *Earned Value Project Management*. Project Management Institute, 4th ed., 2016. [Citado nas páginas ix, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 23, 34, 35, 40, 42, 46, 48, 50, 54, 55, 57, 58 e 59]
- [13] Project Management Institute (PMI), “Creating effective work breakdown structures—or how to recognize a quality work breakdown structure when you see one,” 2005. [Citado na página 11]
- [14] T. S. Consulting, “The history of earned value management,” 2026. Último acesso: 15 Jan 2026. [Citado na página 14]
- [15] Project Management Institute, *The Standard for Earned Value Management*. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2019. [Citado nas páginas 14, 17, 32, 40 e 55]
- [16] W. Lipke, “Schedule is different,” *The Measurable News*, vol. 31, no. 4, pp. 31–34, 2003. [Citado nas páginas 15 e 16]
- [17] M. Vanhoucke and S. Vandevoorde, “A simulation and evaluation of earned value metrics to forecast the project duration,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 58, no. 10, pp. 1361–1374, 2007. [Citado nas páginas 15 e 16]
- [18] T. Sulaiman, B. Barton, and T. Blackburn, “AgileEVM – earned value management in scrum projects,” in *Proceedings of AGILE 2006 Conference (AGILE’06)*, (Minneapolis, MN, USA), pp. 7–16, IEEE Computer Society, 2006. [Citado nas páginas 20 e 59]
- [19] M. Sliger, “Agile project management with scrum,” in *PMI Global Congress 2011—North America*, (Dallas, TX, USA), Project Management Institute, 2011. [Citado na página 20]
- [20] W. Hayes, S. Miller, M. A. Lapham, E. Wrubel, and T. Chick, “Agile metrics: Progress monitoring of agile contractors,” *CrossTalk: The Journal of Defense Software Engineering*, 2014. July/August. [Citado na página 20]
- [21] R. E. Orgut, J. Zhu, M. Batouli, A. Mostafavi, and E. J. Jaselskis, “A review of the current knowledge and practice related to project progress and performance assessment,” in *Proceedings of the 5th International / 11th Construction Specialty Conference*, (Vancouver, British Columbia, Canada), Canadian Society for Civil Engineering, June 2015. [Citado na página 22]
- [22] D. Bryde, C. Unterhitzenberger, and R. Joby, “Conditions of success for earned value analysis in projects,” *International Journal of Project Management*, vol. 36, no. 3, pp. 474–484, 2018. [Citado na página 22]

-
- [23] AACE® International, “Earned value management (evm) overview and recommended practices consistent with eia-748-c,” Recommended Practice 82R-13, AACE International, Morgantown, WV, USA, May 2017. [Citado na página 22]