



NOVA
NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E
INDUSTRIAL**

ANA FILIPA BORGES RIBEIRO

Licenciada em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

PROPOSTA DE UM MODELO HÍBRIDO RISCO-EFICIÊNCIA PARA A GESTÃO DE PROJETOS

CASOS DE ESTUDO NUMA EMPRESA DO SETOR AUTOMÓVEL

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa

Novembro, 2021



PROPOSTA DE UM MODELO HÍBRIDO RISCO-EFICIÊNCIA PARA A GESTÃO DE PROJETOS

CASOS DE ESTUDO NUMA EMPRESA DO SETOR AUTOMÓVEL

ANA FILIPA BORGES RIBEIRO

Licenciada em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Prof. Doutora Alexandra Maria Batista Ramos Tenera, Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutora Ana Paula Ferreira Barroso
Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Vogais: Doutora Cláudia Margarida Ramos de Sousa e Silva
Professora Auxiliar Convidada da Universidade de Aveiro/DEGEIT

Doutora Alexandra Maria Batista Ramos Tenera
Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa
Novembro, 2021

Proposta de um Modelo Híbrido Risco-Eficiência para a Gestão de Projetos

Copyright © Ana Filipa Borges Ribeiro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*Aos meus pais,
Ao Miguel,
Ao João*

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa por cinco anos de formação académica de excelência em Engenharia e Gestão Industrial.

À minha orientadora, Professora Doutora Alexandra Tenera pela motivação, acompanhamento, partilha de conhecimento, apoio e disponibilidade demonstrados ao longo de todo o processo de elaboração desta dissertação. Pelo seu saber e características humanas, foi um gosto aprender e trabalhar com a Professora.

À Hitachi Astemo Abrantes, SA., por me ter acolhido num estágio curricular, crucial para a realização deste estudo, possibilitando o contacto com os processos de planeamento e produtivos em contexto real de trabalho.

Ao meu supervisor, Eng. António Almeida pelo acompanhamento próximo e ensinamentos partilhados ao longo de todo o tempo passado na empresa de acolhimento. Pela sua experiência e aconselhamentos, foi um agrado aprender e trabalhar com o António.

Aos demais colaboradores da empresa pelo apoio disponibilizado na concretização das atividades do estágio e pelo contributo para o meu conhecimento prático. Em particular, à Patrícia, ao Tiago e ao Pedro pela amizade e incentivo.

Aos meus amigos por terem estado presentes e pela partilha em todos os momentos deste percurso académico, principalmente, durante a pandemia e fase final do curso.

Aos meus pais, ao Miguel e ao João que foram e serão o grande suporte. Difícil de descrever por palavras.

*"You may delay, but time will not, and lost time is never found again."
(Benjamin Franklin)*

RESUMO

A derrapagem dos prazos da calendarização e a ultrapassagem do orçamento previstos para os projetos são duas grandes preocupações no âmbito da gestão de projetos. Como tal, é essencial elaborar uma calendarização exequível e implementar metodologias que permitam monitorizar de forma mais eficiente os princípios de tempo e de custo da gestão de projetos. Em adição, no ambiente de negócio altamente competitivo, complexo e volátil da atualidade, é imprescindível considerar e gerir a incerteza inerente aos projetos, minimizando os riscos aos quais estes estão sujeitos para que cumpram com o planeamento.

A Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica (CCPM) e a Gestão do Valor Realizado (EVM) são duas metodologias de suporte à gestão de projetos amplamente validadas pela comunidade científica e adotadas nas mais diversificadas organizações. A CCPM foca-se fundamentalmente na gestão do tempo e dos riscos associados ao desvio dos prazos. A EVM foca-se na gestão dos custos e dos prazos, integrando o desenvolvimento das atividades dos projetos. Ambas as metodologias apresentam vantagens e limitações, identificando-se a oportunidade de se complementarem num modelo integrado que maximiza as primeiras e resolve as segundas, através da gestão simultânea dos custos e dos prazos, considerando os riscos associados e disponibilizando indicadores de projeção de estados futuros do projeto.

Na presente dissertação foi elaborada a revisão bibliográfica da CCPM, da EVM e da sua integração por forma a propor-se um modelo com vista à otimização das forças associadas a cada uma das metodologias, acrescentando valor ao processo de monitorização de projetos. Assim, deu-se o desenvolvimento do Modelo Híbrido Risco-Eficiência (MHRE) e posterior implementação em dois casos de estudo numa empresa do setor automóvel.

Os resultados do estudo demonstram que o MHRE permitiu aumentar a robustez do processo de monitorização de projetos, através de um controlo integrado dos custos e prazos que considera, simultaneamente, o desempenho e o risco do projeto, possibilitando uma previsão mais eficiente do estado futuro do mesmo.

Palavras-Chave: Cadeia Crítica para a Gestão de Projetos (CCPM); Gestão do Valor Realizado (EVM); Calendarização; Monitorização; Indústria Automóvel

ABSTRACT

Project schedule slippage and budget overruns are two major concerns in project management. Therefore, it is essential to develop a feasible time schedule and implement methods to monitor more efficiently the time and cost principles of project management. In addition, in today's highly competitive, complex and volatile business environment, it is essential to consider and manage the uncertainty inherent to projects, minimising the risks to which they are exposed to in order to comply with planning.

Critical Chain Project Management (CCPM) and Earned Value Management (EVM) are two project management support methodologies widely validated by the scientific community and adopted in a wide range of organisations. CCPM focuses primarily on time management and the risks associated with deadlines' deviations. EVM focuses on cost and time management, integrating the development of project activities. Both methodologies have advantages and limitations, which makes the case for identifying the opportunity to complement each other in an integrated model that maximises their strengths, through the simultaneous management of costs and deadlines, considering the associated risks and providing projection indicators of future project status.

In this dissertation, a bibliographic review of CCPM, EVM and their integration was carried out in order to propose a model to optimise the strengths associated with each of the methodologies, adding value to the process of project monitoring phase. Thus, the Hybrid Risk-Efficiency Model (HREM) was developed and then implemented in two case studies in a company of the automotive sector.

The results of the study show that the MHRE allowed increasing the robustness of the project monitoring process, through an integrated control of costs and deadlines that simultaneously considers project's performance and risk, enabling a more efficient prediction of project's future state.

Keywords: Critical Chain Project Management (CCPM); Earned Value Management (EVM); Scheduling; Monitoring; Automotive Industry

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento do Estudo	1
1.2. Questão de Investigação e Objetivos	2
1.3. Metodologia de Investigação	3
1.4. Estrutura e Organização da Dissertação.....	5
2. ABORDAGEM INTEGRADA CCPM-EVM PARA A GESTÃO DE PROJETOS.....	6
2.1. Noções de Projeto, Incerteza, Risco e Eficiência	6
2.2. Gestão de Projetos e de Portfólios pela Cadeia Crítica.....	7
2.3. Gestão do Valor Realizado	24
2.4. Gestão de Projetos pela Integração CCPM-EVM	31
3. PROPOSTA METODOLÓGICA DO ESTUDO.....	37
3.1. Fase 1: Calendarização CCPM-SMC do Projeto e definição da <i>Baseline</i> EVM do Projeto.....	39
3.2. Fase 2: Monitorização do Projeto com Recurso ao MHRE.....	43
4. APLICAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA: CASOS DE ESTUDO	47
4.1. Projetos na Indústria Automóvel	47
4.2. Projetos de Inovação.....	47
4.3. Projetos de Alteração de Engenharia	49
4.4. Sistema <i>Quality-Gates</i>	49
4.5. Empresa de Acolhimento	50
4.6. Aplicação da Proposta Metodológica	52
4.7. Discussão dos Resultados Globais Obtidos	64
5. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	66
5.1. Principais Conclusões e Contribuições do Estudo	66
5.2. Limitações do Estudo	69
5.3. Desenvolvimentos Futuros.....	70
REFERÊNCIAS.....	71
ANEXOS	
A. Mapeamento do Processo Produtivo do Travão Tambor na AbrP	80
B. Planeamento Inicial do Projeto C - <i>Microsoft Project</i>	85

C. <i>Layout da Folha de Cálculo de Excel para o Dimensionamento das Reservas de Tempo do Projeto C - @Risk 7.6</i>	86
D. <i>Layout da Folha de Cálculo de Excel para o Dimensionamento da Reserva de Custo do Projeto C - @Risk 8</i>	87
E. <i>Calendarização CCPM do Projeto C - Prochain</i>	88
F. <i>Tabela EV no Início do Projeto C - Microsoft Project</i>	89
G. <i>Calendarização do Projeto C - Prochain</i>	90
H. <i>Tabela EV do Projeto C - Microsoft Project</i>	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Etapas Fundamentais para o Desenvolvimento da Dissertação.....	4
Figura 2.1 - Processo TOC para a Melhoria Contínua do Sistema.	8
Figura 2.2 - Gráfico do Desempenho do Síndrome de Estudante.	10
Figura 2.3 - Fenómenos Aprendizagem-Esquecimento-Aprendizagem.	11
Figura 2.4 - Gráfico de Distribuição de Probabilidade e Estimativas de Duração das Atividades.	12
Figura 2.5 - Agregação das Margens de Segurança Individuais numa Reserva Temporal.	14
Figura 2.6 - Inserção das Reservas de Alimentação (FB) e da Reserva de Projeto (PB) na Rede de Projeto.....	15
Figura 2.7 - Comunicação entre a Cadeia Crítica e a Gestão de Reservas.	17
Figura 2.8 - Layout do Fever Chart e Significado das Zonas.	18
Figura 2.9 - Funcionamento da RB.	21
Figura 2.10 - Representação Gráfica dos Parâmetros, Indicadores e Índices da EVM.	29
Figura 2.11 - Curva PV do Projeto incluindo CB e PB.	32
Figura 2.12 - Fever Chart incluindo o estado da calendarização e o estado dos custos do projeto.	32
Figura 3.1 - Atualização 0 para Obtenção da Cadeia Crítica e das PB dos Projetos.	41
Figura 3.2 - Barra de Ferramentas da Aplicação ProChain no Microsoft Project.....	41
Figura 3.3 - Project Options para a Introdução de FB.....	41
Figura 3.4 - Barra de Ferramentas do Add-In @Risk 7.6 no Excel.....	42
Figura 3.5 - Barra de Ferramentas do Add-In @Risk 8 no Excel.....	42
Figura 3.6 - Exemplo de Output da Simulação Monte Carlo através do @Risk.....	43
Figura 3.7 - Time Chart Disponibilizado pelo ProChain.....	44
Figura 4.1 - Fases do Projeto segundo APQP.....	48
Figura 4.2 - Processo Genérico ECR.....	49
Figura 4.3 - Layout da Fábrica de Abrantes.....	51
Figura 4.4 - Componentes do Travão Tambor.....	51
Figura 4.5 - Calendarização no Início do Subprojecto A - QGC0.....	56
Figura 4.6 - Tabela EV no Início do Subprojecto A - QGC0.....	57
Figura 4.7 - Fever Chart Traditional (à esquerda) e Time Chart (à direita) no Início do Subprojecto A - QGC0.....	57
Figura 4.8 - Calendarização do Subprojecto A - QGC0 após a 1ª Atualização.....	57
Figura 4.9 - Calendarização do Subprojecto A - QGC0 após a 1ª Atualização.....	58
Figura 4.10 - Calendarização do Subprojecto A - QGC0 após a 3ª Atualização.....	58
Figura 4.11 - Determinação do ES com Recurso às Curvas EV e PV para o Subprojecto A - QGC0.....	59

Figura 4.12 - Fever Chart Traditional (à esquerda) e Time Chart (à direita) no Final do Subprojecto A - QGC0 considerando PB e CB.	60
Figura 4.13 - Determinação do ES em cada Atualização com Recurso às Curvas EV e PV do Projeto C.	62
Figura 4.14 - Fever Chart Traditional (à esquerda) e Time & Cost Chart (à direita) do Projeto C em Execução.....	63

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Vantagens Associadas à Adoção de CCPM.	22
Tabela 2.2 - Desafios e Limitações Associados à Adoção de CCPM.	23
Tabela 2.3 - Vantagens Associadas à Adoção da EVM.	29
Tabela 2.4 - Desafios e Limitações Associados à Adoção da EVM.	30
Tabela 2.5 - Equações para o cálculo da percentagem consumida das reservas e do trabalho concretizado.	33
Tabela 2.6 - Gestão do Projeto através de Reserva de Tempo e de Custo.	33
Tabela 2.7 - Equações para a determinação do custo do projeto no momento da concretização.	34
Tabela 2.8- Equações para a Determinação da Duração do Projeto na Concretização.	35
Tabela 2.9 - Matriz de Confrontação entre os Resultados Exibidos pelo Fever Chart, CPI e SPI.	36
Tabela 3.1 - Fases, Etapas e Softwares da Proposta Metodológica do Estudo.	38
Tabela 4.1 - Dimensão Simulada das Reservas de Tempo, em dias, para os Projetos A-D.	55
Tabela 4.2 - Dimensão Simulada das Reservas de Custo, em euros, para os Projetos A-D.	55
Tabela 4.3 - Dimensão e Percentagem das Reservas de Tempo e de Custo, Custo Orçamentado na Concretização e Duração Total Planeada para o Subprojecto A - QGC0.	59
Tabela 4.4 - Valores de C, PV e EV para cada Atualização.	59
Tabela 4.5 - Obtenção dos Valores de SVT para cada Atualização.	59
Tabela 4.6 - Parâmetros de Custo e de Duração e Percentagens de Consumo das Reservas e de Trabalho Realizado para o Subprojecto A - QGC0 de acordo com o Modelo Híbrido Risco-Eficiência.	60
Tabela 4.7 - Dimensão e Percentagem das Reservas de Tempo e de Custo, Custo Orçamentado na Concretização e Duração Total Planeada para o Projeto C.	62
Tabela 4.8 - Valores de C, PV e EV para cada Atualização do Projeto C.	62
Tabela 4.9 - Parâmetros de Custo e de Duração e Percentagens de Consumo das Reservas e de Trabalho Realizado para o Projeto C de acordo com o Modelo Híbrido Risco-Eficiência.	63

NOMENCLATURA

AbrP	<i>Abrantes Plant</i> Fábrica de Abrantes
AC	<i>Actual Cost</i> Custo Real
ALAP	<i>As Late As Possible</i> Tão Tarde Quanto Possível
APQP	<i>Advanced Product Quality Planning</i> Planeamento Avançado da Qualidade do Produto
AT	<i>At the Moment</i> Momento Atual
BAC	<i>Budget At Completion</i> Orçamento na Concretização
BCWS	<i>Budgeted Cost of Work Scheduled</i> Custo Orçamentado do Trabalho Calendarizado
BPD	<i>Baseline Planned Duration</i> Duração de Base Planeada
CB	<i>Cost Buffer</i> Reserva de Custo
CC	<i>Critical Chain</i> Cadeia Crítica
CCB	<i>Capacity Constrained Buffer</i> Reserva de Capacidade da Restrição
CPI	<i>Cost Performance Index</i> Índice de Desempenho do Custo
CCPM	<i>Critical Chain Project Management</i> Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica

CPM	<i>Critical Path Method</i> Método do Caminho Crítico
C&PM	<i>Cut & Paste Method</i> Método Cortar Colar
D_{95%}	Duração Percentil 95%
D'	Estimativa de Duração Determinística
ECR	<i>Engeneering Change Request</i> Pedido de Alteração de Engenharia
EAC	<i>Estimate At Completion</i> Custo Estimado na Concretização
EDAC	<i>Estimate Duration At Completion</i> Duração Estimada na Concretização
ES	<i>Earned Schedule</i> Calendarização Realizada
EV	<i>Earned Value</i> Valor Realizado
EVM	<i>Earned Value Management</i> Gestão do Valor Realizado
FB	<i>Feeding Buffer</i> Reserva de Alimentação
MHRE	Modelo Híbrido Risco-Eficiência
NPD	<i>New Product Development</i> Desenvolvimento de Novos Produtos
PC	<i>Percent Complete</i> Porcentagem de Concretização
PB	<i>Project Buffer</i> Reserva de Projeto
PERT	<i>Program Evaluation and Review Technique</i> Técnica de Avaliação e Revisão de Programas
PV	<i>Planned Value</i> Valor Planeado

QG	<i>Quality Gate</i> Portão da Qualidade
QGC	<i>Quality Gate Customer</i> Portão Qualidade Cliente
RB	<i>Resource Buffer</i> Reserva de Recurso
RCPSP	<i>Resource-Constrained Project Scheduling Problem</i> Problema de Programação de Projetos com Recursos Limitados
RSEM	<i>Root Square Error Method</i> Método do Erro da Raíz Quadrada
PB	<i>Schedule Buffer</i> Reserva da Calendarização
SMC	Simulação para a Melhoria da Calendarização
SQ	<i>Stage Gate</i> Portão da Fase
SOP	<i>Start Of Production</i> Início da Produção
SPI	<i>Schedule Performance Index</i> Índice de Desempenho da Calendarização
SV	<i>Schedule Variance</i> Variação da Calendarização
TEF	<i>Technical Engineering Function</i> Departamento de Engenharia
WIP	<i>Work In Progress</i> Trabalho em Execução

INTRODUÇÃO

Para a concretização da presente dissertação, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, a investigadora ingressou num estágio curricular, com a duração de seis meses, entre fevereiro e julho de 2021, na área de projeto do Departamento de Engenharia (TEF - *Technical Engineering Function*) da empresa Hitachi Astemo Abrantes, SA.

Este primeiro capítulo tem como finalidade introduzir a dissertação. Para o efeito, realiza o enquadramento do estudo desenvolvido, justificando a sua relevância e contextualizando o tema, descrevendo a motivação que originou o estudo, a questão de investigação à qual se pretende dar resposta e os objetivos a cumprir com este propósito. Descreve, ainda, a metodologia de investigação adotada e a estrutura e organização da dissertação.

1.1. Enquadramento do Estudo

Apesar das diversas metodologias de gestão de projetos adotadas pelas organizações, a obtenção de uma calendarização exequível e a monitorização viável do progresso do projeto continuam a ser grandes desafios da gestão na medida de cumprir com o prazo de entrega e orçamento definidos na fase de planeamento do projeto. Na Europa, no ano de 2020, apenas 48% dos projetos desenvolvidos foram concretizados dentro do prazo esperado e apenas 55% dos projetos desenvolvidos cumpriram com o orçamento previsto [1].

Na indústria automóvel, onde os projetos estão sujeitos a elevados níveis de incerteza por se tratarem, frequentemente, de inovações, torna-se necessário implementar processos robustos de controlo do desempenho dos projetos que possibilitem monitorizar prazos e custos e mitigar o risco de incumprimento destas medidas de eficiência do projeto, por forma a cumprir com o planeamento [2]. Assim, a gestão de projetos assume um papel fundamental neste setor, tal como acontece na Hitachi Astemo Abrantes, SA.

A Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica (CCPM) resulta da aplicação da Teoria das Restrições (TOC) à gestão de projetos e foca-se na gestão do tempo com o objetivo de concretização dos projetos de acordo com o prazo de entrega estabelecido na fase de planeamento. Para isso, calendariza e monitoriza o projeto de forma a minimizar os comportamentos humanos indesejados na execução, considera as limitações associadas aos recursos que

executam as atividades e avalia o risco de derrapagem dos prazos recorrendo à gestão de reservas de tempo, estrategicamente dimensionadas e inseridas na rede de projeto [3].

A Gestão do Valor Realizado (EVM) é uma metodologia de suporte à gestão de projetos que permite gerir o custo e o tempo, efetuando a comparação entre o planeado e o ocorrido e a previsão do estado futuro do projeto com base no desempenho atual, disponibilizando parâmetros base, índices de variação e indicadores de desempenho e de previsão [4].

Ambas as metodologias apresentam vantagens e limitações. Assim, pretende-se desenvolver e aplicar um modelo de integração CCPM-EVM, o Modelo Híbrido Risco-Eficiência, que optimize os pontos fortes da CCPM e da EVM, diferenciado das restantes metodologias de gestão de projetos pelo controlo integrada do risco, dos custos e dos prazos do projeto, possibilitando a projeção do estado do mesmo no momento da concretização.

1.2. Questão de Investigação e Objetivos

Perante a relevância do tema, a motivação para a presente investigação é a procura pela melhoria do processo de gestão de projetos através da otimização das etapas de calendarização e monitorização do projeto, tornando possível o controlo integrado dos custos e prazos, considerando o risco de ultrapassagem do orçamento e o risco de derrapagem da calendarização, aumentando a viabilidade dos resultados dos momentos de reporte e as previsões do estado do projeto no momento da concretização, oferecendo maior suporte no processo de tomada de decisão relativamente às medidas de atuação sobre o projeto. Assim, o foco do estudo é o desenvolvimento e a aplicação do Modelo Híbrido Risco-Eficiência (MHRE) para a gestão de projetos.

Desta forma, a questão de investigação à qual se pretende dar resposta com o desenvolvimento da presente dissertação pode ser definida como:

- Existe valor acrescentado ao processo de gestão de projetos pela adoção do MHRE comparativamente à aplicação individual das metodologias CCPM e EVM?

Face à questão de investigação, foram estipulados os seguintes objetivos:

- Averiguar as vantagens e as limitações associadas à adoção de CCPM e EVM, identificando eventuais incompatibilidades para a integração das metodologias.
- Acrescentar contribuições teóricas aos estudos da integração das metodologias CCPM e EVM para a gestão de projetos.
- Ensaaiar o MHRE, aplicando-o a projetos reais da indústria automóvel, identificando os benefícios e as limitações resultantes e aumentando as contribuições existentes na vertente prática.

Esta investigação pretende contribuir para o conhecimento no âmbito da gestão de projetos, mais especificamente, no que toca à gestão integrada do custo, tempo e risco de um projeto, tanto a nível académico como organizacional, através da disponibilização de dois

Casos de Estudo de aplicação do MHRE. Deste modo, espera-se contribuir com uma análise reflexiva sobre as metodologias CCPM e EVM e, particularmente, sobre as potencialidades da sua integração. Adicionalmente, deseja-se disponibilizar à empresa de acolhimento uma sugestão de melhoria das práticas de gestão de projetos atualmente adotadas.

1.3. Metodologia de Investigação

O processo de investigação iniciou-se com uma revisão de literatura extensiva com base em livros e artigos científicos, procurando incluir-se, maioritariamente, publicações dos últimos cinco anos, por forma a abordar os desenvolvimentos mais recentes das temáticas analisadas. Adicionalmente, foram consideradas publicações de anos precedentes quando justificado quer pela quantidade e qualidade da informação disponível nos últimos anos, quer pelo reconhecimento dos autores na comunidade científica ou o número de citações em publicações recentes. Estes critérios de filtragem pretendem garantir valor acrescentado na informação compilada e sistematizada no âmbito das noções de Projeto, Incerteza, Risco e Eficiência na gestão de projetos, dos metodologias de gestão de projetos CCPM e EVM e da sua Integração e, finalmente, dos Projetos na Indústria Automóvel, por forma a enriquecer o estudo bibliográfico, possibilitando a elaboração de contribuições na vertente teórica da presente dissertação e garantindo suporte aos Casos de Estudo a desenvolver em seguida.

A elaboração do estado da arte das metodologias CCPM e EVM teve o propósito de sistematizar as características, o modo de aplicação e a utilidade respetiva das metodologias, tornando, então, possível a concretização do primeiro objetivo proposto. Esta reflexão serviu de ponto de partida para a revisão de literatura, atualmente limitada, no âmbito da integração das duas metodologias na gestão de projetos, concretizando-se, como tal, o segundo objetivo.

Após a apresentação do estado da arte, procedeu-se à elaboração da proposta metodológica com base na reflexão sobre os conteúdos aí explanados. A estratégia de investigação adotada foi, então, o Caso de Estudo visto que a investigação foi efetuada em contexto organizacional, para o entendimento da dinâmica do modelo na envolvente em questão, com a incorporação de dois casos. Nesta etapa, através do ensaio e aplicação do MHRE nos Casos de Estudo e revelação das descobertas, deu-se como concretizado o terceiro objetivo estipulado para a investigação. Esta abordagem foi dedutiva na medida em que se pretendeu verificar a validade do modelo proposto aplicando os fundamentos teóricos a casos práticos para testar a veracidade desses mesmos fundamentos.

O processo de recolha dos dados deu-se com recurso ao estudo do histórico dos projetos concretizados pela empresa de acolhimento, através da análise dos planeamentos, das ocorrências e das *lessons learned*, do acompanhamento de projetos em desenvolvimento em tempo real e da observação participante do ambiente de projeto. Assim, a técnica de recolha de dados foi simultaneamente quantitativa, no caso da agregação e tratamento de informação numérica e gráfica, e qualitativa, nomeadamente, através da realização de reuniões. Em termos de horizonte temporal, o estudo é *cross-sectional* devido à restrição de tempo associada à investigação, que resultou no estudo de um fenómeno, neste caso, a aplicação, e respetivos efeitos, do MHRE a projetos reais, num período de tempo específico.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A discussão dos resultados globais obtidos foi relacionada com a questão de investigação, para a qual foi obtida resposta, referenciando os fundamentos teóricos e implicações da presente investigação. Por fim, foram elaboradas as conclusões e contribuições da dissertação, identificadas as limitações e efetuadas as propostas de desenvolvimentos futuros.

Na Figura 1.1. estão retratadas as etapas fundamentais para a elaboração da dissertação, a sua localização por capítulos e os *softwares* utilizados.

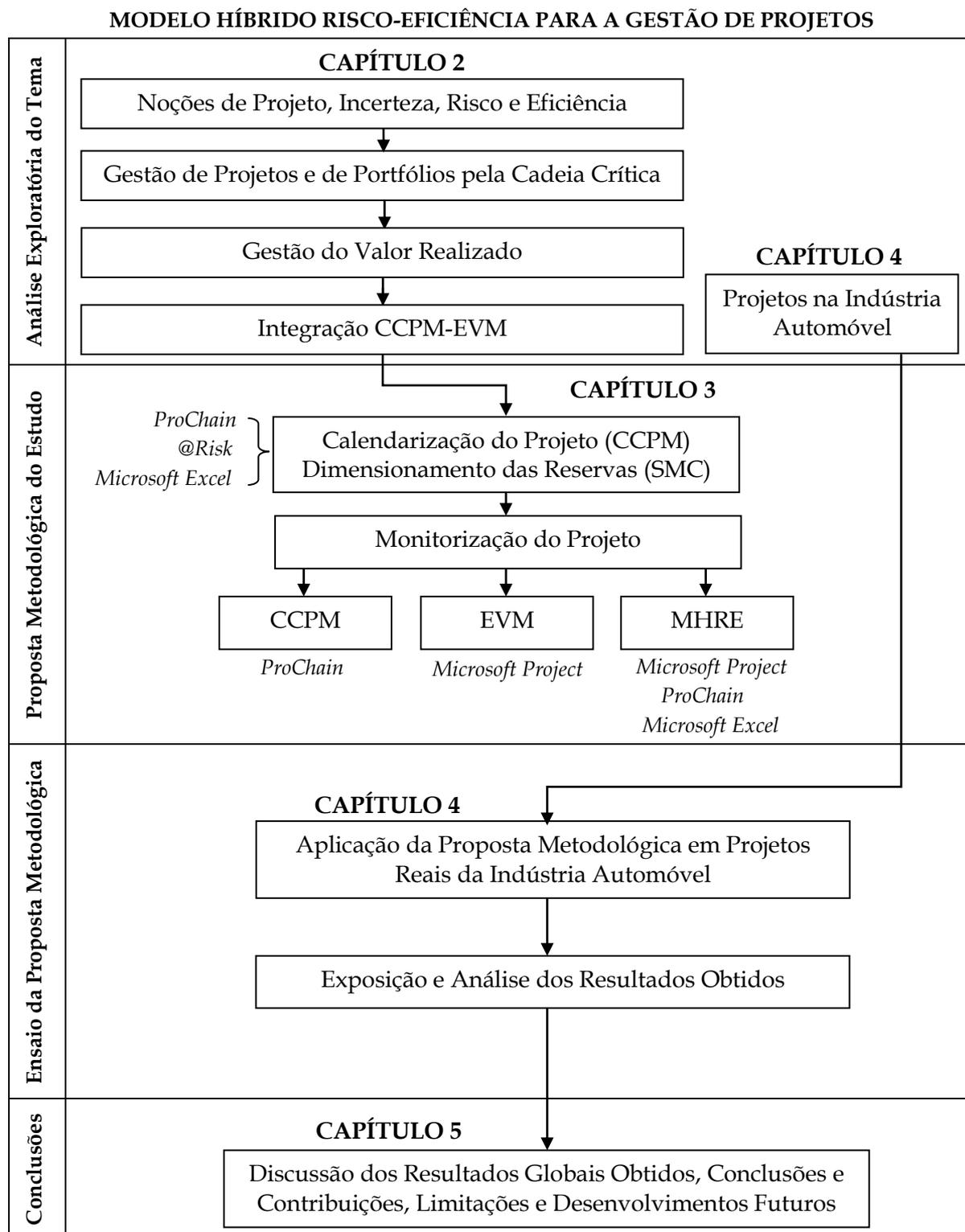


Figura 1.1 - Etapas Fundamentais para o Desenvolvimento da Dissertação.

1.4. Estrutura e Organização da Dissertação

Apresentar-se-á, em seguida, a estrutura e organização do presente documento, com o objetivo de conduzir e orientar a leitura da dissertação, através do esclarecimento do conteúdo dos capítulos e das interligações entre os mesmos.

A presente dissertação é constituída por cinco capítulos e está acompanhada por oito anexos (A-H) que dão suporte ao texto principal.

- **CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO**

Presente capítulo. Compreende o Enquadramento, a Motivação, os Objetivos, a Metodologia de Investigação e a Estrutura e Organização da Dissertação.

- **CAPÍTULO 2: ABORDAGEM INTEGRADA CCPM-EVM PARA A GESTÃO DE PROJETOS**

Este capítulo inicia-se com uma breve introdução às noções de Projeto, Incerteza, Risco e Eficiência na gestão de projetos. Segue-se o levantamento e síntese do estado da arte das metodologias Gestão de Projetos e de Portfólios pela Cadeia Crítica (CCPM) e Gestão do Valor Realizado (EVM), culminando na sistematização das referências relativas à Gestão de Projetos pela Integração CCPM-EVM.

- **CAPÍTULO 3: PROPOSTA METODOLÓGICA DO ESTUDO**

Com base na reflexão produzida no Capítulo 2, é efetuada a elaboração e descrição detalhadas da Proposta Metodológica a aplicar nos Casos de Estudo, incluindo pressupostos, *softwares* a utilizar e características específicas do modelo.

- **CAPÍTULO 4: APLICAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA: CASOS DE ESTUDO**

Este capítulo inicia-se com o estado da arte do ambiente de projeto na indústria automóvel, expondo os tipos de projeto (Inovação e Alterações de Engenharia) mais pertinentes no âmbito da investigação e o Sistema *Quality-Gates*. Seguidamente, é apresentada e caracterizada a Empresa de Acolhimento e, por fim, dá-se a aplicação da Proposta Metodológica, desenvolvida no Capítulo 3, a dois Casos de Estudo de projetos reais da empresa de acolhimento, no ambiente descrito no início do presente capítulo. Ao longo do desenvolvimento dos Casos de Estudo vão sendo apresentadas as descobertas adquiridas.

- **CAPÍTULO 5: DISCUSSÃO DE RESULTADOS, CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES, LIMITAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.**

Na Discussão de Resultados é efetuada a análise crítica dos resultados obtidos no Capítulo 4, que é confrontada com a informação explanada no Capítulo 2, por forma a dar resposta à questão de investigação. Com base nos capítulos anteriores, são evidenciadas as principais Conclusões e Contribuições do estudo desenvolvido bem como as suas Limitações, que culminarão em propostas de Desenvolvimentos Futuros.

ABORDAGEM INTEGRADA CCPM-EVM PARA A GESTÃO DE PROJETOS

O Capítulo 2, seguidamente apresentado, inicia-se com uma breve introdução às Noções de Projeto, Incerteza, Risco e Eficiência em gestão de projetos. Sucede-se a exposição da revisão de literatura sistematizada no âmbito da Gestão de Projetos e de Portfólios pela Cadeia Crítica (CCPM), da Gestão do Valor Realizado (EVM) e, finalmente da Gestão de Projetos pela Integração CCPM-EVM.

2.1. Noções de Projeto, Incerteza, Risco e Eficiência

Este subcapítulo tem como objetivo definir as noções de Projeto, Incerteza, Risco e Eficiência na gestão de projetos.

2.1.1. Projeto

Um projeto é um esforço temporário, o que implica uma iniciação e finalização associadas ao trabalho envolvido no mesmo para a criação de um produto, serviço ou resultado único [5]. Do ponto de vista técnico, o principal foco reside na execução das atividades inter-relacionadas que constituem o projeto e que são necessárias à sua concretização [6]. Da perspetiva organizacional os projetos constituem uma fonte de geração de valor [7]. No entanto, os projetos são dirigidos pelas restrições que lhes estão associadas ao nível do âmbito, qualidade, calendarização, orçamento, recursos e risco, que influenciam e orientam a gestão de projetos ao longo do seu ciclo de vida, isto é, desde a fase de iniciação à fase de encerramento [6].

2.1.2. Incerteza

Os elevados níveis de competitividade e de imprevisibilidade da envolvente em que decorrem os projetos tornam a incerteza uma característica intrínseca à gestão de projetos, que pode resultar, entre outros fatores, da ambiguidade e volatilidade associadas ao nível de complexidade do projeto, da experiência e capacidade de resolução de problemas da organização e da falta de informação [8]. Surge de eventos estocásticos cuja ocorrência perturba o desempenho do projeto na medida de obtenção dos resultados esperados [10], [11][10].

O dimensionamento dos parâmetros de tempo e de custo na elaboração das estimativas de base dos projetos consiste numa fonte de elevada incerteza, já que poderá não existir uma noção precisa do nível de esforço necessário para a concretização das atividades de um projeto [10].

2.1.3. Risco

A noção de incerteza acarta um fator crítico tanto na gestão de um único projeto como na de múltiplos projetos: o risco [11]. A ocorrência do risco (ou o efeito da incerteza) impacta um ou mais objetivos do projeto, traduzindo-se em desvios relativamente ao planeamento inicial, podendo estes desvios ser positivos ou negativos [10], [12], [13]. Visto que a incerteza é um fenómeno no futuro, enquanto que um projeto em execução apresenta um determinado nível de risco, para um projeto concretizado o risco é nulo [9].

Por forma a minimizar a quantidade de desvios face ao previsto, o trabalho envolvido num projeto deve ser regularmente monitorizado e controlado ao longo de todo o seu ciclo de vida, possibilitando a intervenção, quer preventiva ou corretiva, sempre que necessário [14]. Assim, considerar o risco na gestão de projetos permite abordar desafios e oportunidades e melhorar o desempenho geral dos projetos, cumprindo com os objetivos pré-definidos e diminuindo a probabilidade de falha dos projetos [15]–[17].

2.1.4. Eficiência

A eficiência num projeto reside no cumprimento do orçamento, calendarização e âmbito pré-estabelecidos na fase de planeamento, o que implica a conversão do trabalho dos recursos na concretização dos objetivos definidos e na satisfação das partes interessadas [18], [19]. Como tal, a eficiência de um projeto impacta o sucesso geral do mesmo [20].

2.2. Gestão de Projetos e de Portfólios pela Cadeia Crítica

A competitividade e imprevisibilidade que caracterizam o ambiente de projeto atual têm vindo a desafiar as práticas tradicionais de gestão de projetos, como o Método do Caminho Crítico (CPM) e a Técnica de Avaliação e Revisão de Programas (PERT) [5], [21]. Face à envolvente volátil, os projetos estão sujeitos a uma grande variedade de restrições, como a escassez de recursos, a complexidade da rede de projeto e a incerteza, o que exige técnicas mais eficazes para monitorizar a sua execução [22], [23].

A Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica (CCPM) oferece uma abordagem eficaz no que toca à calendarização e controlo de um projeto sob condições de enorme complexidade e incerteza, tanto em ambientes de um único projeto como de múltiplos projetos [8], [24]. Resulta da aplicação da Teoria das Restrições (TOC) à gestão de projetos, distinguindo-se das técnicas tradicionais em três aspetos principais [8], [25], [26]:

- Elimina os tempos de segurança (excessivos), tradicionalmente atribuídos a cada atividade no momento de estimação da duração, para não serem usados de forma incorreta, minimizando a influência do comportamento humano sobre o projeto.

- Atenta na disponibilidade dos recursos e mobiliza-os em caso de ocorrência de conflito entre atividades, isto é, competição pelos mesmos recursos em simultâneo.
- Reduz o risco de ultrapassagem da data estimada para a concretização do projeto através da inserção e gestão estratégica de reservas de contingência que permitem a agregação e gestão do risco inerente ao projeto.

2.2.1. Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições (TOC) surgiu na área da gestão de operações como um método de planeamento e controlo da produção [27]. Sugere que qualquer sistema tem restrições (*bottlenecks*) que limitam o seu *output*, representando obstáculos à eficiência do processo [28]. Assim, a restrição corresponde ao elemento do sistema que limita o seu desempenho e que, no caso de ser maximizado (isto é, explorado ou subordinado de forma mais eficaz), irá contribuir para uma melhor concretização do objetivo [29]. Assim, TOC identifica, explora e resolve as restrições, com o propósito de aumentar a produtividade do sistema [28]. O processo da aplicação de TOC decorre em cinco etapas. A primeira etapa é a identificação do componente que impede a melhoria do desempenho geral do sistema (restrição), uma vez que, a introdução de mudanças, deve partir da indicação do elo mais fraco, pois o aumento da eficiência local nos outros elementos não afeta o desempenho do sistema como um todo. Cada sistema tem, no mínimo, uma restrição e a sua identificação é essencial para a correta gestão do mesmo. A segunda etapa é a exploração da restrição, devendo atuar-se de forma a garantir o seu trabalho contínuo com o objetivo de alcançar a capacidade máxima do sistema. A terceira etapa envolve a subordinação dos restantes elementos à decisão anterior, ou seja, o ajuste do ritmo de trabalho dos elementos do sistema ao ritmo de trabalho da restrição, caso contrário, quando estes elementos produzirem em maior quantidade e com velocidade superior, o custo da produção irá aumentar, por razões como o aumento do stock intermédio. Em TOC, a segunda e a terceira etapa são essenciais porque contribuem para a estruturação do sistema. Na quarta etapa (aumento da produtividade da restrição), poderão ser realizados investimentos (como a adição de recursos) que contribuam para o aumento da eficiência de todo o sistema, através do incremento da capacidade da restrição. Caso a restrição seja ultrapassada nesta etapa, na etapa seguinte deve procurar-se pelo novo componente a restringir a capacidade do sistema, com o objetivo de o melhorar continuamente [30], [31]. Estas etapas devem, então, ser repetidas sem deixar a inércia (aversão à mudança) tornar-se na restrição do sistema [32]. O processo TOC descrito está representado na Figura 2.1.



Figura 2.1 - Processo TOC para a Melhoria Contínua do Sistema.
Adaptado de [34].

Os ideais definidos por TOC para a produção estenderam-se, posteriormente, a soluções noutras áreas [27]. O foco inicial nas restrições dos sistemas produtivos e no planeamento e controlo da produção tornou-se numa filosofia global de gestão [29]. Desta forma, as soluções de TOC são desenvolvidas para concentrar a atenção na principal restrição do sistema, explorando-a como um ponto de alavancagem, ou seja, abordando a restrição como uma oportunidade de melhoria do sistema [33], [34]. A atuação das organizações, na medida de maximizar, explorar ou subordinar de forma mais eficiente a restrição, resultará na melhor concretização do objetivo do sistema, oferecendo oportunidades de crescimento e melhoria dos negócios [31].

A Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica (CCPM) é definida como a solução de TOC para o planeamento, calendarização e gestão do desempenho em ambiente de projeto [28]. Dado que para realizar uma atividade de um projeto é necessário *input* para essa atividade (disponibilizado pela atividade precedente) e recursos para a sua execução, CCPM considera as restrições ao nível da lógica da realização das atividades (precedências) e dos recursos necessários, tendo em vista a conclusão do projeto no prazo previsto [21]. Assim, considerando um único projeto, a restrição é a cadeia crítica da rede de projeto. Em ambiente de múltiplos projetos a restrição é o recurso que, por ser limitado, impede a concretização dos projetos o mais cedo possível [35].

2.2.2. Influência do Fator Humano na Gestão de Projetos

Uma vez que, no futuro, os seres humanos continuarão a ser os principais intervenientes na área de projeto (o que já se verifica não ser válido para muitos sistemas de produção totalmente automatizados), independentemente da capacidade e habilidade do sistema de projeto, considera-se que continuará a ser necessária a sua integração com o sistema humano [28]. Por este motivo, CCPM reconhece a influência dos fatores psicológicos na gestão de projetos, sendo que, de acordo com este método, um dos principais motivos pelo qual os projetos falham é o comportamento dos intervenientes. Este comportamento reflete-se em três situações: Síndrome de Estudante, Lei de *Parkinson* e *Multitasking* [27], [36]–[38].

2.2.2.1. Síndrome de Estudante

O Síndrome de Estudante ou procrastinação consiste no adiamento da realização das tarefas até que o nível de urgência seja suficientemente elevado para justificar e acelerar a sua concretização. Desta forma, o trabalhador só se envolve na execução da atividade pouco tempo antes do prazo de entrega, o que ocorre quando este sente que tem tempo suficiente para realizar o trabalho e, como tal, não o inicia assim que é possível, podendo resultar em atrasos no projeto no caso de o tempo inicialmente consumido vir a ser necessário para lidar com o aparecimento inesperado de obstáculos à concretização [27], [36]–[38]. Esta situação está retratada no gráfico da Figura 2.2.

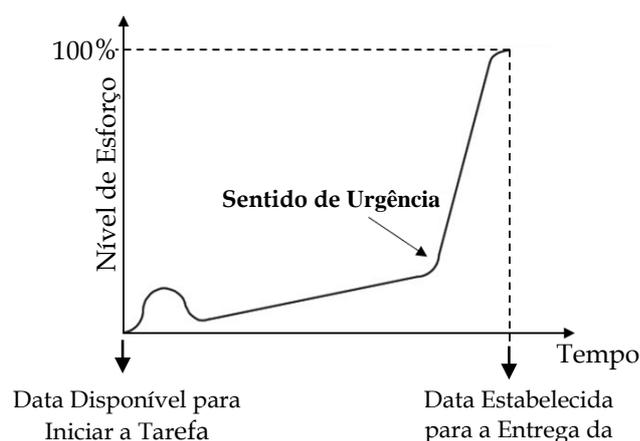


Figura 2.2 - Gráfico do Desempenho do Síndrome de Estudante.
Adaptado de [39].

2.2.2.2. Lei de Parkinson

A Lei de *Parkinson* declara que as atividades tendem a ocupar todo o tempo e orçamento que lhes são atribuídos, independentemente da dimensão destas variáveis e da ocorrência ou não de situações inesperadas. Isto deve-se ao facto de o término do trabalho antes do tempo esperado ser um desincentivo para o trabalhador, visto que a antecipação da concretização do trabalho ao qual foi alocado poderá indicar que a estimativa de duração da atividade foi excessiva e que esta pode ser executada em menos tempo, significando isto que o tempo estimado para efetuar o mesmo trabalho seria reduzido no futuro. Adicionalmente, pode resultar da procura pelo aperfeiçoamento do trabalho efetuado no tempo excedente após a concretização ou, ainda, da desvalorização da exigência do trabalho, resultando na sua execução de forma lenta pela sensação de se ter tempo disponível suficiente. Estas situações motivam o prolongamento do trabalho ao longo do tempo, resultando na sua expansão para ocupar todo o tempo disponível [27], [36]–[38].

Pode considerar-se a Lei de *Parkinson* uma motivação para a procrastinação que resulta na distorção do esforço do trabalhador ao longo do tempo e na perda do eventual benefício da concretização atempada do trabalho relativamente ao esperado, sem a existência de compensação por atrasos na concretização de outras atividades [39].

2.2.2.3. Multitasking

Multitasking é a execução simultânea de diferentes atividades pelo mesmo recurso, o que envolve paragens na execução de uma atividade antes da sua conclusão por forma a desempenhar outras atividades consideradas mais urgentes ou importantes [27], [36]–[38].

Cada vez que se dá esta interrupção, ocorre uma perda imediata de eficiência, visto que, mais tarde, será necessário relembrar toda a informação necessária para prosseguir com a execução (Figura 2.3.). Complementarmente, a paragem e atraso da execução de uma atividade têm como consequência o atraso da atividade seguinte, o que provoca o aumento da duração total do projeto [27], [36]–[38].

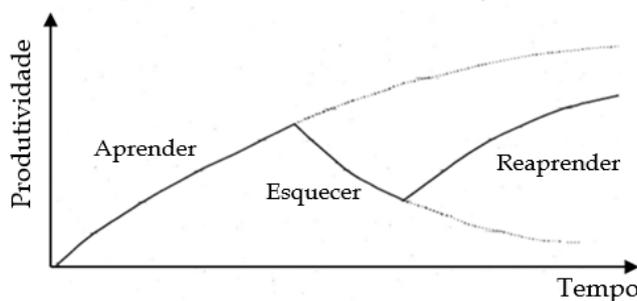


Figura 2.3 - Fenômenos Aprendizagem-Esquecimento-Aprendizagem.
Adaptado de [3].

2.2.3. Cadeia Crítica: Gestão de Projetos

Neste subcapítulo será abordada a CCPM aplicada a um único projeto.

O ponto de partida para a aplicação de CCPM a um projeto é a listagem das atividades a desenvolver, a definição das precedências entre essas atividades, a atribuição das estimativas de duração e a alocação dos recursos necessários à execução. Seguidamente, a cadeia crítica (CC) é identificada como a cadeia de atividades de maior duração do projeto, após o nivelamento dos recursos que, quando sobre alocados, criam conflitos entre atividades [40].

Por forma a prevenir o risco de derrapagem dos prazos do projeto, são introduzidas reservas de tempo na rede de projeto, cuja gestão possibilita informação relativamente ao progresso do projeto, facilitando a definição de prioridades de atuação [40].

2.2.3.1. Estimativa das Durações das Atividades

Sabe-se que às atividades de um projeto está associada incerteza, particularmente no que toca às respetivas durações [41]. A inclusão de tempos de contingência em cada atividade, perceptível nas metodologias tradicionais de gestão de projetos, resulta da ação lógica dos recursos e do gestor de projeto de estimar a duração das atividades com uma margem de tempo de segurança (Figura 2.4.), considerada suficiente para lidar com a incerteza e, desta forma, evitar atrasos no projeto [30], [36]. Assim, como resultado da atribuição de durações conservadoras a cada atividade, com um elevado nível de confiança associado, as durações das atividades são, frequentemente, inflacionadas [42]. Contudo, ao longo do projeto, verifica-se que os tempos de segurança são consumidos (e “desperdiçados”) devido ao comportamento dos executantes (Secção 2.2.2.), o que, contrariamente ao esperado (proteção contra a incerteza), origina atrasos no cumprimento dos prazos. Face a esta situação, CCPM estima as durações das atividades de forma mais realista, evitando as estimativas conservadoras ou pessimistas, motivando a redução da duração total do projeto e a melhoria do desempenho dos trabalhadores [37], [38], [43]–[45].

O planeamento e calendarização segundo CCPM focam-se essencialmente nas durações das atividades [46]. De acordo com este método, a estimativa de duração de uma atividade do projeto deverá ser feita tendo em vista uma probabilidade de ocorrência, ou nível de confiança, de 50% (duração alvo) [47]. Assim, cada atividade detém igual probabilidade de ser ou não concretizada a tempo, pelo que, com 50% de certeza, deverão existir tantas atividades concretizadas antes do tempo como depois [48].

Em oposição a utilizar-se singularmente a duração de confiança elevada (90% de probabilidade), equivalente ao pior cenário e responsável pelos tempos excessivos das atividades nas metodologias tradicionais de gestão de projetos, deverá servir para ajustar a contribuição de cada atividade para a dimensão das reservas de tempo (como será visto adiante na Subsecção 2.2.3.6.) [49].

Estimar de forma precisa a duração do projeto é, no entanto, uma atividade complexa, efeito da influência de uma grande variedade de fatores sobre o projeto, que habitualmente não conseguem ser controlados de forma adequada, tornando as durações das atividades estocásticas. Por este motivo, o processo de estimação das durações das atividades requer como *input* a aprendizagem adquirida entre projetos, cuja utilização eficaz permite melhorar a precisão das estimativas. Isto envolve, igualmente, compreender a atitude do estimador, já que algumas pessoas são tendencialmente mais otimistas e outras mais pessimistas [39].

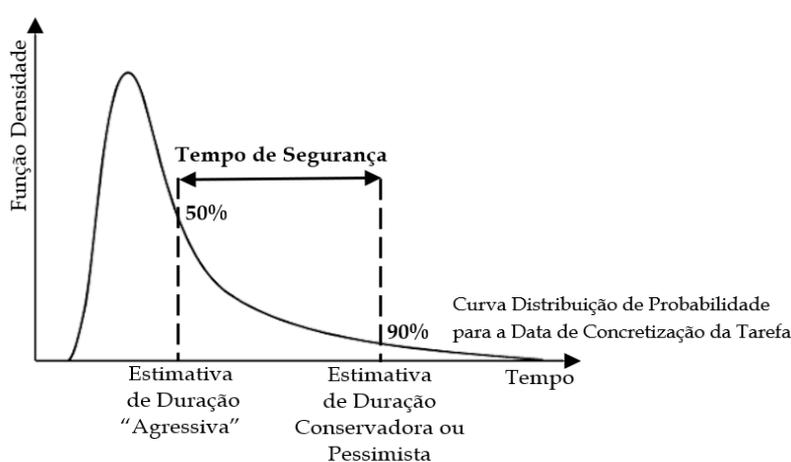


Figura 2.4 - Gráfico de Distribuição de Probabilidade e Estimativas de Duração das Atividades. Adaptado de [51].

2.2.3.2. Calendarização do Projeto

CCPM defende a criação de um sistema que motive e rentabilize o comportamento humano, já que os seres humanos se comportam de forma lógica e estes comportamentos são previsíveis (Secção 2.2.2.). Assim, adota a ética de trabalho “*relay runner*” que consiste na concentração do esforço (isto é, sem ocorrência de *multitasking*) no desempenho de uma determinada atividade de forma que o recurso em espera (para realizar a atividade seguinte) possa iniciar a atividade que lhe compete imediatamente após a finalização da atividade anterior (ou seja, usar sistematicamente o tempo economizado em cada atividade) [33], [43]. Para este efeito, as atividades são calendarizadas segundo o princípio ALAP (*As Late As Possible*) e todas as tarefas devem ser iniciadas assim que as suas predecessoras terminam [64]. Deste modo, os recursos ou trabalham à máxima velocidade/esforço possível ou estão inativos (lógica *relay runner*: um corredor só inicia a corrida após a passagem do testemunho pelo corredor anterior). Desta forma, o recurso foca-se apenas na atividade em execução, diminuindo a quantidade de *Work In Progress* (WIP) no projeto [32].

Por forma a tornar esta abordagem eficaz, segundo CCPM, ações como o reporte da concretização antecipada das atividades, a concentração do foco nas atividades críticas e a desvalorização das datas de finalização de cada atividade são encorajadas [33], [43].

2.2.3.3. Resolução de Conflitos entre Atividades por Recursos

Questões associadas à contenção das atividades por escassez de recursos devem ser solucionadas através do nivelamento da carga de trabalho [49]. Assumir que os recursos são ilimitados resulta na negligência dos impactos no projeto face à sua indisponibilidade, fator de risco à concretização bem-sucedida do projeto. Por este motivo, CCPM foca-se na gestão proativa dos recursos através da definição e explicação da comunicação e relações de dependência entre as atividades, nomeação dos recursos necessários à sua execução e indicação da forma de aceder a estes recursos durante o projeto [25], [26], [50].

A contenção dos recursos pode ser resolvida pela aplicação das heurísticas do Problema de Programação de Projetos com Recursos Limitados (RCPSP) [51]. O RCPSP declara que um projeto é constituído por um determinado número de atividades a serem executadas por forma a concretizar o projeto. Estas atividades inter-relacionam-se por dois tipos de restrições: precedências (uma atividade não pode ser iniciada antes da atividade precedente ter sido concluída) e recursos (necessários para a execução das atividades). O objetivo do RCPSP é a determinação de tempos de concretização viáveis para todas as atividades por forma a minimizar o tempo de concretização do projeto, tendo em conta estas restrições [52], [53]. Apesar de a CCPM se tratar de um RCPSP, os fundamentos base do método não sugerem um procedimento específico para a resolução da contenção de recursos, apesar de ser recomendado resolver-se, em primeiro lugar, o conflito mais próximo da data de concretização do projeto ou os conflitos de maior gravidade, através da antecipação do início de uma das atividades em conflito [3], [51].

2.2.3.4. Restrição: Cadeia Crítica

Considerando-se um único projeto, CCPM identifica a cadeia de atividades mais longa ao nível das dependências de recursos e precedências de atividades, a cadeia crítica, como a maior restrição a limitar o desempenho do sistema [25]. A cadeia crítica (CC) consiste, então, no conjunto de atividades cuja resultante é o caminho de duração mais longa do projeto (após a eliminação dos conflitos entre atividades que partilham recursos - Subsecção 2.2.3.3.), proporcionando uma previsão da data de conclusão do projeto [27].

TOC defende que, apesar de se dever supervisionar todo o sistema, deve ser concedida mais atenção às atividades críticas do que às atividades não-críticas, visto que as primeiras são cruciais para o sistema como um todo. Seguindo a ideologia de TOC, CCPM consiste, então, no planeamento, calendarização e manutenção da cadeia crítica, por forma a maximizar o tempo de trabalho da restrição [31].

2.2.3.5. Introdução de Reservas de Tempo

De acordo com CCPM, o tempo e os riscos do tempo são os fatores mais determinantes dentro dos princípios da gestão de projetos. O método enuncia que os problemas, incluindo as questões comportamentais referidas anteriormente (Secção 2.2.2.), resultam do tempo de

segurança tradicionalmente atribuído pelo gestor de projeto ao efetuar a estimativa da duração das atividades, como forma de prevenção face aos efeitos da incerteza e na tentativa de cumprir com o planeamento (Secção 2.2.3.1.). Consequentemente, quase todas as atividades do projeto têm associada uma duração que excede o tempo efetivamente necessário para a sua concretização [26], [27], [54]. Isto porque, apesar da probabilidade de colisão com um atraso em qualquer uma das atividades ser muito elevada, é muito improvável que este atraso ocorra em todas as atividades [26].

Com isto em mente, a otimização proposta por CCPM consiste na ideia de que, como alguns destes tempos de segurança são desnecessários, as atividades do projeto podem ser concretizadas mais cedo do que esperado [26]. Assim, de acordo com a lei estatística da agregação, a cadeia crítica pode ser protegida com o mesmo nível de probabilidade, recorrendo-se a uma reserva partilhada com tempo de segurança total inferior ao somatório das proteções associadas a cada uma das atividades. Por conseguinte, a duração total do projeto é reduzida através, primeiramente, da remoção dos tempos de segurança individuais (estimando as durações de cada atividade com uma probabilidade de concretização de 50% - Secção 2.2.3.1.) e, em segundo lugar, pela sua substituição por uma reserva de tempo agregado de menor dimensão no final do projeto [33].

Assim, os tempos de segurança são removidos para corrigir a sensação dos recursos de ainda existir muito tempo disponível para efetuar o trabalho (resultando num aumento do seu empenho em finalizar a atividade a tempo) e agregados em zonas estratégicas de reserva para lidar com o risco e assegurar o cumprimento do prazo previsto para a entrega do projeto [8], [26]. Desta forma, uma reserva funciona como um amortecedor, cujo objetivo é absorver o impacto da variação e da incerteza no projeto, prevenindo atrasos [33]. A Figura 2.5. retrata a situação descrita.

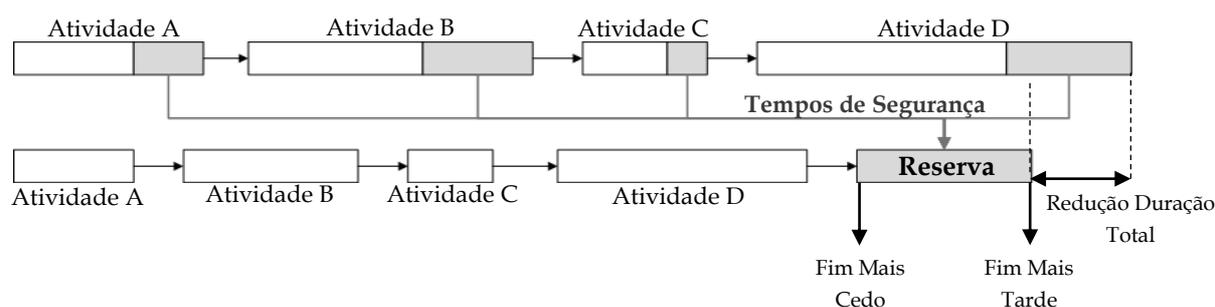


Figura 2.5 - Agregação das Margens de Segurança Individuais numa Reserva Temporal. Adaptado de [56].

Existem dois tipos de reservas de tempo num projeto. A Figura 2.6. ilustra o modo de inserção destas reservas na rede de projeto [25], [26], [31], [54], [55]:

- Reserva de Projeto (PB), adicionada no fim da cadeia crítica para proteger a duração total do projeto de variações na mesma.

- Reserva de Alimentação (FB), adicionada no final de uma cadeia de atividades não críticas que alimente uma cadeia crítica, para prevenir que a variação da primeira atrase a segunda, iniciando-se a atividade crítica que recebe input da atividade não crítica assim que a sua atividade crítica precedente é concretizada.

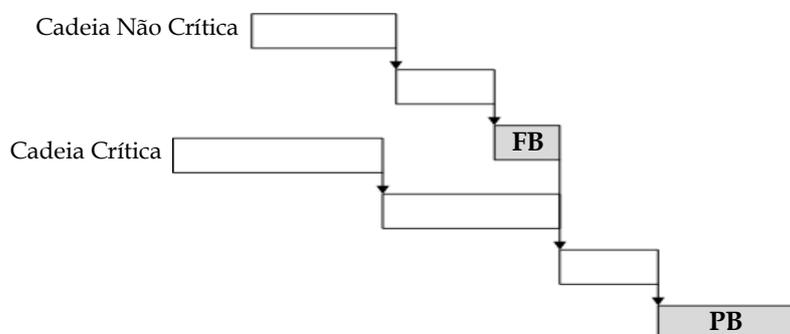


Figura 2.6 - Inserção das Reservas de Alimentação (FB) e da Reserva de Projeto (PB) na Rede de Projeto. Adaptado de [57].

Com a adoção destas reservas (FB e PB), as variações na cadeia crítica não afetam diretamente a data estimada para a entrega do projeto e, uma vez que CCPM não se foca nas atividades de forma individual, considerando como data mais importante a data de finalização do projeto (e não as datas previstas para a finalização de cada atividade), verifica-se o cumprimento do princípio de TOC que sugere que a organização deve procurar atingir uma otimização geral em vez de local [26]. Assim, os desvios dos prazos previstos não são tratados ao nível de cada atividade, atuando-se coletivamente sobre os mesmos através da gestão das reservas [33].

2.2.3.6. Dimensionamento das Reservas de Tempo

Um dos maiores desafios de CCPM é o dimensionamento adequado das reservas de tempo e a sua correta gestão, sendo estas as etapas mais importantes para o planeamento e controlo do projeto, pois a definição correta da dimensão das reservas é essencial para a redução do risco de não cumprimento do prazo estabelecido para a finalização do projeto. Reservas superiores ao necessário poderão resultar em custos adicionais dispensáveis e na perda de oportunidades de negócio, enquanto reservas inferiores poderão perturbar a cadeia crítica, despoletando atrasos no projeto com implicações financeiras. Este dimensionamento é geralmente obtido pela adoção de três metodologias: “*Cut and Paste*” (C&PM), Erro da Raíz Quadrada (RSEM) ou Simulação de Monte Carlo (MCS) [41], [54], [56]–[58].

2.2.3.6.1. Método "Cut & Paste"

O Método *Cut & Paste* (C&PM) sugere a construção da calendarização com estimativas de duração das tarefas considerando apenas 50% do tempo inicialmente estimado [21], [26], [28], [31]. A dimensão da FB equivale a metade do somatório dos tempos de segurança das atividades não críticas e a dimensão da PB equivale a metade do somatório dos tempos de segurança das atividades críticas [44]. A Equação 1 consiste na fórmula de cálculo das

reservas de tempo através do C&PM, onde $B_{C\&P}$ é a reserva calculada pelo C&PM, T_P corresponde à estimativa de duração pessimista e T_M à estimativa de duração mais provável.

$$B_{C\&P} = 0,5 \times \sum_{i=1}^N (T_P - T_M) \quad (1)$$

2.2.3.6.2. Método Erro da Raiz Quadrada

No Método Erro da Raiz Quadrada (RSEM) a dimensão da reserva (B_{RSE}) é obtida pela raiz quadrada do somatório dos quadrados das diferenças entre a estimativa de duração pessimista (T_P) a estimativa de duração mais provável (T_M) das atividades [25]. A fórmula de cálculo das reservas segundo o RSEM corresponde à Equação 2.

$$B_{RSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^N (T_P - T_M)^2} \quad (2)$$

2.2.3.6.3. Simulação para a Melhoria da Calendarização

A Simulação para a Melhoria da Calendarização (SMC) resulta da aplicação dos princípios de CCPM e da Simulação Monte Carlo [3]. A Simulação Monte Carlo consiste na geração de valores aleatórios para uma determinada variável por forma a simular possíveis cenários de um modelo que segue uma dada distribuição de probabilidade. A simulação destes valores é efetuada através de amostras baseadas numa função de densidade de probabilidade que representa as probabilidades de uma variável aleatória, recorrendo a uma função de distribuição que satisfaz a distribuição de probabilidade escolhida [59].

Para o dimensionamento das reservas segundo a SMC é, então, necessária a seleção das distribuições das durações das atividades, sendo a distribuição Triangular conceptualmente mais simples e utilizada em modelos reais na falta de informação precisa sobre a verdadeira distribuição [3].

A dimensão das reservas é obtida pela diferença entre a data de conclusão simulada para o projeto e *endpoints* das cadeias não críticas (pontos de controlo precedentes às reservas), equivalente ao percentil 95 (D95%), e a data de conclusão (estimativa determinística, D') do projeto e *endpoints* das cadeia não críticas em Regime ALAP [3]. A fórmula de cálculo das reservas segundo SMC corresponde à Equação 3.

$$D95\% - D' \quad (3)$$

2.2.3.6.4. Análise Comparativa dos Métodos de Dimensionamento das Reservas

A vantagem mais evidente do C&PM é a sua simplicidade [21]. Como a duração das atividades é estimada com 50% de cobertura de risco, as durações das atividades tornam-se mais desafiantes, mas mais próximas do efetivamente necessário. Por outro lado, considerar 50% da duração da cadeia crítica como reserva do projeto, e tendo em conta que a dimensão da reserva aumenta linearmente com o comprimento da cadeia crítica, pode originar reservas excessivamente longas e impraticáveis em projetos de longa duração, traduzidas em

proteção desnecessária no caso de projetos de baixo risco, resultando no desperdício de recursos. A utilização deste método não é recomendada para projetos de inovação [51], [60].

A utilização do RSEM pressupõe que as atividades são mutuamente independentes, por forma a validar a aplicação do Teorema do Limite Central. No entanto, como as atividades da rede se inter-relacionam, podem ser afetadas pelos mesmos fatores de risco (como as restrições dos recursos e a complexidade da rede de projeto). Desta forma, quando os riscos são leves, a dimensão da reserva é inferior ao necessário, o que causa o insucesso do projeto. Quando os riscos são severos, a duração da reserva será superior ao necessário e a parte excedente será desperdiçada devido ao comportamento dos intervenientes no projeto [44].

Assim, C&PM sobrestima a dimensão das reservas, concedendo proteção desnecessária ao projeto, enquanto RSEM pode resultar numa reserva inferior ao necessário em projetos longos [6]. RSEM revela, no entanto, comparativamente a C&PM, um melhor desempenho, especialmente quando utilizado em projetos de grande dimensão, uma vez que evita a proteção excessiva aplicada pelo C&PM quando o número de atividades é elevado [44], [60].

Com a SMC, a dimensão das reservas é reduzida e o nível de consumo das reservas melhorado sem ser ultrapassada a data de entrega do projeto, comparativamente aos dois metodologias anteriores [61]. As duas principais vantagens da SMC são a caracterização e dimensionamento de forma objetiva das reservas, considerando todas as atividades e interligações da rede de projeto (incluindo as dependências das atividades por recursos) segundo a lógica ALAP, e o facto de a Simulação Monte Carlo ser uma ferramenta conceptualmente simples, relativamente flexível e disponível para utilização empresarial [3].

2.2.3.7. Gestão das Reservas de Tempo

A cadeia crítica é determinada durante a fase de planeamento e a gestão das reservas de tempo é usada como ferramenta de monitorização do desempenho durante a fase de execução do projeto, disponibilizando informação que facilita a tomada de decisão relativamente às ações necessárias para priorizar novamente as atividades do projeto [24], [27]. A Figura 2.7. esquematiza esta situação.

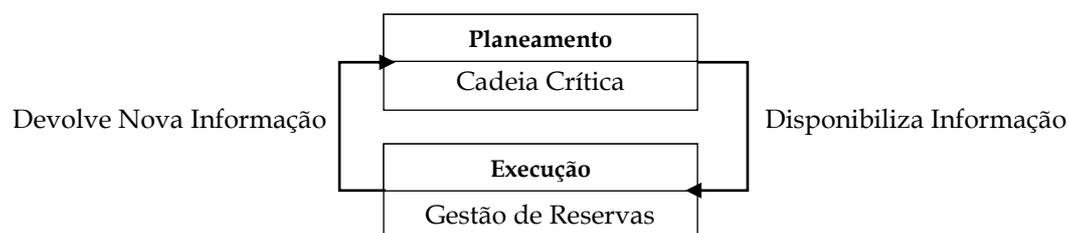


Figura 2.7 - Comunicação entre a Cadeia Crítica e a Gestão de Reservas.
Fonte: [51].

O mecanismo utilizado para a gestão das reservas é o *Fever Chart*. Este gráfico segue o conceito estabelecido para as operações da produção, isto é, a reserva é dividida em três zonas (sistema “verde-amarelo-vermelho”) e são estabelecidas estratégias de atuação (como sendo acelerar, trabalhar horas extra, subcontratar, entre outras) a adotar pelos agentes decisores ao analisar a quantidade da reserva consumida e o progresso do projeto [8], [36], [45].

No caso de ocorrência de atrasos na cadeia crítica, parte da reserva de projeto será consumida. Por outro lado, a antecipação na concretização das atividades da CC resultará num reabastecimento da reserva [61]. Pela observação da quantidade de trabalho concretizado na CC face à quantidade de reserva consumida, é possível identificar o nível de risco ao qual o projeto está sujeito. Assim, a entrada na zona vermelha do *Fever Chart* indica que a PB está a ser consumida a uma velocidade superior à de concretização do trabalho da CC, ou seja, o projeto incorre o risco de se atrasar, logo é necessário intervir para solucionar problemas; a zona amarela indica que o consumo da PB e a concretização do trabalho da CC decorrem à mesma velocidade; e a zona verde indica que a velocidade de execução do trabalho da CC é superior à velocidade de consumo da PB, logo o projeto está adiantado [8], [36].

A visualização do estado da reserva permite a clara perceção de quais as atividades mais importantes no momento, facilitando as decisões relativamente às prioridades de atuação. Os recursos podem, então, ser alocados com base no estado do projeto face à carga necessária e urgência. [27]. A Figura 2.8. exibe o modo de interpretação do *Fever Chart* e informação útil a retirar pelo gestor de projeto ao analisar o gráfico para a tomada de decisão.

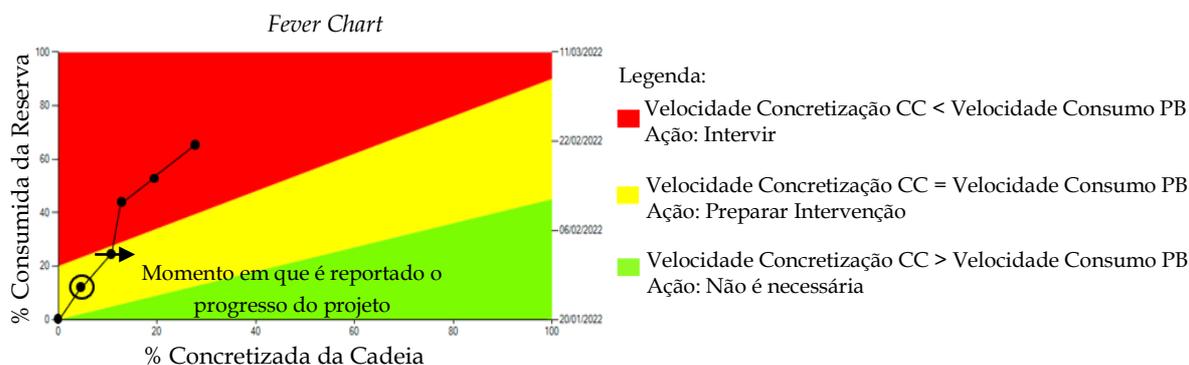


Figura 2.8 - Layout do *Fever Chart* e Significado das Zonas. Adaptado de [28].

A gestão das reservas de tempo permite priorizar as atividades com base no consumo/penetração das reservas, alertar para acelerar a execução das atividades em risco (zona vermelha), disponibilizar *feedback* ao processo de planeamento relativamente à necessidade de considerar determinados parâmetros (como, por exemplo, aumentar a capacidade dos recursos) e, ainda, identificar as principais causas dos atrasos com foco na melhoria contínua [29]. Permite percecionar o estado da calendarização do projeto, facilitando o controlo adaptativo e disponibilizando sinais de aviso para uma atuação preventiva da gestão com recurso ao *Fever Chart*, que constitui uma ferramenta única de reporte do progresso do projeto que disponibiliza *feedback* de forma visual e imediata [42], [48].

2.2.3.8. Introdução de Reservas de Recurso

Existem dois tipos de recursos em CCPM: os que executam atividades críticas e os que executam atividades não críticas. É necessário assegurar a disponibilidade dos "recursos críticos" quando a atividade predecessora é finalizada [41]. A Reserva de Recurso (RB) é adicionada a uma atividade crítica cuja atividade crítica precedente use um tipo de recurso diferente. Funciona como um mecanismo de aviso que alerta para os recursos que foram

designados à cadeia crítica e, desses recursos, quais já foram consumidos em atividades anteriores, garantindo a disponibilidade dos recursos necessários à concretização do projeto no tempo previsto. A reserva emite a mensagem ao recurso de que a atividade crítica à qual foi alocado irá ser iniciada em breve [25], [26], [31], [54], [55]. Contrariamente à FB e à PB, a RB funciona como uma tarefa virtual sem duração alocada na calendarização, isto é, sem consumir tempo do projeto [62], [63].

2.2.4. Cadeia Crítica: Gestão de Portfólios

Raramente existe envolvimento das organizações num único projeto, sendo usual participarem em múltiplos projetos coincidentes [47]. O ambiente de múltiplos projetos, isto é, um programa ou um portfólio, é constituído maioritariamente por dois fatores: incerteza e ligações entre projetos [11], [64]. Consiste no planeamento, organização, coordenação e controlo de um conjunto de projetos, de dimensões e importância variáveis, que decorrem em simultâneo e partilham recursos entre si [35].

A capacidade de gerir múltiplos projetos no ambiente dinâmico e competitivo da atualidade é fundamental para o alcance de vantagem competitiva por parte das organizações, o que requer a perícia de ultrapassar as dificuldades associadas à seleção dos projetos a desenvolver e à otimização do uso dos recursos em cada projeto, assegurando que não ocorrem sobre alocação de projetos e de recursos, minimizando o tempo de inatividade dos recursos e cumprindo com a execução dos projetos no tempo esperado [8], [47], [64], [65].

i. Programa

Um programa é constituído por um grupo de projetos que partilha um objetivo e é gerido de forma coordenada para a obtenção de benefícios que não seriam conseguidos no caso da implementação individual de cada projeto [64], [65].

ii. Portfólio

Projetos que são implementados simultaneamente, ainda que independentes entre si, e que partilham os recursos necessários à execução das atividades compõem um portfólio [64].

A gestão de portfólios pode ser definida como o processo de análise e alocação dos recursos entre organizações, projetos e programas, orientado para a concretização dos objetivos da organização e para a maximização de valor para as partes interessadas [64].

2.2.4.1. Calendarização do Portfólio

A cada projeto integrante do portfólio é aplicada a lógica da cadeia crítica na gestão de um único projeto (Secção 2.2.3.) [42].

Ao serem programados os projetos individuais, não são consideradas as necessidades dos recursos dos outros projetos, pois devido à elevada incerteza das durações das atividades não é possível nivelar os recursos em todos os projetos e esperar que esse nivelamento inicial se mantenha intacto [40]. No entanto, ao calendarizar-se o portfólio, a aplicação de CCPM pressupõe o foco nos recursos, incluindo dependências e priorização, já que ignorar as interações dos recursos entre os projetos afeta o desempenho do método na gestão das incertezas associadas às durações das atividades [11], [47], [66].

A correta calendarização do portfólio é essencial para a sincronização dos projetos em desenvolvimento [49].

2.2.4.2. Restrição: Recurso Tambor

Como visto, quando os projetos decorrem paralelamente, existe, tipicamente, partilha de recursos. Evidentemente, segundo a lógica de CCPM, pelo menos um destes recursos (por ser limitado e estar sobrecarregado) será a restrição de capacidade do sistema, criando um engarrafamento [21], [33]. Assim, os projetos são calendarizados de acordo com a disponibilidade deste recurso crítico, designado por recurso tambor, cuja capacidade é inferior ou equivalente à procura pelo mesmo num determinado horizonte de tempo [29], [67].

O recurso tambor completa as atividades que lhe foram atribuídas num projeto antes de prosseguir para as atividades do projeto seguinte, de acordo com a priorização atribuída aos projetos, reduzindo a quantidade de *work in progress* [47]. Se completar um projeto antes do prazo previsto, o projeto a ser realizado em seguida pode ser iniciado de forma a aproveitar a antecipação (aplicando a lógica "*relay runner*"). Se o recurso tambor estiver atrasado o início do projeto seguinte poderá ter de ser adiado [68].

2.2.4.3. Seleção do Número de Projetos Ativos

Quando os recursos são partilhados por projetos que decorrem em paralelo, é comum a ocorrência de *multitasking*, no entanto, a redução deste comportamento permite desempenhar as atividades com maior rapidez, assegurando o avanço ágil de uma atividade para a seguinte sem a acumulação de trabalho por finalizar. Com isto em vista, CCPM sugere a definição de um número máximo de projetos a executar, mesmo que isto implique colocar projetos em espera pela sua abertura e iniciação, já que, a partir de um determinado número de projetos em execução, existe uma relação inversa entre o fluxo de projetos concretizados e o número de projetos em desenvolvimento. Quando os projetos inicialmente filtrados são terminados, os projetos em espera, já aprovados e pertencentes ao portfólio da empresa, podem ser iniciados e terminados rapidamente, resultando no aumento do número de projetos concretizados a tempo. Neste processo dinâmico de tomada de decisão, o conjunto de projetos ativos é, então, constantemente revisto e atualizado, já que, limitar o número de projetos ativos permite uma melhor distribuição da carga de trabalho, facilita a monitorização das atividades e a alocação dos recursos [21], [27], [40], [57], [69].

Por forma a explorar as restrições, CCPM prioriza, então, os projetos para assegurar o uso mais eficiente dos recursos, garantindo que não sofrem tempo de inatividade (aumentando, conseqüentemente, a sua produtividade) [70]. Priorizar facilita o processo de subordinação. As atividades da cadeia crítica são priorizadas em relação às atividades das cadeias não críticas e atividades em projetos onde as reservas estão muito consumidas são priorizadas em relação a projetos onde as reservas estão menos consumidas [33], [70]. Outra subordinação importante é o estabelecimento das datas de início dos projetos de acordo com a disponibilidade do recurso tambor; por outras palavras, prevenir a organização de aceitar novos projetos quando a restrição já está a ser utilizada na sua capacidade máxima [42]. Este recurso, cuja capacidade é monitorizada, permite estabelecer a calendarização da iniciação dos portfólios ou programas [40].

Na gestão de um conjunto de projetos deve, então, verificar-se frequentemente se os projetos certos estão a ser implementados, se a despesa incorrida é justificada pela visão organizacional e se existe disponibilidade dos recursos necessários à implementação desses mesmos projetos [64], [67].

2.2.4.4. Resolução dos Conflitos entre Atividades e Sincronização dos Projetos

Na gestão de um único projeto, CCPM permite: eliminar os comportamentos normalizados na cultura organizacional, que são prejudiciais para a concretização dos objetivos do projeto; planear o projeto considerando as relações entre atividades e recursos, bem como o tempo disponível para a execução das atividades; e recorrer a reservas para proteger a execução do projeto. Em ambiente de múltiplos projetos, serve, ainda, de ferramenta de sincronização dos projetos a implementar [27]. O processo de sincronização dos projetos reconhece que o recurso tambor limita a produtividade do portfólio [32]. Assim, o plano de sincronização estabelecido determina a entrada de novos projetos no sistema do portfólio tendo por base a disponibilidade do recurso tambor [71].

Também na gestão de portfólios, onde as restrições são mais complexas do que num único projeto, é necessária a resolução da contenção das atividades por recursos [11]. Assim, as decisões de alocação dos recursos às atividades devem estar alinhadas com o objetivo de maximizar os benefícios para o conjunto dos projetos, de forma que os recursos desempenhem a atividade certa no momento certo e sem ocorrência de *multitasking* [47], [66]. Para proteger a integridade das calendarizações de cada projeto, CCPM propõe escalonar os projetos por forma a eliminar os conflitos de recursos [32].

2.2.4.5. Introdução da Reserva do Recurso Tambor

Por forma a explorar a disponibilidade da restrição e maximizar o *output* do sistema, é atribuído um sistema de aviso ao recurso tambor, a Reserva do Recurso Tambor (equivalente à RB da Secção 2.2.4.2.), que o notifica atempadamente relativamente à conclusão da atividade precedente àquela a que foi alocado. Este sistema de alerta prévio, dentro de uma determinada janela temporal adequada, permite agilizar a passagem de uma atividade não crítica para uma atividade crítica [62]. A Figura 2.9. ilustra o modo de funcionamento da RB.

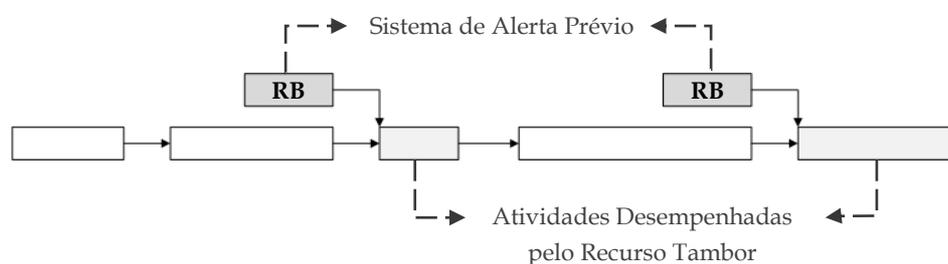


Figura 2.9 - Funcionamento da RB.
Adaptado de [74].

2.2.4.6. Introdução da Reserva de Capacidade da Restrição

A Reserva de Capacidade da Restrição (CCB) consiste numa reserva de tempo que separa os projetos sucessivos que utilizam o mesmo recurso tambor, determinando a sua data de início, por forma a assegurar a disponibilidade da restrição do sistema [42], [68]. Desta forma, o início de um projeto está protegido dos impactos do atraso na concretização do projeto anterior [64].

2.2.4.7. Dimensionamento da Reserva de Capacidade da Restrição

O dimensionamento da CCB é efetuado de acordo com os princípios de incerteza das reservas. Pode considerar-se que a dimensão desta reserva corresponde a 50% da duração das atividades críticas [42], [64].

2.2.4.8. Gestão das Reservas de Tempo

Tal como no caso de aplicação da cadeia crítica a um único projeto, o controlo da calendarização dos portfólios baseia-se no nível de consumo das reservas [42]. Deste modo, o *Fever Chart* apresenta, em simultâneo, o estado das PB dos projetos em questão [32].

2.2.5. Vantagens, Desafios e Limitações CCPM

A Tabela 2.1., apresentada em seguida, expõe algumas das vantagens mais frequentemente abordadas na literatura no que toca à adoção de CCPM por parte das organizações.

Tabela 2.1 - Vantagens Associadas à Adoção de CCPM.

Gestão de Projetos e de Portfólios pela Cadeia Crítica		
Vantagens		
Tópico	Explicação	Ref.
Abordagem Sistémica	CCPM baseia-se em TOC. Consequentemente, envolve uma abordagem sistémica refletida no objetivo de aumentar o desempenho geral dos projetos, através da identificação e exploração das restrições que limitam a sua produtividade. Disponibiliza, assim, a visão do sistema de projeto ou portfólio como um todo, com o foco não numa atividade de forma individual, mas no seu progresso geral.	[8], [33], [72]
Disponibilidade dos Recursos	Supera as fragilidades das metodologias tradicionais de gestão de projetos, baseadas no pressuposto de que os recursos disponíveis para a execução das atividades são ilimitados (desenvolvendo, como tal, calendarizações não exequíveis). Contrariamente, foca-se no controlo dos recursos, monitorizando o seu desempenho e disponibilidade.	[55], [73], [74]
Comportamento Humano	Atenta no desempenho humano e na forma como o planeamento é construído e executado, reduzindo comportamentos indesejados motivados pela utilização de datas pouco flexíveis na calendarização e pelo tempo excessivo tipicamente atribuído a cada atividade.	[33], [37]

Gestão de Projetos e de Portfólios pela Cadeia Crítica		
Vantagens		
Tópico	Explicação	Ref.
Risco do Projeto	Para lidar com a incerteza inerente ao ambiente de projeto, introduz o conceito de reservas para a partilha do risco associado a derrapagens na calendarização, protegendo a data de concretização do projeto.	[8], [62]
Controlo do Projeto	Através da gestão das reservas, CCPM monitoriza o progresso do projeto ou portfólio, efetuando o seguimento das ocorrências e informando os agentes decisores sobre a necessidade de intervenção para resolução de problemas na calendarização de forma preventiva.	[69], [84]- [86]
Aplicabilidade	Pode recorrer-se a este método em todas as áreas onde sejam aplicáveis metodologias de gestão de projetos. A diversidade de casos de sucesso sugere que a aplicabilidade de CCPM não é limitada a um tipo de indústria ou projeto específicos ou mesmo a um determinado nível de incerteza ou dimensão da organização. Apesar de não exigir uma total reconstrução dos processos utilizados, deve ser adaptada aos requisitos específicos das organizações, sendo que existem vários <i>softwares</i> disponíveis no mercado que facilitam informação e relatórios, auxiliando no processo de adoção do novo método.	[26], [27], [33]

A Tabela 2.2. apresentada em seguida, expõe desafios e limitações habitualmente debatidos no âmbito da adoção de CCPM pelas organizações.

Tabela 2.2 - Desafios e Limitações Associados à Adoção de CCPM.

Gestão de Projetos e de Portfólios pela Cadeia Crítica		
Desafios e Limitações		
Tópico	Explicação	Ref.
Inércia à Adoção	Sem as alterações comportamentais necessárias CCPM não será capaz de produzir as melhorias desejadas, e, apesar de o método ser de fácil compreensão, é difícil alterar os padrões atuais das organizações (onde as metodologias tradicionais de gestão de projetos estão altamente enraizadas), bem como vencer a resistência à mudança, pelo que, é imperativo o apoio da gestão de topo para uma transição eficaz. A inércia à adoção de CCPM deve-se, ainda, à exigência de investimento financeiro, nomeadamente em formação e novo <i>software</i> .	[8], [47]
Formação	Deve ser disponibilizada formação aos membros da equipa de projeto relativamente à nova abordagem de gestão, o que pode exigir o "esquecimento" das práticas das metodologias tradicionais por parte de gestores de projetos experientes para a interiorização dos novos conceitos.	[47]

Gestão de Projetos e de Portfólios pela Cadeia Crítica		
Desafios e Limitações		
Custos do Projeto	A aplicação de CCPM considera o tempo o mais importante dos princípios de gestão de projetos. Desta forma, o foco reside no controlo da duração do projeto, o que não implica a total negligência pelo orçamento, já que, segundo o método, uma gestão adequada do tempo trará benefícios ao nível dos custos (atrasos no projeto implicam, como consequência, um aumento dos custos para assegurar a sua concretização na data prevista). No entanto, para completar o projeto a tempo é necessário interferir no âmbito do mesmo, isto sem considerar a influência ou consequências dos custos no projeto.	[27], [58]
Cálculos e Previsões	Falha na disponibilização de fórmulas de controlo e na previsão da duração e custo totais do projeto na concretização.	[58]

2.3. Gestão do Valor Realizado

Prever a duração e o custo de um projeto em curso é fundamental para a gestão do projeto. Uma das técnicas mais amplamente utilizadas para a obtenção destas previsões é a Gestão do Valor Realizado (EVM) [76]. Esta metodologia de gestão de projetos integra o âmbito, custo e tempo do projeto, efetuando a medição periódica dos custos despendidos e do trabalho desempenhado por forma a calcular o progresso real, avaliar o desempenho e nível eficiência, identificar desvios relativamente ao planeamento e prever os resultados finais do projeto (duração e custo total), ajudando o gestor do projeto a ajustar a estratégia de atuação face aos objetivos pretendidos [4], [14], [77]–[80].

2.3.1. Parâmetros EVM

EVM compara o desempenho do plano de base do projeto com o custo e calendarização efetivamente concretizados no momento de verificação através da monitorização de três parâmetros: o Valor Planeado (PV), o Valor Realizado (EV) e o Custo Real (AC) [77]. PV, EV e AC são métricas fundamentais da EVM que geram índices de variação e de desempenho para os prazos e os custos do projeto [77].

2.3.1.1. Valor Planeado (PV)

O Valor Planeado (PV) corresponde ao custo orçamentado do trabalho calendarizado (BCWS), isto é, o custo que se deveria despende de acordo com o previsto. [81], [82]. Como tal, consiste no somatório dos custos aprovados para as atividades no caso de serem executadas de acordo com o planeado. Indica, então, o custo total (acumulado) do plano de base do projeto, permitindo prever as despesas do projeto até uma determinada data. Serve de ponto de partida para avaliação do desempenho atual do projeto [59].

A curva PV da Figura 2.10. retrata, então, a quantidade de valor acumulado planeado para cada período do ciclo de vida do projeto e pode ser determinada durante a fase de calendarização por forma a servir de linha de base [80], [83].

2.3.1.1.1. Custo Orçamentado na Concretização (BAC)

O Custo Orçamentado na Concretização (BAC) é o custo planejado para todo o projeto [81]. Assim, o BAC corresponde ao valor do PV no final do projeto, isto é, o valor mais elevado do PV, correspondente ao último ponto da curva cumulativa, visível na Figura 2.10. [82], [84].

2.3.1.1.2. Valor Realizado (EV)

O Valor Realizado (EV) de uma atividade representa a quantidade orçamentada do trabalho desempenhado (BCWP) num determinado período de tempo, isto é, o custo inicialmente orçamentado para o trabalho concluído num determinado momento [59], [77]. Corresponde, assim, ao valor do trabalho efetuado, obtido pelo produto entre a percentagem de progresso real/concretização de uma atividade (PC) e o custo orçamentado do projeto (BAC) [81]. Esta fórmula de cálculo do EV é apresentada na Equação 4.

$$EV = PC \times BAC \quad (4)$$

Durante o desenvolvimento de um projeto, em qualquer momento no tempo, existem atividades que foram concluídas (100% concretizadas), atividades que ainda não foram iniciadas (0% concretizadas) e atividades que foram iniciadas, mas ainda não foram concluídas. É para este último grupo de atividades que se pode determinar a PC, dados EV e PV [77].

No entanto, a determinação da percentagem de concretização de cada atividade do projeto pode ser uma tarefa complexa e arbitrária, já que, muitas vezes, não é possível saber exatamente a quantidade de trabalho já finalizada e o que isso representa na atividade. Por este motivo, geralmente, adota-se a regra 50/50, que, apesar de generosa no início do projeto e conservadora no final, resulta em equilíbrio numa perspetiva global. Considera-se que quando uma atividade é iniciada a PC é 50% e quando é concretizada a PC é 100% [77].

2.3.1.1.3. Custo Real (AC)

O Custo Real (AC) é o custo verdadeiramente despendido no desempenho das atividades que já foram concluídas (ACWP) num determinado período de tempo [59].

- Durante a fase de execução do projeto, o AC e o EV são medidos periodicamente. As curvas AC e EV estão, também, retratadas na Figura 2.10 e representam, respetivamente, o valor criado e os custos incorridos até ao momento atual (AT). Assim, quando o valor de EV é inferior ao valor de PV em AT, é adquirido menos valor do que o planejado para esse momento. Quando o valor de EV em AT é inferior ao valor de AC o projeto ultrapassa o orçamento inicialmente previsto [80].

2.3.2. Indicadores de Variação e Índices de Desempenho

Com base nos parâmetros EVM (Secção 2.3.1.), podem ser calculados indicadores de variação, do custo (CV) e da calendarização (SV), que disponibilizam informação mais precisa relativamente ao estado atual de um projeto [81].

Para estimar o resultado final do custo e da calendarização de um projeto, recorre-se ao Índice de Desempenho do Custo (CPI) e ao Índice de Desempenho da Calendarização

(SPI). Estes dois índices de desempenho podem ser utilizados em separado ou simultâneo [58].

2.3.2.1. Variação do Custo (CV)

O indicador de Variação do Custo (CV), determinado pela Equação 5, avalia os desvios em relação aos custos através da diferença entre o custo orçamentado para a quantidade de trabalho já executada (EV) e o custo efetivamente despendido na execução do trabalho (AC) [59], [81]. Quando o valor de CV é inferior a zero, o projeto está a incorrer custos extra aos previstos no plano de base, por outro lado, valores de CV superiores a zero indicam que os custos despendidos na execução do projeto são inferiores ao planeado [85].

$$CV = BCWP - ACWP = EV - AC \quad (5)$$

2.3.2.2. Variação da Calendarização (SV)

O indicador de Variação da Calendarização (SV), obtido pela Equação 6, avalia os desvios em relação aos prazos através da diferença entre a quantidade de trabalho efetivamente concluída (EV) e a quantidade de trabalho que se esperava que estivesse concluída no mesmo momento no tempo (PV) [59], [81]. Quando o valor de SV é inferior a zero, o projeto está atrasado em relação ao planeado, por outro lado, para valores de SV superiores a zero conclui-se que o projeto está adiantado [85].

$$SV = BCWP - BCWS = EV - PV \quad (6)$$

2.3.2.3. Índice de Desempenho dos Custos (CPI)

O Índice de Desempenho dos Custos (CPI), obtido pela Equação 7, relaciona o valor do trabalho físico e o custo efetivamente despendido na realização desse trabalho, representando uma medida de custo-eficiência do projeto. Se o gasto financeiro for superior ao trabalho físico desempenhado, CPI irá exibir resultados operacionais que excedem o orçamento [58], [81]. Assim, para valores de CPI inferiores à unidade conclui-se que o custo do trabalho desempenhado é superior ao planeado. Contrariamente, CPI superior à unidade indica a economia de custos na execução do projeto [59], [85].

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP} = \frac{EV}{AC} \quad (7)$$

2.3.2.4. Índice de Desempenho da Calendarização (SPI)

O Índice de Desempenho da Calendarização (SPI), obtido pela Equação 8, permite prever os resultados da calendarização do projeto e mede o trabalho desempenhado do plano de base, refletindo a eficiência da execução da tarefa [58]. Compara a quantidade de trabalho desempenhada com a quantidade de trabalho que se esperava ter sido desempenhada no mesmo período de tempo. Para valores de SPI inferiores à unidade, conclui-se que o projeto está atrasado em relação ao planeado. Contrariamente, SPI superior à unidade indica que o projeto está adiantado [59], [85].

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS} = \frac{EV}{PV} \quad (8)$$

2.3.3. Indicadores de Previsão

Efetuar previsões da duração e custo de um projeto em execução é um aspeto essencial na gestão de um projeto [76]. EVM disponibiliza indicadores para a previsão do estado futuro do projeto, tendo por base o desempenho do projeto, ao nível dos custos e dos prazos, no momento em que é efetuada a previsão [81].

2.3.3.1. Estimativa na Concretização (EAC)

Um dos mais importantes preditores da EVM é a Estimativa na Concretização (EAC), determinada pela Equação 9 [81]. O EAC representa uma estimativa para o custo final do projeto considerando que o estado dos prazos e dos custos, evidenciado no momento em que é efetuada a previsão, será mantido. Esta estimativa torna possível a deteção e quantificação de desvios face ao planeado, avisando sobre a necessidade de tomada de ações corretivas [59].

$$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI} \quad (9)$$

2.3.3.2. Estimativa para Concretizar (ETC)

A Estimativa para Concretizar (ETC) permite prever o esforço financeiro necessário para finalizar o projeto, sendo esta informação essencial para identificar ações corretivas necessárias por forma a concretizar os objetivos do projeto [86], [87]. A ETC é determinada pela Equação 10.

$$ETC = EAC - AC \quad (10)$$

2.3.3.3. Variação na Concretização (VAC)

A Variação na Concretização (VAC) permite prever o nível de economia ou de ultrapassagem dos custos relativamente ao orçamentado no final do projeto [87]. A VAC é obtida pela Equação 11.

$$VAC = BAC - EAC \quad (11)$$

2.3.4. Extensão de EVM: Calendarização Realizada (ES)

O SPI torna-se inviável com a aproximação do fim do projeto devido ao facto de o EV igualar o PV no final do projeto, independentemente da ultrapassagem ou não do prazo de entrega. Em adição, são utilizados dados baseados em custos para a avaliação do desempenho tanto dos custos como da calendarização do projeto. Para solucionar estas situações, desenvolveu-se a Calendarização Realizada (ES), uma extensão da EVM, que se traduz nos indicadores SV_T e SPI_T . A ES usa unidade de medida temporal e mede o momento em que o

EV deveria ter ocorrido face ao PV, por outras palavras, o momento no tempo em que o PV iguala o EV, isto é, o ES [12], [80], [85].

O método da Calendarização Realizada (ES) trata-se de uma abordagem EVM diferente no que toca à medição dos índices de calendarização, onde $SV = 0$ e $SPI = 1$ quando os projetos são concretizados depois do tempo planeado. Complementarmente, já que SV é expresso em unidade monetária, é necessária uma alternativa para o cálculo dos índices relacionados com os prazos. Assim, o método ES determina SV e SPI em unidade de tempo. A Equação 12 apresenta o cálculo de ES onde a variável C é obtida pela comparação do EV com base no PV em cada período e a variável I é dada pela Equação 13 [81]. Quando o valor de ES no momento C é inferior a C, o projeto está atrasado [80].

$$ES = C + I \quad (12)$$

$$I = \frac{EV_C - PV_C}{PV_{C+1} - PV_C} \quad (13)$$

A ES de um determinado momento de reporte pode ser comparada ao AT por forma a calcular as métricas SV_T e SPI_T , Equações 14 e 15, respetivamente [80].

$$SV_T = ES - AT \quad (14)$$

$$SPI_T = \frac{ES}{AT} \quad (15)$$

SPI tende para a unidade no final do projeto e não apresenta um “momento estável” no gráfico. Já SPI_T demonstra mais viabilidade e estabilidade durante o ciclo de vida do projeto. As flutuações de ES são muito inferiores em relação às flutuações do SPI [88], [89].

É, seguidamente, apresentada a Figura 2.10., que retrata o gráfico das curvas dos parâmetros da EVM, indicadores de variação e de previsão, analisados ao longo da Secção 2.3.

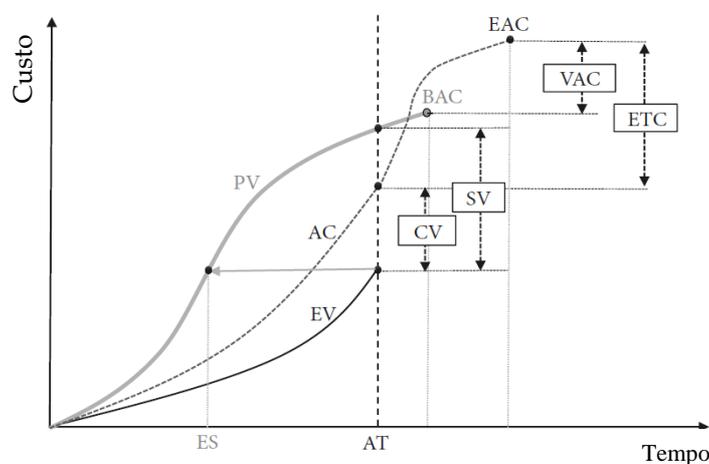


Figura 2.10 - Representação Gráfica dos Parâmetros, Indicadores e Índices da EVM. Fonte:[90].

2.3.5. Vantagens, Desafios e Limitações

A Tabela 2.3, apresentada de imediato, expõe as vantagens associadas à adoção da EVM na gestão de projetos.

Tabela 2.3 - Vantagens Associadas à Adoção da EVM.

Gestão do Valor Realizado		
Vantagens		
Tópico	Explicação	Ref.
Controlo do Projeto	Atualmente, nenhuma outra técnica de gestão de projetos integra o âmbito, custo e calendarização. O método EVM verifica se o projeto está atrasado, adiantado ou se cumpre com o planeado e se está a incorrer custos extra, a economizar custos ou a despender os custos inicialmente previstos. Isto torna o método extremamente útil para a tomada de ações corretivas por parte dos gestores de projetos por forma a trazer o projeto "back on track".	[58], [87], [90]
Estado Futuro do Projeto	Complementarmente ao facto de monitorizar o progresso do projeto ao nível do tempo e do custo, EVM é, ainda, utilizada para prever o desempenho futuro do projeto, permitindo determinar o tempo e custo necessários para a sua conclusão. A análise de tendências e as projeções da EVM detêm um papel determinante no processo de tomada de decisão, facilitando o controlo dos projetos.	[4], [14], [58], [90]

Seguidamente, na Tabela 2.4, são apresentados os desafios e limitações debatidos na literatura relativamente à adoção da EVM na gestão de projetos.

Tabela 2.4 - Desafios e Limitações Associados à Adoção da EVM.

Gestão do Valor Realizado		
Desafios e Limitações		
Tópico	Explicação	Ref.
Componente de Tempo (SV e SPI)	<p>A componente de gestão do custo é eficaz, já a componente de tempo (SV e SPI) da EVM tem sido questionada conceptualmente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • SPI utiliza unidade de medida monetária em vez de temporal, o que torna difícil a compreensão do índice, resultando em interpretações incorretas dos resultados; • Não é possível interpretar o estado do projeto quando $SV = 0$ ou $SPI = 1$, devido às duas interpretações possíveis (o trabalho foi terminado ou decorreu de acordo com o planeado); • À medida que o fim do projeto se aproxima, SV, que tende sempre para 0, e SPI, que tende sempre para 1, convergem. Este resultado expressa um desempenho satisfatório do projeto mesmo quando atrasado. <p>Nota: Estas questões, apesar de frequentemente mencionadas e discutidas na literatura, são resolvidas pela adoção da extensão ES.</p>	[58]
Custos do Projeto	<p>Sendo que muitos gestores de projeto se focam apenas nos ganhos e perdas financeiras, o facto de a EVM ser orientada para os custos poderá levá-los a seleccionar de forma incorreta as suas prioridades, ignorando as restrições dos recursos e as condições do projeto.</p>	[50]
Risco do Projeto e Análise Quantitativa	<p>A análise EVM é efetuada com base nas ocorrências e desempenho passados do projeto. Como tal, não considera a Influência do risco sobre o projeto, cuja ocorrência é um evento futuro. EVM não inclui reservas de tempo ou de custo e não considera a cadeia crítica do projeto (ou seja, não se sabe a que atividades estão associados os atrasos). Os índices de EVM são aplicados com base no custo sem se considerar o impacto do tempo e não estão associados ao risco da cadeia crítica. Ao adotar uma visão determinística das durações e dos custos das atividades, EVM não considera a incerteza, variação e imprevisibilidade, demonstrando não conseguir lidar com os desvios verificados ou quantificar o seu grau de gravidade (identifica que o projeto está atrasado, mas não permite retirar conclusões sobre até que ponto esse atraso está ou não sob controlo).</p>	[58], [64], [80], [85], [91], [92]
Atividades	<p>EVM não efetua a distinção entre atividades de fácil e difícil execução, pelo que o valor acrescentado pelas atividades é parcialmente em função de quando essas atividades ocorrem no projeto, independentemente das suas características interna. Além disso, o método não permite identificar as atividades às quais estão associados os atrasos num momento em que já várias atividades tenham sido desempenhadas.</p>	[58], [91]

2.4. Gestão de Projetos pela Integração CCPM-EVM

A gestão de projetos deve envolver a avaliação do tempo e do custo em simultâneo por forma a alcançar o melhor produto ao menor custo e tempo possível [4], [93], [94]. Para este efeito, é essencial identificar com sucesso os melhores sistemas de controlo e de revisão de progresso do projeto [50].

A maioria das técnicas de controlo de projeto foca-se em parâmetros qualitativos (risco) ou em parâmetros quantitativos (tempo e custo), sendo esta uma das causas para a ultrapassagem dos custos e prazos do projeto. Entre estas técnicas estão CCPM e EVM. Ambas apresentam vantagens e limitações (Secção 2.2.5. e Secção 2.3.5., respetivamente). A sua integração num modelo híbrido visa maximizar os aspetos positivos de cada metodologia quando implementada individualmente, de forma a dar resposta às necessidades da gestão de projetos (considerando parâmetros qualitativos e quantitativos em simultâneo) numa abordagem que permite o controlo integrado da eficiência (tempo e custo) e do risco do projeto [58].

CCPM e EVM não são mutuamente exclusivos, excetuando os possíveis conflitos emergentes da utilização de ambas as metodologias para a mesma finalidade [71]. A integração CCPM-EVM pretende a utilização de cada uma das metodologias para o propósito que melhor se lhes adequa. Se isto suceder, não haverá risco acrescentado ao projeto pela utilização simultânea das metodologias. Contrariamente, é provável que o risco do projeto seja reduzido significativamente [95]. CCPM foca-se no tempo e nos riscos do tempo associados ao projeto. EVM foca-se nos custos e prazos segundo pressupostos não probabilísticos [58]. A EVM deverá ser utilizada para avaliação de questões relacionadas com a eficiência do projeto como sendo analisar variações de desempenho e validar as estimativas de base do projeto de modo a identificar erros antecipadamente, garantido a precisão de estimativas futuras. A CCPM deverá ser utilizada para gerir restrições por forma a aumentar a produtividade do projeto, assegurar que os recursos críticos estão disponíveis quando necessário e proteger a data de entrega do projeto, monitorizando o estado da calendarização. Desta forma, a EVM deverá ser utilizada para reportar eventos passados e a CCPM para gerir e reportar o futuro, considerando o risco [95].

Visto que o SV e o SPI não refletem a cadeia crítica do projeto, e tendo em conta que disponibilizam informação enganadora relativamente ao estado do projeto, pode recorrer-se à gestão das reservas para as funções de controlo e previsão do estado da calendarização de um projeto [38]. Assim, a aplicação de EVM à cadeia crítica permite analisar qualitativamente se o progresso do projeto está ou não atrasado enquanto, através do método de monitorização das zonas das reservas de CCPM, é possível verificar quantitativamente o nível desse atraso. Desta forma, a integração dos dois metodologias permite controlar e analisar a calendarização do projeto e garantir que a cadeia crítica decorre sem problemas [96].

Assim, a integração CCPM-EVM propõe [58]:

- Calendarizar o projeto de acordo com a lógica CCPM.
- Dimensionar reservas de tempo e de custo e inseri-las no projeto.
- Efetuar a monitorização e controlo do projeto através da gestão das reservas (agora de tempo e de custo)

- Prever o custo e a duração do projeto na concretização com máxima precisão e eficiência.

A calendarização de acordo com CCPM, incluindo as relações lógicas entre as atividades, a programação do projeto em ALAP, e a nivelção da carga dos recursos, serve de plano de base para a aplicação da EVM [50], [95], [96].

O modelo integrado considera, então, como complemento às reservas de tempo de CCPM, a introdução de reservas de custo (CB) na calendarização. Desta forma, em adição à consideração pelos riscos de derrapagem dos prazos, são refletidos os riscos associados aos custos do projeto, resultando numa monitorização mais precisa e eficiente do mesmo [58].

Assim, o BAC introduz uma tolerância para o custo do trabalho desempenhado [38]. A Figura 2.11 ilustra esta situação, onde BAC₀ representa a estimativa de custo orçamentado na concretização antes da inclusão da CB na rede de projeto.

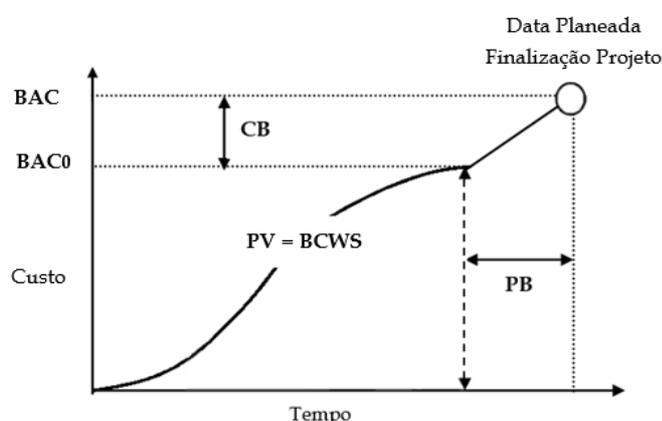


Figura 2.11 - Curva PV do Projeto incluindo CB e PB.
Adaptado de: [38].

2.4.1. Gestão das Reservas

A gestão das reservas torna-se um sistema de controlo do custo e da calendarização do projeto [38]. Através da verificação da parte consumida da PB e da CB (% consumida da reserva) face ao trabalho efetivamente realizado (% concretizada da cadeia) é possível monitorizar o estado do projeto, recorrendo-se, tal como em CCPM, ao *Fever Chart*, onde será visível o estado da calendarização e dos custos do projeto (Figura 2.12) [58].

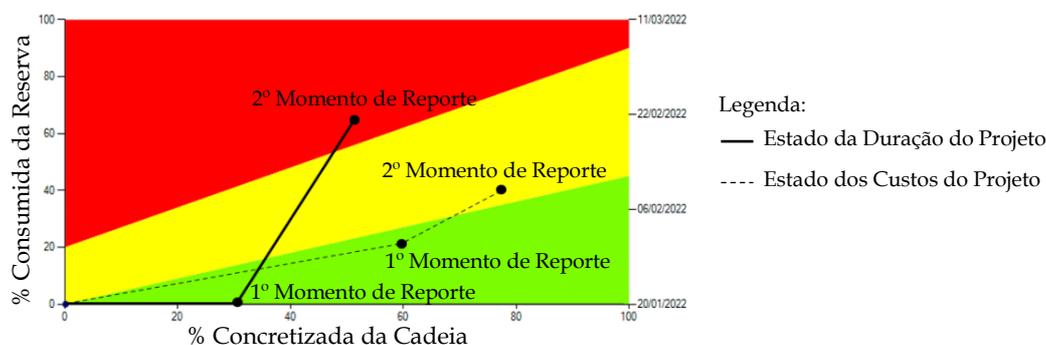


Figura 2.12 - *Fever Chart* incluindo o estado da calendarização e o estado dos custos do projeto.
Fonte: [58].

CAPÍTULO 2 - ABORDAGEM INTEGRADA CCPM-EVM PARA A GESTÃO DE PROJETOS

Para efetuar a gestão das reservas de tempo e de custo, recorre-se às Equações 16-19, presentes na Tabela 2.5, que permitem determinar a percentagem de consumo da reserva e o trabalho concretizado [58].

Tabela 2.5 - Equações para o cálculo da percentagem consumida das reservas e do trabalho concretizado.
Fonte:[58].

<p>Percentagem consumida da reserva de custo (P_C)</p> $P_C = \frac{CV}{CB} \times 100\% \quad (16)$
<p>Trabalho concretizado com base no custo (W_C) Onde BAC_0 corresponde ao custo orçamentado na concretização sem inclusão da CB.</p> $W_C = \frac{EV}{BAC_0} \quad (17)$
<p>Percentagem consumida da reserva de tempo (P_T) Onde T corresponde ao momento em que $EV \geq PV_T$ e $EV < PV_{T+1}$.</p> $P_T = \frac{SV_T}{PB} \times 100\% \quad (18)$
<p>Trabalho concretizado com base no tempo (W_T) Onde BPD_0 corresponde à duração planeada sem se considerar a PB</p> $W_T = \frac{ES_T}{BPD_0} \quad (19)$

Nos diferentes momentos de reporte do progresso do projeto, o *Fever Chart* pode apresentar resultados nas zonas verde, amarela ou vermelha consoante as variações verificadas entre o planeado e o ocorrido ao nível dos prazos e custos [58]. A Tabela 2.6 apresenta a interpretação e respetivas ações corretivas a adotar face à zona de penetração da PB e CB.

Tabela 2.6 - Gestão do Projeto através de Reserva de Tempo e de Custo.
Fonte:[58].

Reserva de Custo			Zona Vermelha	Zona Amarela	Zona Verde	Reserva de Tempo
Zona Verde	Zona Amarela	Zona Vermelha				
<ul style="list-style-type: none"> • Acelerar a execução das atividades mesmo que implique um aumento dos custos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acelerar a execução das atividades sem incorrer custos extra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acelerar a execução • Economizar custos na execução das atividades não críticas. 				
<ul style="list-style-type: none"> • Atentar no controlo da duração do projeto. • Não são necessárias ações corretivas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atentar no controlo da duração e dos custos. • Manter o estado do projeto para que não sejam ultrapassados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manter a velocidade de execução das atividades procurando economizar custos nas atividades não crítica. 				
<ul style="list-style-type: none"> • Não são necessárias ações corretivas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atentar no controlo dos custos do projeto. • Não são necessárias ações corretivas. 	<ul style="list-style-type: none"> • O valor do projeto está preservado e não está a incorrer custos extra. 				

2.4.2. Estimativa do Custo na Concretização

Para a abordagem risco-eficiência recorre-se às fórmulas disponibilizadas por EVM (Secção 2.3.), tendo em conta a eficácia associada aos parâmetros de custo desta técnica, e as fórmulas de cálculo das reservas apresentadas na Tabela 5, obtendo-se as Equações 20-32, expostas na Tabela 2.7, que permitem estimar o custo do projeto na concretização [58].

Tabela 2.7 - Equações para a determinação do custo do projeto no momento da concretização.
Adaptado de: [58].

<p>Custo Orçamentado na Concretização sem considerar a reserva de custo (BAC_0) Equivale ao somatório do custo planeado para todas as atividades consideradas no plano de base (BPV_i). Onde i corresponde à atividade i e N ao número de atividades.</p> $BAC_0 = \sum_{i=1}^N BPV_i \quad (20)$
<p>Custo Orçamentado na Concretização considerando a reserva de custo (BAC) $BAC = BCAC_0 + CB$ (21)</p>
<p>Percentagem da Reserva de Custo do BAC_0 (B_C) $B_C = \frac{CB}{BAC_0}$ (22)</p>
<p>Índice de Desempenho dos Custos (CPI) A Equação 21 é obtida com base nas Equações 4, 6, 14 e 15. $CPI = \frac{BCWP}{ACWP} = \frac{EV}{AC} = \frac{EV}{EV - CV} = \frac{W_C \times BAC_0}{W_C \times BAC_0 - P_C \times CB}$ (23)</p>
<p>Custo Estimado na Concretização sem considerar a reserva de custo (EAC_0) Determinado após ser efetuado o controlo do consumo da reserva de custo. $EAC_0 = BAC_0 + BAC_0 \times P_C = BAC_0 (1 + P_C)$ (24)</p>
<p>Reserva de Custo Ajustada (CB_A) Onde CCB corresponde à quantidade consumida da reserva de custo e RCB_A corresponde à quantidade por consumir da reserva de custo ajustada. $CB_A = CCB + RCB_A$ $CB_A = CB \times P_C + \frac{CB \times (1 - P_C)}{CPI}$ $CB_A = CB \times P_C + \frac{CB \times (1 - P_C)}{\frac{W_C \times BAC_0}{W_C \times BAC_0 - P_C \times CB}}$ (25) $CB_A = CB \times P_C + CB \times (1 - P_C) \times \left(1 - \frac{P_C \times CB}{W_C \times BAC_0}\right)$ $CB_A = B_C \times BAC_0 \times P_C + B_C \times BAC_0 \times (1 - P_C) \times \left(1 - \frac{P_C \times B_C}{W_C}\right)$</p>

Continuação da Tabela 2.7 - Equações para a determinação do custo do projeto no momento da concretização.
Adaptado de: [58].

Custo Estimado na Concretização considerando as reservas de custo (ECAC)	
$EAC = BAC_0 + CB_A$	
$EAC = BAC_0 \times (1 + P_C) + CB \times P_C + CB \times (1 - P_C) \times \left(1 - \frac{P_C \times CB}{W_C \times BAC_0}\right)$	(26)
$EAC = BAC_0 \times (1 + P_C) + B_C \times BAC_0 \times P_C + B_C \times BAC_0 \times (1 - P_C) \left(1 - \frac{P_C \times B_C}{W_C}\right)$	

O BAC (Equação 21) e o EAC (Equação 26) resultam, desta forma, da combinação de parâmetros de desempenho e de risco [58].

2.4.3. Estimativa da Duração na Concretização

Visto que os parâmetros de duração da EVM não funcionam com precisão máxima, as fórmulas desenvolvidas para estimar a duração do projeto na concretização, Equações 27-31, presentes na Tabela 2.8, têm por base a ES (Secção 2.3.4.) e a gestão de reservas de CCPM [58].

Tabela 2.8- Equações para a Determinação da Duração do Projeto na Concretização.
Adaptado de [58].

Duração Total Planeada considerando a reserva de tempo (BPD)	
Onde BPD_0 corresponde à duração total planeada sem considerar a reserva de tempo, isto é, a duração atribuída ao trabalho calendarizado a ser concretizado, independentemente da data de estado.	
$BPD = BPD_0 + PB$	(27)
Porcentagem da Reserva de Tempo do BPD_0 (B_T)	
$B_T = \frac{PB}{BPD_0}$	(28)
Índice de Desempenho da Calendarização (SPI_T)	
A Equação 27 é obtida com base nas Equações 9,11, 16 e 17.	
$SPI_T = \frac{ES_T}{AT} = \frac{ES_T}{ES_T - SV_T} = \frac{W_T \times BPD_0}{W_T \times BPD_0 - P_T \times PB}$	(29)
Duração Estimada na Concretização sem considerar a reserva de tempo ($EDAC_0$)	
Determinado após ser efetuado o controlo do consumo da reserva de tempo.	
$EDAC_0 = BPD_0 + BPD_0 \times P_T = BPD_0 (1 + P_T)$	(30)

Continuação da Tabela 2.8 - Equações para a Determinação da Duração do Projeto na Concretização.
Adaptado de [58].

<p>Reserva de Tempo Ajustada (PB_A)</p> <p>Onde CPB corresponde à quantidade consumida da reserva de tempo e RPB_A corresponde à quantidade por consumir da reserva de tempo ajustada.</p> $PB_A = CPB + RPB_A$ $PB_A = PB \times P_T + \frac{PB(1 - P_T)}{SPI_T}$ $PB_A = PB \times P_T + \frac{PB(1 - P_T)}{W_T \times BPD_0 - P_T \times PB} \tag{31}$ $PB_A = PB \times P_T + PB(1 - P_T) \left(1 - \frac{P_T \times PB}{W_T \times BPD_0}\right)$ $PB_A = B_T \times BPD_0 \times P_T + B_T \times BPD_0 (1 - P_T) \left(1 - \frac{P_T \times B_T}{W_T}\right)$	
<p>Duração Estimada na Concretização considerando as reservas de custo (EDAC)</p> $EDAC = BDAC_0 + PB_A$ $EDAC = BPD_0 (1 + P_T) + PB \times P_T + PB(1 - P_T) \left(1 - \frac{P_T \times PB}{W_T \times BPD_0}\right) \tag{32}$ $EDAC = BPD_0 (1 + P_T) + B_T \times BPD_0 \times P_T + B_T \times BPD_0 (1 - P_T) \left(1 - \frac{P_T \times B_T}{W_T}\right)$	

A BPD (Equação 27) e a EDAC (Equação 32) resultam, assim, da combinação de parâmetros de desempenho e de risco [58].

2.4.4. Confrontação entre o *Fever Chart*, o CPI e o SPI

Por forma a efetuar uma tomada de decisão consciente relativamente ao estado de projeto, para a adequação das medidas de atuação a adotar, o *Fever Chart* da CCPM pode ser confrontado com os índices de desempenho dos custos (CPI) e da calendarização (SPI) da EVM [50]. Assim, pode recorrer-se à matriz da Tabela 2.9 abaixo, onde um "Bom *Fever Chart*" referir-se-á às zonas verde e amarela do gráfico e um "Mau *Fever Chart*" à zona vermelha.

Tabela 2.9 - Matriz de Confrontação entre os Resultados Exibidos pelo *Fever Chart*, CPI e SPI.
Fonte: [50].

	Bom <i>Fever Chart</i>	CPI > 1	SPI > 1
Mau <i>Fever Chart</i>	-	É necessário recuperar parte da PB. Verificar se adicionar recursos contribui para tal.	Ocorre quando a cadeia crítica está atrasada. Planear para recuperar a PB.
CPI < 1	Há desperdício de recursos.	-	Há desperdício de recursos.
SPI < 1	Ocorre se dependências de recursos estiverem em falta na calendarização CCPM.	O <i>Fever Chart</i> apresenta maus resultados. Recuperar parte da PB.	-

PROPOSTA METODOLÓGICA DO ESTUDO

No presente capítulo proceder-se-á à apresentação e descrição detalhada da metodologia proposta para integração das metodologias CCPM e EVM para a gestão de projetos, por forma a ser, posteriormente, aplicada a dois Casos de Estudo.

No seguimento da reflexão produzida no Capítulo 2, com a finalidade de desenvolver uma abordagem integrada CCPM-EVM, propõe-se a aplicação do Modelo Híbrido Risco-Eficiência (MHRE) para a gestão de projetos, baseado no estudo de Ghazvini et al. [58], onde concluiu que o modelo permitiu um controlo mais rigoroso e eficiente do tempo, custo e respetivos riscos do projeto (com recurso à ideologia das reservas proposta por CCPM) e que a viabilidade dos indicadores de previsão do estado futuro do projeto (disponibilizados pela EVM) aumentou pela consideração da percentagem de progresso do projeto e da percentagem de consumo das reservas. Serão, ainda, incluídas no modelo, as considerações e reflexões de Leach [38], Essam Mohamed Lotffy [50] e Ma et al. [96], mencionadas, também, no capítulo anterior, no âmbito deste tema.

Pretende-se, ainda, que o MHRE seja aplicado a par com a proposta de Tenera [3] de integração da lógica de CCPM com a Simulação Monte Carlo para o dimensionamento das reservas temporais, a Simulação para a Melhoria da Calendarização (SMC).

Por forma a dar resposta à questão de investigação, a metodologia proposta será aplicada a dois Casos de Estudo por forma a perceber-se se efetivamente existe valor acrescentado ao processo de gestão de projetos pela adoção do MHRE em detrimento da implementação individual de CCPM e EVM.

O primeiro Caso de Estudo tratará um projeto já encerrado pela Hitachi Astemo Abrantes, SA., pelo que consistirá num ensaio da proposta metodológica, onde todas as etapas executadas serão detalhadamente explicitadas por forma a preparar-se a posterior aplicação do MHRE a um segundo Caso de Estudo constituído por um projeto cujas fases de iniciação e parcial execução foram acompanhadas em tempo real de desenvolvimento.

A Tabela 3.1, apresentada de seguida, visa expor, de forma resumida, as interligações entre as fases analisadas dos projetos, as etapas a executar em cada fase e os *softwares* recomendados para o seu desenvolvimento com vista à aplicação do MHRE. A descrição pormenorizada destes conteúdos sucede a tabela.

CAPÍTULO 3 - PROPOSTA METODOLÓGICA DO ESTUDO

Tabela 3.1 - Fases, Etapas e *Softwares* da Proposta Metodológica do Estudo.

PROPOSTA METODOLÓGICA DO ESTUDO		
Fases do Projeto	Etapas	Software
Calendarização (Lógica CCPM-SMC)	1. Construção da Rede de Projeto	<i>Microsoft Project</i>
	2. Estimativa das Durações das Atividades	
	3. Resolução dos Conflitos entre Atividades por Recursos	
	4. Estimativa dos Custos das Atividades	
	5. Definição da <i>Baseline</i> do Projeto	
	6. Identificação da Cadeia Crítica	<i>ProChain</i>
	7. Inserção de Reservas Nulas	<i>@Risk</i>
	8. Dimensionamento das Reservas	<i>ProChain</i>
	9. Inserção das Reservas Dimensionadas e Recalendarização do Projeto	
Monitorização do Projeto (MHRE)	1. Análise das Condições Iniciais de Aplicação do MHRE	<i>Microsoft Project;</i> <i>Microsoft Excel</i>
	2. Definição dos Momentos de Reporte do Progresso do Projeto	
	3. Reporte do Progresso do Projeto e Atualização a Calendarização	
	4. Cálculo da Dimensão e Percentagem das Reservas de Tempo e de Custo, Custo Orçamentado na Concretização e Duração Total Planeada	
	5. Determinação dos Valores de ES e SVT	
	6. Determinação dos Parâmetros de Custo e de Duração e Percentagens de Consumo das Reservas e de Trabalho Realizado	
	7. Gestão das Reservas de Tempo e de Custo do Projeto	
	8. Estimativa do Custo na Concretização	
	9. Estimativa da Duração na Concretização	

Para o desenvolvimento dos Casos de Estudo e aplicação do MHRE aos projetos, sugere-se a divisão da Proposta Metodológica em 2 fases distintas. A primeira fase consistirá na Calendarização do Projeto, onde se pretende adotar a lógica CCPM-SMC. Nesta fase de planeamento, os projetos serão, então, convenientemente preparados para que na fase seguinte se possa proceder à sua Monitorização através da aplicação do MHRE.

Excetuando a primeira etapa da primeira fase, isto é, a construção da rede do projeto, o procedimento decorrerá de igual forma para os dois projetos, sendo que, primeiramente, se procederá à análise do projeto encerrado e, posteriormente, do projeto em execução.

3.1. Fase 1: Calendarização CCPM-SMC do Projeto e Definição da *Baseline* EVM Do Projeto

1. Construção da Rede de Projeto

Para a construção da rede do projeto sugere-se a utilização do *software* de gestão de projetos *Microsoft Project*. Este *software*, de elevada aceitação internacional, permite assistir os gestores de projeto no desenvolvimento da calendarização, atribuição de recursos às atividades, monitorização do progresso do projeto, gestão do orçamento e da carga de trabalho.

Para o projeto encerrado será efetuada a recolha dos dados históricos relativos ao mesmo, por forma a compreender-se o seu âmbito e propósito, o que envolverá, ainda, o estudo da calendarização inicialmente definida. Esta calendarização não terá sido construída segundo os princípios CCPM-SMC que se pretendem implementar e, como tal, poderá ser necessário, perante as ocorrências verificadas ao longo do desenvolvimento do projeto, verificar e retificar as relações lógicas entre as atividades e os recursos alocados às mesmas.

Para a elaboração da rede do projeto em execução, será necessária a listagem das atividades a concretizar no decorrer do projeto. Sugere-se a programação das atividades segundo uma lógica direta, significando isto que a rede é construída da atividade inicial para a atividade final. Por fim, serão alocados às atividades os recursos necessários à execução.

A calendarização de ambos os projetos deverá seguir a lógica ALAP, para a adoção da ética de trabalho "*relay-runner*" defendida pela CCPM (Secção 2.2.3.2.).

2. Estimativa das Durações das Atividades

Para a calendarização do projeto de acordo com os princípios de CCPM, dois dos requisitos necessários são as duas estimativas de duração de cada atividade, a duração alvo e a duração máxima admitida ou pessimista, como visto na Secção 2.2.3.1. A duração alvo tem a finalidade de reduzir os tempos excessivos tendencialmente atribuídos às atividades e a duração pessimista visa considerar a variabilidade máxima prevista associada às durações, a ser, posteriormente, incluída no formato de reservas de tempo. Para o efeito, a duração pessimista deverá ser introduzida no campo *Duration 1* do *Microsoft Project* de forma a ser futuramente interpretada pelo *ProChain* na calendarização da cadeia crítica.

Adicionalmente, para o dimensionamento das reservas de tempo a introduzir na rede de projeto, será necessário obter-se, nesta fase, as durações mínima admitida ou otimista e a mais provável (considerada, neste caso, equivalente à duração alvo), que, juntamente com a duração pessimista, permitirão caracterizar as distribuições triangulares de cada atividade, que, por serem conceptualmente mais simples, e utilizadas em modelos reais na falta de informação explícita sobre a verdadeira distribuição, serão as distribuições utilizadas para o dimensionamento das reservas de tempo pela Simulação para a Melhoria da Calendarização (Secção 2.2.3.6.3.).

Nesta etapa será essencial usufruir da experiência dos estimadores bem como das *lessons learned* de projetos anteriores para que as estimativas das durações das atividades sejam efetuadas com a máxima precisão possível.

3. Resolução dos Conflitos entre Atividades por Recursos

Os conflitos entre as atividades pelos recursos, resultantes do facto de estes serem limitados e, como tal, sofrerem de sobre alocação de trabalho, serão solucionados através da introdução de novas precedências na rede de projeto. Os princípios de CCPM não disponibilizam uma solução para a resolução destes conflitos, no entanto, recomenda-se resolver primeiro os conflitos mais próximos da data de finalização do projeto pela antecipação da data de início de uma das atividades em conflito, o que será efetuado, então, quando necessário, pela alteração das relações lógicas entre as atividades (Secção 2.2.3.3.).

4. Estimativa dos Custos das Atividades

Os custos das atividades, de forma idêntica às durações, e para a utilização de distribuições triangulares na transposição da lógica SMC dos tempos para os custos das atividades, com vista à introdução de uma CB na rede de projeto, precisarão de três estimativas: otimista, mais provável (equivalente ao custo alvo) e pessimista.

Os custos alvo dos recursos serão introduzidos no *Microsoft Project* na *Resource Sheet* em *Standard Rate*, obtendo-se, com isto, os custos alvo das atividades.

Perante a indisponibilidade destas informações na empresa, o processo de estimativa dos custos das atividades basear-se-á na pesquisa com recurso aos motores de busca.

5. Definição da *Baseline* do Projeto

Após a obtenção e introdução dos custos das atividades do projeto no *Microsoft Project* na etapa anterior, deverá ser estabelecida a *Baseline* do projeto no separador *Project* através do comando *Set Baseline*, que permitirá a comparação a realizar futuramente entre o planeado e o ocorrido ao longo do projeto de acordo com a lógica proposta pela EVM.

Assim, obter-se-á a Tabela EV no início do projeto, acedida no *Microsoft Project* através do separador *View* - comando *Tables*. Desta tabela inicial serão extraídos o parâmetro BAC e indicador de previsão EAC, representando, respetivamente, o custo orçamentado no início do projeto tendo em conta os custos estimados para as atividades (Secção 2.3.1.1.1.) e o custo total com que se estima que o projeto seja concretizado tendo em conta o seu nível de desempenho (Secção 2.3.3.1.). Na fase de iniciação do projeto é expectável que o BAC e o EAC sejam iguais dado que ainda nenhuma atividade foi concretizada.

6. Identificação da Cadeia Crítica

Após a resolução dos conflitos existentes entre as atividades pelos recursos disponíveis na etapa 3, estão reunidas as condições para a identificação da cadeia crítica do projeto, isto é, a cadeia de atividades de maior duração que, como tal, oferece uma estimativa da duração total do projeto.

Para a identificação da cadeia crítica dos projetos propõe-se a utilização do *software ProChain Project Scheduling*, da *ProChain Solutions* que, ao ser adicionado ao *Microsoft Project*, consiste numa ferramenta para a calendarização da cadeia crítica, atualização das atividades e gestão das reservas de tempo, disponibilizando suporte ao processo de tomada de decisão

através da gestão de dados e elaboração de relatórios [97]. O *layout* da barra de ferramentas do *ProChain* é apresentado na Figura 3.2.



Figura 3.2 - Barra de Ferramentas da Aplicação *ProChain* no *Microsoft Project*.

O comando *Reschedule Project* permitirá executar uma "Atualização 0", considerando como *Status Date* a data de iniciação do projeto. Esta ação possibilita ao *software*, com base nas etapas 1, 2 e 3, a identificação da cadeia crítica do projeto e, como tal, a introdução da PB, que protegerá a data de entrega do projeto das variações associadas às atividades a desenvolver (Secção 2.2.3.5.). A Figura 3.3 demonstra a janela apresentada após a seleção do comando referido.

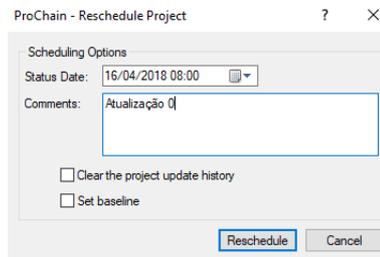


Figura 3.1 - Atualização 0 para Obtenção da Cadeia Crítica e das PB dos Projetos.

7. Inserção de Reservas Nulas

Para que as FB sejam identificadas e localizadas no projeto, será necessário ativar o *Traditional Critical Chain Mode* em *Options - Project Options*, cuja janela é visível na Figura 3.4, e, seguidamente, deverá efetuar-se uma nova atualização do projeto no comando *Update Project*.

Posteriormente as FB serão visíveis na rede de projeto onde as atividades não críticas alimentam atividades críticas, garantindo assim que as segundas estão protegidas de atrasos que sucedam nas primeiras (Secção 2.2.3.5.).

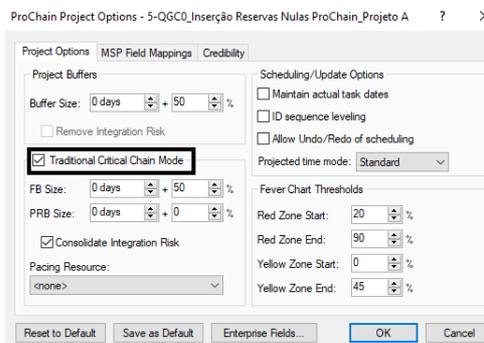


Figura 3.3 - *Project Options* para a Introdução de FB.

8. Dimensionamento das Reservas

O dimensionamento das reservas será obtido de acordo com os princípios da Simulação para a Melhoria da Calendarização, já que, de entre as metodologias abordadas, é o que apresenta melhores resultados, nomeadamente, uma reserva de menor dimensão e um nível de consumo da mesma mais reduzido sem ser ultrapassada a data de entrega do projeto, considerando todas as atividades e interligações da rede de projeto segundo a lógica ALAP (como visto na Secção 2.2.3.6.3.). Com esta intenção, recomenda-se o uso da aplicação @Risk da Palisade, fabricante de *software* para análise de risco e tomada de decisão.

Para o dimensionamento da PB, será utilizada a versão @Risk 7.6, correspondente a um *add-in* para o *Microsoft Excel* que comunica com o *Microsoft Project*, para a realização da Simulação Monte Carlo, permitindo o cálculo de todos os cenários possíveis, e respetiva probabilidade de ocorrência, para a situação em análise. A barra de ferramentas do @Risk 7.6 no *Excel* é apresentada na Figura 3.5.



Figura 3.4 - Barra de Ferramentas do *Add-In* @Risk 7.6 no *Excel*.

Para dimensionar a CB, por forma a aplicar a lógica de CCPM e da Simulação para a Melhoria da Calendarização das durações aos custos das atividades, considerando, assim, a variabilidade associada aos mesmos e protegendo o orçamento total do projeto, recorrer-se-á à versão mais recente @Risk 8 que, à semelhança da versão @Risk 7.6 permite efetuar a Simulação de Monte Carlo, mas, neste caso, sem estabelecer comunicação com o *Microsoft Project*. A barra de ferramentas do @Risk 8 é apresentada na Figura 3.6.



Figura 3.5 - Barra de Ferramentas do *Add-In* @Risk 8 no *Excel*.

Assim, após a extração da calendarização base em ALAP (antes da introdução da cadeia crítica e das reservas) do *Microsoft Project* para o *Microsoft Excel*, deverão ser selecionados os pontos de controlo, isto é, as datas de interesse a simular segundo distribuições de probabilidade triangulares, ou seja, as datas de concretização das atividades precedentes às reservas (FB, PB) e o custo total do projeto, naturalmente, precedente à CB.

Para realizar a simulação recorrer-se-á a 10 000 iterações, considerado o número de iterações ideal para a obtenção de um resultado preciso [3], segundo um motor de simulação *standard*.

As dimensões das reservas de tempo irão resultar da diferença entre a data de concretização da atividade correspondente ao percentil 95 e a data de concretização inicialmente estimada para a mesma atividade (como visto na secção 2.2.3.6.3.). A adoção da SMC na determinação da dimensão da CB, seguindo a mesma lógica, implica que esta resulte da

diferença entre o custo total do projeto correspondente ao percentil 95 e o custo total inicialmente previsto para o projeto.

A Figura 3.7 exibe o exemplo de um gráfico de *output* da Simulação Monte Carlo no @Risk, onde é visível, na barra vermelha horizontal em cima, a data equivalente ao percentil 95 (12/11/2020).

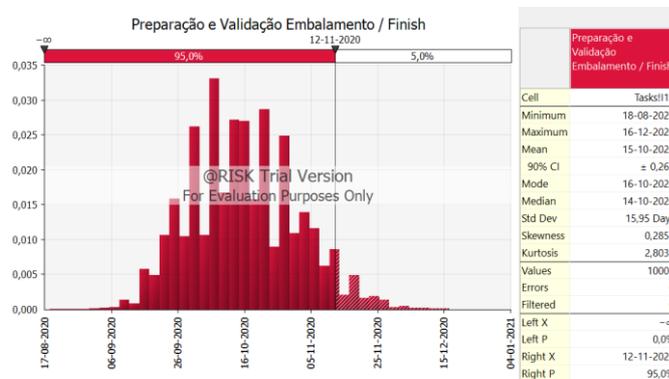


Figura 3.6 - Exemplo de *Output* da Simulação Monte Carlo através do @Risk.

9. Inserção das Reservas Dimensionadas e Re-Calendarização do Projeto

Após a obtenção das dimensões das reservas segundo a SMC na etapa anterior, os valores obtidos para as reservas de tempo serão igualados às reservas alocadas à rede de projeto da calendarização *ProChain*.

Não existindo um local para a introdução das reservas de custo nos *softwares* adotados, estas serão posteriormente utilizadas nas fórmulas de cálculo da aplicação do MHRE aos projetos, como será visto adiante.

Efetuar-se-á uma re-calendarização do projeto, novamente, em *Reschedule Project*.

3.2. Fase 2: Monitorização do Projeto com Recurso ao MHRE

É importante notar que, uma vez que a integração das metodologias CCPM e EVM, o âmbito da presente dissertação, não é, atualmente, suportada pelos *softwares* de gestão de projetos disponíveis no mercado, isto implicará um estudo separado e o devido tratamento das informações disponibilizadas pelos *softwares* sugeridos.

Há, então, que atentar que a análise efetuada no *ProChain* não englobará os custos do projeto e as Tabelas EV produzidas pelo *Microsoft Project* não terão em consideração as reservas obtidas pela CCPM-SMC. Assim, informações relativas à lógica CCPM serão extraídas do *ProChain* e informações relativas à lógica EVM serão obtidas do *Microsoft Project*.

O produto da integração destas informações para a aplicação do MHRE para a monitorização dos projetos será obtido num formato "manual" com recurso a folhas de cálculo no *Microsoft Excel*.

1. Análise das Condições Iniciais de Aplicação do MHRE

Para a monitorização do projeto de acordo com o MHRE averiguar-se-á, em primeiro lugar, as condições iniciais de aplicação do modelo ao nível da calendarização CCPM e tabela EVM obtidas na fase anterior e dos *Fever Charts* disponibilizados pelo *ProChain*. Com

isto pretende-se compreender o estado inicial do projeto, após a execução das etapas da Fase 1, identificando-se a base sobre a qual se procederá à aplicação do MHRE.

É de realçar que o *ProChain* é agora, em adição ao *Fever Chart* Tradicional anteriormente analisado na presente dissertação (Figura 2.8), detentor de um *Time Chart*, apresentado na Figura 3.8. O gráfico mostra no eixo das abcissas o tempo traduzido em datas (data de re-calendarização à esquerda no eixo, data de fim da PB à direita e data de início da PB no meio, marcada por uma linha vertical) e no eixo das ordenadas a percentagem de concretização da cadeia crítica. A percentagem de consumo da PB é indicada por uma barra sombreada vertical que se estende para a direita (nível de consumo da PB acima de 0%) ou para a esquerda (nível de consumo da PB abaixo de 0%). O nível de consumo da reserva é apresentado num segundo eixo horizontal no topo do gráfico, paralelo ao eixo principal das abcissas, indicando o consumo da PB de 0% a 100%. Em comparação com o *Fever Chart* Tradicional, o *Time Chart* disponibiliza uma nova forma de visualizar o tempo, permitindo analisar o estado da reserva e relacioná-lo com o tempo e trabalho por concretizar [97]. A Figura 3.7 exibe um *Time Chart* no início de um projeto.

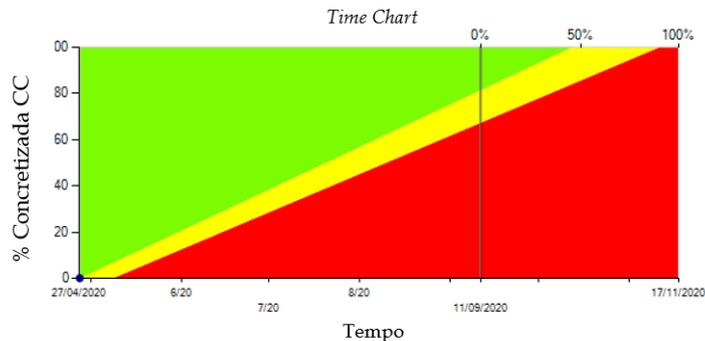


Figura 3.7 - *Time Chart* Disponibilizado pelo *ProChain*.

2. Definição dos Momentos de Reporte do Progresso do Projeto

Os momentos de reporte do progresso do projeto deverão ser definidos pela equipa de projeto por forma a proceder-se a atualizações da calendarização nas quais serão extraídas conclusões e projeções relativamente ao estado do projeto ao nível dos prazos, custos e respetivos riscos.

Para garantir a qualidade e quantidade dos dados recolhidos, a frequência e periodicidade dos momentos de reporte deverá ser adequada à dimensão do projeto.

Deverá, no entanto, atender-se a que o reporte de atividades concretizadas antecipadamente é encorajado pelos princípios de CCPM no âmbito da lógica "relay runner" (Secção 2.2.3.2.).

3. Reporte do Progresso do Projeto e Atualização da Calendarização

Consoante os momentos de reporte definidos na etapa anterior, proceder-se-á, então, à atualização da calendarização do projeto, com recurso ao comando *Update Schedule* do *ProChain*. Para o efeito, dever-se-á introduzir a percentagem de concretização (PC) das atividades nos momentos em que se dá este reporte.

Como visto, a atribuição da PC às atividades é uma tarefa complexa e arbitrária tendo em conta que, muitas vezes, é difícil precisar com exatidão a quantidade de trabalho já efetuada. Como tal, adotar-se-á a regra 50/50, referida na Secção 2.3.1.2., onde uma PC igual a 0% indica que a atividade ainda não foi iniciada, 50% indica que está em execução e 100% indica que foi concretizada.

4. Cálculo da Dimensão e Percentagem das Reservas de Tempo e de Custo, Custo Orçamentado na Concretização e Duração Total Planeada

Para a aplicação do MHRE é necessário reunir, em primeiro lugar, os seguintes dados: a PB e a CB anteriormente dimensionadas pela SMC, a Duração Total Planeada considerando a PB (BPD) obtida após a elaboração da calendarização CCPM no *ProChain*, correspondente ao somatório das durações alvo planeadas para cada atividade, e o Custo Orçamentado na Concretização sem considerar a CB (BAC₀), correspondente ao somatório dos custos alvo planeados para cada atividade, retirado da Tabela EV do *MS Project* no início do projeto.

Partindo destes dados obtêm-se, então, a Duração Total Planeada sem considerar a PB (BPD₀) (Equação 27), a Percentagem da Reserva de Tempo (BT) (Equação 28), o Custo Orçamento na Concretização considerando a CB (BAC) (Equação 21) e a Percentagem da Reserva de Custo (Bc) (Equação 22).

5. Determinação dos Valores de ES e SV_T

Posteriormente, será efetuada a determinação dos valores de ES (Secção 2.3.4.), como forma de solucionar as limitações associadas ao SV e SPI da EVM discutidas na Tabela 2.4, para a obtenção dos parâmetros de duração do MHRE.

Assim, é necessária a recolha dos valores de PV e EV em cada atualização da calendarização, extraídos da tabela EV do *Microsoft Project*.

Sugere-se a obtenção de ES através da elaboração de um gráfico com base nas Equações 12 e 13, semelhante ao da Figura 2.10, com recurso ao *Microsoft Excel*. Pela análise das curvas do gráfico é possível determinar o momento no qual o EV deveria ter igualado ao PV, obtendo-se, com isto, o valor de ES.

A partir de ES é obtido o SV_T através da Equação 14.

6. Determinação dos Parâmetros de Custo e de Duração e Percentagens de Consumo das Reservas e de Trabalho Realizado

Nesta etapa, perante os valores obtidos nas etapas 4 e 5, deverão ser determinados os restantes parâmetros do MHRE identificados nas tabelas 2.7 e 2.8.

A percentagem consumida da reserva de tempo (P_T) e o trabalho concretizado com base no tempo (W_T), obtidas pelas Equações 18 e 19, respetivamente, deverão igualar os pontos de reporte obtidos no *Fever Chart* do *ProChain*. A percentagem de reserva de custo (P_C) e o trabalho concretizado com base no custo (W_C), irão permitir a inclusão de uma linha relativa ao estado dos custos no *Fever Chart*.

Serão calculados os índices de desempenho do custo (CPI) e da calendarização (SPI_T), segundo as Equações 23 e 29, reciprocamente, que permitirão verificar se os custos e prazos foram ou não ultrapassados de acordo com a lógica EVM.

Adicionalmente, serão determinadas a Reserva de Custo Ajustada (CBA) e a Reserva de Projeto Ajustada (PBA), obtidas pelas Equações 25 e 31, respetivamente, em cada atualização do projeto.

7. Gestão das Reservas de Tempo e de Custo do Projeto

O MHRE sugere a utilização de um *Fever Chart* que permita visualizar, simultaneamente, o estado do projeto ao nível dos prazos e custos. No entanto, tendo em conta que o *ProChain* não permite, ainda, uma análise integrada dos custos e prazos do projeto, será introduzida no gráfico, de forma "manual", uma linha representativa do progresso dos custos, esperando-se obter um *Fever Chart* com o aspeto do apresentado na Figura 2.12. Para o efeito, recorrer-se-á aos parâmetros PC e WC, obtidos na etapa 6.

Nesta etapa será efetuada, então, a análise dos resultados exibidos pelo *Fever Chart*. A lógica de leitura e interpretação dos custos no *Fever Chart* deverá seguir a mesma definida por CCPM no que toca ao sistema verde-amarelo-vermelho e respetivas medidas de atuação (ver Tabela 2.6).

8. Estimativa do Custo na Concretização

Nesta etapa será efetuada a análise comparativa dos resultados obtidos para a estimativas do custo na concretização face ao custo efetivamente despendido, tornando possível extrair conclusões relativamente ao nível de eficiência deste indicador de previsão.

O EAC₀ será obtido pela Equação 24 em cada momento de reporte do progresso do projeto após o controlo do nível de consumo da CB. O ajuste da CB (CBA) nos momentos de controlo será obtido pela Equação 25. O EAC, calculado pela Equação 26, resulta, assim, na combinação dos parâmetros de desempenho e risco, esperando-se o aumento a eficiência e precisão deste parâmetro.

9. Estimativa da Duração na Concretização

Nesta etapa será efetuada a análise comparativa dos resultados obtidos para a estimativas da duração na concretização face à data de concretização do projeto, tornando possível extrair conclusões relativamente ao nível de eficiência deste indicador de previsão.

O EDAC₀ será determinado de acordo com a Equação 30 em cada momento de reporte do progresso do projeto após o controlo do nível de consumo da PB. O ajuste da PB (PBA) nos momentos de controlo será obtido pela Equação 31. O EDAC, calculado pela Equação 32, tal como o EAC, tornar-se-á mais eficiente pela combinação dos parâmetros de desempenho e risco.

APLICAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA: CASOS DE ESTUDO

O presente capítulo inicia-se com a contextualização da envolvente na qual se deu uma parte importante da elaboração do presente estudo, através da elaboração do estado da arte dos projetos na indústria automóvel, e, seguidamente, pela caracterização da empresa de acolhimento. Sucede-se a aplicação da metodologia previamente proposta no Capítulo 3 a dois casos de estudo desenvolvidos no ambiente descrito, finalizando-se com a discussão dos resultados globais obtidos, efetuando o paralelo entre o produto dos casos de estudo desenvolvidos no presente capítulo e os fundamentos teóricos do Capítulo 2.

4.1. Projetos na Indústria Automóvel

Com o objetivo de satisfazer a mobilidade, umas das necessidades humanas mais manifestadas, a indústria automóvel tem sido um dos setores impulsionadores do desenvolvimento de produtos e de produção industrial, verificando-se a evolução de uma produção em massa com poucas variantes de produto para a conceção de uma enorme variedade de veículos [98].

Perante a globalização e o ambiente competitivo deste setor (e visto que o conceito de novidade se torna rapidamente ultrapassado como consequência da geração e lançamento permanente de inovações no mercado), as organizações da indústria automóvel procuram responder rapidamente às necessidades dos clientes, disponibilizando produtos de qualidade elevada a preços competitivos e tempo de colocação dos produtos no mercado reduzido [99]-[103]. Com isto em vista, e para melhorar a sua capacidade de inovação e adaptação, bem como de estruturação do trabalho a executar, estas organizações recorrem, então, ao desenvolvimento de projetos [7], [104], [105].

4.2. Projetos de Inovação

Sem a criação de novos produtos as empresas não teriam capacidade para alcançar vantagem competitiva no mercado, pois os produtos atuais tornar-se-iam gradualmente ultrapassados face à evolução das necessidades dos clientes e à geração e introdução no mercado de novos produtos pela concorrência [106]. Os Projetos de Inovação ou Projetos de

Desenvolvimento de Novos Produtos (NPD) são cruciais para as organizações na medida em que contribuem substancialmente para o seu crescimento e geração de lucro [102].

Um projeto NPD desenvolve-se segundo uma sequência de etapas executadas para a conceção, *design* e comercialização de um produto [106], [107]. Por forma a definirem-se os processos de desenvolvimento do produto e as medidas planeadas para a melhoria da qualidade do produto, isto é, o Planeamento Avançado da Qualidade do Produto (APQP), definiu-se a abordagem representada na Figura 4.1. A primeira fase do processo, iniciação do conceito e aprovação, ocorre durante o planeamento. Na segunda fase, aprovação do programa, é verificada a viabilidade do produto. A terceira fase foca-se no desenvolvimento dos primeiros protótipos e na verificação e validação do produto e do processo produtivo, pelo que, o design do produto deve estar praticamente finalizado nesta fase. Na quarta fase são produzidas peças com ferramentas de produção de série, culminando no *pilot* ou teste da produção em série. O lançamento do produto resulta no início da produção (SOP), que deve cumprir com os requisitos de quantidade e qualidade esperados para as peças produzidas [108], [109].

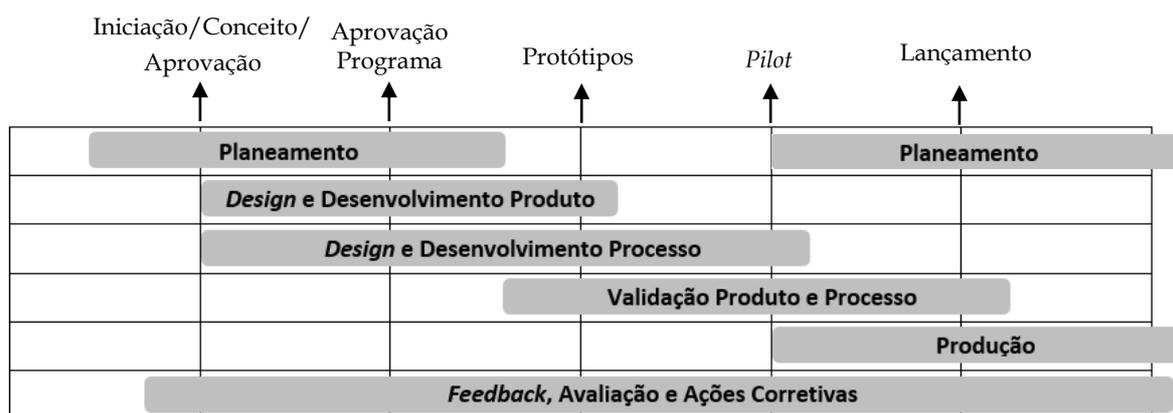


Figura 4.1 - Fases do Projeto segundo APQP.
Adaptado de: [109].

Por envolverem frequentemente novas tecnologias e novos processos, os projetos NPD apresentam um nível de incerteza elevado [110]. Esta incerteza ameaça a eficácia da gestão de projetos, e, face à complexidade associada à rede de projeto, é notória a dificuldade do gestor do projeto em detalhar as atividades a desenvolver, a sequência de realização, as interdependências e respetivas durações, antes do início da fase de execução do projeto [22], [111], [112]. Isto implica falta de conhecimento relativamente ao âmbito completo do projeto na fase inicial. Assim, para projetos NPD, as técnicas de planeamento tradicionais revelam ser insuficientes no que toca a lidar com a incerteza do ambiente de negócio em que os projetos decorrerem, falhando, frequentemente, na elaboração de planeamentos realistas [60], [111].

Um dos mais importantes fatores críticos de sucesso é a correta previsão do custo e duração do projeto [60]. Apesar do esforço das organizações, muitos projetos NPD falham no cumprimento dos prazos de entrega ou dos objetivos financeiros [107].

4.3. Projetos de Alteração de Engenharia

Quando a gestão da inovação não envolve a introdução de produtos totalmente novos no mercado, mas sim a implementação de modificações a produtos já existentes no portfólio da organização, trata-se de Pedidos de Alteração de Engenharia (ECR) [113]. Estas alterações podem surgir de novos requisitos exigidos pelo cliente ou pela própria organização face à identificação de uma necessidade de mudança, podendo ser aplicadas a produtos, componentes de produtos, processos, desenhos, *softwares*, entre outros [114], [115].

ECR são abordados como uma oportunidade para implementar inovação e criatividade. Surgem frequentemente no ciclo da melhoria contínua dos sistemas produtivos como forma de otimizar produtos e processos, prevenindo erros e possibilitando a customização [115].

Geralmente, o processo inicia-se com a abertura de um ECR no sistema, incluindo a descrição do motivo da alteração (*change trigger*), os componentes afetados e o nível de prioridade da alteração (conveniente, obrigatória ou imediata). Seguidamente, são identificadas as potenciais soluções para o pedido de alteração. É efetuada uma avaliação dos riscos e impactos para cada solução por forma a priorizá-las ao nível da viabilidade. Face a esta análise, a solução considerada mais viável é selecionada e sujeita a aprovação pelo painel responsável, passando-se à sua implementação em caso de aceitação. Finalmente, o processo de alteração é revisto, a solução é avaliada e as lições aprendidas são formalizadas (Figura 4.2) [114], [115].

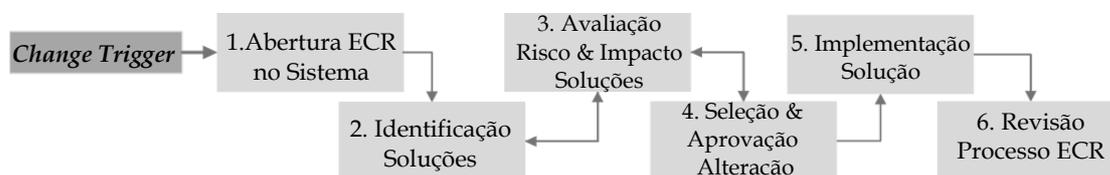


Figura 4.2 - Processo Genérico ECR.
Adaptado de [115].

Para o sucesso do processo ECR a formulação do problema deve ser corretamente elaborada e a identificação da solução deve ter em vista o mínimo de modificações possível [115].

4.4. Sistema *Quality-Gates*

A lógica dos *Stage-Gates* (SG) ou *Quality-Gates* (QG) é amplamente adotada em projetos NPD, tendo como objetivos diminuir as hipóteses de falha do projeto e aumentar a probabilidade de sucesso do lançamento do novo produto. Assim, a aplicação do modelo SG (ou QG) procura atingir os objetivos estratégicos e a eficácia geral do projeto. Não se foca, no entanto, na eficiência do projeto (tempo e custos), mas sim em ultrapassar os *gates* que determinam os requisitos de qualidade do cliente ou da organização [108], [116].

O projeto é, então, dividido em diferentes fases separadas por *gates* para os quais são estabelecidos, no início do projeto, entregáveis específicos [108], [117]. Estes entregáveis definem um determinado nível de maturidade esperado que permite identificar, monitorizar e

avaliar o progresso do projeto [118]. Desta forma, os QG são *milestones* onde é efetuada uma avaliação minuciosa do produto e do processo, com o objetivo de evitar o avanço do projeto para uma fase seguinte no caso da ocorrência de falhas no cumprimento dos requisitos pré-estabelecidos [119]. Assim, um *gate* representa um ponto de decisão no tempo e sempre que não são cumpridos os requisitos do *gate*, o processo tem de parar e o produto tem de sofrer alterações e ser testado novamente. Somente quando se verifica a conformidade com estes requisitos o projeto pode continuar [120]. Se não forem verificados os entregáveis previstos, o QG pode ser adiado, e, perante esta situação, o projeto pode sofrer uma paragem ou ser cancelado. Assim, por forma a evitar-se a não ultrapassagem de um QG, a revisão dos entregáveis a apresentar é feita continuamente no decorrer do projeto, assegurando a possibilidade de intervir atempadamente antes da chegada ao *gate* [118].

A abordagem QG e as técnicas de gestão de projetos podem ser integradas para a definição, monitorização e controlo das atividades, planeamento dos entregáveis e gestão do risco e incerteza ao longo de todo o ciclo de vida do produto [116].

4.5. Empresa de Acolhimento

Segue-se, então, a apresentação e caracterização da empresa onde se deu o desenvolvimento dos casos de estudo.

4.5.1. Hitachi Astemo

A Hitachi Astemo (*Advanced Sustainable Technologies for Mobility*) surgiu, a 1 de janeiro de 2021, como parte integrante da entidade Hitachi Automotive Systems Ltd., pertencente ao Grupo Hitachi.

A missão da Hitachi Astemo passa pelo fornecimento de soluções de mobilidade avançadas e líderes no mercado ao nível da sustentabilidade ambiental, segurança e conforto, procurando a satisfação dos seus clientes. Especializa-se em sistemas de controlo de transmissão e segurança, sistemas de gestão de motores, motores elétricos e soluções de travagem para a indústria automóvel, atuando no desenvolvimento, produção, comercialização e prestação de serviço de componentes para o setor automóvel e de sistemas e máquinas industriais.

4.5.2. Produto e Área Produtiva

A Hitachi Astemo desenvolve e produz diferentes sistemas de travões automóveis.

Na Hitachi Astemo Abrantes, SA. ocorre a produção do Travão Tambor e de outros produtos conexos. O *layout* da área produtiva da fábrica de Abrantes (AbrP) é apresentado a Figura 4.3.

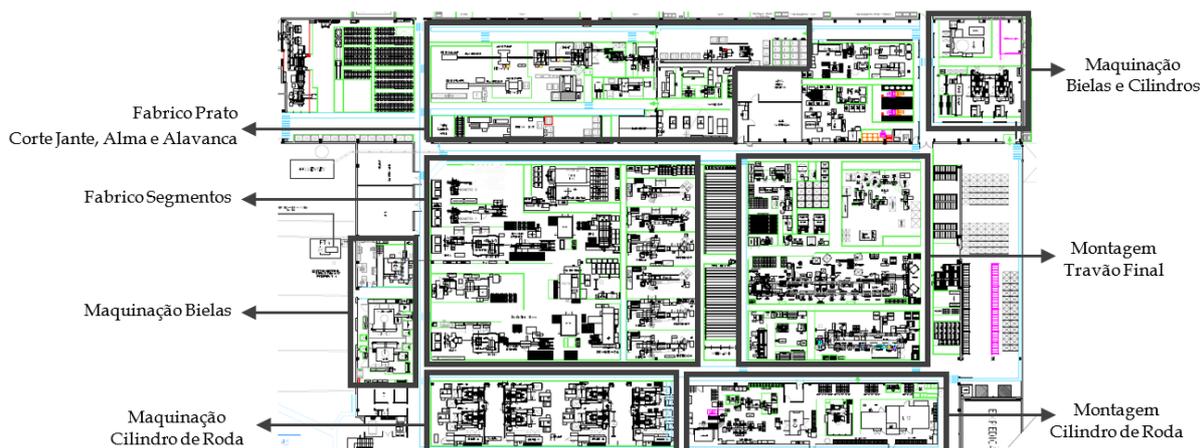


Figura 4.3 - Layout da Fábrica de Abrantes.

O Travão Tambor que se situa no eixo traseiro dos veículos, é utilizado por estes para desacelerar, parar e travar. Na Figura 4.4 são apresentados os componentes e interligações do Travão Tambor.

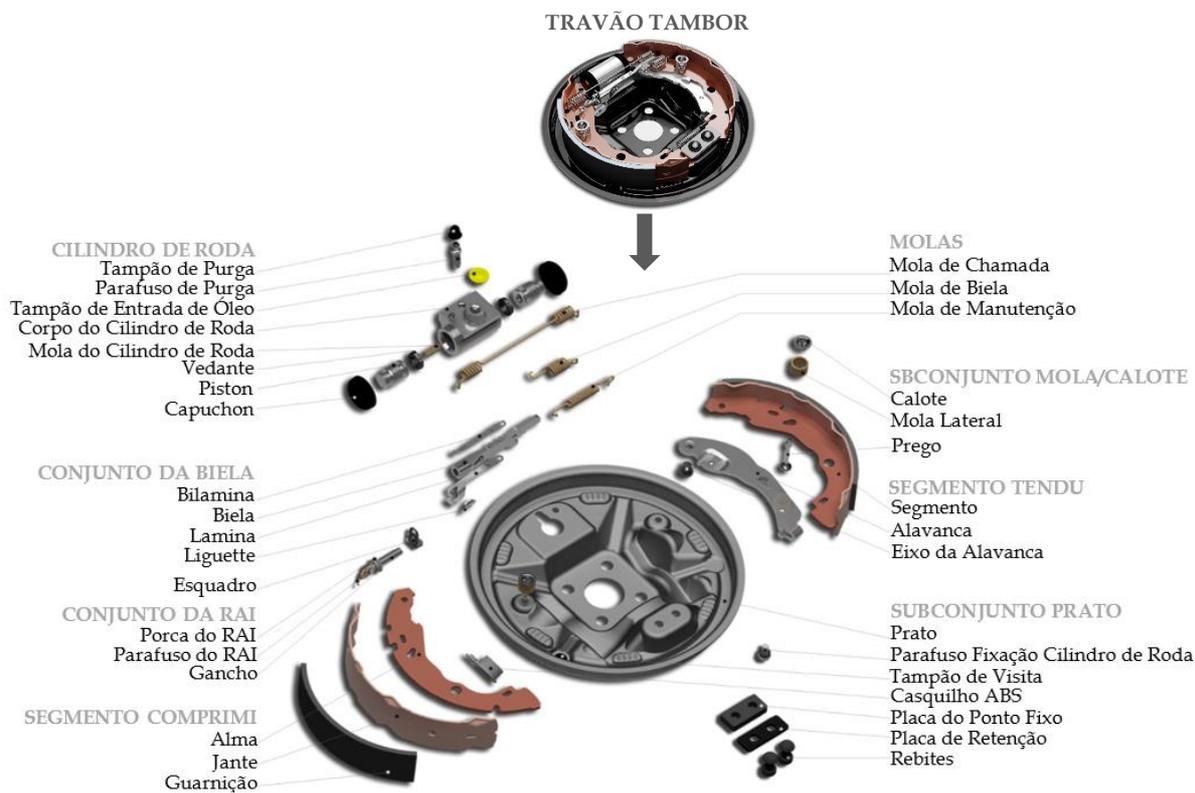


Figura 4.4 - Componentes do Travão Tambor.

O mapeamento simplificado do processo produtivo do Travão Tambor na AbrP é apresentado no Anexo A, incluindo o *input*, descrição do processo e respetivo *output*.

4.5.3. Oportunidade de Melhoria Identificada

O processo de gestão de projetos na AbrP segue as abordagens das Figuras 4.1 e 4.2 consoante o tipo de projeto em desenvolvimento. Os projetos são geridos com recurso ao *Microsoft Project* e é utilizada a metodologia tradicional CPM, um modelo determinístico de

gestão de projetos. O foco reside no caminho crítico, isto é, a sequência de atividades mais longa do projeto que define a sua duração total, sem considerar a variabilidade associada às durações das atividades, e, conseqüentemente, o risco de derrapagem dos prazos do projeto, ou as limitações relativas aos recursos.

Como oportunidade de melhoria, e com o objetivo de acrescentar valor ao processo de gestão de projetos da AbrP, identificou-se a utilidade de atualização da metodologia de gestão de projetos aplicada pela empresa no momento de realização da presente investigação.

Esta proposta de renovação trata a adoção de um modelo que permita monitorizar, simultaneamente, os tempos e os custos dos projetos, contabilizando o risco de derrapagem da calendarização e o risco de ultrapassagem do orçamento previsto para o projeto, de forma a otimizar o processo de gestão dos projetos através da monitorização integrada destes dois princípios fundamentais (tempo e custo). Acrescenta-se, ainda, a consideração pelas limitações associadas aos recursos que, evidentemente, influenciam o modo de execução do projeto.

Assim, tal como exposto no Capítulo 3, propõe-se a adoção do Modelo Híbrido Risco-Eficiência para a gestão de projetos.

4.5.4. Apresentação dos Casos de Estudo

Para o desenvolvimento dos casos de estudo e aplicação da metodologia proposta, anteriormente apresentada no Capítulo 3, procedeu-se ao estudo de dois projetos na empresa Hitachi Astemo Abrantes, SA.

O primeiro projeto analisado, denominado de Projeto A, consiste num projeto NPD (Secção 4.2.), onde foi adotado o Sistema QG (Secção 4.4.), o que na empresa equivale a QGC (*Quality-Gate Customer*).

No caso do segundo projeto, denominado de Projeto C, a sua iniciação e desenvolvimento foram acompanhados no período em que se deu o estágio curricular na empresa. Este projeto trata a alteração de um componente num produto da empresa, sendo, como tal considerado um ECR (Secção 4.3.), o que na empresa adota a designação de CHM (*Change Management*).

4.6. Aplicação da Proposta Metodológica

Proceder-se-á, em seguida, à aplicação da metodologia proposta no Capítulo 3 aos dois projetos em análise na empresa.

4.6.1. Fase 1: Calendarização dos Projetos

Seguidamente, são apresentadas as Etapas, de 1 a 9, executadas para a obtenção da calendarização dos projetos de acordo com os princípios de CCPM, adotando a SMC, e da *Baseline* do projeto com os parâmetros, índices de variação, indicadores de desempenho e de previsão da EVM, para posterior comparação entre o previsto e o ocorrido na fase de monitorização do projeto.

1. Construção da Rede de Projeto

A construção da rede de projeto, foi, então, efetuada com recurso ao *software Microsoft Project Professional 2019*, sendo que a abordagem adotada variou entre os Projetos A e C.

i. Projeto A

No caso do projeto A, por ser um projeto já encerrado pela empresa, foi efetuada a análise da rede de projeto inicialmente definida pelo coordenador dos projetos por forma a compreender-se o âmbito do projeto. Perante esta análise procedeu-se às alterações necessárias, face ao histórico das relações de precedência e dos recursos alocados a cada atividade e o projeto foi calendarizado em ALAP.

Por seguir o modelo QG, e por forma a aplicarem-se os princípios de CCPM, o Projeto A foi dividido em três fases diferentes, consideradas como três subprojectos do projeto principal, sendo que cada uma dessas fases termina num QGC (*Quality Gate Customer*).

ii. Projeto C

Para o projeto C procedeu-se à construção preliminar da rede de projeto. Primeiramente, foi elaborada a listagem das atividades a desenvolver ao longo do projeto, que foram programadas da atividade inicial para a atividade final. Seguidamente, foi estabelecida a lógica de realização dessas atividades de acordo com as interdependências entre as mesmas e, finalmente, foram alocados os recursos necessários à sua execução.

2. Estimativa das Durações das Atividades

Perante a experiência dos estimadores (coordenador de projeto e equipa de projeto), e tendo em consideração o histórico dos projetos na empresa, foi efetuada a estimativa das durações mínima admitida ou otimista, mais provável (considerada, neste caso, equivalente à duração alvo) e máxima admitida ou pessimista.

3. Resolução dos Conflitos entre Atividades por Recursos

Os conflitos das atividades pelos recursos identificados nos projetos foram solucionados através da introdução de precedências entre as atividades que, por adiamento ou antecipação do início de uma ou mais atividades em conflito, resultaram no nivelamento da carga. Nesta etapa, obteve-se, então, a calendarização inicial dos projetos visível no Anexo B para o caso do Projeto C.

4. Estimativa dos Custos das Atividades

As estimativas adotadas para os custos das atividades (otimista, mais provável e pessimista) não são representativas da realidade da Hitachi Astemo Abrantes, SA., servindo apenas para exemplificar o funcionamento do modelo proposto.

As estimativas dos custos das atividades foram obtidas com base em informações recolhidas no *website* do PORDATA (<https://www.pordata.pt/Subtema/Portugal/Sa%C3%A1rios-11>) e em estudos desenvolvidos pela *Michael Page*

(<https://www.michaelpage.pt/not%C3%ADcias-estudos/estudos/estudos-de-remunera%C3%A7%C3%A3o>) e pelo Instituto Superior Técnico (https://oe.tecnico.ulisboa.pt/files/sites/24/relatorio_avaliacao_salarial_diplomados_IST_vf.pdf).

5. Definição da *Baseline* do Projeto

Após a estimativa dos custos das atividades do projeto procedeu-se, então, à definição da *Baseline* do projeto para a obtenção da Tabela EV no início do projeto.

6. Identificação da Cadeia Crítica

A cadeia crítica, identificada pelo *ProChain* correspondente à cadeia de atividades mais longa do projeto após a eliminação dos conflitos existentes entre as atividades pelos recursos, corresponde ao caminho vermelho no Diagrama de *Gantt* (Anexo E). Adicionalmente, foi introduzida a PB no final da cadeia crítica.

7. Inserção de Reservas Nulas

As FB foram introduzidas sempre que uma cadeia não crítica do projeto alimentou a cadeia crítica, prevenindo, deste modo, que atrasos na concretização das cadeias não críticas prejudicassem a duração total do projeto.

8. Dimensionamento das Reservas de Tempo e de Custo

Após a introdução das reservas na rede de projeto, procedeu-se ao seu dimensionamento.

i. Reservas de Tempo

Visto que em CCPM as durações das atividades seguem uma função de probabilidade, para a determinação da dimensão das reservas de tempo através da aplicação da SMC, foram atribuídas às durações alvo distribuições triangulares (células sombreadas a azul no Anexo C). Para este efeito, recorreu-se às durações otimista, mais provável e pessimista previamente estimadas para cada atividade. Seguidamente, foram definidos os pontos de controlo de interesse a simular (células sombreadas a vermelho no Anexo C), isto é, as datas de fim das atividades antecedentes às reservas nulas obtidas através do *ProChain*. A simulação nesses pontos permitiu obter as datas de fim das atividades em questão com uma confiança de 95% (D95%) e a dimensão das reservas corresponde ao resultado da diferença entre essas datas e a data inicialmente prevista para a concretização da atividade.

No Anexo C é visível o *layout* da folha de cálculo em *Microsoft Excel* para o Projeto C, obtida após o dimensionamento das reservas de tempo. Na Tabela 4.1 são apresentados os resultados da SMC para os Projetos A e C.

CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA: CASOS DE ESTUDO

Tabela 4.1 - Dimensão Simulada das Reservas de Tempo, em dias, para os Projetos A-D.

Projeto A		Projeto C	
Reserva	Dimensão (Dias)	Reserva	Dimensão (Dias)
QGC0		FB1	7
PB	5	FB2	11
QGC4		FB3	7
FB1	4	PB	3
FB2	5		
FB3	5		
FB4	4		
FB5	5		
FB6	3		
FB7	5		
FB8	2		
PB	5		
QGC5			
FB	5		
PB	5		

ii. Reservas de Custo

Também as CB foram obtidas com recurso à SMC, como visível no Anexo D, através de distribuições triangulares para as quais foram utilizadas as estimativas de custo mínima, mais provável e máxima. A dimensão da CB resulta da diferença entre o custo total do projeto obtido da simulação com uma confiança de 95% ($BAC_{95\%}$) e o custo total inicialmente previsto para o projeto BCA_0 .

A Tabela 4.2 exhibe os resultados obtidos para as CB dos Projetos A e D com recurso à SMC.

Tabela 4.2 - Dimensão Simulada das Reservas de Custo, em euros, para os Projetos A-D.

Projeto A		Projeto C	
Reserva	Dimensão (€)	Reserva	Dimensão (€)
QGC0		CB	469
CB	80		
QGC4			
CB	554		
QGC5			
CB	84		

9. Inserção das Reservas Dimensionadas e Re-Calendarização do Projeto

As reservas de tempo nulas alocadas pelo *ProChain* foram igualladas aos valores da Tabela 4.1. No que toca às reservas de custo, uma vez que o *ProChain* não considera os custos do projeto e que a Tabela EV do *Microsoft Project* não contabiliza as reservas obtidas pela lógica CCPM, as CB da Tabela 4.2 serão utilizadas, de forma "manual", com recurso ao *Microsoft Project* na aplicação do MHRE na Fase 2.

4.6.2. Fase 2: Monitorização dos Projetos

Após a elaboração da calendarização segundo CCPM na Fase 1, efetuou-se a aplicação do MHRE aos projetos A e C.

Assim, será agora apresentado o modo de aplicação detalhado e respetivos resultados do MHRE ao Subprojecto A-QGC0 e, seguidamente, serão exibidos os resultados da aplicação do mesmo modelo ao Projeto C.

• SUBPROJECTO A-QGC0

1. Análise das Condições Iniciais de Aplicação do MHRE

i. Calendarização

No caso do Subprojecto A - QGC0, verifica-se que a calendarização, obtida com base nos princípios de CCPM (resultado da execução das etapas da Secção 4.6.1.), é constituída por uma única cadeia crítica composta por 3 atividades e 1 *milestone* final (*Quality Gate Customer 0*). Na Figura 4.5, correspondente à calendarização do subprojecto em estudo, é visível, no Diagrama de *Gantt*, a cadeia crítica a vermelho.

Visto que os planos de base aprovados para os projetos da empresa pressupõem que os QGC são ultrapassados sem necessidade de retrabalho nas atividades do planeamento ou de adiamento das fases dos projetos por não cumprimento dos requisitos associados ao evento, a variabilidade associada ao QGC0 não foi considerada no dimensionamento da PB. Assim, a datas previstas para a finalização mais cedo e mais tarde do subprojecto são, respetivamente, 30/04/18 e 07/05/18, o que corresponde a uma PB de dimensão igual a 5 dias (Tabela 4.1) para a gestão da derrapagem dos prazos do subprojecto.

ID	Task Mode	Atividades	Duração Alvo	Duração Pessimista	Tipo de Restrição	Início	Fim	Precedências	Recursos	Atividade Crítica	15	17	19	21	23	25	27	29	01	03	05	07	09	11
1		Planeamento	16 days	0 days	As Soon As Possible	Mon 16/04/18	Mon 07/05/18			Yes														
2		Project Charter	5 days	10 days	As Late As Possible	Mon 16/04/18	Fri 20/04/18		Gestor Projeto	Yes														
3		KOM	1 day	1 day	As Late As Possible	Mon 23/04/18	Mon 23/04/18	2	Gestor Projeto	Yes														
4		Avaliação de Riscos	5 days	10 days	As Late As Possible	Tue 24/04/18	Mon 30/04/18	3	Gestor Projeto	Yes														
5		QGC0	0 days	0 days	As Late As Possible	Mon 30/04/18	Mon 30/04/18	4	Coordenador Pr	Yes														
6		PB QGC0-7	5 days	0 days	Must Finish On	Tue 01/05/18	Mon 07/05/18	5		Yes														

Figura 4.5 - Calendarização no Início do Subprojecto A - QGC0.

ii. Tabela EV

Após a introdução dos custos dos recursos no *MS Project* e o estabelecimento da *Baseline* do subprojecto, que permitirá a comparação entre o planeado e o ocorrido para a realização da análise EVM, obtém-se a Tabela EV (Figura 4.6), observando-se que $BAC_0 = 149,6€$ e $BAC = 149,6€ + CB = 230,1€$, que representam, respetivamente, os custos mínimo e máximo planeados para todo o subprojecto, onde $CB = 80,5€$ (Tabela 4.2).

CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA: CASOS DE ESTUDO

Os valores de EAC equivalem aos de BAC dado que ainda não foram considerados custos extra ao trabalho dos recursos, pelo que a Variação na Concretização (VAC) é nula e, como o subprojecto ainda não foi iniciado, o trabalho concretizado é, naturalmente, de 0%.

ID	Atividades	PV (BCWS)	EV (BCWP)	AC (ACWP)	SV	CV	EAC	BAC	VAC	SPI	CPI	% Trabalho Concretizado	Custo Extra	15	17	19	21	23	25	27	29	01	03	05	07	09	11	13		
1	Planeamento	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€149,60	€149,60	€0,00	0	0	0%	€0,00																	
2	Project Charter	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€68,60	€68,60	€0,00	0	0	0%	€0,00																	
3	KOM	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€13,60	€13,60	€0,00	0	0	0%	€0,00																	
4	Avaliação de Riscos	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€68,00	€68,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																	
5	QGC0	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																	
6	PB QGC0-7	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€80,50	€80,50	€0,00	0	0	0%	€0,00																	

Figura 4.6 - Tabela EV no Início do Subprojecto A - QGC0.

iii. Fever Charts

Os *Fever Charts*, disponibilizados pelo *ProChain*, no início do Subprojecto A - QGC0 são apresentados na Figura 4.7, onde a percentagem concretizada da cadeia crítica e a percentagem consumida da PB são iguais a zero à data de 16/04/18 (início do subprojecto).

São exibidas as datas previstas para o término do projeto (100% da cadeia crítica concretizada) face ao comportamento da linha de reporte, segundo as três zonas dos gráficos. No *Time Chart* (à direita na Figura 4.7), a distância no eixo das abcissas entre a 01/05/18 e 07/05/18 representa a dimensão da PB, sendo visível, no eixo paralelo em cima, as percentagens de consumo de reserva correspondentes a cada data.

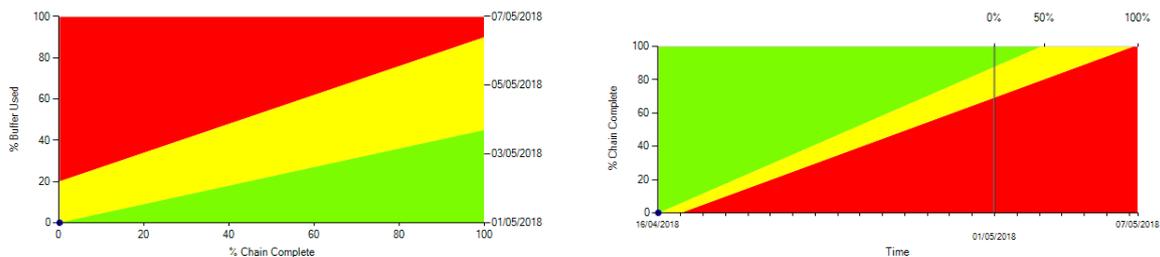


Figura 4.7 - *Fever Chart Traditional* (à esquerda) e *Time Chart* (à direita) no Início do Subprojecto A - QGC0.

2. Definição dos Momentos de Reporte do Progresso do Projeto

Para o controlo do subprojecto ao nível dos prazos e dos custos, foram definidos três momentos de reporte de progresso em *Update Schedule*, previstos, inicialmente, para as 17 horas dos dias 20 de abril, 27 de abril e 4 de maio de 2018, isto é, atualizações de periodicidade semanal (à sexta-feira). A 3ª atualização acabou, no entanto, por sofrer uma antecipação para dia 2 de maio de 2018, efeito da concretização do subprojecto mais cedo do que esperado, isto é, antes do consumo total da PB, como será visto adiante.

3. Reportar o Progresso e Atualizar a Calendarização

i. 1ª Atualização

No momento em que é efetuada a 1ª Atualização da Calendarização, a atividade "Project Charter" está 100% concretizada, tendo sido iniciada e finalizada nas datas planeadas. Assim, a reserva não foi consumida, como é visível no diagrama de *Gantt* da Figura 4.8.

ID	Task Mode	Atividades	Duração Alvo	Duração Pessimista	Tipo de Restrição	Início	Fim	Precedências	Recursos	15	17	19	21	23	25	27	29	01	03	05	07	09	11	13	
1		Planeamento	16 days	0 days	As Soon As Possible	Mon 16/04/18	Mon 07/05/18																		
2	✓	Project Charter	5 days	10 days	As Late As Possible	Mon 16/04/18	Fri 20/04/18		Gestor Projeto																
3		KOM	1 day	1 day	As Late As Possible	Mon 23/04/18	Mon 23/04/18	2	Gestor Projeto																
4		Avaliação de Riscos	5 days	10 days	As Late As Possible	Tue 24/04/18	Mon 30/04/18	3	Gestor Projeto																
5		QGC0	0 days	0 days	As Late As Possible	Mon 30/04/18	Mon 30/04/18	4	Coordenador Pr																
6		PB QGC0-7	5 days	0 days	Must Finish On	Tue 01/05/18	Mon 07/05/18	5																	

Figura 4.8 - Calendarização do Subprojecto A - QGC0 após a 1ª Atualização.

ii. 2ª Atualização

No momento em que é realizada a 2ª Atualização da Calendarização, a atividade "KOM" também se encontra 100% concretizada, cumprindo, tal como a atividade anterior, com os datas de início e de fim planeadas. A atividade "Avaliação de Riscos" já foi iniciada de acordo com a data prevista, mas ainda não foi finalizada. Por forma a representar a atividade em execução, e por motivos de simplicidade, considerou-se que 50% do trabalho estava concluído, o que o *ProChain* considera um atraso na execução da atividade (no momento da 2ª atualização a atividade em causa deveria estar mais do que 50% concretizada para cumprir com o planeado) e consequentemente é consumida parte da reserva, visível no diagrama de *Gantt* da Figura 4.9.



Figura 4.9 - Calendarização do Subprojecto A - QGC0 após a 1ª Atualização.

iii. 3ª Atualização

No momento em que é efetuada a 3ª atualização da calendarização, todas as atividades e a *milestone* do projeto estão concretizadas. No entanto, visto que a finalização da atividade "Avaliação de Riscos" se atrasou em 1 dia, ocorreu, novamente, consumo da PB, visível no diagrama de *Gantt* da Figura 4.10. É após esta última atualização que se tem conhecimento da duração total do projeto, igual a 13 dias.

Uma vez que o subprojecto foi finalizado antes da data prevista para a 3ª atualização (4 de maio de 2018), procedeu-se ao reporte da antecipação da concretização do sobprojecto (lógica "relay runner") de modo a evitar-se o desperdício da PB.



Figura 4.10 - Calendarização do Subprojecto A - QGC0 após a 3ª Atualização.

4. Cálculo da Dimensão e Percentagem das Reservas de Tempo e de Custo, Custo Orçamentado na Concretização e Duração Total Planeada

O ponto de partida para a aplicação do modelo proposto é a reunião dos dados presentes na Tabela 4.3, apresentada em seguida. As dimensões das reservas de tempo (PB) e de custo (CB) são retiradas das Tabelas 4.1 e 4.2, respetivamente, após a Simulação para a Melhoria da Calendarização, a Duração Total Planeada considerando a PB (BPD) é obtida após a elaboração da calendarização CCPM no *ProChain* (Figura 4.5), correspondente ao somatório das durações alvo planeadas para cada atividade, e o Custo Orçamentado na Concretização sem considerar a CB (BAC₀), correspondente ao somatório dos custos alvo planeados para cada atividade, é retirado da Tabela EV do *MS Project* no início do subprojecto (Figura 4.6). Partindo destes dados obtém-se, então, a Duração Total Planeada sem considerar a PB (PBD₀), a Percentagem da Reserva de Tempo (B_T), o Custo Orçamento na Concretização considerando a CB (BAC) e a Percentagem da Reserva de Custo (B_c).

CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA: CASOS DE ESTUDO

Tabela 4.3 - Dimensão e Percentagem das Reservas de Tempo e de Custo, Custo Orçamentado na Concretização e Duração Total Planeada para o Subprojecto A - QGC0.

Duração				Custos			
BPD ₀	PB	BPD	BT	BAC ₀	CB	BAC	Bc
11 dias	5 dias	16 dias	45%	149,60 €	80,50 €	230,10 €	54%

5. Determinação dos Valores de ES e SV_T

Subsequentemente, foram determinados os valores de ES em cada atualização da calendarização. Para isso, a partir das tabelas EV obtidas no *MS Project* em cada atualização, extraíram-se os valores de PV e EV, visíveis na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Valores de C, PV e EV para cada Atualização.

Atualização	C	PV	EV
-	0 dias	0 €	0 €
1 ^a	5 dias	68,0 €	68,0 €
2 ^a	10 dias	136,0 €	115,6 €
3 ^a	12 dias	149,6 €	149,6 €

Na 1^a atualização (C = 5 dias) os valores de EV e de PV são equivalentes, pelo que o ES igualará ao C, o que remete para o facto de o subprojecto ter, até este momento, decorrido conforme planeado. No entanto, na 2^a atualização (C=10), verifica-se que os valores de EV e de PV diferem. Por este motivo, foi necessário determinar o momento em que o EV atual (isto é, no momento AT), no valor de 115,6 €, deveria ter igualado ao PV. Para isso, com recurso à Tabela 4.4 elaborou-se em *Excel* o gráfico presente na Figura 4.11, que permitiu determinar o ES no momento da 2^a atualização, igual a 8,5 dias. Na 3^a atualização (C = 12 dias), os valores de EV e de PV são, novamente, equivalentes (ES = C) já que o subprojecto é, neste momento, finalizado.

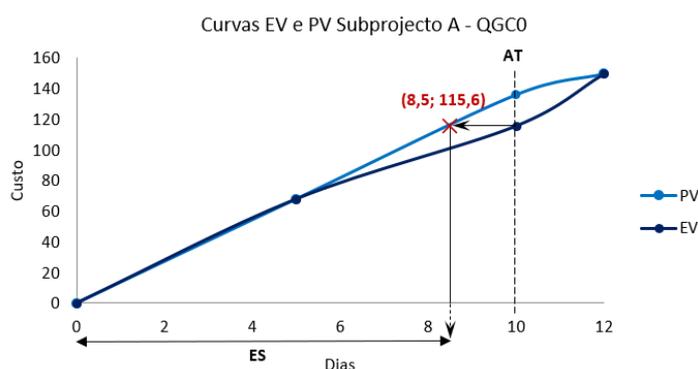


Figura 4.11 - Determinação do ES com Recurso às Curvas EV e PV para o Subprojecto A - QGC0.

Determinados os valores de ES, calcularam-se os valores de SV_T da Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Obtenção dos Valores de SV_T para cada Atualização.

Atualização	AT	ES	SV _T = AT - ES
1 ^a	5 dias	5 dias	0 dias
2 ^a	10 dias	8,5 dias	1,5 dias
3 ^a	12 dias	12 dias	0 dias

6. Determinação dos Parâmetros de Custo e de Duração e Percentagens de Consumo das Reservas e de Trabalho Realizado

Com recurso aos dados presentes nas Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5, e aplicando as Equações para a determinação das estimativas de duração e de custo na concretização, EDAC e EAC, obteve-se a Tabela 4.6. No momento da 3ª atualização da calendarização não fará sentido a determinação dos índices de previsão (EAC e EDAC) do estado futuro do subprojecto já que é, neste momento, encerrado. Como tal, resta apenas efetuar a comparação entre o previsto e o sucedido.

Tabela 4.6 - Parâmetros de Custo e de Duração e Percentagens de Consumo das Reservas e de Trabalho Realizado para o Subprojecto A - QGC0 de acordo com o Modelo Híbrido Risco-Eficiência.

Atualização	Consumo das Reservas Trabalho Realizado				Custo				Duração			
	Pc	Wc	P _T	W _T	CPI	EAC ₀	CBA	EAC	SPI _T	EDAC ₀	PBA	EDAC
	%				-	€			-	Dias		
1ª	0	45	0	45	1,0	149,6	80,5	230,1	1,0	11	5	16
2ª	31	77	30	77	1,3	196,1	68,5	264,6	0,9	14	4	18
3ª	62	100	40	100	1,5	-	70,3	-	1,0	-	4	-

7. Gestão das Reservas de Tempo e de Custo do Projeto

Os valores de P_T e W_T (Tabela 4.6), são iguais aos obtidos pelo *ProChain*, tal como esperado, correspondendo à percentagem da reserva de tempo consumida e à percentagem de trabalho concretizado da cadeia crítica, eixos das ordenadas e das abcissas, reciprocamente, do *Fever Chart*. Assim, para efeitos de aplicação do Modelo Híbrido Risco-Eficiência, visto que os *Fever Charts* deverão tornar possível, como complemento à gestão da PB, a leitura e interpretação do estado da CB, passando a ser visíveis nos gráficos duas linhas referentes a cada uma das reservas, foram determinados os valores de P_c e W_c que deverão representar a percentagem da reserva de custo consumida e a percentagem de trabalho concretizado da cadeia crítica. Dado que a inclusão de uma CB não é, atualmente, suportada pelo *ProChain*, foram adicionados os custos a depender no final do subprojecto consoante as zonas dos *Fever Charts*, seguindo a mesma lógica das datas de concretização, e foram incluídos os pontos correspondentes aos valores P_c e W_c, isto é, a linha a traço interrompido na Figura 4.12.

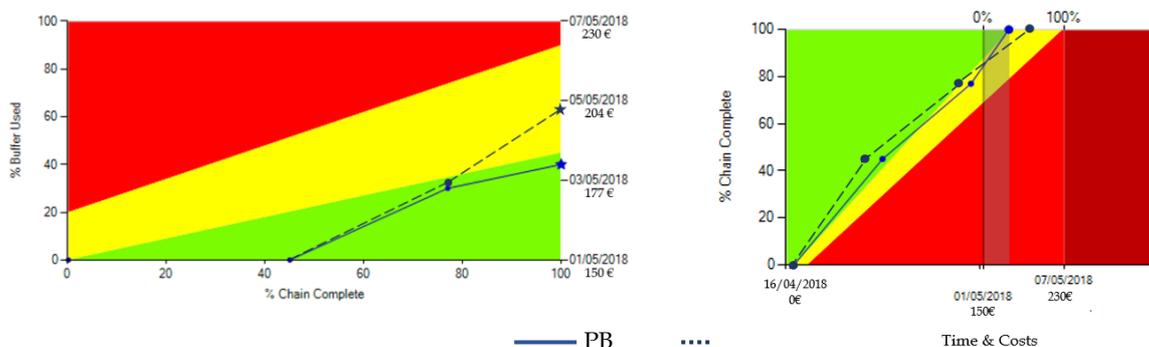


Figura 4.12 - Fever Chart Traditional (à esquerda) e Time Chart (à direita) no Final do Subprojecto A - QGC0 considerando PB e CB.

Observando o *Fever Chart Traditional* da Figura 4.12 pode verifica-se que os dois primeiros momentos de reporte se situam na zona verde do gráfico tanto para a PB como para a CB, significando isto que o projeto está adiantado e a economizar custos, não sendo, como tal, necessário intervir. É, no entanto, visível o consumo parcial de ambas as reservas entre estas duas atualizações, podendo concluir-se que, o consumo de 30% da PB é devido ao atraso na execução da atividade "Avaliação de Riscos" e o consumo de 31% da CB é resultado do custo extra incorrido na realização desta mesma atividade. Neste momento, ambos os pontos se aproximam da zona amarela do gráfico. Na 3ª atualização, a linha relativa à PB situa-se na zona verde e a linha relativa à CB já se encontra na zona amarela, tratando-se este do momento em que o subprojecto foi finalizado.

É possível concluir que a entrega do subprojecto se deu de forma atempada e que o custo total se situa entre o custo mínimo e máximo orçamentados, tendo o subprojecto decorrido de acordo com o previsto (sem que as duas reservas fossem totalmente consumidas). Caso a CB se encontrasse na zona amarela, mas houvesse mais atividades por concretizar, considerando que a calendarização decorria como planeado, dever-se-ia efetuar um controlo mais apertado dos custos garantindo que a tendência da linha não dava entrada na zona vermelha do gráfico. O gráfico *Time Chart* da Figura 4.12 confirma esta avaliação adotando, no eixo das abcissas, as datas e custos e contendo, no eixo paralelo, o nível de consumo, em percentagem, de cada uma das reservas.

8. Estimativa do Custo na Concretização

Relativamente aos parâmetros de custo da Tabela 4.6, o CPI é igual à unidade na 1ª atualização, indicando que os custos efetivamente incorridos pelo subprojecto até este momento de reporte, foram equivalentes aos orçamentados, e superior à unidade na 2ª atualização, sugerindo que foram economizados custos já que os gastos financeiros foram inferiores ao esperado, o que está de acordo com o verificado, uma vez que a CB não foi totalmente consumida. Apesar da percentagem da CB excedente no final do projeto, que corrobora esta poupança, o ponto correspondente ao último momento de reporte da CB no *Fever Chart* situa-se na zona amarela.

Poderá existir uma incoerência entre os valores obtidos para o CPI e para o EAC, já que, da 1ª para a 2ª atualização, o primeiro indica a economia de custos entre atualizações enquanto as previsões do custo total do projeto disponibilizadas pelo segundo aumentam. O desempenho do EAC foi, no entanto, bastante satisfatório uma vez que igualou a 196,1€ na 2ª atualização e, na atualização seguinte, onde o projeto foi terminado, obteve-se um custo total do subprojecto equivalente a 199,6€.

9. Estimativa da Duração na Concretização

No que toca aos parâmetros de duração da Tabela 4.6, o SPI é igual à unidade nos momentos da 1ª e 3ª atualização, indicando o cumprimento do prazo planeado pelo subprojecto, e inferior à unidade na 2ª atualização, sugerindo um atraso na calendarização, que efetivamente se verificou. Apesar deste atraso na concretização da atividade "Avaliação de Riscos", que motivou um consumo considerável da PB, o ponto correspondente a esse

momento de reporte encontra-se na zona verde do *Fever Chart*, pelo que este atraso identificado pelo índice de desempenho da calendarização não implicou que a data de entrega do projeto estivesse sobre risco de incumprimento.

Esperar-se-ia, no entanto, que, por economia da PB e, conseqüentemente, conclusão antecipada do subprojecto, o SPI_T na 3ª atualização apresentasse um resultado superior à unidade, o que não se verificou.

O EDAC revelou máxima precisão já que se estimou uma duração total do subprojecto na concretização de 18 dias e essa foi, na realidade, a duração do subprojecto.

• PROJETO C

Para o projeto C (ver Anxos B-H) supõe-se que não foram incorridos custos extra ao trabalho dos recursos. Seguindo a lógica do modelo proposto obtêm-se os resultados retratados nas Tabelas 4.7, 4.8 e 4.9 e Figuras 4.13 e 4.14 apresentadas em seguida.

Tabela 4.7 - Dimensão e Percentagem das Reservas de Tempo e de Custo, Custo Orçamentado na Concretização e Duração Total Planeada para o Projeto C.

Duração				Custos			
BPD ₀	PB	BPD	B _T	BCAC ₀	CB	BCAC	B _C
167 dias	35 dias	202 dias	21%	2448,2 €	469€	1979,2 €	19%

Tabela 4.8 - Valores de C, PV e EV para cada Atualização do Projeto C.

Atualização	Data	C	PV	EV
1ª	28/05/2021	1 dias	6,4 €	6,4 €
2ª	04/06/2021	6 dias	96,0 €	33,6 €
3ª	11/06/2021	11 dias	184,0 €	62,0 €
4ª	02/07/2021	26 dias	497,6 €	92,4 €
5ª	09/07/2021	31 dias	574,4 €	324,8 €

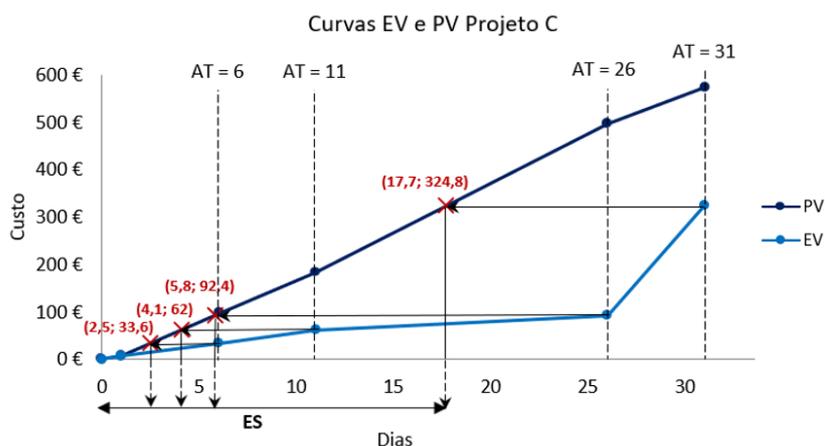


Figura 4.13 - Determinação do ES em cada Atualização com Recurso às Curvas EV e PV do Projeto C.

CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA: CASOS DE ESTUDO

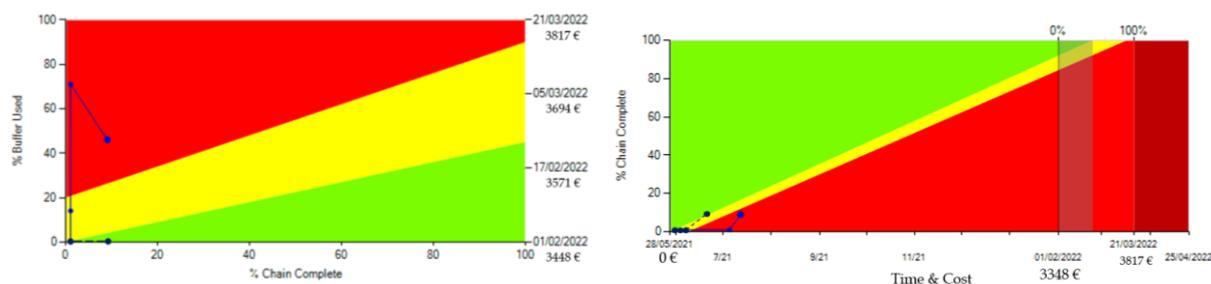


Figura 4.14 - *Fever Chart Traditional* (à esquerda) e *Time & Cost Chart* (à direita) do Projeto C em Execução considerando PB e CB.

Tabela 4.9 - Parâmetros de Custo e de Duração e Percentagens de Consumo das Reservas e de Trabalho Realizado para o Projeto C de acordo com o Modelo Híbrido Risco-Eficiência.

Atualização	Consumo das Reservas Trabalho Realizado				Custo				Duração			
	PC	WC	PT	WT	CPI	EAC ₀	CBA	EAC	SPI _T	EDAC ₀	PBA	EDAC
	%				-	€			-	Dias		
1 ^a	0	0,3	0	0,6	1,0	2448,2	465,2	2913,4	1,0	167,0	35,1	202,1
2 ^a	0	1,4	10	1,5	1,0	2448,2	465,2	2913,4	0,4	183,7	-9,2	174,5
3 ^a	0	2,5	20	2,5	1,0	2448,2	465,2	2913,4	0,4	199,9	-12,4	187,5
4 ^a	0	3,8	58	3,5	1,0	2448,2	465,2	2913,4	0,2	263,4	-16,7	246,7
5 ^a	0	13,3	38	10,6	1,0	-	465,2	-	0,6	-	18,7	-

O Modelo Híbrido Risco-Eficiência foi aplicado ao Projeto C tendo sido documentados 5 momentos de reporte.

Os dados da Tabela 4.7, ponto de partida para a aplicação do modelo proposto, são o resultado da fase de planeamento do projeto. As dimensões da PB e da CB foram retiradas das Tabelas 4.1 e 4.2, resultantes da aplicação da SMC. Os restantes dados da Tabela 4.7 relativos à duração são retirados da calendarização CCPM obtida pelo *ProChain* e os dados relativos aos custos (baseados em pressupostos) são retirados das tabelas EV do *MS Project*, assim como os valores de PV apresentados na Tabela 4.8. A partir destas informações são desenvolvidas as curvas EV e PV por forma a obter-se a ES em cada momento de reporte.

Pela observação dos *Fever Charts* da Figura 4.14 percebe-se que o grau de risco ao qual o projeto está sujeito no que toca ao incumprimento do prazo de entrega é elevado, o que se deve ao facto de as atividades iniciadas ou finalizadas serem, na grande maioria, atividades não críticas. Como tal, o desenvolvimento da cadeia crítica progride lentamente, obrigando ao consumo de grande parte da PB logo nos momentos iniciais do projeto.

É evidente que é necessária uma rápida intervenção para uma recuperação da PB e concretização do projeto a tempo. Este esforço é notório entre a 4^a e a 5^a atualização, através da aceleração da execução da atividade crítica em atraso "Verificar como abordar a modificação com o cliente". Deve manter-se este empenho para que a zona penetrada da reserva passe da vermelha para amarela, significando isto que o projeto passa a estar a cumprir com o planeado.

Pela Tabela 4.9 verifica-se que, a partir da 1ª atualização, os valores de SPI_T são inferiores à unidade, indicando isto atrasos na calendarização, como visível no *Fever Chart*. O SPI_T, apesar de ainda inferior à unidade, aumenta, o que poderá resultar da recuperação verificada no gráfico. A PBA é negativa nos momentos em que a PB se revela insuficiente para compensar o atraso das atividades.

Os valores de EDAC₀ e o EDAC aumentam até à 4ª atualização, como previsão da duração total do projeto, o que se deverá aos atrasos sofridos pelo projeto.

Relativamente aos custos, visto que não foram incorridos custos extra, os parâmetros e indicadores de previsão ao nível dos custos (Tabela 4.9) não variam ao longo do projeto, compatível com a informação retratada no *Fever Chart*, onde a linha de reporte dos custos se mantém na zona verde, não tendo sido consumida nenhuma parte da CB.

Como não foi possível acompanhar o projeto até ao momento do seu encerramento, não foi possível validar a precisão dos indicadores de previsão calculados pelo MHRE, sendo que, como tal, só é praticável extrair conclusões sobre a fase de execução.

4.7. Discussão dos Resultados Globais Obtidos

Ao nível da gestão das reservas, os resultados obtidos com a aplicação do MHRE aos projetos analisados foram coerentes com as ocorrências verificadas, isto é, sempre que os projetos sofreram atrasos ou incorreram custos extra, ou, por outro lado, cumpriram com a calendarização e orçamento planeados, estas situações foram visíveis no *Fever Chart* e no *Time Chart*, que permitiram controlar, de forma proveitosa e simultânea, o estado da PB e da CB. Assim, tal como sugerido por Ghazvini et al. [58], a inclusão da CB na rede de projeto, e a transposição da lógica de gestão das reservas de CCPM para os custos, por forma a considerar-se a incerteza associada às estimativas dos mesmos, permitiu um controlo integrado do progresso dos projetos. Deste modo, o cálculo dos parâmetros Pc e Wc foi fundamental para se perceber o estado da CB e construir a respetiva linha no *Fever Chart* e no *Time Chart*. Adicionalmente, a gestão das reservas de tempo e de custo, de acordo com a lógica de CCPM, promoveu a atuação preventiva sobre o projeto, tal como proposto por Essam Mohamed Lofty [50], já que a tendência adotada pelas linhas no gráfico de sistema de cores verde-amarelo-vermelho disponibilizou informação relativa ao nível de risco de derrapagem da calendarização e ultrapassagem do orçamento ao qual os projetos estavam sujeitos.

A integração entre a EVM e a gestão das reservas de acordo com CCPM, permitiu perceber o estado do projeto em cada momento de reporte protegendo a execução da cadeia crítica, resultado corroborado por Ma et al. [96]. Há, no entanto, que notar que o CPI e o SPI_T, como referido por Ghazvini et al. [58], não permitiram quantificar o nível de atraso dos projetos ou da despesa incorrida, servindo apenas como um alerta para estas situações. Deste modo, verificou-se que o SPI_T exibiu um valor inferior à unidade estando localizado na zona verde do gráfico e que o CPI exibiu um valor superior à unidade estando localizado na zona amarela do gráfico. Poderá isto significar que, atrasos e custos extra revelados pelo cálculo destes índices, não implicarão necessariamente que o projeto esteja sobre um risco elevado de incumprimento do planeamento. Interessa, assim, averiguar o estado da cadeia

crítica do projeto e assegurar que esta decorre sem problemas, apesar de atrasos nas cadeias não críticas que deverão ser compensados pelas FB, tal como aconteceu no Projeto C.

Os indicadores de previsão do estado futuro do projeto passam, no MHRE, a incluir, simultaneamente, o desempenho e o risco, ao serem consideradas as reservas, o que, tal como proposto por Ghazvini et al. [58], resultou na obtenção de projeções mais precisas do custo e da duração do projeto na concretização, visível no subprojecto A, onde a EAC se aproximou do custo total dependido e a EDAC igualou a duração total do subprojecto.

Deste modo, verificam-se melhorias notórias no processo de monitorização dos projetos com recurso ao MHRE, em detrimento da aplicação de forma individual das metodologias CCPM e EVM, visto que é, assim, possível controlar simultaneamente o progresso do projeto ao nível dos prazos e dos custos e avaliar o risco de derrapagem da calendarização e o risco de ultrapassagem do orçamento. Como visto nos casos de estudo, esta integração entre a eficiência e o risco disponibiliza uma visão holística sobre o estado do projeto, onde a CCPM e a EVM apresentam limitações, pelo que se verificou que, efetivamente, existiu valor acrescentado à gestão de projetos pela adoção do modelo proposto.

CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões e contribuições com base em todo o trabalho envolvido na dissertação, assim como as limitações associadas ao estudo que resultarão nas propostas de trabalhos a desenvolver no futuro.

5.1. Principais Conclusões e Contribuições do Estudo

A presente secção expõe as principais conclusões e contribuições resultantes das vertentes teórica e prática da investigação desenvolvida.

i. Estudo Bibliográfico

Uma parte importante do presente estudo explana as metodologias Gestão de Projetos e de Portfólios pela Cadeia Crítica (CCPM) e Gestão do Valor Realizado (EVM). Desta análise evidenciam-se as seguintes particularidades:

O comportamento do ser humano, nomeadamente as situações de Síndrome de Estudante, Lei de *Parkinson* e *Multitasking*, resultantes das durações excessivas tipicamente atribuídas às atividades, influencia o desempenho do projeto, pelo que devem ser adotados mecanismos que contrariem estes eventos. CCPM propõe a adesão à lógica "*relay runner*" e o reporte da finalização antecipada das atividades, aproveitando constantemente o tempo economizado, o que desmotiva o uso de datas de entrega pouco flexíveis para cada atividade e a execução de diversos trabalhos em simultâneo. Adicionalmente, é concedida extrema importância ao processo de estimação dos tempos das atividades, que passam a durações alvo para a redução da dispersão da concentração dos trabalhadores, melhorando o seu desempenho e, como consequência, reduzindo a duração total do projeto.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES, LIMITAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

- CCPM resulta da aplicação da Teoria das Restrições à gestão de projetos, como tal, considera a cadeia crítica como a restrição dos projetos e o recurso tambor como a restrição dos programas e portfólios, sendo estes os elementos que limitam o desempenho dos sistemas de projeto. Assim, por forma a exponenciar a eficiência destes sistemas, deve ser efetuada a correta gestão destas restrições, originadas pelas limitações associadas aos recursos que executam as atividades, remetendo para a importância concedida pelo método à avaliação da disponibilidade dos mesmos.

- As reservas de tempo, isto é, a reserva de projeto e as reservas de alimentação, introduzidas por CCPM na rede de projeto visam proteger a cadeia crítica, isto é, a data prevista para a concretização do projeto, absorvendo a incerteza associada às durações das atividades e, desta forma, reduzindo as consequências de eventuais interrupções na calendarização. O correto dimensionamento destas reservas é fundamental para a obtenção de uma calendarização viável, sendo que, de entre os metodologias apresentados, a Simulação de Monte Carlo é o que apresenta melhores resultados. A gestão das reservas de tempo durante a fase de execução do projeto permite monitorizar o desempenho ao nível das durações e identificar derrapagens dos prazos da calendarização, por forma a serem nomeadas as intervenções necessárias por parte do gestor de projeto.

- O método EVM disponibiliza parâmetros, indicadores de variação e índices de desempenho que permitem, durante a fase de execução, a gestão simultânea dos prazos e dos custos de um projeto, através da confrontação entre o planeado e o ocorrido num determinado momento no tempo. Adicionalmente, fornece índices de previsão que, perante o desempenho atual de um projeto, permitem antever o custo e a duração total do mesmo.

- Ambos as metodologias CCPM e EVM apresentam, a nível conceptual e prático limitações a serem contabilizadas na sua implementação. Da parte de CCPM existe a descon sideração pelos custos do projeto e respetivos riscos e o método não permite efetuar previsões da duração e custo total do projeto. No que toca a EVM, os parâmetros relacionados com a duração são pouco viáveis e não são refletidos os riscos do projeto.

A principal contribuição académica do presente estudo é a pesquisa, tratamento e compilação da informação relativa à integração das metodologias CCPM e EVM, resultante no desenvolvimento de um Modelo Híbrido que considera, simultaneamente, o Risco e a Eficiência na gestão de projetos, relevante para a área de conhecimento em questão. Desta análise são distinguidas as seguintes características:

- Todos os projetos estão sujeitos a um determinado nível de incerteza e, consequentemente, de risco. A gestão do risco deve ser considerada no planeamento e na gestão dos projetos por forma a evitar atrasos na entrega e ultrapassagem do orçamento previsto, através da monitorização e avaliação do estado do projeto e subsequente adequação das medidas de atuação.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES, LIMITAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

- O tempo e o custo, que medem a eficiência dos projetos, devem ser considerados simultaneamente na avaliação do desempenho dos mesmos. A desconsideração por um destes fatores ou a sua incorreta gestão resultará numa gestão questionável do projeto. O Modelo Híbrido Risco-Eficiência visa maximizar as vantagens, solucionando as limitações da utilização das metodologias CCPM e EVM, através da sua integração. Assim, o modelo proposto permite uma gestão mais eficiente dos projetos por considerar os efeitos da incerteza nos mesmos, incluindo reservas de tempo e de custo na rede de projeto e efetuando a gestão dessas mesmas reservas à medida que o projeto se desenvolve, segundo os princípios de CCPM, e por prever o custo e a duração totais do projeto em cada momento de reporte (EAC e EDAC), baseada na percentagem de progresso do projeto, com o objetivo de avaliar o seu desempenho face ao planeamento, segundo a lógica EVM.

ii. Modelo Proposto e Casos de Estudo

A aplicação do MHRE a projetos reais da indústria automóvel permite extrair as seguintes conclusões:

- A inclusão de uma reserva de custo na rede de projeto, em adição às reservas de tempo, transpondo a lógica CCPM para os custos, com o objetivo de absorver os riscos associados aos mesmos, permite controlar de uma forma mais completa o progresso dos projetos, aumentando, assim, a eficiência do processo de gestão pela consideração e monitorização simultânea dos princípios tempo e custo.

- Para o efeito de monitorização do progresso do projeto, o *Fever Chart* e o *Time Chart* constituem ferramentas extremamente úteis, já que permitem visualizar e perceber os níveis de risco aos quais os projetos estão sujeitos no que toca ao tempo e ao custo. O uso do *Time Chart* acrescenta ao *Fever Chart* a possibilidade de perceber a quantidade extra reserva consumida pelo projeto, isto é, o que ocorre após a penetração total da reserva.

- Os indicadores EAC e EDAC, que disponibilizam projeções do estado do projeto na concretização ao nível de custo e duração total, respetivamente, são altamente precisos por considerarem, simultaneamente, o desempenho e o risco (através das reservas de tempo e custo).

- O CPI e o SPI revelam ser úteis para fornecer avisos relativamente à ocorrência de custos extra e atrasos no projeto, reciprocamente, no entanto, esta informação é pouco completa pelo que se recomenda que seja confrontada com o *Fever Chart* e o *Time Chart*.

- O MHRE permite solucionar as limitações associadas às metodologias de gestão de projetos CCPM e EVM, já que considera no controlo do progresso do projeto o tempo, custo e riscos associados, permitindo projetar de forma viável o estado do projeto no momento da concretização.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES, LIMITAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Com o desenvolvimento e aplicação do MHRE, principal objetivo da presente dissertação, obtiveram-se as seguintes contribuições, que retratam a utilidade prática do estudo efetuado:

- Disponibilização de um modelo que permite a realização da análise qualitativa e quantitativa do estado do projeto, aumentando a robustez da gestão e a viabilidade da análise de resultados do comportamento do projeto ao nível dos prazos e dos custos. Utilizando-se os indicadores EVM verifica-se se o projeto cumpre ou não com o planeado relativamente aos custos e prazos e com a gestão de reservas CCPM quantifica-se o nível de incumprimento, percecionando-se o grau de risco associado ao projeto. Verifica-se, assim, efetivamente, valor acrescentado ao processo de gestão de projetos com recurso a este método comparativamente à adoção da EVM e da CCPM de forma individual.

- Os *softwares* utilizados não permitem, atualmente, a aplicação do Modelo Híbrido Risco-Eficiência. O *software ProChain* admite a calendarização do projeto segundo a lógica CCPM (identificando a cadeia crítica e as reservas de tempo) e monitoriza o progresso através da disponibilização de *Fever Charts* que facilitam, exclusivamente, a gestão das reservas de tempo. O estudo EVM é efetuado com recurso às tabelas EV disponibilizadas pelo *Microsoft Project*. Assim, para a implementação do modelo proposto, identifica-se a necessidade de uma evolução por parte dos *softwares* na medida de inclusão de funcionalidades que possibilitem considerar reservas de tempo e de custo na rede de projeto, efetuar a gestão simultânea destas reservas no *Fever Chart* e realizar uma análise EVM que inclua as reservas.

5.2. Limitações do Estudo

Apesar de o presente estudo disponibilizar informações valiosas no âmbito da integração das metodologias CCPM e EVM, devem ser mencionadas e consideradas em investigações futuras as seguintes limitações:

- Temporais, que não permitiram o acompanhamento e monitorização do ciclo de vida completo (desde a iniciação até ao encerramento) de um projeto em execução ou o desenvolvimento e aplicação do modelo proposto a um ambiente de múltiplos projetos.

- Dos recursos disponíveis a nível de *software*, nomeadamente no que toca ao *@Risk*, tendo sido utilizadas versões *Trial* com um limite de utilização de 15 dias, o que não permitiu uma investigação mais profunda dos erros detetados, mais especificamente, o erro de dimensionamento das Reservas de Custo no *@Risk 7*. Complementarmente, o facto de o modelo proposto não ser, atualmente, executável nos *softwares ProChain* e *MS Project* levou a que passos importantes da sua aplicação fossem realizados de forma "manual" (introdução dos dados e cálculo dos índices e indicadores com recurso a folhas de cálculo Excel).

- Ao nível da quantidade, qualidade e profundidade dos estudos realizados no âmbito da integração CCPM/EVM, principalmente, na vertente experimental.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES, LIMITAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

- A investigadora não teve interferência nos processos e procedimentos internos estabelecidos pela empresa, o que não permitiu a verificação das alterações comportamentais desejadas ou a validação da sua influência no modelo proposto.

5.3. Desenvolvimentos Futuros

A presente investigação permitiu a identificação das questões, cuja análise e consideração futura poderá resultar em contribuições pertinentes no âmbito da gestão de projetos, envolvendo simultaneamente parâmetros de risco e eficiência, qualitativos e quantitativos. Assim, sugere-se a exploração das seguintes oportunidades no âmbito da aplicação do Modelo Híbrido Risco-Eficiência no futuro:

- Monitorização de todo o ciclo de vida (desde a iniciação até ao encerramento) de um projeto em execução em tempo real, utilizando-se os custos efetivos do projeto. Dimensionamento das reservas de tempo e de custo com recurso à mesma versão do software, incluindo, se justificável, reservas de recurso.
- Aplicação do modelo proposto a projetos de complexidade, âmbito e indústria diferentes dos compreendidos na presente dissertação, explorando o ambiente de múltiplos projetos (programas e/ou portfólios).
- Estudo da influência das percentagens de concretização (PC) das atividades no MHRE assim como de momentos de reporte com periodicidades diferentes.
- Estudo da pertinência de utilização de FB.

REFERÊNCIAS

- [1] Project Management Institute, «Pulse of the Profession 2020 - Research Highlights by Region and Industry». 2020. Acedido: Out. 30, 2021. Disponível em: <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/pulse/pulse-all-comparison-reports-final.pdf?v=dd7afb39-1fe0-4063-923f-11410463244d>
- [2] A. D. Marco, G. Mangano, e P. D. Magistris, «Evaluation of Project Management Practices in the Automotive Original Equipment Manufacturers», *Procedia Computer Science*, vol. 181, pp. 310–324, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.01.151.
- [3] Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera, «Contribuição para a Melhoria da Gestão da Incerteza na Duração dos Projetos através da Teoria das Restrições», Tese de Doutorado, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2006.
- [4] A. Mahmoudi, M. Bagherpour, e S. A. Javed, «Grey Earned Value Management: Theory and Applications», *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 68, n. 6, pp. 1703–1721, Dez. 2021, doi: 10.1109/TEM.2019.2920904.
- [5] *The standard for project management and a guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*, 7th Edition. Newtown Square, Pennsylvania, USA: Project Management Institute, 2021.
- [6] Paul C. Dinsmore, Pmp E Jeannette Cabanis-Brewin, *The Ama Handbook Of Project Management*, Third Edition. Amacom American Management Association.
- [7] P. Svejvig e P. Andersen, «Rethinking project management: A structured literature review with a critical look at the brave new world», *International Journal of Project Management*, vol. 33, n. 2, pp. 278–290, Fev. 2015, doi: 10.1016/j.ijproman.2014.06.004.
- [8] U. Apaolaza e A. Lizarralde, «Managing Multiple Projects in Uncertain Contexts: A Case Study on the Application of a New Approach Based on the Critical Chain Method», *Sustainability*, vol. 12, n. 15, Art. n. 15, Jan. 2020, doi: 10.3390/su12155999.
- [9] O. Zwikael e J. R. Smyrk, «Risk and Issues Management», em *Project Management: A Benefit Realisation Approach*, O. Zwikael e J. R. Smyrk, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 103–124. doi: 10.1007/978-3-030-03174-9_6.
- [10] S. Ward e C. Chapman, «Transforming project risk management into project uncertainty management», *International Journal of Project Management*, vol. 21, n. 2, pp. 97–105, Fev. 2003, doi: 10.1016/S0263-7863(01)00080-1.
- [11] A. Ponsteeen e R. J. Kusters, «Classification of Human- and Automated Resource Allocation Approaches in Multi-Project Management», *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 194, pp. 165–173, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.06.130.

- [12] M. Vanhoucke e P. de Koning, «Stability of Earned Value Management - Do project characteristics influence the stability moment of the cost and schedule performance index», *The Journal of Modern Project Management*, vol. 4, n. 1, Art. n. 1, Mai. 2016, doi: 10.19255/185.
- [13] F. Acebes, D. Poza, J. M. González-Varona, J. Pajares, e A. López-Paredes, «On the project risk baseline: Integrating aleatory uncertainty into project scheduling», *Computers & Industrial Engineering*, vol. 160, p. 107537, Out. 2021, doi: 10.1016/j.cie.2021.107537.
- [14] Ö. Hazir, N. Özdamar, B. Yaşar, e I. S. Yilmaz, «Practices and Future of Earned Value Management: Insights from Turkey», *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, vol. 15, n. 59, pp. 426-443, Jul. 2020, doi: 10.19168/jyasar.579892.
- [15] T. Brink, «Managing uncertainty for sustainability of complex projects», *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 10, n. 2, pp. 315-329, Jan. 2017, doi: 10.1108/IJMPB-06-2016-0055.
- [16] A. Qazi, I. Dikmen, e M. T. Birgonul, «Prioritization of interdependent uncertainties in projects», *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 13, n. 5, pp. 913-935, Jan. 2020, doi: 10.1108/IJMPB-10-2019-0253.
- [17] D. Trindade, A. P. Barroso, e V. H. Machado, «Project Management Efficiency of a Portuguese Electricity Distribution Utility Using Data Envelopment Analysis», *Procedia Computer Science*, vol. 64, pp. 674-682, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.08.583.
- [18] W. Mainga, «Examining project learning, project management competencies, and project efficiency in project-based firms (PBFs)», *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 10, n. 3, pp. 454-504, Jan. 2017, doi: 10.1108/IJMPB-04-2016-0035.
- [19] Y. Wang, J. Liu, J. Zuo, e R. Rameezdeen, «Ways to improve the project management efficiency in a centralized public procurement system: A structural equation modeling approach», *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 27, n. 1, pp. 168-185, Jan. 2019, doi: 10.1108/ECAM-12-2018-0560.
- [20] P. Serrador e R. Turner, «The Relationship between Project Success and Project Efficiency», *Project Management Journal*, vol. 46, n. 1, pp. 30-39, Fev. 2015, doi: 10.1002/pmj.21468.
- [21] R. E. C. Ordoñez, M. Vanhoucke, J. Coelho, R. Anholon, e O. Novaski, «A Study of the Critical Chain Project Management Method Applied to a Multiproject System», *Project Management Journal*, vol. 50, n. 3, pp. 322-334, Jun. 2019, doi: 10.1177/8756972819832203.
- [22] W. Herroelen e R. Leus, «Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials», *European Journal of Operational Research*, vol. 165, n. 2, pp. 289-306, Set. 2005, doi: 10.1016/j.ejor.2004.04.002.
- [23] X. Hu, N. Cui, e E. Demeulemeester, «Effective expediting to improve project due date and cost performance through buffer management», *International Journal of Production Research*, vol. 53, n. 5, pp. 1460-1471, Mar. 2015, doi: 10.1080/00207543.2014.948972.
- [24] X. Hu, N. Cui, E. Demeulemeester, e L. Bie, «Incorporation of activity sensitivity measures into buffer management to manage project schedule risk», *European Journal of Operational Research*, vol. 249, n. 2, pp. 717-727, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2015.08.066.
- [25] J. Zhang, X. Song, e E. Díaz, «Critical chain project buffer sizing based on resource constraints», *International Journal of Production Research*, vol. 55, n. 3, pp. 671-683, Fev. 2017, doi: 10.1080/00207543.2016.1200151.

- [26] E. Roghanian, M. Alipour, e M. Rezaei, «An improved fuzzy critical chain approach in order to face uncertainty in project scheduling», *International Journal of Construction Management*, vol. 18, n. 1, pp. 1–13, Jan. 2018, doi: 10.1080/15623599.2016.1225327.
- [27] A. Izmailov, D. Korneva, e A. Kozhemiakin, «Effective Project Management with Theory of Constraints», *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 229, pp. 96–103, Ago. 2016, doi: 10.1016/j.sbspro.2016.07.118.
- [28] T. P. Bagchi, K. Sahu, e B. K. Jena, «Why CPM is not good enough for scheduling projects», em *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Dez. 2017, pp. 1748–1752. doi: 10.1109/IEEM.2017.8290191.
- [29] L. M. Ikeziri, F. B. de Souza, M. C. Gupta, e P. de Camargo Fiorini, «Theory of constraints: review and bibliometric analysis», *International Journal of Production Research*, vol. 57, n. 15–16, pp. 5068–5102, Ago. 2019, doi: 10.1080/00207543.2018.1518602.
- [30] B. Alma, E. Coşkun, E N. G. Uğur, «Comparison Of Traditional Project Management Techniques And Critical Chain Project Management For Management Of Information Technology And Information System Projects», *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, vol. 2, n. 2, Art. n. 2, Out. 2016.
- [31] G. K. Rand, «Critical chain: the theory of constraints applied to project management», *International Journal of Project Management*, vol. 18, n. 3, pp. 173–177, Jun. 2000, doi: 10.1016/S0263-7863(99)00019-8.
- [32] Ellis, G., «Critical Chain Project Management (CCPM)», em *Project Management in Product Development. Leadership Skills and Management Techniques to Deliver Great Products.*, Butterworth-Heinemann., 2015.
- [33] M. Mirzaei e V. J. Mabin, «A review of the scholarly literature on CCPM: a focus on underpinning assumptions», *IJPOM*, vol. 10, n. 3, p. 242, 2018, doi: 10.1504/IJPOM.2018.093986.
- [34] A. Gupta, A. Bhardwaj, e A. Kanda, «Fundamental Concepts of Theory of Constraints: An Emerging Philosophy», *International Journal of Business, Human and Social Sciences*, vol. 3.0, n. 10, Out. 2010, doi: 10.5281/zenodo.1327660.
- [35] M. Ghaffari e M. W. Emsley, «Current status and future potential of the research on Critical Chain Project Management», *Surveys in Operations Research and Management Science*, vol. 20, n. 2, pp. 43–54, Dez. 2015, doi: 10.1016/j.sorms.2015.10.001.
- [36] O. R. Luiz, F. B. de Souza, J. V. R. Luiz, e D. Jugend, «Linking the Critical Chain Project Management literature», *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 12, n. 2, pp. 423–443, Jan. 2018, doi: 10.1108/IJMPB-03-2018-0061.
- [37] Eliyahu M. Goldratt, *Critical Chain*. Great Barrington MA: The North River Press, 1997.
- [38] L. P. Leach, *Critical Chain Project Management*. Artech House, 2014.
- [39] B. Chen e N. G. Hall, «Incentive schemes for resolving Parkinson’s Law in project management», *European Journal of Operational Research*, vol. 288, n. 2, pp. 666–681, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.ejor.2020.06.006.
- [40] O. R. Luiz, F. B. de Souza, J. V. R. Luiz, D. Jugend, M. H. Salgado, e S. L. da Silva, «Impact of critical chain project management and product portfolio management on new product development performance», *Journal of Business & Industrial Marketing*, vol. 34, n. 8, pp. 1692–1705, Jan. 2019, doi: 10.1108/JBIM-11-2018-0327.

- [41] Tenera, Alexandra B., «Critical chain buffer sizing: a comparative study», apresentado na PMI® Research Conference: Defining the Future of Project Management, Warsaw, Poland, 2008.
- [42] I. Cohen, A. Mandelbaum, e A. Shtub, «Multi-Project Scheduling and Control: A Process-Based Comparative Study of the Critical Chain Methodology and Some Alternatives», *Project Management Journal*, vol. 35, n. 2, pp. 39–50, Jun. 2004, doi: 10.1177/875697280403500206.
- [43] I. Paprocka, A. Gwiazda, e M. Bączkiewicz, «Scheduling of an assembly process of a chosen technical mean using the critical chain approach», *MATEC Web Conf.*, vol. 94, p. 06015, 2017, doi: 10.1051/mateconf/20179406015.
- [44] J. Zhang, X. Song, e E. Díaz, «Project buffer sizing of a critical chain based on comprehensive resource tightness», *European Journal of Operational Research*, vol. 248, n. 1, pp. 174–182, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2015.07.009.
- [45] J. Zhang, S. Jia, e E. Diaz, «Dynamic monitoring and control of a critical chain project based on phase buffer allocation», *Journal of the Operational Research Society*, vol. 69, n. 12, pp. 1966–1977, Dez. 2018, doi: 10.1080/01605682.2017.1415641.
- [46] D. Sarkar, K. N. Jha, e S. Patel, «Critical chain project management for a highway construction project with a focus on theory of constraints», *International Journal of Construction Management*, vol. 21, n. 2, pp. 194–207, Fev. 2021, doi: 10.1080/15623599.2018.1512031.
- [47] V. S. Anantatmula e J. B. Webb, «Critical Chain Method in Traditional Project and Portfolio Management Situations», *IJITPM*, vol. 5, n. 3, pp. 67–83, Jul. 2014, doi: 10.4018/ijitpm.2014070104.
- [48] G. Ellis, «Chapter 6 - Critical Chain Project Management (CCPM)», em *Project Management in Product Development*, G. Ellis, Ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2016, pp. 143–175. doi: 10.1016/B978-0-12-802322-8.00006-1.
- [49] R. Newbold, «Scheduling for Success with Critical Chain», *Pro-Chain Solutions, Inc*, p. 14, 2010.
- [50] Essam Mohamed Lotffy, «Practical Approach towards Project Control Systems Using EVM & CCPM Integration», *PM World Journal*, vol. Vol. VII, Issue VII, Jul. 2018, [Em linha]. Disponível em: <https://pmworldlibrary.net/>
- [51] O. I. Tukul, W. O. Rom, e S. D. Eksioglu, «An investigation of buffer sizing techniques in critical chain scheduling», *European Journal of Operational Research*, vol. 172, n. 2, pp. 401–416, Jul. 2006, doi: 10.1016/j.ejor.2004.10.019.
- [52] R. Kolisch e S. Hartmann, «Experimental investigation of heuristics for resource-constrained project scheduling: An update», *European Journal of Operational Research*, vol. 174, n. 1, pp. 23–37, Out. 2006, doi: 10.1016/j.ejor.2005.01.065.
- [53] S. Hartmann, «A self-adapting genetic algorithm for project scheduling under resource constraints», *Naval Research Logistics (NRL)*, vol. 49, n. 5, pp. 433–448, 2002, doi: 10.1002/nav.10029.
- [54] W. Wang, X. Wang, X. Ge, e L. Deng, «Multi-objective optimization model for multi-project scheduling on critical chain», *Advances in Engineering Software*, vol. 68, pp. 33–39, Fev. 2014, doi: 10.1016/j.advengsoft.2013.11.004.

- [55] F. Ahlemann, F. El Arbi, M. G. Kaiser, e A. Heck, «A process framework for theoretically grounded prescriptive research in the project management field», *International Journal of Project Management*, vol. 31, n. 1, pp. 43–56, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.ijproman.2012.03.008.
- [56] F. T. S. Chan, Z. Wang, Y. Singh, X. P. Wang, J. H. Ruan, e M. K. Tiwari, «Activity scheduling and resource allocation with uncertainties and learning in activities», *Industrial Management & Data Systems*, vol. 119, n. 6, pp. 1289–1320, Jan. 2019, doi: 10.1108/IMDS-01-2019-0002.
- [57] P. D. James F. Cox III e J. John G. Schleier, «Theory of Constraints in Complex Organizations», em *Theory of Constraints Handbook*, New York: McGraw-Hill Education, 2010, pp. 983–1014.
- [58] M. S. Ghazvini, V. Ghezavati, S. Raissi, e A. Makui, «An Integrated Efficiency–Risk Approach in Sustainable Project Control», *Sustainability*, vol. 9, n. 9, Art. n. 9, Set. 2017, doi: 10.3390/su9091575.
- [59] F. K. Bonato, A. A. de Albuquerque, M. A. S. da Paixão, F. K. Bonato, A. A. de Albuquerque, e M. A. S. da Paixão, «An application of Earned Value Management (EVM) with Monte Carlo simulation in engineering project management», *Gestão & Produção*, vol. 26, n. 3, 2019, doi: 10.1590/0104-530x4641-19.
- [60] R. D. S. Bolaños e S. C. M. Barbalho, «Exploring product complexity and prototype lead-times to predict new product development cycle-times», *International Journal of Production Economics*, vol. 235, p. 108077, Mai. 2021, doi: 10.1016/j.ijpe.2021.108077.
- [61] A. B. R. Tenera e A. J. P. C. F. Abreu, «A critical chain perspective to support management activities in dynamic production networks», em *2008 IEEE International Engineering Management Conference*, Jun. 2008, pp. 1–5. doi: 10.1109/IEMCE.2008.4618019.
- [62] J. Zhang e D. Wan, «Determination of early warning time window for bottleneck resource buffer», *Ann Oper Res*, vol. 300, n. 1, pp. 289–305, Mai. 2021, doi: 10.1007/s10479-021-03960-1.
- [63] B. She, B. Chen, e N. G. Hall, «Buffer sizing in critical chain project management by network decomposition», *Omega*, vol. 102, p. 102382, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.omega.2020.102382.
- [64] K. Araszkievicz, «Application of Critical Chain Management in Construction Projects Schedules in a Multi-Project Environment: A Case Study», *Procedia Engineering*, vol. 182, pp. 33–41, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.108.
- [65] C. H. B. Morais e R. Sbragia, «Management of multi-project environment by means of Critical Chain Project Management: A Brazilian multi-case study», em *2012 Proceedings of PICMET '12: Technology Management for Emerging Technologies*, Jul. 2012, pp. 2506–2516.
- [66] M. Tian, R. J. Liu, e G. J. Zhang, «Solving the resource-constrained multi-project scheduling problem with an improved critical chain method», *Journal of the Operational Research Society*, vol. 71, n. 8, pp. 1243–1258, Ago. 2020, doi: 10.1080/01605682.2019.1609883.
- [67] S. H. Chang, C. P. Kan, e M. L. Wang, «TOC Portfolio Selection Model for NPD projects of the biotechnological industry», em *2010 IEEE 17Th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Out. 2010, pp. 170–174. doi: 10.1109/ICIEEM.2010.5646642.

- [68] Y. Wang, «Study on Critical Chain Project Portfolio Management», em *2011 International Conference on Management and Service Science*, Ago. 2011, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICMSS.2011.5998173.
- [69] M. Martinsuo e P. Lehtonen, «Role of single-project management in achieving portfolio management efficiency», *International Journal of Project Management*, vol. 25, n. 1, pp. 56–65, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.ijproman.2006.04.002.
- [70] L. P. Leach, «Critical Chain Project Management Improves Project Performance», *Project Management Journal*, vol. 30, n. 2, pp. 39–51, Jun. 1999, doi: 10.1177/875697289903000207.
- [71] Silber, G., «Using earned value management to predict buffer penetration in critical chain project management», apresentado na Project Management Institute Annual Seminars & Symposium, San Antonio, TX. Newtown Square, 2002.
- [72] R. E. C. Ordoñez, M. Vanhoucke, J. Coelho, R. Anholon, e O. Novaski, «A Study of the Critical Chain Project Management Method Applied to a Multiproject System», *Project Management Journal*, vol. 50, n. 3, pp. 322–334, Jun. 2019, doi: 10.1177/8756972819832203.
- [73] J. Zhang, X. Song, H. Chen, e R. (Sandy) Shi, «Optimisation of critical chain sequencing based on activities' information flow interactions», *International Journal of Production Research*, vol. 53, n. 20, pp. 6231–6241, Out. 2015, doi: 10.1080/00207543.2015.1043157.
- [74] Z. Zheng, Z. Guo, Y. Zhu, e X. Zhang, «A critical chains based distributed multi-project scheduling approach», *Neurocomputing*, vol. 143, pp. 282–293, Nov. 2014, doi: 10.1016/j.neucom.2014.04.056.
- [75] M. Taghipour, F. Seraj, M. Amin, e M. Delivand, «Evaluating CCPM Method Versus CPM in Multiple Petrochemical Projects», vol. 3, pp. 2617–4596, Mai. 2020, doi: 10.31058/j.mana.2020.32004.
- [76] J. Batselier e M. Vanhoucke, «Improving project forecast accuracy by integrating earned value management with exponential smoothing and reference class forecasting», *International Journal of Project Management*, vol. 35, n. 1, pp. 28–43, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.ijproman.2016.10.003.
- [77] R. Almeida, R. Abrantes, M. Romão, e I. Proença, «The Impact of Uncertainty in the Measurement of Progress in Earned Value Analysis», *Procedia Computer Science*, vol. 181, pp. 457–467, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.01.191.
- [78] N. Moradi, S. M. Mousavi, e B. Vahdani, «An earned value model with risk analysis for project management under uncertain conditions», *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 32, n. 1, pp. 97–113, Jan. 2017, doi: 10.3233/JIFS-151139.
- [79] H. L. Chen, W. T. Chen, e Y. L. Lin, «Earned value project management: Improving the predictive power of planned value», *International Journal of Project Management*, vol. 34, n. 1, pp. 22–29, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.ijproman.2015.09.008.
- [80] A. Martens e M. Vanhoucke, «A buffer control method for top-down project control», *European Journal of Operational Research*, vol. 262, n. 1, pp. 274–286, Out. 2017, doi: 10.1016/j.ejor.2017.03.034.
- [81] S. Soltan e M. Ashrafi, «Predicting project duration and cost, and selecting the best action plan using statistical methods for earned value management», *Journal of Project Management*, vol. 5, n. 3, pp. 157–166, 2020.
- [82] F. T. Anbari, «Earned Value Project Management Method and Extensions», *Project Management Journal*, vol. 34, n. 4, pp. 12–23, Dez. 2003, doi: 10.1177/875697280303400403.

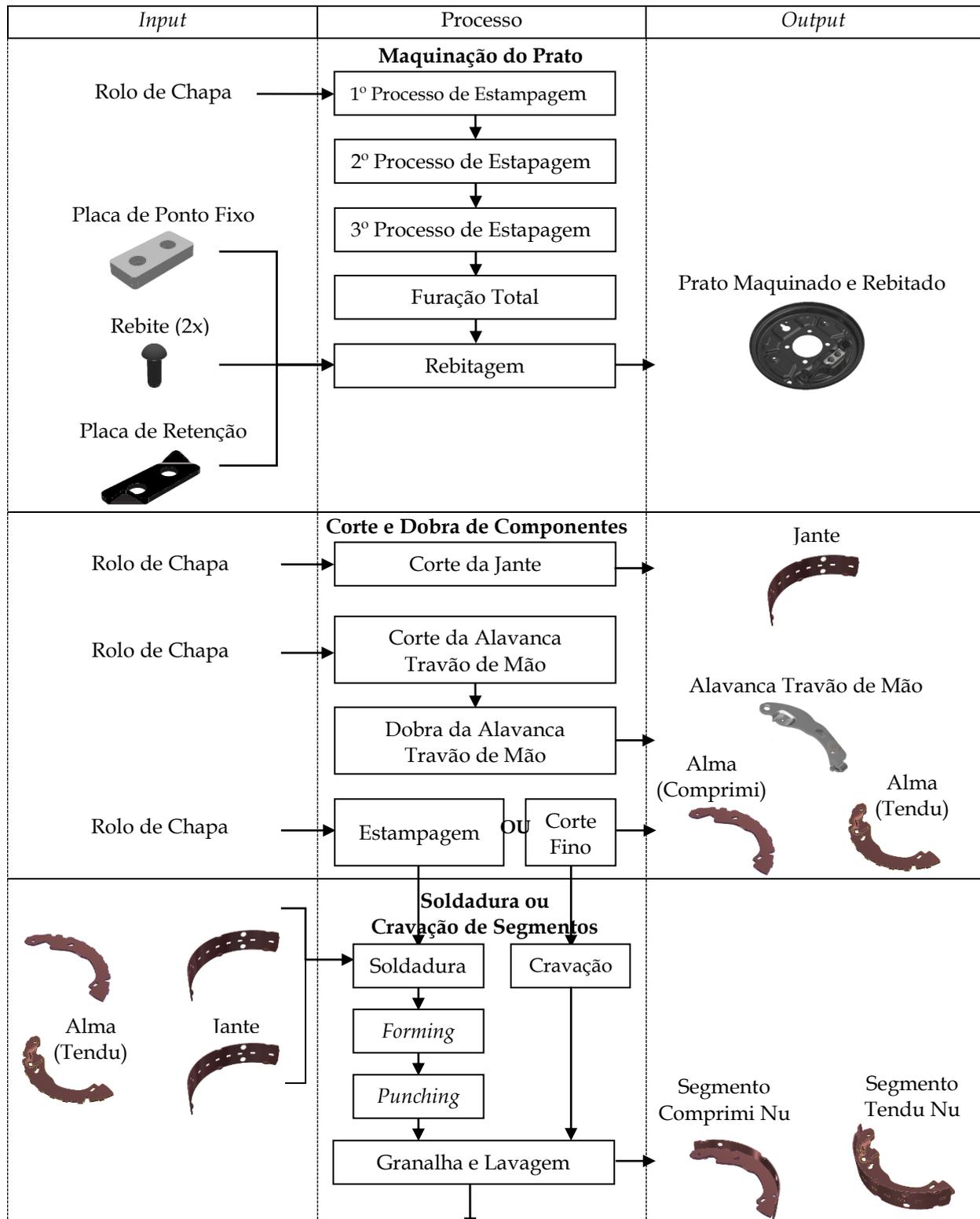
- [83] C. M. Alvarado, R. P. Silverman, e D. S. Wilson, «Assessing the performance of construction projects: Implementing earned value management at the General Services Administration», *Journal of Facilities Management*, vol. 3, n. 1, pp. 92–105, Jan. 2004, doi: 10.1108/14725960510808419.
- [84] D. Przywara e A. Rak, «Monitoring of Time and Cost Variances of Schedule Using Simple Earned Value Method Indicators», *Applied Sciences*, vol. 11, n. 4, Art. n. 4, Jan. 2021, doi: 10.3390/app11041357.
- [85] F. Acebes, J. Pajares, J. M. Galán, e A. López-Paredes, «Beyond Earned Value Management: A Graphical Framework for Integrated Cost, Schedule and Risk Monitoring», *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 74, pp. 181–189, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.sbspro.2013.03.027.
- [86] F. Caron, F. Ruggeri, e B. Pierini, «A Bayesian approach to improving estimate to complete», *International Journal of Project Management*, vol. 34, n. 8, pp. 1687–1702, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.ijproman.2016.09.007.
- [87] J. López Pascual, J. C. Meléndez Rodríguez, e S. Cruz Rambaud, «The Enhanced-Earned Value Management (E-EVM) Model: A Proposal for the Aerospace Industry», *Symmetry*, vol. 13, n. 2, Art. n. 2, Fev. 2021, doi: 10.3390/sym13020232.
- [88] W. Lipke, O. Zwikael, K. Henderson, e F. Anbari, «Prediction of project outcome: The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes», *International Journal of Project Management*, vol. 27, n. 4, pp. 400–407, Mai. 2009, doi: 10.1016/j.ijproman.2008.02.009.
- [89] M. Vanhoucke e S. Vandevorde, «A simulation and evaluation of earned value metrics to forecast the project duration», *Journal of the Operational Research Society*, vol. 58, n. 10, pp. 1361–1374, Out. 2007, doi: 10.1057/palgrave.jors.2602296.
- [90] A. Barrientos-Orellana, P. Ballesteros-Pérez, D. Mora-Melia, M. C. González-Cruz, e M. Vanhoucke, «Stability and accuracy of deterministic project duration forecasting methods in earned value management», *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. ahead-of-print, n. ahead-of-print, Jan. 2021, doi: 10.1108/ECAM-12-2020-1045.
- [91] T. R. Browning, «Planning, Tracking, and Reducing a Complex Project's Value at Risk», *Project Management Journal*, vol. 50, n. 1, pp. 71–85, Fev. 2019, doi: 10.1177/8756972818810967.
- [92] N. H. Nkiwane, W. G. Meyer, e H. Steyn, «The use of Earned Value Management for initiating directive project control decisions: A case study», *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 27, n. 1, pp. 192–203, Mai. 2016, doi: 10.7166/27-1-1260.
- [93] M. J. Taheri Amiri, F. Haghighi, E. Eshtehardian, e O. Abessi, «Multi-project Time-cost Optimization in Critical Chain with Resource Constraints», *KSCE J Civ Eng*, vol. 22, n. 10, pp. 3738–3752, Out. 2018, doi: 10.1007/s12205-017-0691-x.
- [94] F. Y. K. A. A. Alasbool e S. M. A. Suliman, «Modelling of Project Buffer in Critical Chain Scheduling», *International Journal of Engineering Management*, vol. 2, n. 4, Art. n. 4, Jan. 2019, doi: 10.11648/j.ijem.20180204.14.
- [95] «Earned value vs. critical chain project management». <https://www.pmi.org/learning/library/earned-value-systematic-risk-management-8871> (acedido Nov. 21, 2021).
- [96] C. Ma, W. Hu, e Y. Deng, «Application of Improved Critical Chain and Earned Value Technique in Software Engineering Integrated Project Progress Control», em *2019 IEEE*

9th Symposium on Computer Applications Industrial Electronics (ISCAIE), Abr. 2019, pp. 136–142. doi: 10.1109/ISCAIE.2019.8743672.

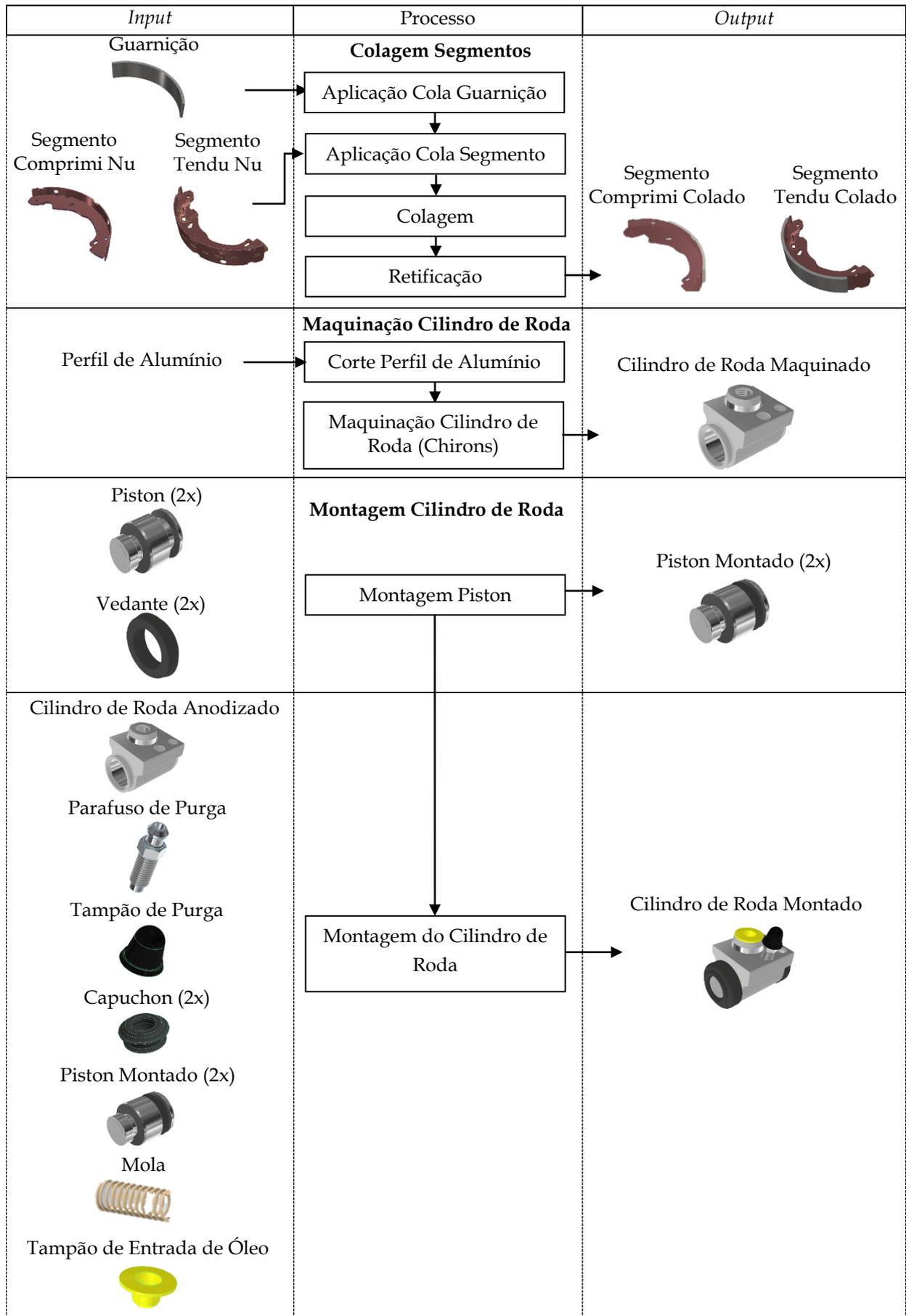
- [97] ProChain Solutions Inc., «ProChain® Pipeline User’s Guide Version 14».
- [98] R. Hanief, «A New Project Management Techniques and Its Application into the Automotive Manufacturing Industry», *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, vol. 39, n. 1, pp. 19–23, 2016.
- [99] R. J. S. Costa, F. J. G. Silva, e R. D. S. G. Campilho, «A novel concept of agile assembly machine for sets applied in the automotive industry», *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 91, n. 9, pp. 4043–4054, Ago. 2017, doi: 10.1007/s00170-017-0109-4.
- [100] M. J. Hilt, D. Wagner, M. Ordnung, e A. Kampker, «Success Factors for the Industrialization of Production Technologies in the Predevelopment Stage - An Analysis in the Automotive Industry», *DS 84: Proceedings of the DESIGN 2016 14th International Design Conference*, pp. 1495–1504, 2016.
- [101] Morris, «Are there market limits to modularisation?», *International Journal of Automotive Technology and Management*, vol. 6, pp. 262–275, 2006, doi: 10.1504/IJATM.2006.012120.
- [102] S. S. A. Willaert, R. de Graaf, e S. Minderhoud, «Collaborative engineering: A case study of Concurrent Engineering in a wider context», *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 15, n. 1, pp. 87–109, Mar. 1998, doi: 10.1016/S0923-4748(97)00026-X.
- [103] M. Gobetto, «From Project to Product», em *Operations Management in Automotive Industries: From Industrial Strategies to Production Resources Management, Through the Industrialization Process and Supply Chain to Pursue Value Creation*, M. Gobetto, Ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014, pp. 45–65. doi: 10.1007/978-94-007-7593-0_2.
- [104] K. Wikström, K. Artto, J. Kujala, e J. Söderlund, «Business models in project business», *International Journal of Project Management*, vol. 28, n. 8, pp. 832–841, Dez. 2010, doi: 10.1016/j.ijproman.2010.07.001.
- [105] L. Carden e T. Egan, «Does Our Literature Support Sectors Newer to Project Management? The Search for Quality Publications Relevant to Nontraditional Industries», *Project Management Journal*, vol. 39, n. 3, pp. 6–27, Set. 2008, doi: 10.1002/pmj.20068.
- [106] A. S. Chauhan, O. P. Yadav, A. P. S. Rathore, e G. Soni, «Analysis of risk sources in new product development process using fuzzy failure mode analysis», em *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Dez. 2017, pp. 1198–1202. doi: 10.1109/IEEM.2017.8290082.
- [107] M. Nafisi, M. Wiktorsson, C. Rösiö, e A. Granlund, «Chapter 5 - Manufacturing Engineering Requirements in the Early Stages of New Product Development – A Case Study in Two Assembly Plants», em *Advanced Applications in Manufacturing Engineering*, M. Ram e J. Paulo Davim, Eds. Woodhead Publishing, 2019, pp. 141–167. doi: 10.1016/B978-0-08-102414-0.00005-7.
- [108] J. Quigley e R. Shenoy, «Project Management for Automotive Engineers: A Field Guide», em *Project Management for Automotive Engineers: a Field Guide*, SAE, 2016, pp. i–vii.
- [109] H.-L. Ross, *Functional Safety for Road Vehicles: New Challenges and Solutions for E-mobility and Automated Driving*. Springer International Publishing, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-33361-8.

- [110] N. P. Reppenning, P. Gonçalves, e L. J. Black, «Past the Tipping Point: The Persistence of Firefighting in Product Development», *California Management Review*, vol. 43, n. 4, pp. 44–63, Jul. 2001, doi: 10.2307/41166100.
- [111] R. LEUS e W. HERROELEN, «Stability and resource allocation in project planning», *IIE Transactions*, vol. 36, n. 7, pp. 667–682, Jul. 2004, doi: 10.1080/07408170490447348.
- [112] M. V. Tatikonda e S. R. Rosenthal, «Successful execution of product development projects: Balancing firmness and flexibility in the innovation process», *Journal of Operations Management*, vol. 18, n. 4, pp. 401–425, Jun. 2000, doi: 10.1016/S0272-6963(00)00028-0.
- [113] R. Beaume, R. Maniak, e C. Midler, «Crossing innovation and product projects management: A comparative analysis in the automotive industry», *International Journal of Project Management*, vol. 27, n. 2, pp. 166–174, Fev. 2009, doi: 10.1016/j.ijproman.2008.09.004.
- [114] B. Nadia, G. Gregory, e T. Vince, «Engineering change request management in a new product development process», *European Journal of Innovation Management*, vol. 9, n. 1, pp. 5–19, Jan. 2006, doi: 10.1108/14601060610639999.
- [115] I. Ullah, D. Tang, e L. Yin, «Engineering Product and Process Design Changes: A Literature Overview», *Procedia CIRP*, vol. 56, pp. 25–33, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.10.010.
- [116] D. Perrotta, G. Fernandes, M. Araújo, A. Tereso, e J. Faria, «Usefulness of project management practices in industrialization projects – A case study», em *2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, Jun. 2017, pp. 1104–1112. doi: 10.1109/ICE.2017.8280005.
- [117] J. Qin e B. van der Rhee, «From trash to treasure: A checklist to identify high-potential NPD projects from previously rejected projects», *Technovation*, vol. 104, p. 102259, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.technovation.2021.102259.
- [118] P. Kranabitl, M. Bajzek, M. Atzwanger, D. Schenk, e H. Hick, «Automotive Powertrain Development Process», em *Systems Engineering for Automotive Powertrain Development*, H. Hick, K. Küpper, e H. Sorger, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 1–20. doi: 10.1007/978-3-319-68847-3_25-1.
- [119] D. Perrotta, M. Araújo, G. Fernandes, A. Tereso, e J. Faria, «Towards the development of a methodology for managing industrialization projects», *Procedia Computer Science*, vol. 121, pp. 874–882, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.procs.2017.11.113.
- [120] R. G. Cooper, «Perspective: The Stage-Gate® Idea-to-Launch Process—Update, What’s New, and NexGen Systems*», *Journal of Product Innovation Management*, vol. 25, n. 3, pp. 213–232, 2008, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2008.00296.x>.

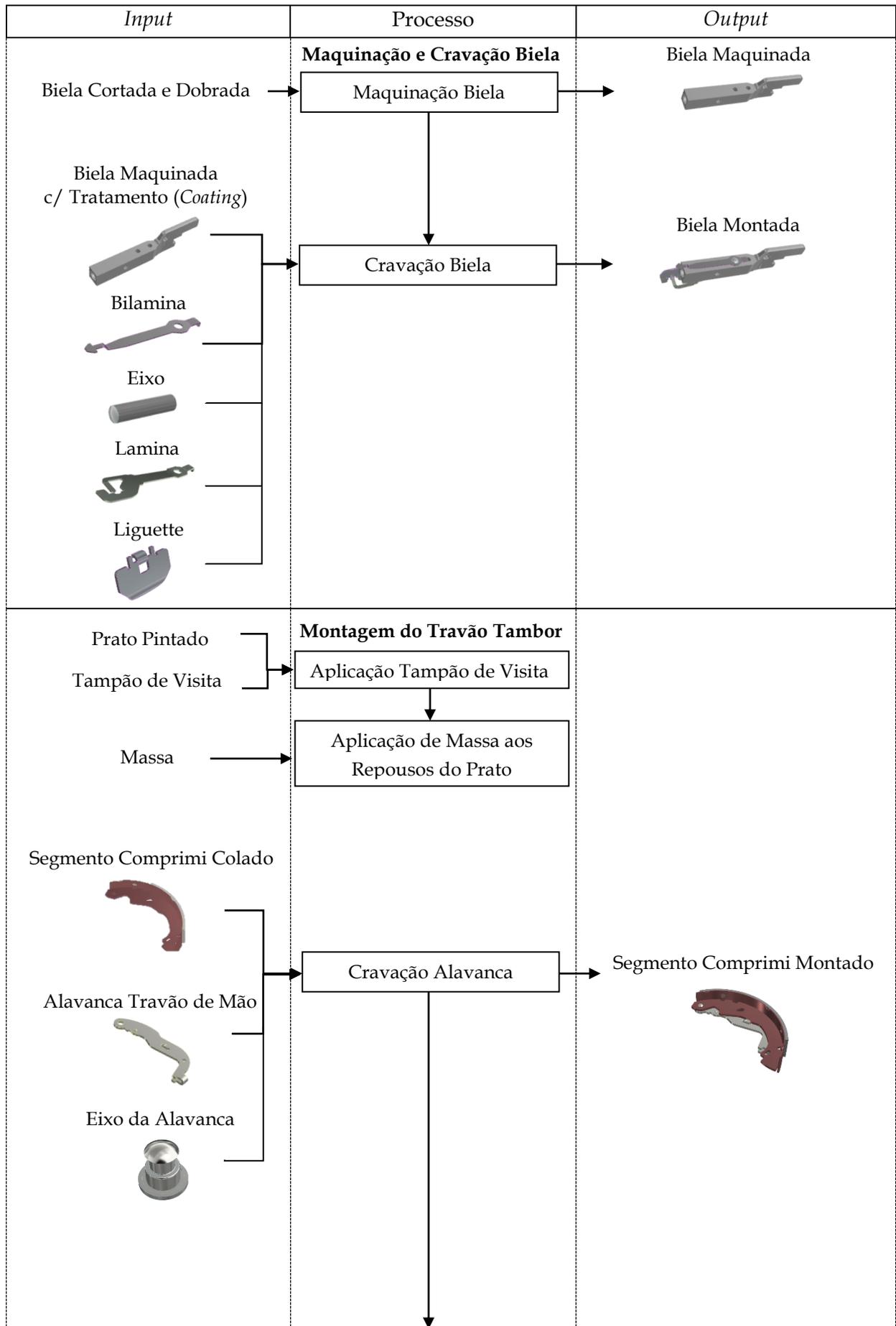
MAPEAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO TRAVÃO TAMBOR NA ABRP



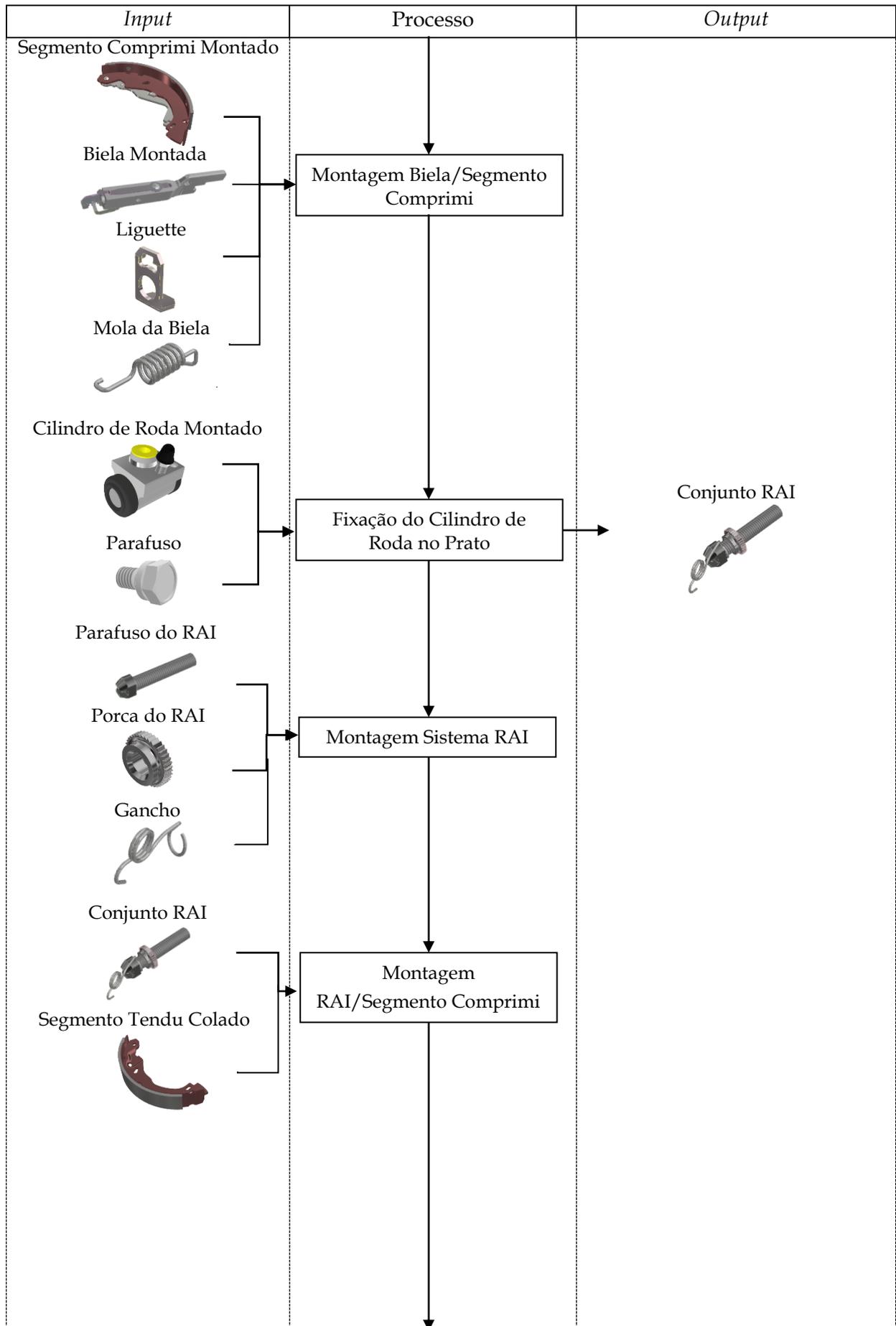
ANEXO A - MAPEAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO TRAVÃO TAMBOR NA ABRP



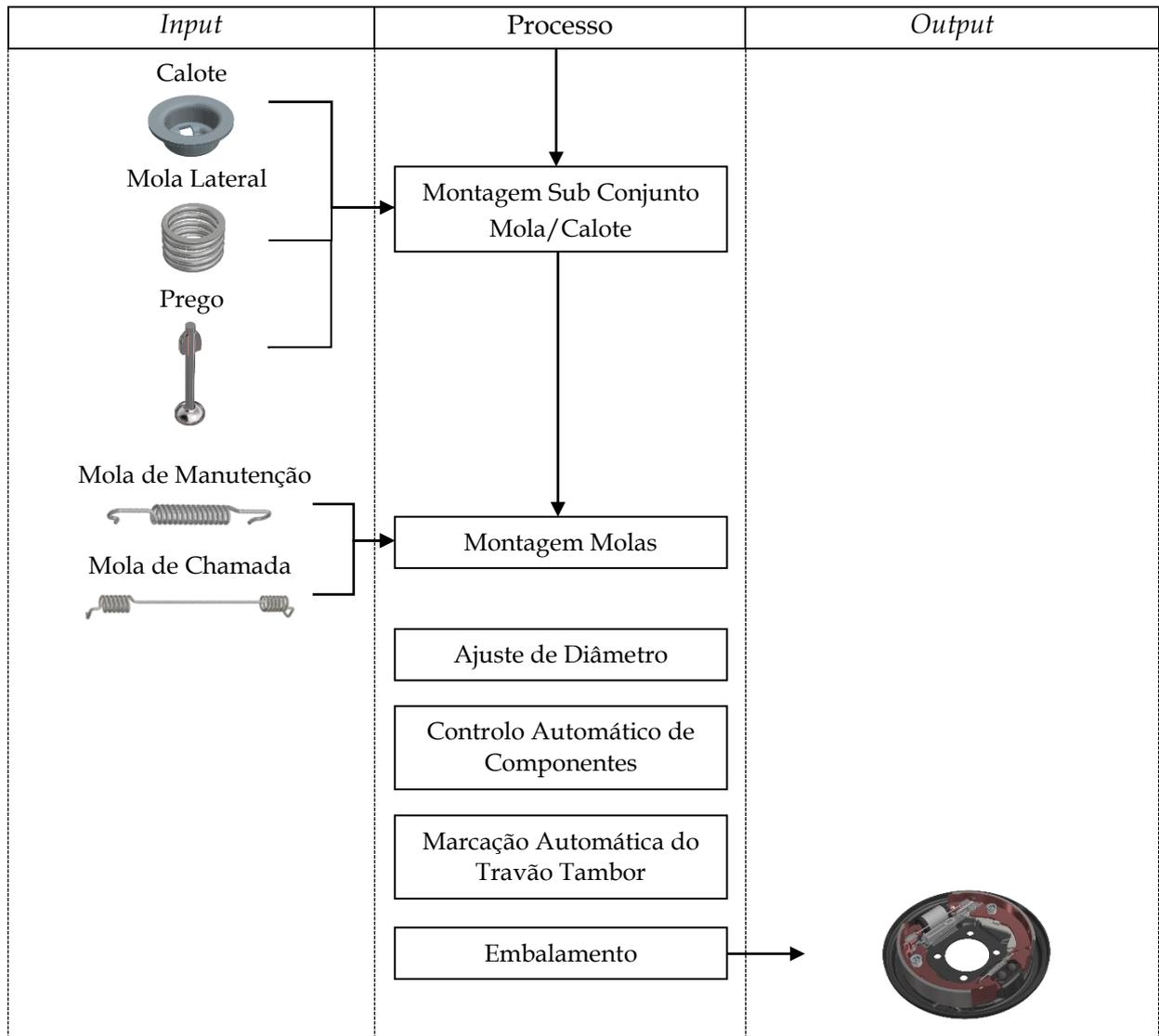
ANEXO A - MAPEAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO TRAVÃO TAMBOR NA ABRP



ANEXO A - MAPEAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO TRAVÃO TAMBOR NA ABRP

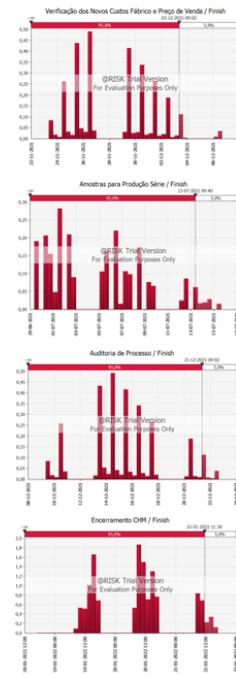


ANEXO A - MAPEAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO TRAVÃO TAMBOR NA ABRP



LAYOUT DA FOLHA DE CÁLCULO DE EXCEL PARA O DIMENSIONAMENTO DAS RESERVAS DE TEMPO DO PROJETO C - @RISK 7.6

ID	Atividades	Duração Alvo	Início	Fim	Precedências	Recursos	Duração Mínima	Duração Mais Provável	Duração Máxima				
1	Kick Off Meeting (KOM)	1 day	sex 28-5-21	sex 28-5-21		Coordenador Projetos	1	1	1				
2	Verificar como Abordar a Modificação com o Cliente	28 days	seg 31-5-21	qua 7-7-21	1	Chefe Vendas Cliente	25	28	35				
3	Comunicação Cliente + Verificação Testes Cliente	2 days	qui 8-7-21	sex 9-7-21	2	Engenheiro de Plataforma	1	2	4				
4	Abordar Comprador Categoria	2 days	sex 20-8-21	seg 23-8-21	8	Engenheiro de Plataforma	1	2	5				
5	Confirmação de Viabilidade do Fornecedor	15 days	ter 24-8-21	seg 13-9-21	4	Comprador de Categoria	12	15	20				
6	Impacto do Custo do Fornecedor	35 days	ter 14-9-21	seg 1-11-21	5	Comprador de Categoria	30	35	40	D95%	D'	Dimensão Reserva	
7	Verificação dos Novos Custos Fábriico e Preço de Venda / Finish	18 days	ter 2-11-21	qui 25-11-21	6	Gestor Financeiro	15	18	25	03-12-2021	25-11-2021	7	FB1
8	Desenvolvimento Esboço Desenho	4 days	seg 16-8-21	qui 19-8-21	1	Engenheiro de Plataforma	3	4	10				
9	Verificar Existência Peças Modificadas em Stock	2 days	seg 31-5-21	ter 1-6-21	1	Engenheiro Processo C	1	2	3				
10	Validação Dimensional Pistons	15 days	qua 2-6-21	ter 22-6-21	9	Engenheiro Qualidade Cliente	12	15	25				
11	Produção de Protótipos (Cilindro de Roda Montada)	5 days	qua 23-6-21	ter 29-6-21	10	Coordenador Protótipos	4	5	10				
12	Amostras para Produção Série	3 days	sex 25-6-21	ter 29-6-21	11FF	Engenheiro Processo C,Engenheiro Proces	2	3	15	13-07-2021	29-06-2021	11	FB2
13	Agendamento Bancos de Teste	2 days	seg 12-7-21	ter 13-7-21	3	Engenheiro Sistemas Qualidade	1	2	4				
14	Pre-Design Validation Plan (DVP)	45 days	qua 14-7-21	ter 28-9-21	13;12	Fábrica A	40	45	60				
15	Divulgação Resultados Pre-DVP	2 days	qua 29-9-21	qui 30-9-21	14	Fábrica A	1	2	3				
16	Divulgação Desenho Final	1 day	ter 21-9-21	ter 21-9-21	15	Engenheiro de Plataforma	1	1	1				
17	Atualização Documentação de Processo	5 days	qua 22-9-21	ter 28-9-21	16	Engenheiro Processo C,Engenheiro Proces	4	5	10				
18	Produção Peças de Série (Trial Run)	8 days	qua 29-9-21	sex 8-10-21	17	Engenheiro Processo C,Engenheiro Proces	5	8	15				
19	Auditoria de Processo	8 days	qui 2-12-21	seg 13-12-21	18SS	Engenheiro Sistemas Qualidade	5	8	15	21-12-2021	13-12-2021	7	FB3
20	Test Benches Booking	2 days	seg 11-10-21	ter 12-10-21	18	Engenheiro Sistemas Qualidade	1	2	4				
21	Envio Peças para Fábrica A	2 days	qua 13-10-21	qui 14-10-21	20	Coordenador Protótipos	1	2	4				
22	DVP	45 days	sex 15-10-21	qui 16-12-21	21	Fábrica A	40	45	60				
23	Divulgação Resultados DVP	1 day	sex 17-12-21	sex 17-12-21	22	Fábrica A	1	1	2				
24	PPAP	20 days	seg 20-12-21	sex 14-1-22	7;19;23	Engenheiro Qualidade Cliente	15	20	30				
25	Start Of Production (SOP)	1 day	seg 17-1-22	seg 17-1-22	24	Abvt	1	1	1				
26	Encerramento CHM	2 days	ter 18-1-22	qua 19-1-22	25	Coordenador Projetos	1	2	4	21-01-2022	19-01-2022	3	PB



D.

LAYOUT DA FOLHA DE CÁLCULO DE EXCEL PARA O DIMENSIONAMENTO DA RESERVA DE CUSTO DO PROJETO C - @RISK 8

Atividades	Custo	Custo Mínimo	Custo Mais Provável	Custo Máximo
<i>Kick Off Meeting (KOM)</i>	€ 6,40	6,40 €	€ 6,40	6,40 €
Verificar como Abordar a Modificação com o Cliente	€ 268,80	240,00 €	€ 268,80	336,00 €
Comunicação Cliente + Verificação Testes Cliente	€ 19,20	9,60 €	€ 19,20	38,40 €
Abordar Comprador Categoria	€ 19,20	9,60 €	€ 19,20	48,00 €
Confirmação de Viabilidade do Fornecedor	€ 156,00	124,80 €	€ 156,00	208,00 €
Impacto do Custo do Fornecedor	€ 364,00	312,00 €	€ 364,00	416,00 €
Verificação dos Novos Custos Fábrico e Preço de Venda	€ 187,20	156,00 €	€ 187,20	260,00 €
Desenvolvimento Esboço Desenho	€ 38,40	31,20 €	€ 38,40	104,00 €
Verificar Existência Peças Modificadas em Stock (Testes Anteriores)	€ 17,60	8,80 €	€ 17,60	26,40 €
Validação Dimensional Pistons	€ 120,00	96,00 €	€ 120,00	200,00 €
Produção de Protótipos (Cilindro de Roda Montado)	€ 32,00	25,60 €	€ 32,00	64,00 €
Amostras para Produção Série	€ 52,80	17,60 €	€ 52,80	132,00 €
Agendamento Bancos de Teste	€ 16,00	8,00 €	€ 16,00	32,00 €
<i>Pre-Design Validation Plan (DVP)</i>	€ 540,00	480,00 €	€ 540,00	720,00 €
Divulgação Resultados Pre-DVP	€ 24,00	12,00 €	€ 24,00	36,00 €
Divulgação Desenho Final	€ 9,60	9,60 €	€ 9,60	9,60 €
Atualização Documentação de Processo	€ 140,00	112,00 €	€ 140,00	280,00 €
Produção Peças de Série (<i>Trial Run</i>)	€ 140,80	88,00 €	€ 140,80	264,00 €
Auditoria de Processo	€ 64,00	40,00 €	€ 64,00	120,00 €
Agendamento Bancos de Teste	€ 16,00	8,00 €	€ 16,00	32,00 €
Envio Peças para Fábrica A	€ 12,80	8,00 €	€ 12,80	32,00 €
DVP	€ 540,00	480,00 €	€ 540,00	720,00 €
Divulgação Resultados DVP	€ 12,00	12,00 €	€ 12,00	24,00 €
PPAP	€ 160,00	120,00 €	€ 160,00	240,00 €
<i>Start Of Production (SOP)</i>	€ 6,40	6,40 €	€ 6,40	6,40 €
Encerramento CHM	€ 12,80	6,40 €	€ 12,80	25,60 €

BCACo	€ 2 976,00
BCAC95%	€ 3 445,00
Dimensão CB	€ 469,00

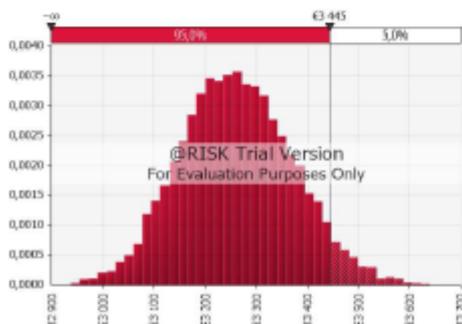


TABELA EV NO INÍCIO DO PROJETO C - MICROSOFT PROJECT

ID	Task Name	PV (BCWS)	EV (BCWP)	AC (ACWP)	SV	CV	EAC	BAC	VAC	SPI	CPI	% Trabalho Concretizado	Custo Extra	2021	Half 2, 2021	Half 1, 2022													
														A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M		
1	Projeto C	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€3 448,20	€3 448,20	€0,00	0	0	0%	€0,00																
2	Conceptualização/Iniciação/Aprovação	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€1 020,80	€1 020,80	€0,00	0	0	0%	€0,00																
3	Kick Off Meeting (KOM)	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€6,40	€6,40	€0,00	0	0	0%	€0,00																
4	Verificar como Abordar a Modificação com o Cliente	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€268,80	€268,80	€0,00	0	0	0%	€0,00																
5	Comunicação Cliente + Verificação Testes Cliente	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€19,20	€19,20	€0,00	0	0	0%	€0,00																
6	Abordar Comprador Categoria	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€19,20	€19,20	€0,00	0	0	0%	€0,00																
7	Confirmação de Viabilidade do Fornecedor	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€156,00	€156,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
8	Impacto do Custo do Fornecedor	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€364,00	€364,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
9	Verificação dos Novos Custos Fábriico e Preço de Venda	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€187,20	€187,20	€0,00	0	0	0%	€0,00																
10	FBI Verificação dos Novos Custos Fábriico e P-49 PPAP-76	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
11	Design & Desenvolvimento do Produto	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€840,80	€840,80	€0,00	0	0	0%	€0,00																
12	Fabrico Protótipos	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€276,80	€276,80	€0,00	0	0	0%	€0,00																
13	Desenvolvimento Esboço Desenho	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€38,40	€38,40	€0,00	0	0	0%	€0,00																
14	Verificar Existência Peças Modificadas em Stock (Testes Anteriores)	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€17,60	€17,60	€0,00	0	0	0%	€0,00																
15	Validação Dimensional Pistons	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€120,00	€120,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
16	Produção de Protótipos (Cilindro de Roda Montado)	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€32,00	€32,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
17	Amostras para Produção Série	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€52,80	€52,80	€0,00	0	0	0%	€0,00																
18	FBI Amostras para Produção Série-55 Pre-Design Validation Plan (DVP)-59	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
19	Agendamento Bancos de Teste	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€16,00	€16,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
20	Pre-DVP	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€564,00	€564,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
21	Pre-Design Validation Plan (DVP)	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€540,00	€540,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
22	Divulgação Resultados Pre-DVP	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€24,00	€24,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
23	Validação Produto & Processo	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€935,20	€935,20	€0,00	0	0	0%	€0,00																
24	Processo	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€354,40	€354,40	€0,00	0	0	0%	€0,00																
25	Divulgação Desenho Final	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€9,60	€9,60	€0,00	0	0	0%	€0,00																
26	Atualização Documentação de Processo	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€140,00	€140,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
27	Produção Peças de Série (Trial Run)	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€140,80	€140,80	€0,00	0	0	0%	€0,00																
28	Auditoria de Processo	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€64,00	€64,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
29	FBI Auditoria de Processo-69 PPAP-76	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
30	Produto (Serial Parts)	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€580,80	€580,80	€0,00	0	0	0%	€0,00																
31	Agendamento Bancos de Teste	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€16,00	€16,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
32	Envio Peças para Fábrica A	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€12,80	€12,80	€0,00	0	0	0%	€0,00																
33	DVP	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€540,00	€540,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
34	Divulgação Resultados DVP	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€12,00	€12,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
35	Produção	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€651,40	€651,40	€0,00	0	0	0%	€0,00																
36	PPAP	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€160,00	€160,00	€0,00	0	0	0%	€0,00																
37	Start Of Production (SOP)	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€9,60	€9,60	€0,00	0	0	0%	€0,00																
38	Encerramento CHM	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€12,80	€12,80	€0,00	0	0	0%	€0,00																
39	PBI Encerramento CHM-78	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€469,00	€469,00	€0,00	0	0	0%	€469,00																

TABELA EV DO PROJETO C - MICROSOFT PROJECT

ID	Task Name	PV (BCWS)	EV (BCWP)	AC (ACWP)	SV	CV	EAC	BAC	VAC	SPI	CPI	% Trabalho Concretizado	Custo Extra	2021 A M J	Half 2, 2021 J A S O N D	Half 1, 2022 J F M A M J
1	Projeto C	€574,40	€324,80	€324,80	€249,60-	€0,00	€3 448,20	€3 448,20	€0,00	0,57	1	13%	€0,00			
2	Conceptualização/Iniciação/Aprovação	€313,60	€140,80	€140,80	€172,80-	€0,00	€1 020,80	€1 020,80	€0,00	0,45	1	15%	€0,00			
3	Kick Off Meeting (KOM)	€6,40	€6,40	€6,40	€0,00	€0,00	€6,40	€6,40	€0,00	1	1	100%	€0,00			
4	Verificar como Abordar a Modificação com o Cliente	€268,80	€134,40	€134,40	€134,40-	€0,00	€268,80	€268,80	€0,00	0,5	1	50%	€0,00			
5	Comunicação Cliente + Verificação Testes Cliente	€19,20	€0,00	€0,00	€19,20-	€0,00	€19,20	€19,20	€0,00	0	0	0%	€0,00			
6	Abordar Comprador Categoria	€19,20	€0,00	€0,00	€19,20-	€0,00	€19,20	€19,20	€0,00	0	0	0%	€0,00			
7	Confirmação de Viabilidade do Fornecedor	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€158,00	€158,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
8	Impacto do Custo do Fornecedor	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€364,00	€364,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
9	Verificação dos Novos Custos Fábriico e Preço de Venda	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€187,20	€187,20	€0,00	0	0	0%	€0,00			
10	FB Verificação dos Novos Custos Fábriico e P-49 PPAP-76	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
11	Design & Desenvolvimento do Produto	€260,80	€184,00	€184,00	€76,80-	€0,00	€840,80	€840,80	€0,00	0,71	1	27%	€0,00			
12	Fábriico Protótipos	€260,80	€184,00	€184,00	€76,80-	€0,00	€276,80	€276,80	€0,00	0,71	1	65%	€0,00			
13	Desenvolvimento Esboço Desenho	€38,40	€38,40	€38,40	€0,00	€0,00	€38,40	€38,40	€0,00	1	1	100%	€0,00			
14	Verificar Existência Peças Modificadas em Stock (Testes Anteriores)	€17,60	€17,60	€17,60	€0,00	€0,00	€17,60	€17,60	€0,00	1	1	100%	€0,00			
15	Validação Dimensional Pistons	€120,00	€120,00	€120,00	€0,00	€0,00	€120,00	€120,00	€0,00	1	1	100%	€0,00			
16	Produção de Protótipos (Cilindro de Roda Montado)	€32,00	€8,00	€8,00	€24,00-	€0,00	€32,00	€32,00	€0,00	0,25	1	25%	€0,00			
17	Amostras para Produção Série	€52,80	€0,00	€0,00	€52,80-	€0,00	€52,80	€52,80	€0,00	0	0	0%	€0,00			
18	FB Amostras para Produção Série-55 Pre-Design Validation Plan (DVP)-59	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	0	0	100%	€0,00			
19	Agendamento Bancos de Teste	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€16,00	€16,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
20	Pre-DVP	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€564,00	€564,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
21	Pre-Design Validation Plan (DVP)	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€540,00	€540,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
22	Divulgação Resultados Pre-DVP	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€24,00	€24,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
23	Validação Produto & Processo	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€935,20	€935,20	€0,00	0	0	0%	€0,00			
24	Processo	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€354,40	€354,40	€0,00	0	0	0%	€0,00			
25	Divulgação Desenho Final	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€9,60	€9,60	€0,00	0	0	0%	€0,00			
26	Atualização Documentação de Processo	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€140,00	€140,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
27	Produção Peças de Série (Trial Run)	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€140,80	€140,80	€0,00	0	0	0%	€0,00			
28	Auditoria de Processo	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€04,00	€04,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
29	FB Auditoria de Processo-69 PPAP-76	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
30	Produto (Serial Parts)	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€580,80	€580,80	€0,00	0	0	0%	€0,00			
31	Agendamento Bancos de Teste	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€16,00	€16,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
32	Envio Peças para Fábrica A	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€12,80	€12,80	€0,00	0	0	0%	€0,00			
33	DVP	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€540,00	€540,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
34	Divulgação Resultados DVP	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€12,00	€12,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
35	Produção	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€651,40	€651,40	€0,00	0	0	0%	€0,00			
36	PPAP	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€160,00	€160,00	€0,00	0	0	0%	€0,00			
37	Start Of Production (SOP)	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€9,60	€9,60	€0,00	0	0	0%	€0,00			
38	Encerramento CHM	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€12,80	€12,80	€0,00	0	0	0%	€0,00			
39	PB Encerramento CHM-78	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00	€469,00	€469,00	€0,00	0	0	0%	€469,00			21/03/22



2021

ANA FILIPA BORGES RIBEIRO

PROPOSTA DE UM MODELO HÍBRIDO RISCO-EFICIÊNCIA
PARA A GESTÃO DE PROJETOS