



Dissertação

Mestrado em Gestão

***Controlo de projetos com a técnica EVM estocástica:
Impacto da incerteza no valor ganho e no valor
planeado***

Melissa Cátia da Fonseca Pereira

Leiria, *Março* de 2017



Dissertação

Mestrado em Gestão

***Controlo de projetos com a técnica EVM estocástica:
Impacto da incerteza no valor ganho e no valor
planeado***

Melissa Cátia da Fonseca Pereira

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Carlos Manuel Gomes da Silva, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Março* de 2017

Dedicatória

À minha Avó, por todas as palavras de incentivo e motivação.

Agradecimentos

A realização da presente dissertação não seria possível sem o contributo de algumas pessoas às quais gostaria de expressar os meus agradecimentos.

Ao Professor Doutor Carlos Manuel Gomes da Silva, na qualidade de meu orientador, por toda a disponibilidade, pelas críticas construtivas, perseverança e auxílio na superação dos obstáculos que surgiram no desenvolvimento do presente trabalho.

À minha família e amigos, pelo apoio e incentivo na resposta às ansiedades e receios que fizeram parte deste percurso, contribuindo para que nunca desistisse.

“Todo o revés traz consigo as sementes de um benefício recompensador.”

(Napoleon Hill)

Resumo

O setor da Engenharia Civil atravessa atualmente um período de recessão motivado pela grande pressão competitiva entre as empresas, levando à necessidade de proceder ao aperfeiçoamento dos seus sistemas de gestão. Nesse sentido, salienta-se o *Earned Value Management*, o qual tem ganho uma crescente relevância no âmbito da gestão de projetos, em especial, nos processos de controlo e monitorização. Todavia, se por um lado a dita metodologia tem tido grande destaque na literatura pela sua simplicidade de aplicação no controlo de projetos, por outro, a avaliação do estado de progresso dos mesmos, num dado momento de controlo, tem sido colocada em causa.

A presente dissertação insere-se no âmbito desta temática, em especial, no que respeita à determinação da variável que traduz a percentagem de trabalho efetivamente realizado (PC) e a influência que poderá ter na determinação do valor ganho (EV). Os montantes orçamentados definidos na fase de planeamento (BAC) são também objeto de análise, demonstrando-se o seu caráter dúbio que poderá figurar situações onde o projeto aparenta erradamente estar fora de controlo. Para o estudo da incerteza dos valores determinados para ambas as variáveis e o seu impacto na representação do real progresso dos projetos, simularam-se vários cenários aplicados a um projeto de construção hipotético, de modo a aferir se os resultados obtidos traduziriam perspetivas muito distintas relativamente ao seu estado de desenvolvimento. A partir da simulação de inúmeras combinações possíveis associadas à incerteza nos montantes orçamentados e na percentagem de trabalho concluído, foi possível verificar que os mesmos traduziam realidades diferentes relativamente a um mesmo referencial cronológico.

A determinação de EV recorrendo à tradicional técnica da percentagem de trabalho concluído parece algo limitada. Embora se destaque pela sua simplicidade de aplicação, suscita dúvidas ao nível da avaliação do progresso dos projetos. O trabalho efetuado sugere que outra atenção deve ser dada ao seu controlo, adotando uma metodologia que contemple uma perspetiva estocástica, expressando adequadamente a incerteza nos valores determinados e providenciando mais informação ao gestor acerca da realidade do projeto.

Palavras-chave: *Controlo de Projetos de Construção; Earned Value Management; Incerteza; Percentagem de Trabalho Concluído; Simulação de Monte Carlo; Valor Ganho; Valor Planeado.*

Abstract

Nowadays, Civil Engineering industry goes through a recession period motivated by huge competitive pressure among the companies, forcing them to improve their management systems. In this context, this research focuses on *Earned Value Management* which has gained preponderance around project management, particularly in control and monitoring processes. Although this project management methodology is widely recognized over the literature by its simplicity in controlling projects, on the other hand, its project progress evaluation, at any given time, has been questioned.

This thesis falls within the scope of this issue, more specifically with regard to the variable that reflects the percentage of the work performed (PC) and its impact on earned value calculations (EV). The budgeted costs defined at scheduling phase (BAC) are also analysed, demonstrating how much they can be subjective and assuming wrongly that the project is out of control. In this work, to include this uncertainty in both variables and their influence in representing the real progress, various scenarios were simulated to a hypothetical construction project in order to compare the results with its real physical progress. By means of simulation, from many possible combinations to address the uncertainties associated to the budgeted costs and in estimating the “percent completion” of each activity using stochastic models, it was concluded that both expressed different scenarios for the same specific moment.

The application of the traditional *Percent Complete technique* in measuring the EV appears to be somewhat limited. Although it is known as one of the simplest techniques, it may raise some questions in terms of evaluating project progress. The work done suggests that another consideration to this issue should be given, by adopting a methodology with a stochastic perspective to express appropriately this uncertainty into interpretations and results, and providing more information to the manager about the current progress of the project.

Keywords: *Construction Project Control; Earned Value; Earned Value Management; Monte Carlo Simulation; Percent Complete Technique; Planned Value; Uncertainty.*

Lista de figuras

Figura 1: Representação do “triângulo de gestão de projetos” segundo Kerzner (2013).	7
Figura 2: Representação das variáveis base da metodologia EVM.	16
Figura 3: Representação dos indicadores de desvio SV, CV e TV.....	25
Figura 4: Representação dos indicadores de desvio SV e CV com a introdução da variável ES proposta por Lipke (2003).....	27
Figura 5: Representação dos indicadores de previsão da metodologia EVM.....	30
Figura 6: Extrapolação do valor de EV segundo diferentes perspetivas.....	31
Figura 7: Curva característica do ciclo de vida de um projeto.....	38
Figura 8: Representação gráfica dos limites (“ <i>buffer</i> ”) de custo e tempo determinados para cada intervalo do projeto.	40
Figura 9: Curva-S estocástica de um dado projeto.....	41
Figura 10: Representação gráfica da tríade e respetivas projeções de tempo e custo (Acebes <i>et al.</i> , 2014).....	43
Figura 11: Resultado da simulação de Monte Carlo relativamente ao custo e duração do projeto, quando EV= 50% de BAC (Acebes <i>et al.</i> , 2015).....	44
Figura 12: Representação das variáveis da metodologia EVM no momento de controlo (dia 13) e previsão dos índices de desempenho do projeto (Kuhl e Perez Graciano, 2014).....	48
Figura 13: Rede representativa do projeto de construção da vivenda.....	56
Figura 14: Rede representativa do projeto quando AT = 9. ^a semana.....	57
Figura 15: Sobreposição das distribuições beta, triangular e PERT que representam a incerteza dos valores da variável PC, em AT, relativamente à atividade F.	64
Figura 16: Sobreposição das distribuições beta, triangular e PERT que representam a incerteza dos valores da variável PC, em AT, relativamente à atividade G.....	64
Figura 17: Sobreposição das distribuições beta, triangular e PERT que representam a incerteza dos valores da variável PC, em AT, relativamente à atividade H.....	65
Figura 18: Representação dos valores de EV, no momento de controlo, quando PC _{<i>i</i>} é determinado segundo uma perspetiva determinista (pelas fórmulas fixas) e estocástica (expressa através das funções estatísticas triangular, PERT e beta).....	73

Figura 19: Valores (médios) de EV no momento de controlo (AT= semana 9), assumindo uma perspetiva estocástica no cálculo de PC_i – cenários 4 a 21.	74
Figura 20: Amplitude do intervalo entre P5 e P95 dos valores determinados para EV no momento de controlo (AT= semana 9), assumindo uma perspetiva determinista (cenários 4 a 12) e estocástica (cenários 13 a 21) na definição de BAC_i	75
Figura 21: Representação dos valores de SV, no momento de controlo, determinados segundo uma perspetiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (valores compreendidos entre os percentis P5 e P95 obtidos da SMC).	76
Figura 22: Probabilidade do projeto se encontrar atrasado ($SV < 0$) no momento de controlo (AT= semana 9) – cenários 4 a 21.	77
Figura 23: Representação dos valores de CV, no momento de controlo, determinados segundo uma perspetiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (valores compreendidos entre os percentis P5 e P95 obtidos da SMC).	78
Figura 24: Probabilidade do projeto se encontrar acima do orçamento ($CV < 0$) no momento de controlo (AT= semana 9) - cenários 4 a 21.	79
Figura 25: Representação dos valores de SPI, no momento de controlo, determinados segundo uma perspetiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (valores compreendidos entre os percentis P5 e P95 obtidos da SMC).	80
Figura 26: Representação dos valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC relativamente ao índice de desempenho de execução dos cenários 4 a 21.	81
Figura 27: Representação dos valores de CPI, no momento de controlo, determinados segundo uma perspetiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (valores compreendidos entre os percentis P5 e P95 obtidos da SMC).	83
Figura 28: Representação dos valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC relativamente ao índice de desempenho de custo dos cenários 4 a 21.	84
Figura 29: Representação dos valores de EAC_t determinados segundo uma perspetiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (valores compreendidos entre os percentis P5 e P95 obtidos da SMC).	86
Figura 30: Tempo médio estimado (em dias) na conclusão do projeto, tendo em conta o índice de desempenho de execução registado no momento de controlo (AT= semana 9) – cenários 4 a 21.	88
Figura 31: Representação dos valores de VAC (em %) calculados segundo uma perspetiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (valores compreendidos entre os	

percentis P5 e P95 obtidos da SMC), tendo em conta o cenário que poderá ser mais provável no desenvolvimento dos trabalhos do projeto até à sua conclusão..... 89

Figura 32: Representação dos valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC relativamente ao desvio na conclusão dos cenários 4 a 21, tendo em conta a perspectiva que poderá ser mais provável no desenvolvimento dos trabalhos do projeto até à sua conclusão..... 90

Figura 33: Representação dos valores de VAC (em %) calculados segundo uma perspectiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (valores compreendidos entre os percentis P5 e P95 obtidos da SMC), assumindo um cenário pessimista para o desenvolvimento dos trabalhos do projeto até à sua conclusão..... 91

Figura 34: Probabilidade do desvio na conclusão apresentar valores negativos ($VAC < 0$) ao adotar uma perspectiva pessimista para o desenvolvimento dos trabalhos do projeto até à sua conclusão – cenários 4 a 21. 92

Lista de tabelas

Tabela 1: Fases do processo de controlo (Kerzner, 2013).	5
Tabela 2: Definição das restrições do “triângulo de gestão de projetos” (adaptado de Kerzner (2013) e Miguel (2006)).	8
Tabela 3: Exemplos de fatores que poderão gerar desvios no âmbito, custo e tempo dos projetos (adaptado de Meredith e Mantel (2012) e Roldão (2000)).	10
Tabela 4: Técnicas de medição para determinar o parâmetro EV, segundo o PMI (2005).	18
Tabela 5: Relação entre o estado do projeto e os indicadores de desempenho (Fernandes, 2008).	26
Tabela 6: Informação sobre as relações de precedência, durações e custos determinísticos previstos para as atividades que integram o projeto - valores de base de planeamento.	56
Tabela 7: Parâmetros adotados na definição das distribuições triangular, PERT e beta da variável PC_i das atividades em curso no momento de controlo ($AT= 9.^a$ semana).	66
Tabela 8: Cenários alternativos do projeto de construção que serão simulados para antecipar a realidade da semana 9 quando PC_i é determinado por metodologias tradicionais (cenários 1 a 3) ou sob uma condição de incerteza (cenários 4 a 6).	66
Tabela 9: Parâmetros adotados na definição das distribuições triangular, PERT e beta que expressam o custo real de cada atividade do projeto.	68
Tabela 10: Cenários alternativos do projeto de construção que serão simulados para antecipar a realidade da semana 9 considerando que os montantes definidos para BAC_i , na fase de planeamento, poderão ou não ser sujeitos a alterações.	69
Tabela 11: Valores de EV, no momento de controlo, quando PC_i é determinado segundo uma perspetiva determinista (pelas fórmulas fixas) e estocástica (expressa através das funções estatísticas triangular, PERT e beta), onde se apresentam os valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC.	72
Tabela 12: Amplitude do intervalo entre P5 e P95 dos valores determinados para EV no momento de controlo ($AT=$ semana 9), assumindo uma perspetiva determinista (cenários 4 a 12) e estocástica (cenários 13 a 21) na definição de BAC_i	75
Tabela 13: Estimativa do tempo (em dias) na conclusão do projeto, tendo em conta o índice de desempenho de execução registado no momento de controlo ($AT=$ semana 9)..	87

Lista de siglas

- AC (*Actual Cost*) – Custo Real
- ACBf (*Cumulative Cost Buffer*) – Limite de Custo Acumulado
- AECOPS – Associação de Empresas de Construção e Obras Públicas e Serviços
- ASBf (*Cumulative Schedule Buffer*) – Limite de Tempo Acumulado
- AT (*Actual Time*) – Tempo Real/ Momento de Controlo
- BAC (*Budget at Completion*) – Orçamento na Conclusão
- CCoI (*Cost Control Index*) – Índice de Controlo de Custos
- CPI (*Cost Performance Index*) – Índice de Desempenho de Custo
- CPM (*Critical Path Method*) – Método do Caminho Crítico
- CSI (*Cost-Schedule Index*) – Índice de Custo-Execução/ Rácio Crítico
- CV (*Cost Variance*) – Desvio de Custo
- EAC (*Estimate at Completion*) – Estimativa na Conclusão
- EAC_t (*Time Estimate At Completion*) – Estimativa de Tempo na Conclusão
- ES (*Earned Schedule*) – Momento Agendado do Valor Ganho determinado em AT
- ETC (*Estimate to Completion*) – Estimativa para Concluir
- EV (*Earned Value*) – Valor Ganho
- EVM (*Earned Value Management*) – Gestão do Valor Ganho
- LLT (*Logarithm Linear Transformation*) – Transformação Linear Logarítmica
- MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) – Erro Percentual Médio Absoluto
- OE – Ordem dos Engenheiros
- OP – Obras Públicas
- PC (*Percent Complete*) – Percentagem Concluída
- PD (*Planned Duration*) – Duração Planeada
- PV (*Planned Value*) – Valor Planeado

PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) – Técnica de Avaliação e Revisão do Programa/ Projeto

PMI (*Project Management Institute*) – Instituto de Gestão de Projetos

SCoI (*Schedule Control Index*) – Índice de Controlo de Execução

SMC – Simulação de Monte Carlo

SPI (*Schedule Performance Index*) – Índice de Desempenho de Execução

ST (*Scheduled Time*) – Tempo Agendado/ Planeado

SV (*Schedule Variance*) – Desvio de Execução

TC – Tribunal de Contas

TCPI (*To-Complete Performance Index*) – Índice de Desempenho até à Conclusão

TV (*Time Variance*) – Desvio de Tempo

VAC (*Variance at Completion*) – Desvio na Conclusão

Índice

DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XV
LISTA DE SIGLAS	XVII
ÍNDICE	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
2. ENQUADRAMENTO DA GESTÃO DE PROJETOS	5
2.1. Importância do processo de controlo na gestão de projetos	5
2.2. Importância do Triângulo de Restrições no controlo de projetos	6
2.3. Desvios de tempo, custo e âmbito	9
2.4. Derrapagens em projetos de construção de obras públicas nacionais	11
3. A METODOLOGIA EVM NO CONTROLO E GESTÃO DE PROJETOS	15
3.1. Metodologias tradicionais para a determinação do valor de EV	17
3.2. Indicadores da metodologia EVM	23
3.2.1. Desvios de tempo e de custo	24
3.2.2. Índices de desempenho de tempo e de custo	25
3.2.3. Previsão de tempo e custo do projeto	27
	xix

3.3.	Limitações do EVM tradicional	33
3.3.1.	Limitações na determinação de PV	33
3.3.2.	Limitações na determinação de EV	35
3.3.3.	Limitações na previsão do desempenho do projeto	37
3.4.	Metodologia EVM estocástica no controlo de projetos	39
3.4.1.	Incerteza na determinação de PC e de EV	43
3.4.2.	Incerteza na determinação de PV	46
4.	A METODOLOGIA EVM NO SETOR DA ENGENHARIA CIVIL	51
4.1.	Aplicação da metodologia EVM estocástica a uma rede de um projeto de construção	54
4.1.1.	Breve caracterização do projeto de construção	55
4.2.	Pressupostos	57
4.3.	Modelo de simulação do progresso do projeto	59
4.3.1.	<i>Inputs</i> do modelo	60
4.3.2.	Modelo de simulação	61
4.3.3.	<i>Outputs</i> do modelo	69
5.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	71
6.	CONCLUSÕES	95
6.1.	Importância e contributos	95
6.2.	Limitações do estudo e investigações futuras	97
	BIBLIOGRAFIA	99
	ANEXOS	105

1. Introdução

É unânime afirmar que o setor da construção civil é atualmente um dos setores mais debilitados devido à crise que o país atravessa, associada ainda à problemática da crescente oferta e diminuição de procura. A ideia da gestão de projetos, outrora associada unicamente a um sistema burocrático interno das empresas, é agora substituída pela necessidade da procura de alternativas que rentabilizem os respetivos investimentos tendo em conta o contexto económico atual.

A disponibilização de informação em “tempo real” ao nível do planeamento e controlo de projetos de construção permite aos gestores identificar e antecipar possíveis problemas que possam surgir no decorrer dos mesmos. Deste modo, é possível proceder aos devidos ajustes para que a sua execução permaneça de acordo com o tempo inicialmente previsto, salvaguardando os custos orçamentados e demais requisitos do projeto, tais como as condições impostas pelos clientes. É neste sentido que surge a metodologia *Earned Value Management* (EVM) como ferramenta de destaque no que respeita ao acompanhamento rigoroso nos processos de construção de infraestruturas (Fernandes, 2008). Esta metodologia permite fazer a comparação dos trabalhos que deveriam ter sido executados face ao valor efetivamente gasto e também aferir acerca do progresso real do projeto. Da sua aplicação é possível gerar indicadores de desempenho e obter os desvios de tempo e custo face aos valores orçamentados na fase de planeamento. Em virtude dos resultados obtidos, é ainda possível estimar o montante final que será despendido no projeto e a respetiva data de finalização.

Proceder à modelação de um sistema de gestão integrado de prazos, custos e âmbito que retrate com maior precisão o estado atual do projeto tem estado no foco das investigações mais recentes. Se por um lado a aplicação da metodologia EVM contribui para a melhoria dos processos de controlo, usando indicadores mensuráveis que permitem identificar atempadamente desvios e formular as respetivas medidas corretivas, por outro, o método de avaliação do progresso das atividades de um determinado projeto põe em causa esta assunção. É consensual afirmar que a informação disponível tem subjacente um certo grau de incerteza, no entanto, é considerada em grande parte das técnicas disponíveis para o cálculo do valor ganho (EV) atribuindo-se-lhe um carácter determinista. Também a subjetividade patente na avaliação da percentagem de trabalho efetivamente realizado

poderá contribuir para um enviesamento da realidade relativamente ao estado de progresso do projeto.

Tendo em conta as críticas que têm sido apontadas ao método, o presente trabalho tem como objetivo mostrar a importância da metodologia EVM numa perspetiva estocástica para o controlo de projetos, no qual se pretende desenvolver um modelo de simulação para aplicação a uma rede de um projeto de construção. A maioria dos estudos que aplica a referida metodologia tem-se concentrado predominantemente em melhorar as estimativas finais de custo e duração do projeto e menos ao estudo dos valores determinados para as variáveis basilares, em especial, o valor ganho (EV) e o valor planeado (PV). Tendo em conta esta problemática, a metodologia que será desenvolvida na presente dissertação centrar-se-á no controlo do projeto de construção, pretendendo refletir a incerteza do parâmetro que traduz a percentagem de trabalho efetivamente realizado numa determinada fase de execução da referida obra (PC) e a influência que tais valores poderão causar na determinação do valor ganho (EV). Também os montantes orçamentados para cada etapa do ciclo de vida do projeto definidos na fase de planeamento (PV) serão objeto de análise, evidenciando a ambiguidade e subjetividade na natureza da sua origem e que, uma vez tomados como “dados de referência” no processo de monitorização do projeto, poderão figurar situações de alerta (nas quais o projeto poderá erradamente aparentar estar fora de controlo) contribuindo para a formulação de conclusões nem sempre fidedignas. Mediante o exposto, definir-se-á uma gama de valores que têm em conta a natureza estocástica da duração e custos definidos para as atividades que se encontram em execução no momento de controlo e que servirão como “banda de tolerância”. Implementando esta abordagem igualmente para todas as atividades que ainda faltam concluir até o projeto findar, é possível identificar quando é que os montantes de EV e de AC, obtidos através de simulação, se desviam do plano estipulado, constituindo um alerta da necessidade de proceder a uma reavaliação do projeto.

Ao desenvolver um modelo de simulação que contempla um determinado grau de incerteza nos cálculos e interpretações, pretende-se obter uma melhor avaliação do desempenho e progresso de cada atividade que integra o projeto permitindo, posteriormente, adotar as medidas corretivas mais adequadas para os casos em que seja evidente a sua necessidade.

Tendo em conta o exposto, a presente dissertação encontra-se estruturada nos capítulos a seguir descritos:

Capítulo 1: O primeiro capítulo, agora apresentado, introduz o tema da dissertação, inserindo-o no atual contexto da construção. No que se refere à escolha do tema que será analisado, destaca-se a metodologia EVM segundo uma perspectiva estocástica e a sua contribuição na melhoria da gestão de projetos. Apresentam-se ainda os objetivos a atingir e a metodologia que será desenvolvida.

Capítulo 2: No capítulo dois procede-se ao enquadramento teórico das principais temáticas sobre as quais o presente estudo irá incidir. Deste modo, abordar-se-á a importância do processo de controlo na gestão de projetos, assim como dos principais conceitos e princípios a ele subjacentes, nomeadamente, a integração de prazos, custos e âmbito. Dar-se-á ainda um especial enfoque às consequências que poderão surgir quando tal processo de monitorização é inadequado ou deficiente, em especial, nos projetos de construção de infraestruturas.

Capítulo 3: O capítulo três destaca a implementação da metodologia EVM no controlo e gestão de projetos. Com base na revisão de literatura que fora realizada, apresentar-se-ão as variáveis intervenientes, os indicadores e as técnicas de medição que integram a metodologia, assim como as principais limitações que a mesma apresenta. Esta componente teórica abordará ainda a integração do EVM com *softwares* de simulação, contemplando uma perspectiva estocástica, por forma a auxiliar os gestores na tomada de decisões.

Capítulo 4: O quarto capítulo inicia-se com uma breve contextualização da aplicação do EVM no setor da engenharia civil, fundamentada com base na literatura existente de momento. Tal metodologia será então aplicada a um projeto de construção hipotético, onde se descreverá o modelo de simulação que será desenvolvido, explicando as variáveis e os parâmetros intervenientes.

Capítulo 5: Após a simulação do modelo, no capítulo cinco, serão apresentados os resultados obtidos, os quais serão analisados e comentados. Os mesmos serão ainda avaliados tendo em conta os objetivos que se definiram para a presente dissertação.

Capítulo 6: O último capítulo reflete as principais conclusões que se obtiveram tendo em conta o trabalho que fora desenvolvido, apresentando as limitações do estudo e sugerindo ainda algumas recomendações para o desenvolvimento de projetos futuros.

2. Enquadramento da gestão de projetos

Genericamente e, de acordo com o disposto pelo Project Management Institute (2004), um projeto corresponde a “*um plano temporário que é desenvolvido com o intuito de conceber um produto, serviço, ou resultado específico*”. Ampliando a definição apresentada, pode ainda descrever-se o conceito como sendo a aglutinação de recursos (humanos e materiais) que procuram satisfazer um determinado objetivo organizacional, com caráter flexível e multidisciplinar. Compreende um conjunto de atividades únicas, inter-relacionadas e com duração limitada, consumindo recursos sujeitos a um dado orçamento, devendo assegurar a sua disponibilidade nas quantidades e nos momentos em que são solicitados (Miguel, 2006).

Como tal, é exigido aos gestores de projetos a elaboração de um plano de atuação e uma assídua monitorização dos trabalhos em curso, executando assim o chamado “processo de controlo”.

2.1. Importância do processo de controlo na gestão de projetos

Segundo Kerzner (2013), o processo de controlo contempla três etapas importantes, apresentadas na Tabela 1, nas quais o gestor deverá ter um papel ativo.

Medição	Elaboração de relatórios sobre o estado de progresso do projeto considerando os objetivos que se definiram inicialmente.
Avaliação	Para projetos que apresentem desvios consideráveis é necessário determinar as possíveis causas e formular as respetivas medidas corretivas, antecipando possíveis problemas.
Correção	Implementar as novas medidas de controlo para contrariar a tendência de se obter um cenário de insucesso.

Tabela 1: Fases do processo de controlo (Kerzner, 2013).

O autor alerta ainda de que existem alguns requisitos fundamentais que deverão ser cumpridos para que o processo de controlo seja eficaz, designadamente:

- Planeamento adequado do trabalho que ainda falta realizar para concluir o projeto;
- Estimar o trabalho, o custo e a duração do projeto adotando, tanto quanto possível, o cenário mais aproximado da realidade dos factos;
- Comunicação clara do âmbito dos trabalhos solicitados;
- Medição frequente da evolução do trabalho físico e dos respetivos custos;
- Estimar assiduamente o tempo e custo necessários para completar o trabalho em falta;
- Comparar, de forma regular, o progresso real do projeto com os montantes orçamentados e a calendarização dos trabalhos que se definiram na fase de planeamento, calculando a despesa que resultou de atrasos e/ou sobrecustos.

2.2. Importância do Triângulo de Restrições no controlo de projetos

É consensual afirmar que os projetos são sistemas dinâmicos, onde o seu equilíbrio deve ser salvaguardado. Tendo em conta a instabilidade a que os mesmos poderão estar sujeitos, o gestor deverá estar atento ao âmbito, tempo e custos relativos ao seu estado real e confrontar o cenário atual com os objetivos inicialmente estipulados, adotando uma abordagem integrada das variáveis em causa. Estas são tomadas como principais critérios no processo de medição do sucesso e desempenho de qualquer projeto e constituem a base que dá forma ao conceito denominado por “triângulo de restrições do projeto”, também designado de “triângulo de ferro” ou simplesmente por “triângulo da gestão de projetos”.

Segundo Kerzner (2013), as restrições podem ser distinguidas em restrições primárias ou secundárias, uma vez que existem outros fatores, tais como, o risco, a imagem, as relações com os clientes ou a qualidade dos serviços prestados, que poderão desviar-se dos critérios de sucesso tradicionais (tempo, custo e desempenho) já referidos. As mudanças nos fatores secundários podem surgir em qualquer instante do ciclo de vida do projeto e portanto, poderão forçar a necessidade de proceder a alterações ao nível dos critérios que se definiram previamente para “medir” o progresso. Um exemplo que suporta o mencionado é quando o fator “âmbito” é substituído pela dimensão “qualidade” quando se pretende oferecer um certo nível de rigor mediante um determinado custo e duração. O

autor declara então que os fatores secundários devem ser igualmente considerados como parte das restrições do projeto, uma vez que podem condicionar com maior impacto o seu desempenho mediante o objetivo que se pretenda atingir (Figura 1).

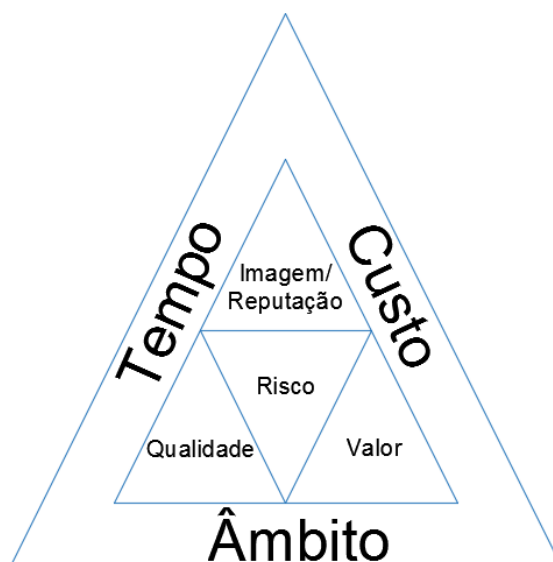


Figura 1: Representação do “triângulo de gestão de projetos” segundo Kerzner (2013).

Contudo, existem algumas restrições que, quando aplicadas a um projeto específico, não podem ser simplesmente alteradas, ao invés que outras podem aparentar ser mais flexíveis. Tal facto vem confirmar que as restrições não detêm o mesmo grau de relevância num mesmo projeto. Em geral, numa fase inicial, o âmbito é considerado como o fator basilar do projeto e é em sua função que se definem o tempo e custos para o mesmo; pelo contrário, na fase de execução, sucede a situação inversa (Kerzner, 2013).

Tendo em conta o objetivo que se definiu para a presente dissertação, assim como da metodologia que se irá adotar, apenas se fará menção das variáveis-base que constituem o “triângulo da gestão de projetos”. As mesmas encontram-se detalhadamente definidas na Tabela 2.

ÂMBITO	Define o conjunto de atividades que deverão ser realizadas para atingir um determinado objetivo, com recursos específicos. Devido à sua importância na fase inicial de planeamento, o gestor deverá compreender com clareza os requisitos impostos pelos seus clientes. Como tal, deverá estabelecer limites no âmbito do projeto de modo a satisfazer, simultaneamente, os objetivos de negócio definidos pelo gestor e os objetivos de carácter técnico exigidos pelos respetivos clientes. A visão do projeto deverá ser consensual tanto para o gestor, como para os seus <i>stakeholders</i> , devendo existir um alinhamento dos objetivos de <i>corporate business</i> .
TEMPO	Refere-se ao prazo dentro do qual o projeto deverá estar concluído. Na gestão do prazo, o gestor deverá definir a sequência dos fluxos de trabalho, estimar os recursos que serão consumidos e controlar a calendarização inicialmente definida para o projeto.
CUSTO	Corresponde ao montante disponível que se poderá despende na execução do projeto. Neste domínio, pretende-se que o gestor assegure que o mesmo é concluído dentro do orçamento aprovado, através da estimação, orçamentação e controlo dos custos do projeto durante o seu ciclo de vida.

Tabela 2: Definição das restrições do “triângulo de gestão de projetos” (adaptado de Kerzner (2013) e Miguel (2006)).

De acordo com Miguel (2006), somente após o planeamento e a aprovação dos recursos e do financiamento para o projeto, na fase em que a execução dos trabalhos ainda não deu início, é que o mesmo se encontrará em equilíbrio. Todavia, é inevitável que pouco tempo depois de se iniciarem os trabalhos possam surgir alterações em quaisquer domínios do triângulo (como por exemplo, a exigência de requisitos adicionais, mudança nas oportunidades de mercado ou dos prazos de entrega), que provocam o seu desequilíbrio. De modo a perceber a relação existente entre os três fatores apresentam-se, de seguida, pequenos exemplos práticos no domínio da Engenharia Civil:

Exemplo 1:

Uma maior duração na execução de uma infraestrutura incorre, geralmente, a um aumento dos custos, dado que haverá um prolongamento do tempo de permanência do estaleiro na obra. Por outro lado, uma diminuição ou aumento dos custos de construção (provenientes, por exemplo, da execução de trabalhos a mais ou a menos) poderá implicar, respetivamente, uma extensão ou diminuição da data definida para a conclusão do empreendimento.

Exemplo 2:

No caso de uma atividade que falhou o prazo de conclusão que estaria definido, mas que ainda assim terá de ser finalizada com brevidade por forma a respeitar a licença de construção, poderá exigir a necessidade de solicitar por mais mão-de-obra, efetuar horas extra, ou ainda, a decisão de compromissos entre os objetivos de orçamento e de prazo.

Segundo Kerzner (2013), em projetos nos quais a definição do “âmbito” é clara e detalhada, prevê-se que o triângulo permaneça sem grandes alterações na sua forma, apresentando menor probabilidade do projeto vir a sofrer grandes desvios nos custos e tempo que se estipularam inicialmente. Contudo, quando o gestor de projeto é confrontado com alterações abruptas em qualquer uma das dimensões (“tempo”, “custo” ou “âmbito”), deve ter em consideração a relação entre os vários fatores e formular um plano alternativo de prevenção que possibilite um controlo permanente na execução do projeto.

2.3. Desvios de tempo, custo e âmbito

Para salvaguardar os princípios definidos pelo “triângulo de restrições do projeto”, é necessário proceder a uma assídua análise de desvios, comparando os resultados esperados com os resultados reais ao longo da evolução dos projetos. Neste processo de monitorização, são geralmente os fatores tempo e custo as áreas onde mais frequentemente se efetuam medições, contudo, também o âmbito, a qualidade e o risco são igualmente mensuráveis (Miguel, 2006).

De acordo com Meredith e Mantel (2012), é relativamente fácil perder o rumo que se traçou para concretizar os objetivos definidos para um dado projeto, especialmente quando se tratam de projetos de maiores dimensões que apresentam, em geral, maior número de sub-atividades e maior complexidade nas suas relações de dependência. Na Tabela 3 são descritos alguns fatores apontados pelos autores, também validados por Roldão (2000), que poderão exigir o reforço no controlo das restrições do triângulo de um dado projeto, assim como, a necessidade de realizar ajustes nas mesmas.

ÂMBITO	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas técnicos imprevisíveis e irreparáveis devido à sua complexidade; - Mudança das especificações do projeto devido a novas exigências dos clientes; - Reajustes nos objetivos do projeto em consequência de uma prévia definição deficiente dos mesmos; - Adesão a novos meios tecnológicos; - Conflito interno nas equipas de trabalho na compreensão e interpretação de especificações ou de soluções relativas a problemas de ordem técnica; - Projetos com ambiguidades, erros, omissões ou detalhes inconsistentes entre as várias especialidades; - Valorização ou desvalorização do projeto, em consequência das mudanças de mercado.
TEMPO	<ul style="list-style-type: none"> - Prazos estipulados irrealistas, demasiado otimistas; - Rede de atividades com uma incorreta sequência dos fluxos de trabalho; - Interrupção da execução dos trabalhos em curso pela necessidade de requisitar mais mão-de-obra, equipamentos ou materiais durante a execução do projeto; - Alterações no projeto, devido a novas exigências dos clientes, que induzem a um acréscimo de trabalho que não estaria previsto; - Morosidade na resposta à clarificação dos projetos, revisão e aprovação das alterações; - Falta de coordenação no seio das equipas de projeto durante a fase de conceção; - Alteração de regulamentos e leis governamentais; - Discrepâncias entre documentos contratuais; - Ausência de penalizações adequadas e eficazes relativas ao incumprimento dos prazos.
CUSTO	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de recursos devido a dificuldades técnicas; - Aumento do âmbito do trabalho; - Deficiente planeamento financeiro, apresentando orçamentos iniciais muito inferiores aos custos reais incorridos na elaboração do projeto; - Fraca monitorização e controlo financeiro do projeto; - Ausência da implementação de medidas corretivas nos momentos adequados para tal; - Alteração dos preços de mercado dos itens mensurados no orçamento de base; - Problemas ou atrasos com financiamentos solicitados.

Tabela 3: Exemplos de fatores que poderão gerar desvios no âmbito, custo e tempo dos projetos (adaptado de Meredith e Mantel (2012) e Roldão (2000)).

Além dos problemas de carácter tecnológico já mencionados, também o fator humano poderá estar na origem dos desvios dos projetos, tendo em conta a postura que tanto o gestor como os restantes intervenientes adotam, quando confrontados com os obstáculos que vão surgindo. Segundo Roldão (2000), a atitude do gestor influencia a proatividade

dos colaboradores, uma vez que atua como mediador na comunicação de informação. Aponta a resistência à mudança, a falta de motivação, a distorção intencional de informação, a inexperiência das equipas designadas para o projeto, a fraca qualificação dos gestores e a falta de comunicação com os clientes como alguns dos erros mais comuns que provêm de falha humana e que poderão ocasionar derrapagens. Também determinados fatores externos ao projeto, tais como, o impacto ambiental, fatores sociais e culturais, greves ou a ocorrência de acidentes durante a execução dos trabalhos, poderão estar na origem desta problemática.

Contudo, independentemente da natureza da causa (de ordem técnica, humana ou externa ao projeto) que promove tais desvios, todas elas requerem a intervenção do gestor com a implementação de medidas corretivas. Uma gestão debilitada dos projetos induz muitas empresas a cometerem erros que geram consequências com grande impacto negativo, havendo assim uma grande necessidade de clarificar e identificar a origem dos desvios e os efeitos que os mesmos poderão suscitar. Na secção seguinte apresentam-se alguns casos de insucesso relativamente à construção de determinadas obras públicas em Portugal que elucidam acerca dos problemas que poderão emergir devido a uma gestão e controlo deficientes dos projetos em questão.

2.4. Derrapagens em projetos de construção de obras públicas nacionais

É do conhecimento geral que a construção de obras públicas em Portugal figura uma grande percentagem da despesa do Estado, apresentando frequentemente desvios significativos nos prazos de conclusão e nos encargos financeiros que, muitas vezes, superam os 100%. Tais investimentos pretendem melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, contudo, os montantes despendidos na construção de infraestruturas públicas são, em regra, muito elevados e nem sempre são sujeitos a uma análise de custo – benefício, denunciando assim uma inadequada prática de gestão. A necessidade de contrariar o que parece ser já uma tendência requer, portanto, a implementação de um processo de controlo mais eficiente, nomeadamente, através da monitorização assídua dos recursos, dos custos, da qualidade e dos orçamentos, que possibilitem reavaliar os planos inicialmente

estipulados para o projeto em causa e proceder, sempre que necessário, a possíveis alterações, garantindo que os objetivos que se definiram não são comprometidos.

De acordo com as auditorias realizadas em determinadas obras públicas, geridas em primeira instância pelo Estado, o Tribunal de Contas divulgou, em 2009, um relatório apresentando os dados referentes aos desvios de custos e prazos que as mesmas apresentavam. Dos resultados obtidos foi possível constatar a presença de desvios financeiros, em média, na ordem dos 31% e de cerca de 115% relativos aos prazos que estariam estipulados para a conclusão das mesmas. Em síntese, o Tribunal de Contas declarou que tais valores refletiam a existência de falhas graves nos processos de controlo e gestão das referidas obras sendo, portanto, necessário formular propostas por forma a reduzir as derrapagens em projetos futuros.

Tendo em conta os vários empreendimentos analisados, o Tribunal de Contas destacou as obras públicas portuguesas que evidenciavam as maiores derrapagens orçamentais e temporais, nomeadamente, a Casa da Música no Porto (liderando o ranking), a Ponte Rainha Santa Isabel em Coimbra, o Túnel do Terreiro do Paço em Lisboa, a expansão do Aeroporto Sá Carneiro no Porto e a reabilitação do Túnel do Rossio em Lisboa.

De entre as várias notícias que relataram esta problemática, extraíram-se alguns excertos que elucidam acerca dos montantes e prazos dos referidos desvios em questão:

“Uma auditoria do Tribunal de Contas à construção da Casa da Música volta a revelar um descontrolo generalizado no processo, que teve como corolário um atraso de quatro anos e meio na execução da obra [...] e uma derrapagem financeira na ordem dos 77,2 milhões de euros. O custo previsto inicialmente, 33,9 milhões, disparou para os 111,1 milhões, representando uma subida de 228%” (in Jornal de Notícias, 5 de Dezembro de 2008)

“A ampliação do Aeroporto Sá Carneiro teve uma derrapagem de 171 por cento (quatro anos), a Ponte Rainha Santa Isabel de 134 por cento (2,6 anos) e reabilitação e modernização do Túnel do Rossio deslizou 131 por cento (1,4 anos)” (in RTP Notícias, 12 de Junho de 2009)

“A construção do troço do Metropolitano no Terreiro do Paço teve uma derrapagem financeira superior a 31 milhões de euros, aponta um relatório do Tribunal de Contas, que acusa o Metropolitano de Lisboa de má gestão dos dinheiros públicos [...] Segundo o TC, o custo final da obra foi cerca de 78,5 milhões de euros, enquanto a previsão inicial era de cerca de 47,3 milhões.” (in TVI24, 11 de Junho de 2008)

“ [...] o Tribunal de Contas diz que "o valor da adjudicação da empreitada da Ponte Rainha Santa Isabel foi de 38,65 milhões de euros". Acrescentou que "o custo da solução rodoviária" cifrou-se em 111,3 milhões [...] conduzindo a uma derrapagem de 288%. Mas, perante os números "sucessivamente diferentes" que o ex-Instituto das Estradas de Portugal lhe facultou, o TC também chegou a outros montantes, entre os 61 e os 90 milhões.” (in Jornal de Notícias, 18 de Novembro de 2009)

À AECOPS, Associação de Empresas de Construção e Obras Públicas e Serviços, Fernando Santo, que assumia responsabilidades como bastonário da Ordem dos Engenheiros (OE) à data, deu o seu parecer relativamente aos fatores que poderiam estar na origem das derrapagens financeiras e dos atrasos nas empreitadas das referidas obras públicas. Segundo ele, os elevados desvios deviam-se, em grande parte, à falta de acompanhamento dos concursos para a contratação de empreitadas; à má definição do âmbito dos trabalhos; à falta de rigor nos orçamentos e contratos entre clientes e construtores (adotando sistemas de contratação direcionados para a seleção da proposta mais barata nos critérios de adjudicação); ao fraco investimento no projeto; à reduzida monitorização das diferentes etapas na sua elaboração; à ausência de uma análise custo/benefício para a manutenção da obra e, por último, não poupando ainda críticas no que se refere à leviana cultura institucional de responsabilização em vigor.

Para a construção de um empreendimento público com sucesso que contrariasse o histórico do setor em questão, segundo a OE, deveriam implementar-se medidas preventivas que exigissem a obrigatoriedade na revisão dos projetos; a especificação dos custos estimados para a exploração e manutenção das obras durante o seu tempo de vida útil e uma revisão integrada de toda a legislação do setor da Construção no Ministério das OP, compatibilizando procedimentos, garantindo a coerência e clarificação das obrigações legais. Contudo, a OE salientou também que *“Por mais códigos e medidas administrativas*

que se aprovem, a sua eficácia ficará muito dependente das restantes medidas tomadas a jusante, numa perspetiva de prevenção, que é uma das formas mais económicas e eficazes de resolver um problema". (AECOPS, 2009)

3. A metodologia EVM no controlo e gestão de projetos

Uma das grandes dificuldades com que os gestores se deparam na monitorização dos projetos é a comparação entre o montante efetivamente gasto e o montante orçamentado para um determinado período de tempo. Comparando somente o valor das despesas planeadas e os custos reais, não é possível avaliar o volume de trabalho fisicamente realizado, nomeadamente, se os custos reais são inferiores porque o projeto está a evoluir mais lentamente que o previsto ou se, por outro lado, as despesas reais são de facto inferiores ao orçamento inicial (Miguel, 2006).

Para que esta análise seja fidedigna, na comparação dos valores mencionados, é necessário ter em conta a quantidade de trabalho realizado até ao momento de controlo face ao custo incorrido na sua execução. Tendo em conta o exposto, é evidente a necessidade de integrar a informação relativa ao tempo e custos do projeto numa mesma perspetiva, em unidades comparáveis. Como resposta a esta problemática, surge a metodologia EVM (Gestão do Valor Ganho), representando uma técnica eficaz de planeamento e controlo, que traduz numa única abordagem a informação sumarizada dos custos reais e dos custos orçamentados, até à data em análise, tendo em consideração as unidades de trabalho (atividades) que se encontram efetivamente concluídas (Anbari, 2003).

De acordo com a literatura existente são numerosos os benefícios que se apresentam relativamente à aplicação da metodologia EVM no controlo de projetos. O EVM permite que os gestores dos projetos possam medir e verificar o progresso dos mesmos, detetando desvios e, antecipadamente, tomar as respetivas medidas corretivas. Após a implementação das alterações necessárias, é possível atualizar as novas condições em que o projeto se encontra, permitindo ao gestor prever novos valores para o custo e duração finais do projeto.

Inicialmente desenvolvida em 1967 pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América a partir dos modelos PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) e CPM (*Critical Path Method*), a aplicação da metodologia EVM foi detalhadamente estudada por Fleming e Koppelman (2002), Anbari (2003) e pelo Project Management Institute (2005). Segundo os autores, o EVM tem como base a representação

de três métricas genéricas de desempenho: Valor Planeado (*Planned Value- PV*), Custo Real (*Actual Cost- AC*) e Valor Ganho (*Earned Value- EV*).

O Valor Ganho (EV), também denominado por custo orçamentado relativamente ao trabalho realizado, corresponde ao montante inicialmente previsto que deveria ter sido gasto tendo em conta o trabalho efetivamente concluído até à data atual, ou seja, até à data correspondente ao momento de controlo.

Relativamente ao Valor Planeado (PV), ou custo orçamentado para o trabalho planeado, define o estado de desenvolvimento em que, supostamente, o projeto se deveria posicionar aquando do momento de controlo. Por outras palavras, corresponde ao montante de base orçamentado de todas as tarefas agendadas até à data em análise. O somatório de todos os valores de PV alocados a cada atividade determina o montante final estimado para a conclusão da totalidade do projeto (BAC).

Por último, a variável Custo Real (AC), também designada por custo real do trabalho executado, refere-se ao custo total incorrido da realização de todas as atividades até à data em análise. Chen e Zhang (2012) e Burke (2013) alertam ainda para o facto de que as referidas variáveis devem ser apresentadas na mesma unidade de medida (mensuração em unidades monetárias ou em horas de trabalho) para evitar erros na análise dos dados.

Na Figura 2 encontram-se representadas as variáveis base da metodologia EVM referidas anteriormente.

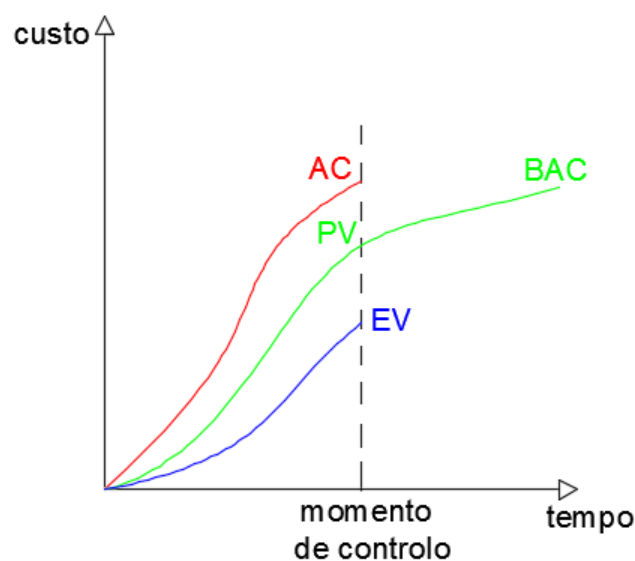


Figura 2: Representação das variáveis base da metodologia EVM.

Para a aplicação da metodologia EVM no controlo e gestão de projetos é necessário a determinação do valor ganho na data do momento de controlo para avaliar o seu estado de progresso. Para tal, o gestor dispõe de um leque de metodologias distintas, as quais se encontram detalhadamente descritas na secção seguinte.

3.1. Metodologias tradicionais para a determinação do valor de EV

Tal como referido anteriormente, o valor ganho de uma determinada atividade corresponde ao custo orçamentado para o trabalho que foi efetivamente realizado, elucidando o gestor acerca do quão eficiente foi a mão-de-obra até ao momento de análise. Segundo Miguel (2006), para medir o desempenho do trabalho em curso, é necessário estabelecer um sistema de medida objetivo. Existem vários métodos distintos para proceder à medição de EV, no entanto, a escolha das métricas a usar é meramente uma questão de julgamento pessoal, nomeadamente, a preferência pela facilidade de medição ou a consistência das mesmas. Independentemente do método escolhido, importa desde já salientar que estes não deverão ser aplicados diretamente à totalidade do projeto mas, preferencialmente, recaindo sobre cada atividade que o constitui (Meredith e Mantel, 2012).

De acordo com o Project Management Institute (2005), a seleção da técnica que se irá adotar deve ter em conta os seguintes aspetos: a duração do trabalho realizado e o tipo de serviço/ produto concebido (Tabela 4).

		Duração do trabalho realizado	
		1 a 2 Períodos de Medição	Superior a 2 Períodos de Medição
Tipo de trabalho	Tangível	Fórmula Fixa	Percentagem de Trabalho Concluído
			Ponderação de Marcos
	Intangível	Repartição de Esforço	
		Nível de Esforço	

Tabela 4: Técnicas de medição para determinar o parâmetro EV, segundo o PMI (2005).

Relativamente ao **tipo de trabalho** é possível fazer a distinção entre o trabalho que está relacionado com a conceção de produtos ou serviços específicos que podem ser diretamente medidos e o tipo de trabalho que não é facilmente divisível. Neste último, para os casos em que é difícil avaliar o trabalho realizado, poderá ainda distinguir-se entre o esforço que está diretamente relacionado na concretização de tarefas cuja mensuração é possível (Repartição de Esforço) e o trabalho que provém da realização de atividades de suporte e que não produz quaisquer bens ou serviços com duração específica de conclusão (Nível de Esforço).

Uma vez que o desempenho do projeto pode ser medido periodicamente, também a **duração do trabalho** realizado é um aspeto a ter em consideração. A técnica selecionada dependerá da sua duração e do número de períodos que são abrangidos pela medição. As tarefas que se estendem por um ou dois períodos medem-se, geralmente, com recurso a técnicas de Fórmula Fixa, na qual é creditada uma percentagem fixa de trabalho no início de uma determinada atividade e a restante percentagem é atribuída após a sua conclusão. Para tarefas de longa duração, segundo o PMI (2005), é preferível recorrer a outras técnicas (Ponderação de Marcos ou Percentagem de Trabalho Concluído). De seguida, descrever-se-á com maior detalhe os métodos que são referenciados na literatura como sendo os mais frequentes para a determinação do valor ganho, EV.

- **Fórmula fixa** (*Fixed Formula*)

Um exemplo típico de fórmulas fixas é a técnica 50/50, na qual se assume que 50% do trabalho está completo no início do período de medição (independentemente do trabalho que foi verdadeiramente realizado) e os restantes 50% são atribuídos aquando da finalização da atividade. Burke (2013) apresenta outras sugestões nas quais é possível distorcer a proporção usada na fórmula fixa para 40/60, 30/70, 25/75, 20/80, 10/90 e 0/100.

No caso de se recorrer à regra 0/100 para definir EV, Meredith e Mantel (2012) alertam de que se se assumir que PV é proporcional ao tempo gasto para cada atividade, o projeto aparentará estar sempre atrasado ou acima do orçamento, tendo em conta os valores inicialmente planeados. Ora, dado que a execução de qualquer tarefa requer, em geral, o dispêndio de um determinado montante e uma vez que o método não permite que EV seja superior a €0 até que a atividade tenha sido concluída, o projeto irá estar sempre acima do orçamento ou atrasado. Esta conclusão só será útil se o gestor perceber que a suposta situação de alerta, na qual o projeto aparenta estar sempre fora de controlo, resulta da regra de proporção usada. Pelo contrário, a técnica 0/100 é muito útil quando aplicada a atividades de teste ou em procedimentos experimentais, uma vez que o processo só é realmente dado como concluído na fase final quando efetivamente se chegou a alguma conclusão, independentemente do tempo que decorreu.

Norton, Brennan e Mueller (2014), assim como o PMI (2005) consideram que as técnicas de fórmula fixa são mais apropriadas para aplicar em tarefas de curta duração. Poderá recorrer-se a este método quando a estimativa do trabalho realizado de uma determinada tarefa não está disponível ou quando é difícil fazer essa mesma estimação. Trata-se de uma técnica relativamente justa e não exige grande esforço para tentar estimar o progresso das atividades em estudo.

- **Porcentagem de Trabalho Concluído** (*Percent Complete*)

Meredith e Mantel (2012) consideram que estimar uma percentagem para a totalidade do projeto que represente fidedignamente o seu estado de progresso no momento de controlo sem o estudo prévio de cada uma das atividades é um desafio. No entanto, é consensual que em qualquer instante da vida de um projeto este siga uma condição geral: se as atividades se encontram concluídas significa que estão 100% completas e se ainda não tiveram início estão 0% completas. Nos casos em que as atividades já iniciaram mas

ainda não foram concluídas, é então necessário estimar uma percentagem adequada para o trabalho que foi já elaborado.

Segundo o PMI (2005) a presente técnica destaca-se pela simplicidade e facilidade de aplicação, uma vez que não requer um planeamento detalhado com recurso à aplicação de marcos ao projeto. Além disso, é um mecanismo padrão em muitos *softwares* de gestão de projetos para mensurar o parâmetro EV. Contudo, poderá ser a mais subjetiva das técnicas de medição se não se determinar corretamente a fração da atividade que foi concluída e não houver nenhum indicador objetivo para sustentar essa mensuração.

Em ambos os estudos, os autores sugerem que para uma aplicação adequada do método é necessário que, em cada período de medição onde o gestor estima a percentagem de trabalho realizado, existam indicadores objetivos que possam servir de referência para determinar o valor da variável PC (*Percent Complete*). Um exemplo simples consiste em efetuar o quociente entre o número de unidades de trabalho ou de bens concluídos até ao momento de controlo, pelo número total de unidades que se pretende realizar na totalidade. Segundo Miguel (2006), os responsáveis pelo projeto devem ainda realizar revisões periódicas da situação real das atividades em curso, para aferir a razoabilidade das estimativas determinadas.

- **Ponderação de Marcos** (*Weighted Milestone*)

Segundo Norton *et al.* (2014), o presente método é usado quando o gestor tem necessidade de definir metas mensuráveis para eliminar tanto quanto possível uma avaliação subjetiva, obtendo resultados mais precisos. A metodologia consiste em definir um conjunto de critérios específicos (facilmente observáveis) para cada pacote de trabalho atribuindo um dado valor alocado a cada etapa. Cada marco reflete o nível de esforço e orçamento necessários para cada atividade ou etapa, o qual é ganho no momento de conclusão do evento. O método é predominantemente usado para sub-tarefas que precisam de ser concluídas de forma ordenada e que envolvem diferentes custos.

Os autores sugerem ainda que o recurso a esta didática para a determinação de EV é uma boa opção para pacotes de trabalho que se estendam por vários períodos (semanas ou meses) nos quais é possível obter resultados distintos tangíveis em diversas fases do projeto, como é o caso da construção de infraestruturas. Neste setor, para cada fase de construção são ponderadas várias etapas na conclusão das principais atividades, tais como:

terraplenagem, drenagem, estrutura, alvenarias, pavimentação, etc. O cálculo é efetuado para cada item do marco em questão, baseando-se no valor orçamentado de tempo (horas de trabalho) necessário para completar as referidas tarefas pela equipa de trabalho; cada etapa que vai sendo concluída representa assim uma percentagem da totalidade do marco em análise. É apontado como sendo o método preferencial entre clientes e gestores de projeto, contudo, requer um planeamento detalhado das etapas antecipadamente, exigindo uma estreita relação de trabalho entre os diversos responsáveis (ao nível dos pacotes de trabalho, do planeamento e dos recursos estimados), por forma a estabelecer marcos significativos para a totalidade do projeto (Miguel, 2006).

- **Repartição de Esforço** (*Apportioned Effort*)

De acordo com o referido pelo PMI (2005), se uma tarefa de apoio tiver uma relação direta com outra tarefa principal que apresenta o seu próprio valor acumulado, então o valor de EV da atividade de suporte pode ser determinado com base no valor ganho da atividade de referência (atividade principal). O valor ganho é determinado baseando-se no tempo que fora despendido ao longo da execução da atividade principal e é medido em termos de recursos consumidos durante esse mesmo período. Trata-se de uma “segmentação do esforço” exigido na realização de uma tarefa de suporte que não é fácil mensurar, mas que é necessária para realizar uma tarefa principal cuja mensuração é possível.

Alguns exemplos onde esta técnica poderá ser aplicada é o caso de atividades no âmbito da garantia da qualidade ou em atividades de inspeção.

- **Nível de Esforço** (*Level of Effort*)

De acordo com Norton *et al.* (2014) e PMI (2005) a presente metodologia é direcionada para atividades que não produzem resultados tangíveis que possam ser medidos objetivamente. Podem referir-se como exemplos de aplicação as atividades de apoio, nomeadamente, atividades que sustentam a realização de outras tarefas ou partes do projeto (atividades de gestão ou supervisão técnica). Tais atividades consomem recursos e por isso devem ser incluídos no planeamento e medição do EVM para determinar o valor acumulado.

Esta técnica deve ser somente usada quando não é possível medir o progresso físico do trabalho realizado nas atividades em estudo e quando não apresentam nenhum desvio de execução. Apenas se reconhece um desvio de custo considerando o montante do investimento em recursos humanos para realizar tais atividades de suporte. Mediante o critério descrito, o custo orçamentado para o trabalho realizado é então igual ao custo para o trabalho que estava planejado, não havendo nenhuma medição de desempenho ao longo da execução das tarefas. Por este motivo, a variável EV aumenta de acordo com o tempo inicialmente planejado e os recursos que lhes estavam alocados, havendo sobreposição das curvas EV e PV, não apresentando nenhuma divergência no tempo.

O PMI (2005) aconselha que a aplicação do presente método deve corresponder a uma diminuta parte do valor total planejado para o projeto por forma a evitar a distorção das métricas definidas.

- **Unidades de Trabalho Concluídas** (*Units Completed*)

Neste método o desempenho é medido em unidades de trabalho, nomeadamente, procedendo à segmentação de tarefas semelhantes que intervêm em cada atividade constituinte do projeto (Meredith e Mantel, 2012). O valor de EV é determinado tendo em conta a relação das unidades que foram produzidas e o total especificado para a conclusão do mesmo. Ao analisar unidades de trabalho específicas, as estimativas são forçosamente mais precisas, uma vez que os curtos espaços de tempo e custos originam erros que não são tão significativos quando comparados com a globalidade do projeto. Podem ainda agregar-se os dados referentes às unidades de trabalho em elementos maiores, tal como apresentado no método anterior (Ponderação de Marcos).

A mensuração das atividades em unidades de trabalho permite determinar facilmente e de forma objetiva o valor acumulado de cada atividade, não estando associada na avaliação do desempenho do projeto nenhum tipo de julgamento de carácter subjetivo; todavia, apresenta o inconveniente de não ponderar as flutuações de trabalho. Norton *et al.* (2014) afirma que o recurso a este processo é mais frequente nos setores de produção e/ou fabricação, nomeadamente, no acompanhamento de tarefas que são executadas repetidamente, uma vez que acredita que a repetição de tarefas tende a consumir a mesma quantidade de recursos, de tempo e de esforços. Miguel (2006) refere também a aplicação

do método no setor da construção, ao nível dos pagamentos a fornecedores, usando uma forma de valor ganho simples, mas segura.

- **Método Misto**

De acordo com Miguel (2006), atualmente verifica-se uma evolução dos métodos de medição de EV, nomeadamente, integrando o método da Percentagem de Trabalho Concluído com o método de Ponderação de Marcos. O Método Misto tira partido do melhor de ambas as técnicas, combinando a facilidade de realizar uma estimativa com a definição de marcos finitos tangíveis ao projeto. Na medição as estimativas subjetivas são aceites até um determinado valor que é previamente estabelecido para cada marco, todavia, enquanto não se atingir um critério fisicamente mensurável, as mesmas não poderão exceder um determinado marco. Segundo o autor, a aplicação do método pode estender-se a todos os setores, por aliar a facilidade de implementação ao projeto com a precisão da medição do valor ganho.

No presente trabalho, para a determinação do valor ganho das atividades do projeto que ainda estão a ser desenvolvidas na data do momento de controlo, irá adotar-se o método da Percentagem de Trabalho Concluído (*Percent Complete*), apresentada por muitos autores como sendo uma das técnicas de medição mais frequentes pela sua simplicidade. Embora evidencie alguma subjetividade no processo de avaliação do estado de progresso do projeto, a mesma será tida em consideração aquando da metodologia adotada, assim como na respetiva formulação de conclusões.

3.2. Indicadores da metodologia EVM

A partir das variáveis base mencionadas anteriormente (PV, AC e EV) e, por forma a auxiliar os gestores no controlo dos projetos, podem determinar-se os seguintes indicadores:

- Indicadores de desvio,
- Índices de desempenho,
- Indicadores de previsão.

Os mesmos serão detalhadamente apresentados nas secções seguintes, conforme se poderá verificar.

3.2.1. Desvios de tempo e de custo

Relativamente ao indicador de Desvio de Execução (SV) corresponde à diferença entre o Valor Ganho e o custo do trabalho que estava agendado para ser executado até à data em análise, tal que: $SV = EV - PV$.

Do cálculo obtido, quando SV apresenta valores positivos significa que o projeto está a ser executado num menor tempo que o inicialmente previsto (projeto adiantado); por outro lado, quando se obtêm valores negativos, há o indício de que a sua execução está a ser mais lenta do que o que se esperava numa fase preliminar.

Outro indicador igualmente relevante é o Desvio de Custos (CV), o qual determina a diferença entre o Valor Ganho e o custo real das atividades que foram já concluídas até ao momento de controlo, nomeadamente, $CV = EV - AC$.

Tal como referido para o indicador SV, também o sinal obtido no cálculo de CV traduz conclusões distintas: um desvio positivo significa que o projeto está a ser executado abaixo do orçamento e um desvio negativo significa que o projeto está a exceder o montante previsto. Segundo Burke (2013), se se converterem os valores de SV e CV em percentagem, poderá eliminar-se a distorção causada pelo tamanho das atividades.

O autor salienta ainda que a análise de EV não deve ser feita em isolado, pois uma atividade que apresente maior valor de SV poderá não ser tão preocupante como outra que apresente um menor valor mas que integre o caminho crítico¹, necessitando assim de um reagendamento.

Surge ainda na literatura um outro índice, Desvio de Tempo (TV), que corresponde à diferença entre o tempo que estaria agendado para o trabalho que foi efetivamente realizado até ao momento de controlo (ST) e o tempo real de duração despendido na execução do mesmo (AT), tal que: $TV = ST - AT$ (Meredith e Mantel, 2012). De forma

¹ O conceito “caminho crítico” refere-se ao conjunto de atividades denominadas por “atividades críticas”, as quais apresentam folga igual a zero e evidenciam o caminho mais longo da rede do projeto, determinando a sua duração.

análoga, um valor negativo de TV traduz um sinal de alerta, uma vez que denota que o projeto estará atrasado. Os indicadores de desvio encontram-se representados na Figura 3.

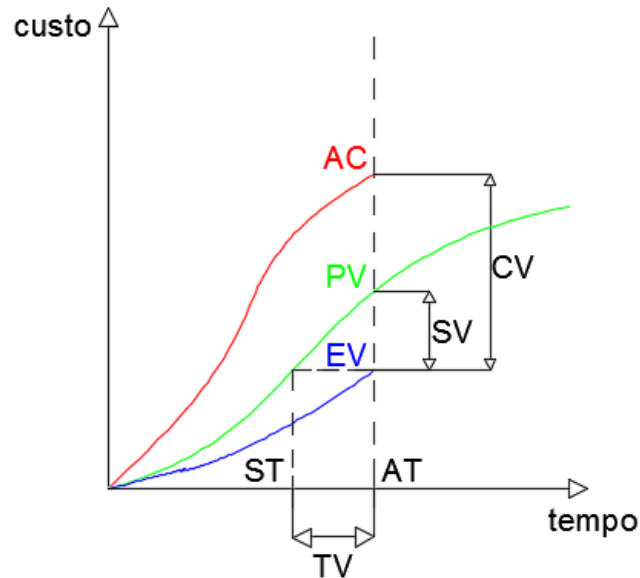


Figura 3: Representação dos indicadores de desvio SV, CV e TV.

3.2.2. Índices de desempenho de tempo e de custo

Segundo Acebes *et al.* (2014), quando um gestor pretende fazer uma avaliação entre projetos com diferentes dimensões deve proceder ao cálculo dos índices de desempenho de ambos os projetos. Também Meredith e Mantel (2012) se referem a estes indicadores quando, para um mesmo projeto, se pretende avaliar o desempenho em diferentes períodos de tempo.

O Índice de Desempenho de Custos ($CPI = EV/AC$) e o Índice de Desempenho de Execução ($SPI = EV/PV$) permitem aferir acerca da eficiência e eficácia do projeto em curso. SPI é o índice que permite determinar o quão perto o projeto está da realização das atividades planeadas, sendo desejável que o mesmo atinja valores superiores a 1; caso contrário, significa que o projeto não está a ser eficiente na gestão do tempo. Quanto ao indicador CPI, compara o custo previsto para o trabalho realizado com o custo real, representando a eficiência da utilização dos recursos. Quando os gastos que resultam do trabalho efetivamente realizado são menores do que os que estavam previstos, CPI toma

valores superiores à unidade; por outro lado, ao apresentar valores inferiores, o projeto estará a gastar mais recursos do que os necessários face ao trabalho realizado. É possível que um dos indicadores possa ser favorável e outro desfavorável; segundo Fernandes (2008) é conveniente fazer uma análise combinada dos índices de desempenho anteriormente citados para estimar o intervalo referente aos custos na conclusão do projeto em questão (Tabela 5).

SPI>1 e CPI>1	Projeto adiantado; Custo dos trabalhos realizados inferior ao orçamentado
SPI<1 e CPI>1	Projeto atrasado; Custo dos trabalhos realizados inferior ao orçamentado
SPI<1 e CPI<1	Projeto atrasado; Custo dos trabalhos realizados superior ao orçamentado
SPI>1 e CPI<1	Projeto adiantado; Custo dos trabalhos realizados superior ao orçamentado

Tabela 5: Relação entre o estado do projeto e os indicadores de desempenho (Fernandes, 2008).

Segundo Barr (1996) é possível determinar ainda outro índice de desempenho a partir da multiplicação dos índices anteriormente citados, nomeadamente, o indicador de custo-execução ou simplesmente “rácio crítico” ($CSI = CPI * SPI$). Quando CSI toma valores inferiores à unidade, conclui-se de que na corrente evolução do projeto existem problemas (de tempo e/ou custos) e, portanto, mais difícil será coordená-lo novamente dentro de limites aceitáveis.

Como resposta às limitações dos indicadores SV e SPI, uma vez que não determinam a duração relativamente ao atraso que o projeto poderá estar sujeito, Lipke (2003) apresenta uma nova variável, ES (*Earned Schedule*). ES corresponde à data na qual o EV determinado no momento de controlo deveria ter sido alcançado e é obtido pela projeção do mesmo até à curva PV (Figura 4). Uma vez determinado este valor e, sabendo que AT corresponde ao tempo real definido como o tempo decorrido desde o início do projeto, podem determinar-se os seguintes indicadores: $SV(t) = ES - AT$ e $SPI(t) = ES / AT$. Importa salientar que o mesmo procedimento poderá ser usado para determinar o valor dos indicadores de custo, CV e CPI.

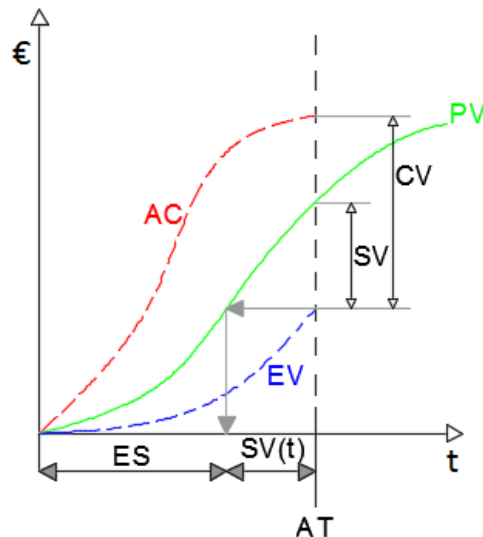


Figura 4: Representação dos indicadores de desvio SV e CV com a introdução da variável ES proposta por Lipke (2003).

3.2.3. Previsão de tempo e custo do projeto

A metodologia EVM proporciona ao gestor do projeto um sinal de alerta antecipado que lhe permite tomar as necessárias medidas corretivas em situações onde os custos reais excedem o custo orçamentado para o trabalho que está a ser executado (Fleming e Koppelman, 2002). Tendo como referência o montante que se definiu na fase de planeamento para BAC (*Budget at Completion*), ou seja, o valor total planeado aprovado para o projeto quando concluído e, recorrendo às fórmulas e modelos que têm sido desenvolvidos nos últimos anos, é possível fazer uma previsão relativamente ao montante e tempo necessários para a sua conclusão. As previsões têm em conta não só o estado atual em que o projeto se encontra, mas também, a possibilidade de prever novos cenários caso se adotem (ou não) medidas corretivas, surgindo assim os seguintes conceitos:

- Estimativa na Conclusão (*Estimate At Completion - EAC*)

A Estimativa na Conclusão (EAC) determina o custo estimado quando o projeto se encontra totalmente concluído. Representa o orçamento do projeto atualizado, uma vez que tem em conta o real desempenho à data do momento de controlo, acrescido do montante que se prevê gastar nas atividades que ainda faltam concluir. Na necessidade de gerar novas previsões para aferir o tempo e custos como consequência do bom ou mau

desempenho do projeto no momento de controle, para o cálculo de EAC podem adotar-se três perspectivas: otimista, provável e pessimista.

Se se assumir que os desvios de custos verificados até ao momento de controle podem ser desprezados e que no futuro não voltarão a ocorrer, determina-se o valor de EAC usando a Equação (1):

$$EAC = AC + BAC - EV = BAC - (EV - AC) = BAC - CV \quad (1)$$

Uma vez que no referido cálculo se pressupõe que todas as restantes atividades do projeto serão realizadas apenas com o montante remanescente do orçamento inicial, EAC é determinado assumindo um **cenário otimista**. De acordo com Miguel (2006), o cálculo de EAC suportado somente no orçamento que ainda resta, poderá conduzir a resultados muito distantes da realidade, nomeadamente, se os custos reais até ao momento de controle forem superiores aos custos orçamentados. Ao usar como referencia o plano de base desde o momento de controle até o projeto findar, exigiria um aumento do desempenho, o qual teria de ser aplicado ao restante trabalho por forma a obter uma estimativa adequada do custo final.

No caso de se considerar que os desvios de custos ocorridos até ao momento de controle irão continuar com o mesmo padrão de variação no futuro e, supondo que não se implementarão medidas corretivas ao projeto, EAC é calculado segundo a Equação (2):

$$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI} = AC + \frac{BAC}{CPI} - \left(\frac{EV}{EV} * AC \right) = \frac{BAC}{CPI} \quad (2)$$

Uma vez que no cálculo se assume que todas as atividades que ainda não estão concluídas serão realizadas de acordo com o CPI registado no momento de controle, o montante de EAC é determinado a partir de um **cenário mais provável** de vir a ocorrer comparativamente ao apresentado para a Equação (1). Contudo, segundo Miguel (2006), o cálculo de EAC baseado somente no CPI representa o menor valor para o custo final.

Por outro lado, muitos estudos têm confirmado que a estimativa de EAC baseada, em simultâneo, nos índices CPI e SPI tendem a apresentar valores mais elevados. Na maior parte dos casos, verifica-se que ao perspetivar o pior cenário a que o projeto poderá estar sujeito (**cenário pessimista**), o cálculo de EAC sugere montantes mais precisos e que retratam melhor a realidade. Note-se que, ainda no presente cálculo, poderão considerar-se pesos distintos alocados a cada um dos índices (Equação (3)).

$$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI * SPI} \quad (3)$$

A escolha da perspectiva a adotar para estimar o valor da variável EAC dependerá da decisão do gestor, tendo em conta a sua experiência e as características intrínsecas do projeto em estudo, devendo optar pelo cenário que considere corresponder a uma representação mais fidedigna da situação futura.

- Estimativa de Tempo na Conclusão (*Time Estimate At Completion* - EAC_t)

A Estimativa de Tempo na Conclusão (EAC_t) determina a duração total do projeto através do quociente entre a duração inicialmente planeada, PD, e o índice de desempenho de execução, SPI (Equação (4)).

$$EAC_t = \frac{PD}{SPI} \quad (4)$$

- Estimativa para Concluir (*Estimate To Complete* - ETC)

A Estimativa para Concluir (ETC) determina o custo estimado para concluir o projeto, informando o gestor de um montante que ainda terá de despendar (Equação (5)). O seu cálculo é relativamente simples, uma vez que apenas é necessário deduzir o valor dos custos reais verificados até ao momento de controlo ao montante de EAC determinado anteriormente segundo três perspectivas distintas.

$$ETC = EAC - AC \quad (5)$$

- Índice de Desempenho para a Conclusão (*To-Complete Performance Index* - TCPI)

Denominado por Índice de Desempenho para a Conclusão, determina a produtividade necessária para alcançar o montante estipulado na conclusão do projeto. Corresponde ao nível de eficiência que é necessário atingir para que seja alcançado o BAC (Equação (6)) ou o EAC (Equação (7)).

$$TCPI_{(BAC)} = \frac{BAC - EV}{BAC - AC} \quad (6)$$

$$TCPI_{(EAC)} = \frac{BAC - EV}{EAC - AC} \quad (7)$$

O referido índice indica também a viabilidade do orçamento em questão, tal que: quando $TCPI < 1$ implica um aumento no desempenho, tornando assim a previsão

estatisticamente improvável, pelo contrário, quando $TCPI > 1$ anuncia uma diminuição no desempenho para o trabalho que ainda falta concluir para finalizar o projeto.

- Desvio na Conclusão (*Variance At Completion - VAC*)

O Desvio na Conclusão (VAC) corresponde à diferença entre o orçamento na conclusão (BAC) e o montante esperado (EAC), tendo em conta o estado atual do projeto (Equação (8)); indica um desvio em relação ao orçamento inicial que se definiu para o projeto.

$$VAC = BAC - EAC \quad (8)$$

Tendo sido já determinado o montante de EAC, é possível verificar se o projeto irá estar acima ou abaixo do orçamento na data prevista de conclusão, tal que: valores negativos denunciam que o projeto estará acima do orçamento (“*over budget*”) e, pelo contrário, valores positivos indicam que o mesmo foi concluído abaixo do orçamento (“*under budget*”).

As variáveis são então representadas graficamente para auxiliar os gestores a monitorizar a evolução dos projetos (Figuras 5 e 6).

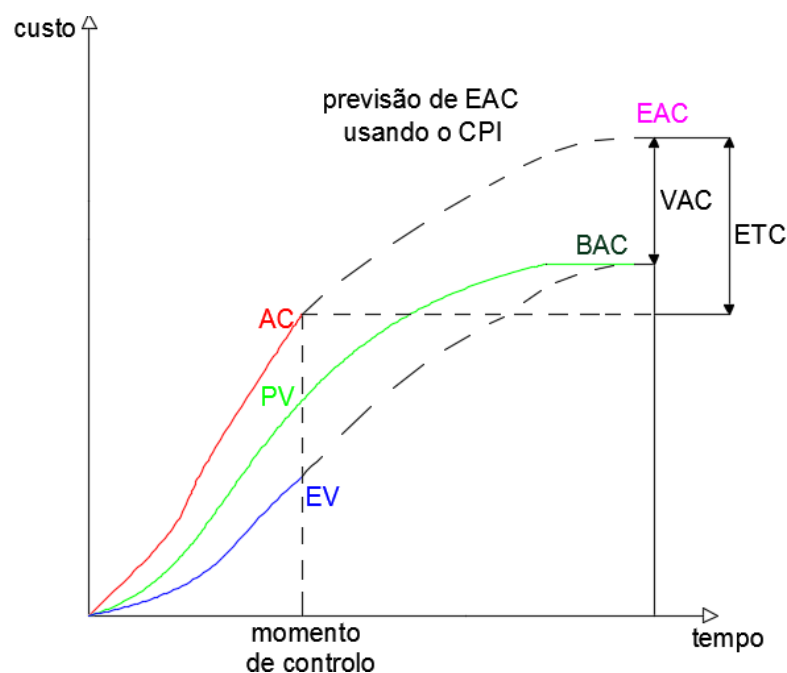


Figura 5: Representação dos indicadores de previsão da metodologia EVM.

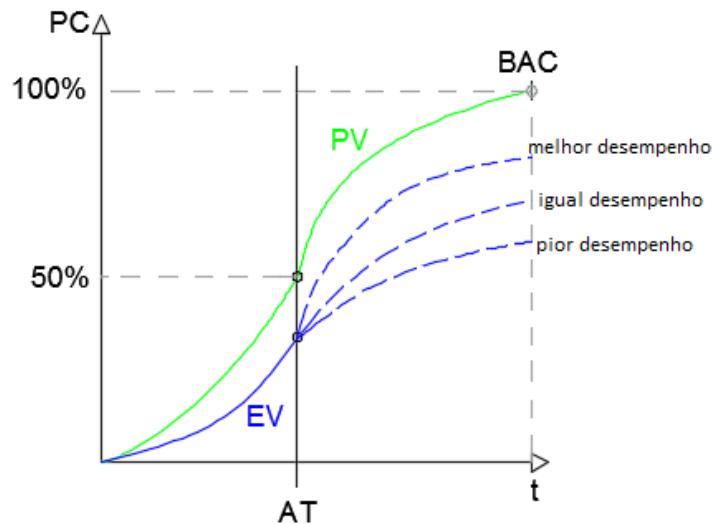


Figura 6: Extrapolação do valor de EV segundo diferentes perspectivas.

Burke (2013) refere ainda que quando se pretende prever uma tendência relativamente ao futuro do projeto por extrapolação das curvas EV e AC, o desempenho registado no momento de controlo deve ser encarado como um presságio relativamente ao desempenho no futuro, devendo aplicar as necessárias medidas de controlo. O autor alerta ainda para o facto de que o gestor não deverá analisar as curvas de extrapolação de modo isolado, uma vez que não consideram a lógica da rede do projeto, o caminho crítico ou a calendarização das atividades.

Para uma melhor compreensão dos conceitos descritos anteriormente, recorrer-se-á ao pequeno exemplo que se apresenta de seguida.

Exemplo 3:

Assumindo que para um dado projeto o trabalho realizado até ao momento de controlo correspondia apenas a 60% do que havia sido planeado e que estaria previsto gastar um montante no valor de 600.000€, o valor ganho é de:

$$EV = 0.60 * 600000 = 360.000€$$

Relativamente ao custo incorrido na elaboração das diferentes atividades até à presente data, representa cerca de 20% a menos face ao montante inicialmente orçamentado, tal que:

$$AC = (1 - 0.20) * 600.000 = 480.000€$$

Tendo em conta os valores apresentados no momento de controlo, podem calcular-se os desvios de execução e de custos do projeto:

$$SV = 360.000 - 600.000 = -240.000\text{€}$$

$$CV = 360.000 - 480.000 = -120.000\text{€}$$

O projeto apresenta um desvio negativo no prazo no valor de 240.000€, relativamente ao trabalho que estaria agendado, estando atrasado relativamente ao cronograma inicial. Relativamente ao desvio no custo, pode concluir-se que o trabalho concluído até à data em análise custou mais que o inicialmente planeado, motivo pelo qual o projeto apresenta uma derrapagem nos custos no valor de 120.000€.

Apresentam-se ainda os seguintes índices de desempenho:

$$SPI = 360.000 / 600.000 = 0.60$$

$$CPI = 360.000 / 480.000 = 0.75$$

Os valores obtidos significam que, por cada euro de trabalho que estaria planeado executar fisicamente no projeto, apenas se realizaram 0.60€, além disso, por cada euro que se gastou no projeto, apenas se realizou 0.75€ de trabalho físico.

Tendo em conta que o custo total estimado para o projeto, calculado antes de dar início, representava um total de 900.000€ e, considerando o historial de desempenho até então, o cenário mais provável que o projeto poderá apresentar contempla os seguintes valores:

$$EAC = 480.000 + \frac{900.000 - 360.000}{0.75} = 1.200.000\text{€}$$

$$ETC = 1.200.000\text{€} - 480.000 = 720.000\text{€}$$

$$VAC = 900.000 - 1.200.000\text{€} = -300.000\text{€}$$

Estima-se, portanto, que o projeto custará um total de 1.200.000€ e que, para financiar o trabalho que ainda se encontra por realizar, seja ainda necessário despende de um montante no valor de 720.000€.

Adotando agora, perspetivas distintas relativamente ao futuro desempenho do projeto (pessimista e otimista), o mesmo poderá custar, respetivamente:

$$EAC = 480.000 + \frac{900.000 - 360.000}{0.75 \times 0.60} = 1.680.000\text{€} \text{ e } ETC = 1.680.000\text{€} - 480.000 = 1.200.000\text{€}$$

$$EAC = 480.000 + 900.000 - 360.000 = 1.020.000\text{€} \text{ e } ETC = 1.020.000\text{€} - 480.000 = 540.000\text{€}$$

Por outro lado, caso se pretenda manter o orçamento que foi inicialmente aprovado, a equipa de trabalho terá de alcançar até ao fim do projeto o seguinte índice de desempenho:

$$TCPI_{(BAC)} = \frac{900.000 - 360.000}{900.000 - 480.000} = 1.29$$

Para que seja alcançado o BAC, a mão-de-obra interveniente no projeto, terá de melhorar o CPI de 0,75, registado no momento de controlo, para um CPI de 1,29.

3.3. Limitações do EVM tradicional

Apesar da fácil aplicação da metodologia anteriormente detalhada, a qual se denomina por “EVM tradicional” por não contemplar nenhum grau de incerteza nos valores obtidos e reportando-se apenas a valores determinísticos, esta tem sido alvo de críticas por parte de alguns investigadores. As limitações apresentadas incidem, tanto na determinação de uma percentagem que represente verdadeiramente o trabalho já concluído num dado momento de controlo e que pode conduzir a valores errados do valor ganho (EV), como também a erros nas previsões que advêm dessa incorreta perceção. Também a extrapolação de resultados para prever o futuro desempenho do projeto recorrendo às fórmulas anteriormente apresentadas é colocado em causa, uma vez que o seu ciclo de vida não é linear. Igualmente relevante são também as críticas apontadas em relação aos valores de PV que se tomam como referência na avaliação do progresso de um projeto, podendo gerar informação menos fidedigna. As limitações apresentadas são descritas com maior detalhe no presente capítulo.

3.3.1. Limitações na determinação de PV

Segundo Roldão (2000), o sucesso de um projeto depende, em grande parte, da capacidade de estimar prazos e custos sendo que, no caso específico de exigirem um processo de conceção, o grau de incerteza e risco que os envolve é ainda maior. Tal como foi já referido, o valor planeado (PV) definido na fase de planeamento atribuído a todas as atividades que compõem o projeto, permite que o gestor consiga aferir acerca do quão distante se encontra o atual estado de progresso na data de controlo, daquele que havia sido planeado numa fase inicial. O parâmetro PV pode ser entendido como a linha de referência que expressa em unidades monetárias o trabalho orçamentado que se pretende realizar ao longo do ciclo de vida do projeto, contudo, uma vez definida só poderá ser alterada para refletir as alterações necessárias devido a mudanças no âmbito do mesmo.

A origem dos valores do parâmetro PV que são definidos na fase de planeamento, onde o projeto ainda não deu início, poderão advir de múltiplas fontes. Roldão (2000) aponta a frequência da utilização de estimativas por comparação recorrendo a dados históricos referentes a projetos semelhantes que foram já dados como concluídos e de orçamentos que são solicitados a entidades externas (como por exemplo, a contratação de equipas de trabalho que realizam subempreitadas para a construção de infraestruturas). Refere ainda que as estimativas muitas vezes são realizadas sob pressão do pouco tempo disponível e com falta de elementos detalhados, dependendo muito da experiência e do grau de conhecimento do gestor responsável pelo projeto. Como tal, os referidos valores podem resultar de julgamentos subjetivos e não poderão ser encarados como absolutamente verdadeiros ou confiáveis, uma vez que cada gestor tem experiências e opiniões distintas. Segundo o mesmo, mais importante que o empenhamento do gestor no processo de definir um orçamento de base, é a melhoria da informação a que recorre que traduz um maior rigor dos valores de PV estipulados.

Ainda nesta temática, Miguel (2006) salienta também as oscilações dos preços de mercado, alterações ambientais que condicionam a normal execução dos trabalhos que estariam planeados, imprevistos que só são possíveis de identificar em campo, novos requisitos impostos pelos clientes (que poderão conduzir a um acréscimo de custo e tempo), ordens de trabalho que poderão não estar bem estruturadas (criando problemas na calendarização com outras atividades ou implicando trabalhos extra), como alguns exemplos de fatores que não são possíveis de prever numa fase primordial, sendo apenas evidentes no momento em que são detetados pelo sistema de controlo de custos, quando o projeto já se encontra em desenvolvimento. Como tal, quando o projeto apresenta valores de EV ou de AC distantes daqueles que são tomados como referência, nem sempre tais desvios significam que este pode estar fora de controlo (ou figurar a situação inversa).

A incerteza associada aos valores que são estabelecidos para o parâmetro PV antes do projeto ter início e que permitem estimar um orçamento final, BAC, é difícil de quantificar. No entanto, a maioria dos estudos que aplica a metodologia EVM concentram-se somente em melhorar as estimativas finais de custo e duração do projeto e não tanto em melhorar a precisão e rigor do valor planeado (PV) para prever o valor ganho (EV) e o custo real (AC). Tendo em conta esta problemática, poderá definir-se uma gama de valores que têm em conta a natureza estocástica da duração e custos definidos para cada atividade do projeto e que servirão como “banda de tolerância” à medida que o mesmo irá sendo

monitorizado pelo gestor. Usando uma abordagem que entra em linha de conta com possíveis desvios admissíveis na estimativa dos montantes orçamentados de PV, é possível identificar atempadamente quando é que os valores de EV e de AC se desviam do plano estipulado, assim como, servir de alerta para quando será necessário proceder a uma nova avaliação do mesmo (Kuhl e Perez Graciano, 2014). Por conseguinte, o conhecimento aprofundado da volubilidade das operações e dos processos que constituem o projeto, providenciam uma melhoria na capacidade de previsão de PV e proporcionam uma gestão da informação de previsão de desempenho mais fiável.

3.3.2. Limitações na determinação de EV

Durante o desenvolvimento de um projeto, as atividades apresentam diferentes fases na sua execução, tanto ao nível dos custos, como do tempo usado na sua concretização, tornando-se difícil quantificar com precisão o estado real em que o projeto se encontra (Burke, 2013). Não obstante, também uma avaliação subjetiva relativamente a um projeto mais complexo está mais propenso a maiores imprecisões, evidenciando assim uma das maiores limitações apontadas ao método, nomeadamente, na determinação da percentagem de tarefas do projeto efetivamente concluídas, PC (*Percent Complete*).

Tal como apresentado no ponto 3.1., é comum usar a regra 50/50 para determinar o valor de EV, no entanto, o referido autor considera que deverá ser apenas aplicada para projetos cujas atividades apresentam curta duração. O mesmo era já defendido por E. Kim, Jr. e Duffey (2003), referindo que para projetos de menores dimensões a metodologia EVM podia ser usada com menor detalhe do que quando comparada com projetos mais extensos e, por isso, era frequente usar técnicas mais simples, tais como a regra 50/50 ou o Método da Percentagem de Trabalho Concluído (*Percent Complete*). Também Meredith e Mantel (2012) manifestam a opinião de que tal regra podia ser muito generosa no início das atividades mas, por outro lado, ser também muito conservadora para atividades que estavam quase a terminar. Uma situação ainda mais preocupante era quando o gestor recorria à proporção 0/100, uma vez que a atividade só era valorizada quando se encontrava totalmente concluída, e tinha a desvantagem de que o projeto aparentava estar sempre atrasado. Ambos os autores consideram que o recurso a técnicas de fórmula fixa evidenciam discrepâncias consideráveis, tal que: regras que estão fortemente ponderadas no começo das atividades traduzem um progresso demasiado otimista e podem ocultar

problemas ao nível dos custos ou de calendarização, pelo contrário, regras fortemente ponderadas na conclusão das atividades figuram um progresso demasiado pessimista, acentuando tais problemas.

Por outro lado, ao contrário de E. Kim *et al.* (2003) e de Burke (2013) que sustentam a ideia de que as regras citadas poderiam ser aplicadas a projetos de menores dimensões, Meredith e Mantel (2012) vêm contradizer. Segundo os autores, para projetos com grande número de atividades, o erro causado pela sua aplicação corresponde apenas a uma pequena parcela de tempo e custo da totalidade do projeto, tratando-se de erros insignificantes. Consideram ser mais gravoso a tendência em atribuir ao projeto total uma percentagem representada por um número excessivamente exato, do tipo “73% do projeto está completo”, uma vez que na maioria dos casos tal valor não tem um significado real.

Também Meyer, Steyn e Nkiwane (2016) consideram que medir o progresso de um projeto pode ser um processo demorado e dispendioso, além disso, alertam ainda de que na maioria dos casos se trata de uma estimativa pouco precisa de medição. Também Norton *et al.* (2014) e Naeni, Shadrokh e Salehipour (2011) se manifestam em relação à determinação do valor ganho de um projeto no momento de controlo; assumem tratar-se de um processo de carácter maioritariamente subjetivo. Afirmam que quando EV é calculado para uma determinada tarefa usando o Método da Percentagem de Trabalho Concluído poderá haver uma certa ambiguidade na atribuição do progresso. Cada indivíduo tem experiências e opiniões distintas que poderão originar conflito entre gestores e clientes, havendo espaço para ocorrerem enviesamentos individuais. O gestor deve certificar-se que os dados de que dispõe são tão objetivos quanto possível ou então, tentar procurar minimizar o peso relativo das avaliações subjetivas. Esta abordagem é mais vulnerável a erros e mais apetecível para a manipulação propositada dos dados referentes ao real desempenho do projeto, muitas vezes devido à pressão que os clientes exercem sobre os gestores. Tal facto é comprovado no estudo desenvolvido por Y.-W. Kim e Ballard (2000), onde referem que, frequentemente, os gestores diminuem o valor dos custos reais (AC) apenas para o projeto figurar valores positivos relativamente aos desvios de custos (CV). Se o custo for o principal critério na avaliação do progresso do projeto, a distorção propositada dos referidos montantes no momento de controlo poderá traduzir fluxos de trabalhos menos fidedignos e, conseqüentemente, prejudicar o desempenho na realização das atividades posteriores (apresentando períodos mais extensos e custos mais elevados do que os que seriam necessários). Consideram que a vulnerabilidade do método EVM tem

origem no pressuposto de que o valor ganho registado num dado momento do projeto é tão relevante como o valor ganho registado num outro instante do seu ciclo de vida, aliada ainda, à suposição de que a produtividade de cada tipo de atividade é independente do desempenho das restantes atividades, ainda que apresentem uma relação de dependência entre elas.

Segundo Cioffi (2006), “se não se consegue medir o progresso de um projeto, não se conseguirá geri-lo”. De facto, o próprio conceito de EV, “valor ganho”, é intrinsecamente subjetivo e as críticas proferidas por diversos autores relativamente aos métodos tradicionais de medição de EV, anteriormente apresentadas, reforçam tal subjetividade. Para um controlo eficaz é essencial que o progresso seja medido sob uma base regular, uma vez que o valor de EV influencia a precisão dos índices de desempenho de custo (CPI) e de execução (SPI), podendo induzir o gestor a tomar medidas corretivas que poderão não ser as mais apropriadas face à conjuntura atual do projeto (Lee, 2015). Apesar de dispor de vários métodos com características mais objetivas para a medição do desempenho, nenhum deles quando usado de modo isolado, será necessariamente o ideal. Na verdade, a aglutinação dos vários métodos no mesmo projeto, quando aplicados de forma apropriada ao tipo de trabalho que será realizado, minimiza a subjetividade na determinação de EV.

3.3.3. Limitações na previsão do desempenho do projeto

O EVM tradicional, por se tratar de uma metodologia determinista, pressupõe a certeza na duração e custos das atividades do projeto, dando informação ao gestor se existem atrasos em relação aos trabalhos que estavam previstos realizar ou se está a consumir mais recursos do que os previstos para um dado momento. No entanto, a metodologia não especifica se os desvios obtidos podem ou não ser admissíveis, e serem apenas o reflexo causado pela variabilidade das atividades.

Neste sentido, B.-C. Kim e Kim (2014) destacam a não linearidade do progresso dos projetos originada pela estrutura da sua rede. Genericamente, os projetos são planeados para iniciar lentamente, aumentando o ritmo de trabalho na fase intermédia (pela execução de várias atividades em simultâneo) e à medida que se aproxima a conclusão, o ritmo volta

a decrescer. Tendo em conta o ciclo descrito, a curva de PV tende a assemelhar-se a um “S” (Figura 7).

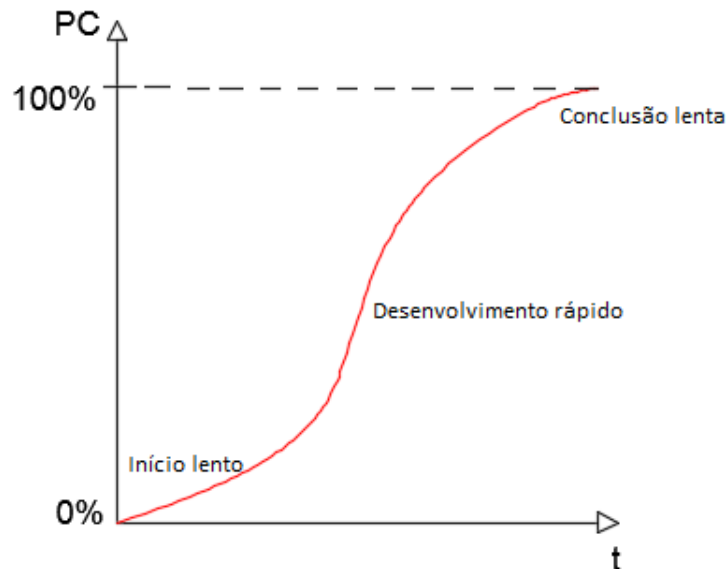


Figura 7: Curva característica do ciclo de vida de um projeto.

Tendo em conta a não-linearidade da evolução dos projetos, B.-C. Kim e Kim (2014) afirmam assim de que a estrutura da rede de um projeto influencia a precisão das previsões quando para o seu controlo se recorrem aos dados obtidos através da metodologia EVM tradicional. Segundo Y.-W. Kim e Ballard (2000), para o controlo de um projeto deve tomar-se em consideração os fluxos de trabalho, uma vez que não se tratam de elementos discretos ou independentes. Contudo, na formulação de previsões, o EVM ignora tais conceitos, desprezando as relações existentes entre as atividades e, por conseguinte, gerando resultados que não são totalmente confiáveis. Não obstante, realçam ainda que a veracidade relativamente ao alerta precoce que resulta dos métodos determinísticos de previsão do desempenho (de execução) do EVM podem ser significativamente influenciados pelos padrões de desempenho de PV e de EV.

A aplicação da metodologia EVM para a previsão do desempenho de projetos inseridos no âmbito da engenharia civil foi também alvo de críticas. De acordo com Y.-W. Kim e Ballard (2000) a metodologia tradicional apenas gerava informação de maior interesse para o cliente final, não estando tão orientada para responder às necessidades das empresas de construção ao nível do controlo dos projetos. Vandevoorde e Vanhoucke

(2006) realçaram ainda a inadequação da metodologia determinista na previsão do desempenho relativamente às etapas de trabalho, afirmando que o método era de difícil aplicação para projetos mais complexos, burocrático e propenso a falhas nas previsões a longo prazo. Ambos salientam que o mesmo segue procedimentos padronizados e sem uma visão holística.

Mediante as limitações que a metodologia determinista apresentava na resposta às necessidades dos gestores durante a monitorização e controlo dos projetos, atualmente, a mesma é integrada com *softwares* de simulação, tal como se apresentará de seguida.

3.4. Metodologia EVM estocástica no controlo de projetos

Se a metodologia EVM é determinista, também designada na presente dissertação por “EVM tradicional”, a realidade na conceção de projetos não o é. Na sua execução está subjacente uma constante incerteza que resulta do modo como este se desenvolve e dos desvios que apresenta face aos valores planeados. Contudo, é a natureza determinista da metodologia tradicional EVM que serve de base no desenvolvimento de técnicas estocásticas. Para colmatar as incertezas associadas à modelação de projetos, recorrem-se então a metodologias nas quais os custos e durações das atividades seguem uma determinada distribuição de probabilidade (Acebes, Pajares, Galán e López-Paredes, 2013). O recurso a *softwares* apropriados tem sido encarado como um elemento determinante na implementação do EVM com sucesso. A integração desta metodologia com *softwares* de simulação, nomeadamente através da simulação de Monte Carlo, permite prever em qualquer momento e, com particular nível de confiança, se os desvios que o projeto apresenta no decorrer da sua conceção são ou não admissíveis. No caso de atividades que em ambos os métodos suscitam um sinal de alarme, o gestor de projeto poderá dirigir toda a sua atenção para as tarefas que apresentam maior impacto na sua duração e averiguar como poderá solucioná-las.

Tendo em conta as críticas apresentadas ao EVM determinista, Pajares e López-Paredes (2011) sugeriram a integração de uma análise de riscos no âmbito da referida metodologia, uma vez que é esse risco que despoleta alterações na duração das atividades. Propuseram dividir os limites inicialmente planeados (de custo e tempo) relativos ao

projeto final em escalas mais pequenas para cada intervalo de tempo do seu ciclo de vida, designados por “*buffers*”. O risco associado a cada intervalo de tempo era proporcional à amplitude do intervalo em questão, e o desvio estatístico era assumido como uma medida de risco. Os autores definiram assim dois novos índices de controlo baseando-se nos limites desses mesmos intervalos: índice de controlo de custos (CCoIt) e índice de controlo de execução (SCoIt), cujo significado era equivalente aos indicadores CV e SV abordados no EVM:

$$CCoI_t = ACBf_{(t=ES)} + CV_t = ACBf_{(t=ES)} + EV - AC \quad (9)$$

$$SCoI_t = ASBf_t + SV(t) = ASBf_t + ES - AT \quad (10)$$

Onde t identificava o momento em que o projeto estaria a ser analisado (momento de controlo) e $t=ES$ se referia ao momento em que o trabalho que estaria concluído até ao momento de controlo já deveria ter sido alcançado.

Para monitorizar o desempenho do projeto recorrendo a esta nova abordagem, eram analisados dois gráficos para cada uma das dimensões (Figura 8).

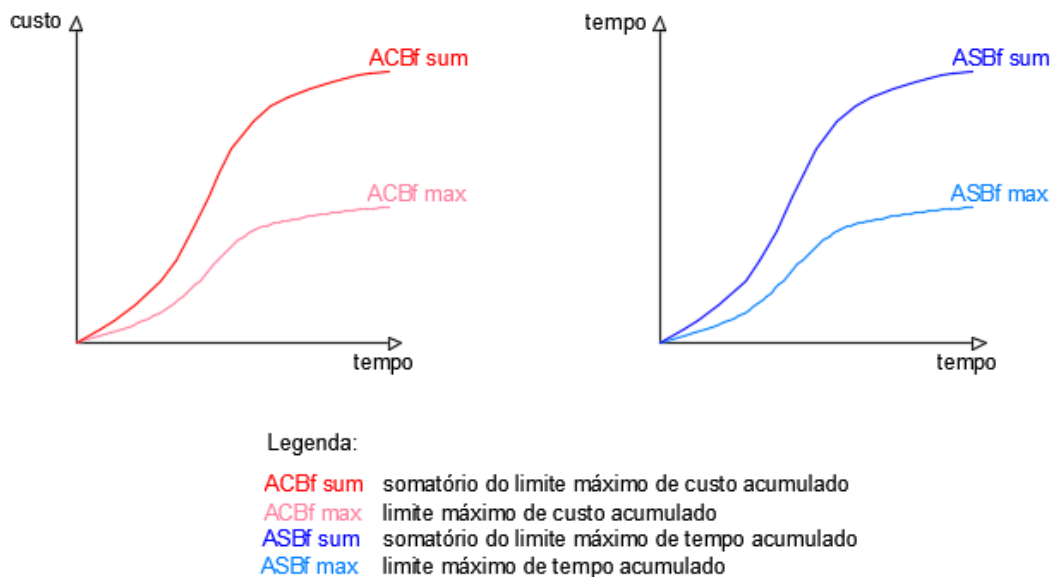


Figura 8: Representação gráfica dos limites (“*buffer*”) de custo e tempo determinados para cada intervalo do projeto.

Os valores de SV e CV, quando comparados com os limites que o projeto poderia apresentar estando sob a condição de uma análise de risco, possibilitavam que os gestores

pudessem aferir se o projeto estaria a ser executado com sucesso ou não, dentro de determinados níveis de confiança. Mais concretamente, quando SV apresentava um valor inferior ao valor limite de um determinado intervalo num dado momento ($ASBf_t$), o índice de controlo de execução ($SCoI_t$) figurava valores positivos e, portanto, os atrasos que o projeto experienciava estavam confinados à própria aleatoriedade da duração das atividades; por outro lado, valores de $SCoI_t$ negativos indicavam de que os referidos atrasos pudessem ser causados por problemas estruturais. Relativamente ao controlo de custos, era tomado o mesmo procedimento que o anteriormente descrito, mas reportando-se aos indicadores CV e $CCoI_t$.

Também Naeini (2013) desenvolveu um modelo para o controlo de custos de um determinado projeto, dando especial destaque aos indicadores de desempenho de execução (SPI) e de desempenho de custos (CPI) contemplados na metodologia EVM. O projeto era segmentado em grupos de atividades que pertenciam ao mesmo campo de trabalhos, denominados por “contas de controlo”, nas quais a incerteza associada aos custos e fatores de risco de cada atividade estavam subjacentes nas funções de distribuição de probabilidade alocada a cada uma delas. Recorrendo ao método de simulação de Monte Carlo (SMC), a curva S estocástica do projeto era modelada, apresentando a distribuição de custo total prevista (Figura 9).

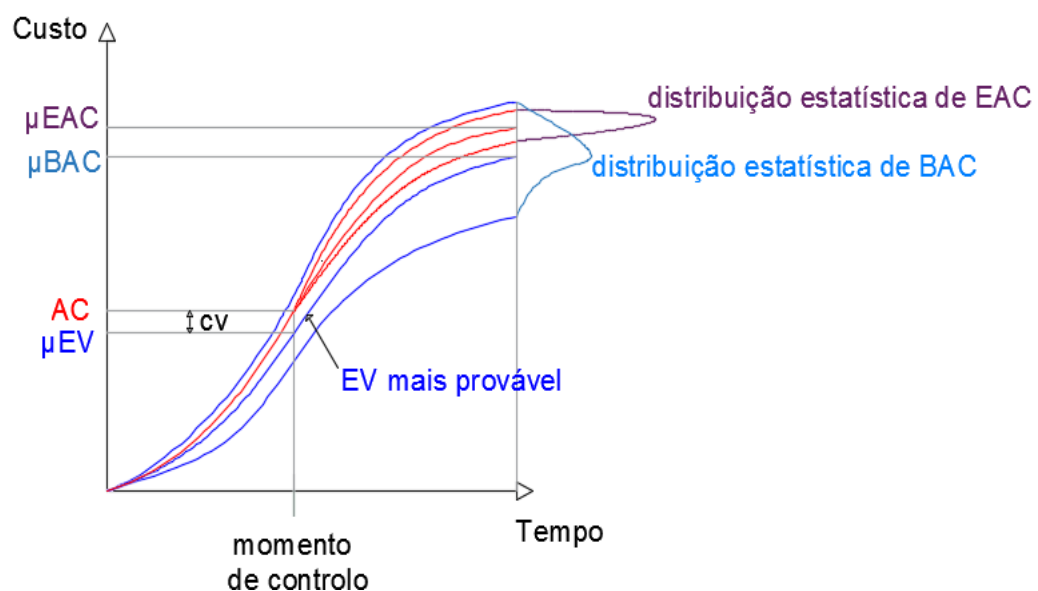


Figura 9: Curva-S estocástica de um dado projeto.

Para um dado momento, eram determinados os índices de desempenho SPI e CPI da metodologia EVM para cada conta de controlo e, quando os valores determinados não eram abrangidos pelo intervalo de valores definido na fase de planeamento, a conta de controlo em questão teria de ser reagendada. Para tal, o autor recorria às fórmulas de previsão de EAC, apresentadas na secção 3.2.3., para estimar o custo final do projeto segundo a perspetiva que considerasse ser a mais conveniente. Tratava-se assim de um método adaptativo, na medida em que se iniciava com uma estimativa dos custos do projeto traduzidos por uma função de distribuição e, à medida que os dados de desempenho real eram monitorizados e havia necessidade de tomar medidas corretivas, o método era ajustado fazendo as novas previsões tendo em conta as alterações feitas.

Tomando por base os estudos anteriores, mais concretamente o estudo de Pajares e López-Paredes (2011), Acebes *et al.* (2013) desenvolveram uma extensão ao método tendo como referência a variabilidade esperada dos custos e duração das atividades também com recurso à simulação de Monte Carlo. Deste modo, era possível obter um intervalo de resultados possíveis para qualquer momento do projeto onde o gestor era capaz de determinar se os desvios se encontravam dentro dos limites superiores e inferiores definidos. Da análise do gráfico obtido, era possível aferir se o projeto estaria atrasado e se os valores para os custos planeados permaneciam dentro do montante estimado.

Também Willems e Vanhoucke (2015) referem os benefícios que advêm do recurso à metodologia EVM estocástica no controlo de projetos, nomeadamente, ao nível da representação das curvas S-estocásticas a partir de *softwares* de simulação. Tendo em conta a incerteza que está subjacente no cálculo das estimativas de tempo e custos do projeto, assim como dos riscos associados ao reagendamento de atividades (nomeadamente o desrespeito das relações de precedência), constituem uma ferramenta fundamental na determinação de limites e dos respetivos intervalos de confiança.

Contudo, apesar de ser consensual que a integração da metodologia EVM com *softwares* de simulação, outras aplicações ou extensões ao método, contribuem para a realização de projetos com sucesso, existem ainda algumas lacunas ao nível da determinação do valor das variáveis base, em especial, do valor ganho (EV) e do valor planeado (PV). Ainda que no âmbito das investigações mais recentes esta problemática seja pouco fundamentada até ao momento, na secção seguinte apresentam-se alguns estudos onde o seu contributo para a determinação dos valores das referidas variáveis foi bem-sucedido.

3.4.1. Incerteza na determinação de PC e de EV

Mediante as críticas apontadas à metodologia tradicional EVM na determinação dos valores de PC (*Percent Complete*) e de EV, enumeradas na secção 3.3., Acebes *et al.* (2014) e Acebes, Pereda, Poza, Pajares e Galán (2015), propõem igualmente um reajuste ao método. Ambos os estudos combinavam a simulação de Monte Carlo com a metodologia EVM, sendo possível fazer uma gestão do risco associado à possibilidade do valor determinado para a percentagem de trabalho efetivamente concluído, num dado momento de controlo, não representar a realidade do projeto e, conseqüentemente, traduzir valores errados do valor ganho (EV). A simulação permitia, então, gerar um conjunto de cenários possíveis na execução do projeto, agrupando a informação de tempo e custos em função de uma percentagem de conclusão.

Tendo em conta a referida metodologia e, por forma a integrar os dados relativos às variáveis em estudo, Acebes *et al.* (2014) definiu a tríade $(x; T_{xj}; C_{xj})$, tal que $x=PC$, onde PC representava a percentagem de trabalho efetivamente concluído para um dado momento de controlo (Figura 10).

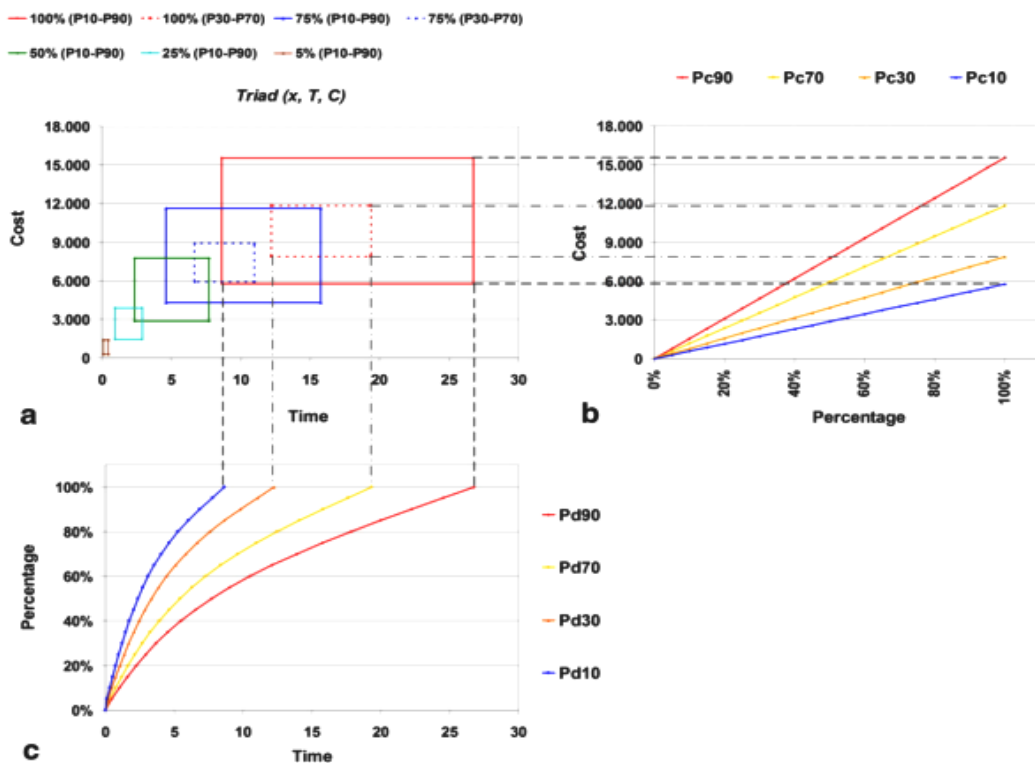


Figura 10: Representação gráfica da tríade e respetivas projeções de tempo e custo (Acebes *et al.*, 2014).

Por outro lado, no estudo desenvolvido por Acebes *et al.* (2015), o autor determinava a distribuição estatística de custo e tempo especificamente para uma percentagem intermédia de conclusão do projeto, ou seja, quando EV atingia metade do orçamento planeado, definindo a seguinte tríade: (EV=50% de BAC; T; C). Posteriormente, através da simulação de Monte Carlo, era possível obter o conjunto de pontos que representavam o tempo e custos de cada simulação, no momento em que o projeto apresentava o valor ganho correspondente ao montante de EV= 50% de BAC (Figura 11).

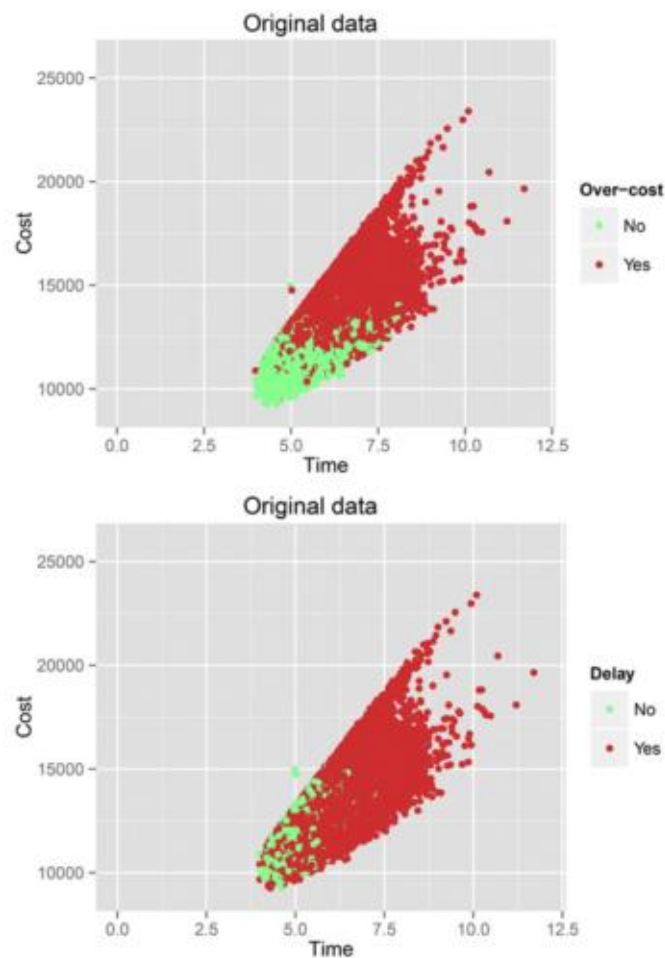


Figura 11: Resultado da simulação de Monte Carlo relativamente ao custo e duração do projeto, quando EV= 50% de BAC (Acebes *et al.*, 2015).

A Figura 11 apresenta o resultado da simulação para cada par de (Tempo; Custo) relativamente ao projeto estudado por Acebes *et al.* (2015). Os pontos representados a vermelho identificavam que o mesmo terminaria com custos acima dos orçamentados ou que sofreria atrasos em relação ao cronograma inicialmente definido, pelo contrário, os

pontos identificados a verde, informavam o gestor de que o projeto terminaria com menores custos que os previstos ou que seria concluído dentro do prazo estipulado.

Em suma, depois de geradas as possíveis alternativas estocasticamente compatíveis do projeto com recurso a n -simulações, poderia obter-se a informação referente aos custos médios, durações, desvios e respetivos intervalos de confiança, para um dado momento de controlo. Confrontando a situação real do projeto usando as variáveis base da metodologia EVM e comparando-as com os resultados da simulação, era possível saber com particular nível de confiança o quão distante o projeto estaria do objetivo (ou seja, dos valores de PV definidos pelo gestor na fase de planeamento).

Apesar das semelhanças quanto à metodologia adotada por ambos os autores, o estudo de Acebes *et al.* (2015) representava uma melhoria em relação ao anterior. Na investigação desenvolvida por Acebes *et al.* (2014) havia o pressuposto de que o valor ganho do projeto variava linearmente com o trabalho que ia sendo realizado, tal que: $EV=PC*BAC$. Pelo contrário, na metodologia implementada por Acebes *et al.* (2015), além de não se exigir tal hipótese, também não havia incerteza na determinação de PC (ou seja, do trabalho que já estaria concluído), havendo assim um menor erro na previsão dos resultados. Por conseguinte, Acebes *et al.* (2015) considerava que, para os casos em que não era fácil determinar a percentagem exata de conclusão de um dado projeto, do ponto de vista do gestor, a sua abordagem era mais intuitiva que a anteriormente apresentada.

Também no sentido de colmatar as limitações apontadas à metodologia EVM tradicional e na tentativa de determinar valores mais fidedignos para a variável PC, nomeadamente, contribuindo para uma representação mais real do estado de progresso do projeto, Naeni *et al.* (2011) apresenta igualmente uma outra abordagem, combinando a metodologia EVM com uma análise *fuzzy*.

Apesar da evidente natureza estocástica no desenvolvimento das atividades que integram qualquer projeto, as técnicas disponíveis para o cálculo do valor ganho consideram que as mesmas são deterministas. Assim, a metodologia proposta pelo autor pretende estender a aplicabilidade das mesmas para cenários reais, onde a nova didática tem em conta uma determinada incerteza no processo de medição e avaliação do desempenho do projeto, mais concretamente, quando se realiza o cálculo das variáveis e dos índices característicos do EVM, assim como, aquando da formulação de previsões de tempo e custos para a conclusão do mesmo.

No estudo desenvolvido por Naeni *et al.* (2011) a referida metodologia foi aplicada a um pequeno projeto de pesquisa médico. Numa fase inicial, o autor expressou a variável PC, as variáveis base e todos os índices de desempenho e de previsão usados na metodologia EVM em números *fuzzy*. Posteriormente, por forma a determinar o estado de progresso do projeto, comparou as referidas variáveis e índices (já traduzidos em números *fuzzy*), recorrendo aos métodos mais adequados mencionados na literatura para efetuar tal comparação. De acordo com o autor, a integração dos princípios *fuzzy* com os cálculos característicos do EVM no projeto em análise, representavam um importante avanço na determinação de PC quando comparados com os métodos determinísticos apresentados na secção 3.1. Concluiu que uma análise *fuzzy* auxiliava os gestores, no momento de controlo, a estimar de maneira mais fidedigna o real estado de progresso dos projetos, contribuindo também numa melhoria das previsões relativamente ao futuro desempenho dos mesmos.

3.4.2. Incerteza na determinação de PV

Tendo em conta os estudos realizados até ao momento, verifica-se que muitos autores desenvolveram extensões e novas aplicações da metodologia tradicional EVM. Contudo, nas novas abordagens à referida metodologia, o objetivo primordial considera unicamente a melhoria da previsão do tempo e custos necessários para a conclusão dos projetos, não contemplando um maior rigor dos valores atribuídos à variável PV, igualmente relevantes, uma vez que são tomados como referência durante o desenvolvimento dos mesmos.

H. L. Chen (2014) foi um dos autores pioneiros a abordar esta temática, na tentativa de melhorar a precisão da previsão dos valores de PV. Segundo o autor, os valores definidos na fase de planeamento referentes à variável PV alocados a cada atividade do projeto não são deterministas, estando sujeitos a alterações durante o ciclo de vida do projeto ou resultar, assim como na determinação de EV, de uma orçamentação algo subjetiva. Neste sentido, propôs uma fórmula de transformação linear de dados, e aplicou-a à informação referente a 131 projetos. Concluiu que, através da modelação de PV antes do projeto iniciar e, usando o modelo matemático que desenvolveu, havia uma melhoria na precisão da previsão dos valores de EV e de AC, nomeadamente, melhorando significativamente as correlações entre as variáveis PV e EV e entre PV e AC.

Também com o objetivo de melhorar os valores de PV definidos na fase de planeamento do projeto e, tendo por base o estudo desenvolvido por H. L. Chen (2014), H. L. Chen, Chen, e Lin (2016) desenvolveram uma extensão do método de modelação anterior, os quais foram aplicados a quatro projetos distintos. No presente estudo combinaram-se determinadas séries de tempo com uma análise de regressão para desenvolver o valor planeado (PV) num modelo de resposta de EV e de AC. Com base na equação de transformação linear usando logaritmos neperianos (LLT) proposta por H. L. Chen (2014), uma das transformações mais simples de conversão da relação entre variáveis, verificou-se que PV, EV e AC apresentavam uma relação quase linear. Por fim, através da validação da previsão pelo MAPE, demonstrou que o referido método melhorava a precisão de previsão de EV e de AC.

De acordo com H. L. Chen *et al.* (2016), a melhoria na capacidade de previsão de PV, antes do projeto dar início, possibilitava uma gestão com informação mais exata ao nível da previsão do valor ganho e dos custos reais, proporcionando um melhor desempenho do projeto em estudo e permitindo uma ação preventiva mais eficaz. No entanto, por se tratar de uma metodologia recente, os gestores apresentam ainda algumas dificuldades na aplicação da mesma aos seus projetos.

Reconhecendo também que o orçamento definido para o projeto na fase de planeamento está sujeito a alterações devido à própria natureza estocástica das atividades que o constituem, Kuhl e Perez Graciano (2014) consideram que a incerteza na duração e nos custos estipulados não deve ser menosprezada. Assim, no estudo desenvolvido pelos autores, através da simulação de Monte Carlo, definiram um plano de referência no qual estimaram o valor planeado para todas as etapas do projeto, considerando uma banda de contingência para o seguinte intervalo de valores: $[-(0.10*PV)+PV; PV+(0.10*PV)]$.

A metodologia proposta pelos autores consistia na simulação de dois submodelos complementares, tendo sido aplicada a uma rede de um projeto de construção com durações e custos estocásticos para cada atividade. Enquanto que o submodelo 1 determinava o valor planeado (PV) no tempo de conclusão definido para uma dada atividade, o submodelo 2 calculava o valor planeado (PV), o valor ganho (EV) e o custo real (AC) no tempo real de conclusão da mesma. Note-se que, o resultado da simulação do submodelo 1 correspondia ao valor planeado do projeto num dado momento de controlo, acrescido da banda de contingência de 10%. Assim, ao longo da execução das atividades era possível aferir se o projeto estaria sob controlo ou se, pelo contrário, seria necessário

implementar medidas corretivas, nomeadamente quando EV e AC se desviavam dos limites pré-estabelecidos. Uma vez determinados a duração e os custos reais das atividades concluídas e das que ainda se encontravam em curso e, tendo também conhecimento das distribuições estatísticas de tempo e custos para aquelas que ainda não tinham iniciado, através do submodelo 2 era possível prever os valores dos índices de desempenho para o futuro do projeto, caso o gestor não adotasse medidas corretivas.

A Figura 12 representa o progresso do projeto analisado por Kuhl e Perez Graciano (2014) até ao momento de controlo (dia 13), assim como a previsão do desempenho do mesmo. Analisando a figura, poderá constatar-se que o valor ganho registado no momento de controlo é inferior ao intervalo de valores definidos pela banda de contingência, constituindo um alerta de que se deverão implementar medidas corretivas ao projeto. Relativamente ao dia 25, por representar um marco no projeto devido a motivos contratuais entre o gestor e empreiteiros, era igualmente importante proceder a uma análise. Partindo do pressuposto de que o projeto irá ser desenvolvido nos mesmos padrões de desempenho que os registados no momento de controlo (dia 13), para o dia 25 prevê-se que o mesmo esteja atrasado e acima do orçamento.

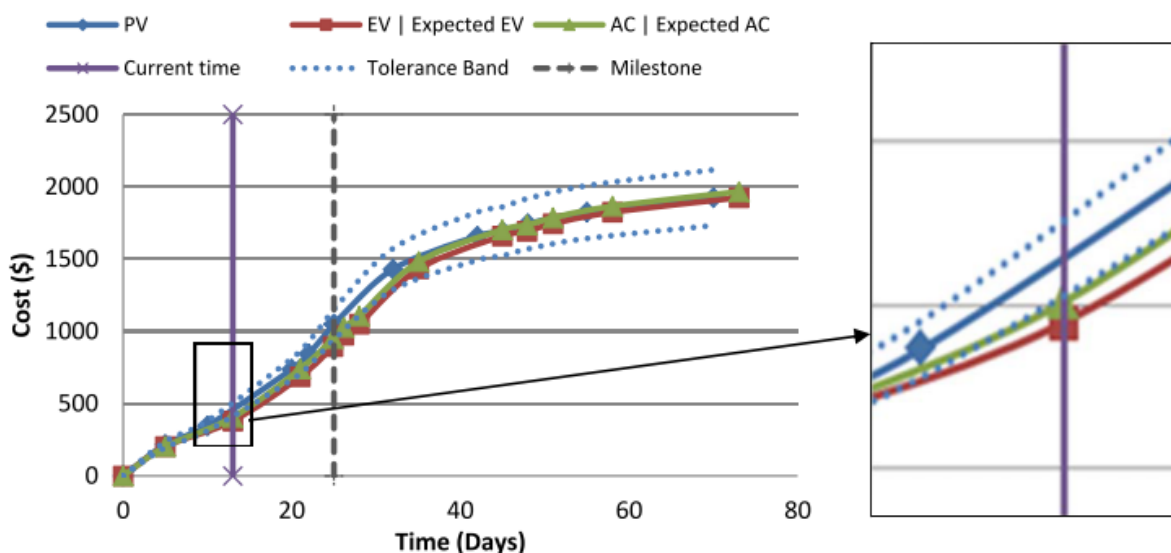


Figura 12: Representação das variáveis da metodologia EVM no momento de controlo (dia 13) e previsão dos índices de desempenho do projeto (Kuhl e Perez Graciano, 2014).

Tendo em conta os estudos apresentados na presente secção e as respetivas conclusões dos seus autores, as análises estocásticas surgem na tentativa de melhorar as

previsões iniciais, detetar situações que poderão estar fora de controlo e fornecer procedimentos alternativos. Da combinação do EVM com a simulação de Monte Carlo resultam previsões mais realistas e a possibilidade de definir limites de tolerância para estimar a probabilidade de ocorrer um determinado resultado indesejável. Ao aplicar esses limites durante a execução do projeto, o gestor pode contrariar os desvios indesejáveis e adotar medidas corretivas atempadamente. Independentemente da metodologia com a qual se combinam os princípios da metodologia EVM, parece ser consensual a crescente preocupação em reduzir a incerteza nos valores que resultam das previsões por forma a permitir o planeamento e controlo dos projetos de um modo mais eficiente.

4. A metodologia EVM no setor da Engenharia Civil

A maioria dos projetos de construção de infraestruturas é desenvolvida em contexto de grande pressão, especialmente no que diz respeito a prazos de entrega de obras. Os desvios nos custos decorrentes desses atrasos podem ser prejudiciais, sendo necessário que os responsáveis pelos projetos sejam capazes de avaliar os efeitos dos mesmos quantificando devidamente os danos que lhes estão subjacentes. No entanto, o efeito do atraso no tempo de construção e os respectivos custos do trabalho remanescente são difíceis de medir com precisão (Lee, 2015). Czemplik (2014) acrescenta ainda que os gestores geralmente avaliam o seu progresso tendo em conta o calendário e o orçamento inicialmente estipulados, no entanto, dada a dinâmica característica das atividades dos projetos de construção e as constantes alterações em relação ao plano inicial, torna-se evidente a necessidade de recorrer a um método que integre toda a informação do estado do projeto para descrever o real progresso do mesmo. Face a esta problemática, a metodologia EVM tem sido desenvolvida na tentativa de precaver e solucionar os problemas que surgem ao nível da calendarização dos trabalhos e respetivos custos, qualidade e outros desvios nas medidas de desempenho que se refletem em termos financeiros (Mohammed, Sarhan e Sameer, 2014).

Segundo Fleming e Koppelman (2002), a metodologia EVM começou por ser usada no âmbito da engenharia civil para efetuar pagamentos à medida que os projetos de construção iam sendo desenvolvidos, tratando-se de uma potencial ferramenta de suporte para detetar desvios e alertar para a necessidade de proceder a alterações na sua estrutura. Também Teixeira Netto, Quelhas, França, Meiriño e Lameira (2015) destacam o método pela sua perspicácia na previsão de possíveis problemas que podem prejudicar o curso normal dos trabalhos inicialmente agendados e conduzir a grandes desvios de custo e tempo, alertando atempadamente o gestor da eventualidade de vir a ocorrer tal situação.

Segundo Memon, Rahman e Azis (2012), a aplicação do EVM em projetos de construção de infraestruturas possibilitava um melhor acompanhamento dos mesmos, permitindo alcançar sem grandes desvios o orçamento definido na fase de planeamento. Os autores consideravam que os fatores tempo e custo representavam a maior preocupação na base da gestão de qualquer projeto. Por outro lado, Ali e Rahmat (2010) afirmavam que o

fator mais determinante no desempenho dos projetos era a sua funcionalidade e que clientes distintos tinham diferentes necessidades e exigências.

Meyer *et al.* (2016), na tentativa de perceber os requisitos dos diversos *stakeholders*, analisou o comportamento dos clientes, empreiteiros e consultores na implementação do EVM, com destaque para a distribuição do risco financeiro. Ao contrário de Cioffi e Khamooshi (2009), que constatou que os clientes que implementavam a referida metodologia faziam-no sobretudo em projetos de maior dimensão e de alto risco, Meyer *et al.* (2016) não obteve nenhuma relação entre a *performance* e o contrato de alocação do risco financeiro usando a metodologia EVM. Todavia, refere que a metodologia contribuía para um melhor desempenho dos projetos, permitindo que as áreas que suscitavam maiores problemas tivessem uma atenção mais cuidada por parte do gestor. Segundo o mesmo e, na perspetiva do empreiteiro, o método EVM determinista era inadequado para controlar grandes projetos, preferindo uma ferramenta de contabilização de custos mais detalhada que possibilitasse também uma análise da sua rentabilidade. Por outro lado, na perspetiva do cliente, observou que este estaria disposto a pagar um prémio/ recompensa por o projeto estar concluído atempadamente, na medida em que mais cedo retirava benefícios da sua conclusão.

De Marco e Narbaev (2013), assim como Cioffi e Khamooshi (2009), acreditam que o EVM podia ser aplicado a projetos de construção de infraestruturas de quaisquer dimensão e complexidade, com recurso a diversos *softwares* desenvolvidos para assegurar a aplicação da metodologia, auxiliando na organização e registo dos dados. Todavia, Keng (2015) alerta que para os casos em que as empresas ainda não estão familiarizadas com o conceito EVM, deverão aplicar a metodologia na sua forma mais básica, sem a adoção de novas métricas. O uso de novas abordagens pode distanciar os gestores de obter informações corretas relativamente à execução dos trabalhos, uma vez que o conceito envolve uma complexa análise de dados. No estudo desenvolvido por Teixeira Netto *et al.* (2015) o autor constatou que, apesar das empresas de construção considerarem que a metodologia é uma ferramenta adequada para responder às suas necessidades, especialmente no que diz respeito ao controlo de custos e de prazos, por outro, é também difícil de operacionalizar, motivo pelo qual considera que o recurso a *softwares* complementares podem tornar a sua aplicação mais simples de ministrar.

Segundo Meredith e Mantel (2012), uma cuidadosa análise de riscos no início do projeto podia ser determinante para evitar o incómodo de notificar o cliente de más

notícias. Um caso de insucesso que decorreu da aplicação da metodologia EVM no controlo de um projeto de construção no Brasil foi apresentado por Cândido, Heineck e Neto (2014). As limitações apontadas incidiram tanto nos próprios conceitos das variáveis intervenientes (em especial, do “valor ganho”), como na previsão da duração e dos custos para a conclusão das infraestruturas, apresentando valores muito elevados e levando os gestores a fazer um novo planeamento do trabalho remanescente com base em previsões de alarme precoce. Também a utilização de unidades monetárias como parâmetro de medição do desempenho do projeto apresentou uma grande distorção quando confrontado com o seu progresso físico (medido em horas de trabalho). Os autores consideraram que o EVM se destinava apenas à avaliação financeira do projeto e que, para ter realmente utilidade ao nível da monitorização dos projetos, as técnicas de medição deviam ser sustentadas com base em aspetos tangíveis e facilmente mensuráveis.

Ainda nesta temática, Keng (2015) realizou um estudo para aferir se as empresas de construção mais influentes da Malásia recorriam à presente metodologia para controlar os seus projetos, o qual constatou que no referido setor havia ainda pouca informação e domínio na sua aplicação. Apesar da metodologia EVM ter sido amplamente divulgada em muitos países, não é ainda muito utilizada pelos gestores de projetos. Meyer *et al.* (2016) acredita que o facto da mesma não representar uma das exigências especificadas nos contratos celebrados entre gestores e construtoras para o controlo de projetos, faz com que os seus intervenientes não tenham um entendimento comum acerca do desempenho do projeto em termos de “valor ganho”, diminuindo a sua aplicabilidade no setor em questão. O EVM é apenas ministrado pelos gestores e praticamente desconhecido por parte dos empreiteiros.

Segundo Babar, Thaheem e Ayub (2016) e, no caso específico do setor da engenharia civil, o desenvolvimento de metodologias que se destinem a integrar a informação necessária para o controlo de projetos e das incertezas na previsão do desempenho dos mesmos, é ainda escassa. O mesmo é corroborado por Teixeira Netto *et al.*, (2015), referindo que o setor da construção tem menosprezado os benefícios da metodologia EVM ao nível do controlo e gestão de projetos, para além das dificuldades evidentes na sua operacionalização.

4.1. Aplicação da metodologia EVM estocástica a uma rede de um projeto de construção

Estudos recentes no âmbito da gestão de projetos e métodos de simulação têm-se focado maioritariamente nas variáveis tempo e custo, fazendo previsões dessas mesmas variáveis para a conclusão do projeto. Embora tais métodos sejam apropriados para gerir a sua conclusão, não incidem diretamente nos objetivos intermédios que se encontram definidos com variáveis mensuráveis nas várias fases da elaboração do projeto (Kuhl e Perez Graciano, 2014). Neste sentido, o EVM assume um papel importante na medida em que permite averiguar o seu progresso real, nomeadamente, se a execução das atividades estão de acordo com a calendarização inicialmente agendada e dos custos orçamentados.

No presente trabalho pretende-se, portanto, desenvolver e aplicar um modelo de simulação para o controlo de um projeto em rede com a metodologia EVM. A simulação consiste em replicar as características e propriedades do projeto por meio de *inputs* estocásticos, de modo a poder tomar decisões com base nos *outputs* que são gerados com recurso a um *software* apropriado. No que se refere à metodologia EVM, reconhecer-se-á a necessidade de determinar com maior rigor a quantidade de trabalho realizado até à data de controlo do projeto em análise, assim como, do trabalho que ainda falta realizar relativamente a atividades pautadas por alguma incerteza e sobre as quais é difícil perspetivar quaisquer conclusões antecipadamente.

Tomando em consideração as limitações apontadas à referida metodologia, descritas detalhadamente no subcapítulo 3.3., pretende refletir-se a incerteza dos valores determinados para o parâmetro de EV que podem advir de uma incorreta perceção da “quantidade” de trabalho efetivamente realizado na data de controlo. Os mesmos poderão traduzir uma perspetiva enviesada do estado real do projeto e influenciar, conseqüentemente, a formulação de previsões futuras. Tendo em conta o exposto, determinar-se-á o valor ganho (EV) por meio de um processo estocástico, avaliando o impacto da técnica da Percentagem de Trabalho Concluído na avaliação do progresso real das atividades na data de análise e destacando a subjetividade intrínseca ao método. Não obstante, também o parâmetro PV será tido em conta devido à origem dos valores não deterministas que são alocados a cada atividade do projeto na fase de planeamento e que

servem de referência para monitorizar e avaliar a sua *performance*. Combinando os prazos e custos afetos às atividades que se encontram em execução no momento de controlo, pretende-se aferir em que medida tais lacunas poderão condicionar o valor das variáveis em estudo e dos restantes índices de desempenho e de previsão do projeto.

A simulação quando combinada com uma análise de sensibilidade é muito útil para projetos que ainda se encontram numa fase conceptual, investigando como o seu desempenho pode ser influenciado pela mudança de alguns parâmetros no modelo e possibilitando testar novas soluções sem ter de efetuar uma experimentação física. Incorporando perspetivas de carácter aleatório nas estimativas realizadas para avaliar o progresso das atividades sob incerteza resultará uma interpretação mais eficaz dos índices característicos do modelo, como também, os valores obtidos de duração e custos para a conclusão do projeto auxiliarão os gestores a estimar o seu futuro desempenho de modo mais fiável.

4.1.1. Breve caracterização do projeto de construção

O projeto hipotético que será analisado para ilustrar a metodologia de simulação do valor ganho refere-se à construção de uma vivenda constituída por dois pisos (R/C e 1.º andar); as relações de precedência existentes entre as atividades, as durações e os respetivos montantes previstos para a sua realização encontram-se representados na Tabela 6.

Descrição da Atividade	Nó da Atividade	Atividade precedente	Duração (semanas)	Custo orçamentado (€)
Fundações	A	-	1	12 800,00
Estrutura 1º andar	B	A	2	21 350,00
Estrutura cobertura	C	B	2	20 450,00
Alvenaria rés-chão	D	B	3	10 950,00
Alvenaria 1º andar	E	C	3	10 200,00
Cobertura	F	C	5	8 850,00
Instalações	G	D, E	3	25 600,00
Caixilharias e serralharia	H	D, E	2	17 100,00

Acabamentos interiores	I	G, H	8	15 150,00
Acabamentos exteriores	J	H	4	14 900,00
Arranjos exteriores	K	F, J	1	12 750,00
				PV_{acum}=170 100,00 €

Tabela 6: Informação sobre as relações de precedência, durações e custos determinísticos previstos para as atividades que integram o projeto - valores de base de planeamento.

Importa salientar que a informação disponibilizada na tabela anterior (Tabela 6) tem origem no registo de dados referentes a um outro projeto de construção (já finalizado) e cuja tipologia é semelhante ao projeto que irá ser estudado.

Tendo em conta as relações de dependência entre as atividades, a rede do projeto encontra-se representada na Figura 13.

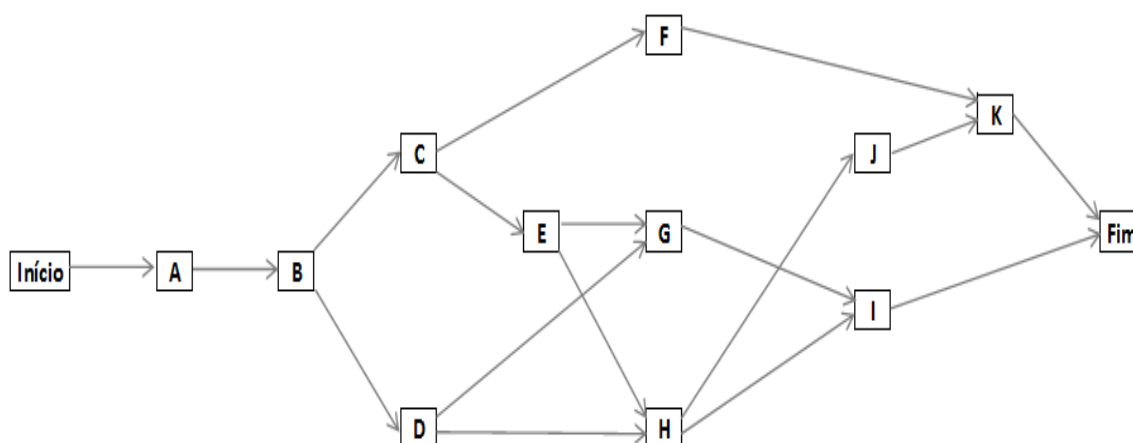


Figura 13: Rede representativa do projeto de construção da vivenda.

Definido o plano de projeto, o mesmo poderá ser controlado ao longo do tempo para verificar se a sua execução permanece conforme o estipulado. Tomando em consideração o objetivo que se definiu, este será analisado numa etapa do seu ciclo de vida onde, simultaneamente, determinadas atividades já tenham sido finalizadas, outras ainda estejam a decorrer e algumas ainda não tenham dado início. Como tal, definiu-se que o momento de controlo ocorreria na 9.^a semana da calendarização de trabalhos anteriormente apresentada (AT = semana 9) na qual se pretenderá simular o planeamento e antecipar a realidade da referida semana. A Figura 14 apresenta o estado em que as atividades se encontram na dita data de análise, tendo em conta as relações de precedência e a duração

estimada no desenvolvimento das mesmas através da aplicação do CPM (Figura A.1, em Anexo).

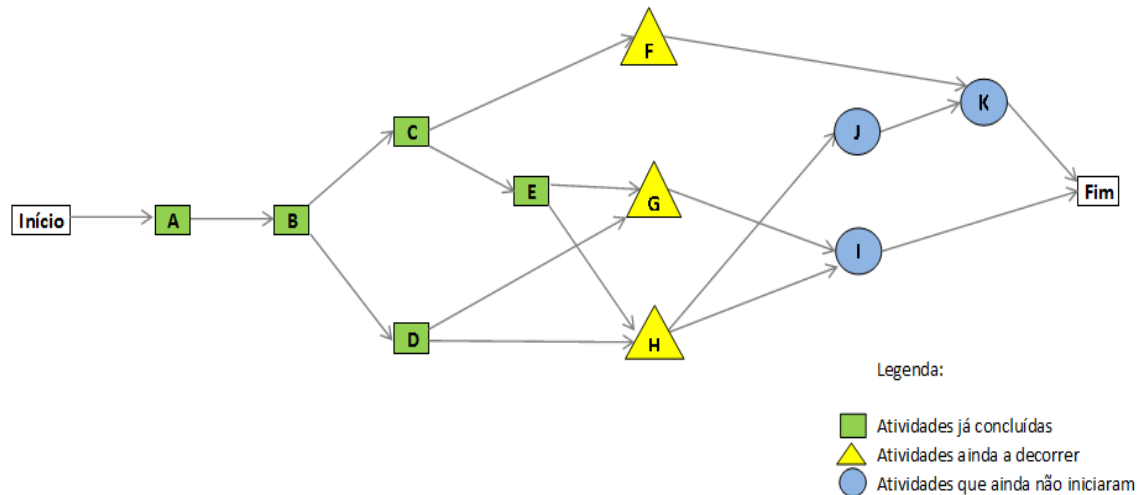


Figura 14: Rede representativa do projeto quando AT = 9.ª semana.

Tal como referido anteriormente, a simulação é usada para auxiliar no desenvolvimento do plano do projeto, possibilitando comparar cenários alternativos antes do mesmo ter dado início; uma vez começado, é então possível representar graficamente os valores de EV e AC que este vai “consumindo”. Nesta abordagem, gerar-se-ão as várias instâncias do projeto e, tratando-se de atividades com custos e tempos incertos, facilmente se identificam os momentos em que os montantes de EV e de AC se desviam do plano que foi previamente definido.

4.2. Pressupostos

A tomada de decisões envolta num contexto de incerteza leva à necessidade de proceder a uma análise de risco, a qual exige que sejam definidas determinadas assunções relativamente às funções probabilísticas que caracterizam as variáveis e os indicadores que refletem o estado de progresso do projeto. Assim, os pressupostos gerais considerados no modelo de simulação incluem:

- A natureza estocástica do projeto pode ser modelada por uma distribuição estatística relativamente à duração e custos associados a cada atividade que integra o projeto apresentado;
- As relações de precedência devida à própria sequência técnica dos trabalhos de construção são definidas antes do projeto iniciar e não mudarão durante a conceção do mesmo;
- As atividades não poderão ser interrompidas. Portanto, uma vez iniciadas continuarão em execução até que sejam totalmente concluídas. Por conseguinte, o valor de EV será linearmente acumulável desde o instante em que uma atividade é iniciada até ao montante estimado para o projeto concluído, BAC. De modo análogo, os valores de PV afetos a cada atividade serão linearmente acumulados desde que estas se iniciam até ao momento agendado para a sua finalização;
- Assumir-se-á que o trabalho realizado em cada atividade é proporcional ao tempo de duração² (d_i) definido para a mesma, na **fase de planeamento**, tal que:

$$PC_i = \begin{cases} 0, & \text{se } AT < IMC_i \text{ (atividades que ainda não iniciaram)} \\ \min \left\{ 1; \frac{AT - IMC_i}{d_i} \right\}, & \text{se } AT \geq IMC_i \text{ (atividades já concluídas ou em execução)} \end{cases}$$

Onde AT corresponde ao momento de controlo e IMC_i ³ representa o início mais cedo para uma determinada atividade i , $i = \{A, \dots, K\}$;

Assim, o valor planeado é determinado pela Equação 11:

$$PV_i = PC_i * BAC_i \quad (11)$$

Onde BAC_i corresponde ao orçamento estimado, na fase de planeamento, para uma dada atividade i , $i = \{A, \dots, K\}$;

- No entanto, para o caso específico do cálculo de PC_i , necessário para determinar o valor de EV no **momento de controlo** e, salvaguardando os objetivos que se estipularam para a presente dissertação, assumir-se-á um certo grau de incerteza ao seu valor, tal que:

$$EV_i = PC_i * BAC_i \quad (12)$$

² Na Figura A.2, em Anexo, poderá visualizar-se a calendarização que se definiu para as atividades que constituem o presente projeto de construção, tendo em consideração os pressupostos que se estipularam.

³ O “início mais cedo” de uma dada atividade i (IMC_i) corresponde ao tempo mais cedo em que a mesma poderá iniciar, partindo do pressuposto de que as suas atividades antecessoras se encontram efetivamente concluídas.

Onde PC_i representa a percentagem de trabalho efetivamente concluído no momento de controlo expresso por uma função estatística;

- O tempo e custos associados às atividades que ainda faltam concluir ou que ainda não tiveram início podem ser estimadas.

4.3. Modelo de simulação do progresso do projeto

No presente estudo recorrer-se-á à simulação de Monte Carlo (SMC) para representar o leque de resultados que se poderão obter tendo em conta as alterações que forem implementadas no projeto, nomeadamente, por influência dos valores de BAC e PC e, consequentemente, de PV e de EV. Embora a SMC tenha sido usada desde os anos 40 do passado século, a evolução dos sistemas informáticos e a crescente insatisfação nos cálculos de estimativa pontual fomentaram a sua utilização, sendo hoje considerada por muitos investigadores como sendo a técnica estatística mais segura para a determinação da incerteza nos setores da gestão e construção de projetos.

Na metodologia citada, os valores característicos de cada variável do modelo são selecionados aleatoriamente a partir da distribuição de probabilidades que se definiu previamente. Posteriormente, o processo é repetidamente simulado e cada *output* gerado é usado para traçar uma distribuição estatística de todos os resultados (Meredith e Mantel, 2012). Com base em múltiplas iterações, e não apenas a partir de uma iteração em particular, resultam estatísticas descritivas dos *outputs* estocásticos (média, moda, mediana, variância, coeficiente de enviesamento, máximo, mínimo, percentis, histogramas,...) que podem ser objeto de análise pelo gestor responsável do projeto. Trata-se de um procedimento relativamente simples, uma vez que para implementar a metodologia é apenas necessária informação sobre as variáveis base para a aplicação do EVM (PV, EV e AC num determinado AT), as funções de distribuição de tempo e custo referentes a cada atividade (definição estocástica do projeto) e domínio do *software* que realiza a SMC.

As principais componentes do modelo de simulação, nomeadamente, as variáveis de *input*, o modelo de simulação e as variáveis de *output*, encontram-se descritas com maior

detalhe nas secções seguintes. Importa ainda referir que na presente metodologia integrar-se-á a informação proveniente da simulação de Monte Carlo com os princípios da técnica EVM para o cálculo de EV, a qual pretende destacar o impacto que a percentagem estimada para a variável PC poderá ter, tanto ao nível dos resultados obtidos, como na formulação de conclusões e/ou previsões. Os valores orçamentados para cada atividade do projeto estarão igualmente sujeitos a um determinado grau de incerteza, expressos através de funções de distribuição de probabilidade adequadas.

Os índices de desvio, de desempenho e de previsão serão obtidos pela metodologia EVM. No entanto, quando usada isoladamente, tem o inconveniente de não considerar as mudanças dinâmicas a que qualquer projeto poderá estar sujeito. Além disso, a metodologia baseia-se no pressuposto de que o futuro desempenho dos diferentes parâmetros do projeto podem ser previstos com base na *performance* demonstrada pelo mesmo até ao momento de controlo. Por este motivo, existe uma grande probabilidade do valor real dos diferentes parâmetros poder desviar dos valores previstos. Considerando esta limitação, os cenários futuros irão ser analisados e explicados através de um método de gestão de risco, neste caso, com recurso à simulação de Monte Carlo. Neste sentido, será igualmente estimado um desvio para todas as atividades, sendo possível realizar uma análise de sensibilidade pela comparação dos valores obtidos. A simulação possibilita o cálculo de vários cenários para uma situação específica que se pretenda analisar e, mediante o resultado obtido é elaborado o respetivo julgamento. O uso da simulação de Monte Carlo, integrado com os dados de EAC, contribuirão para uma visão probabilística (e não apenas determinista) relativamente aos custos finais previstos para o projeto.

4.3.1. *Inputs* do modelo

Uma das primeiras etapas a realizar no âmbito do modelo que será apresentado consiste em definir os *inputs* que descrevem as características do projeto de construção e que permitem simular a sua rede de atividades. Os *inputs* para o presente modelo de simulação são os seguintes:

- Tempo de duração para cada atividade (d_i);
- Custo orçamentado para cada atividade (BAC_i);

- Percentagem de trabalho efetivamente concluído para uma determinada atividade i (PC_i), num dado momento de controlo (AT);
- Custo orçamentado para o trabalho planeado (PV);
- Custo realmente despendido no desenvolvimento dos trabalhos afetos a cada atividade (AC);

Onde i identifica a atividade do projeto, tal que: $i = A, \dots, K$.

4.3.2. Modelo de simulação

Na monitorização do progresso de qualquer projeto, é feita uma comparação dos resultados reais com os valores orçamentados na fase de planeamento. Em virtude dessa avaliação, surge a necessidade de quantificar o valor ganho, EV, até à data em que o mesmo é sujeito a uma análise. Tal como proferido nos capítulos anteriores, a medição deste parâmetro está diretamente relacionado com o modo como o projeto foi planeado, uma vez que expressa o custo orçamentado para o trabalho que foi efetivamente realizado até ao momento de controlo.

Os princípios que sustentam a aplicação da metodologia que se irá descrever pretendem refletir o processo de controlo que, em regra, é mais recorrentemente aplicado pelos gestores de projetos em contextos reais. Como tal, destina-se para situações onde a quantidade de trabalho necessário para concluir as atividades e os montantes estipulados para as mesmas na fase de planeamento são considerados como dados incertos, uma vez que:

- Na medição do valor ganho de um dado projeto, a técnica mais utilizada pelos gestores é a percentagem de trabalho concluído e, por se tratar de um processo algo subjetivo, acarreta um certo grau de incerteza nos resultados obtidos;
- O orçamento definido para um projeto na fase de planeamento é muitas vezes definido com base na experiência profissional do gestor, podendo evidenciar a mesma subjetividade. O recurso a dados históricos é igualmente frequente, onde os montantes outrora estimados para outros projetos servem de suporte para a definição dos custos relativos a um novo projeto através da execução de estimativas por analogia (processo também denominado de “*Top Down*”).

Neste sentido, para representar a dimensão estocástica de um dado projeto é necessário determinar qual a distribuição estatística que melhor o caracteriza, compreendendo os seus atributos e como estes poderão ser influenciados por possíveis fatores de risco. Assim, as distribuições de probabilidade devem expressar adequadamente as incertezas associadas à elaboração do projeto em análise, imputando a cada duração, custo ou recurso, as funções estatísticas que melhor se ajustam ao conjunto de trabalhos que se pretendem descrever e que melhor traduzem a incerteza das atividades. Segundo Pinto (2013), é fundamental realizar a escolha adequada das mesmas, uma vez que os resultados obtidos podem ser muito divergentes.

De entre as demais distribuições de probabilidade disponíveis, surgem opiniões distintas na literatura quanto à seleção das que poderão ser mais apropriadas para representar a realidade dos projetos de construção de infraestruturas. De acordo com Soares (2014), o autor destaca a distribuição triangular por se tratar de uma função estatística eficaz para estimar projetos numa fase inicial, quando ainda existem lacunas no detalhamento do âmbito. Ao estabelecer os parâmetros superior, inferior e mais provável que modelarão o processo estocástico de cada atividade, o gestor terá uma maior compreensão do comportamento que se prevê para cada uma durante a sua execução. No entanto, alerta para o facto de que a definição dos seus parâmetros característicos é um exercício que requer algum conhecimento no setor em questão, uma vez que a atribuição dos valores é feita por intuição e com base na experiência em obra. Também Kerzner (2013) considera que o recurso a uma distribuição triangular para descrever as incertezas de um projeto de construção pode ser apropriada quando se conhecem os valores mínimos e máximos das variáveis que serão analisadas ou quando tais valores podem ser estimados com precisão. Considera que há uma maior probabilidade da ocorrência dos valores se verificarem em torno do valor mais provável, tal que, no caso do projeto em estudo, esses valores correspondem aos valores orçamentados para o tempo e custo das atividades, estipulados na fase de planeamento. O autor refere ainda que a distribuição triangular é frequentemente citada como a distribuição padrão que deve ser implementada quando se recorrerem a *softwares* de gestão de risco e quando não se dispõem de dados adicionais para especificar com maior precisão a verdadeira distribuição das variáveis.

Por outro lado, Pinto (2013) refere a distribuição PERT como sendo uma das distribuições usuais mais simples e mais “refinada” quando comparada com a distribuição triangular, possibilitando obter melhores resultados. Não obstante, e ainda nesta temática,

Naeini (2013) refuta que também a distribuição beta pode, igualmente, representar a aleatoriedade das variáveis através da atribuição de valores apropriados aos parâmetros α e β , uma vez que condicionam a configuração probabilística. É pertinente salientar que as distribuições beta têm, em geral, uma amplitude finita e portanto, para esses casos, os valores mínimos e máximos das variáveis devem ser igualmente especificados. Naeini (2013) realça ainda a sua importância pela ampla aplicação na área da engenharia e gestão de projetos, especialmente para a modelação de dados de processos de construção.

Ora, tendo em conta o exposto, no modelo que será apresentado, a incerteza dos valores determinados para as variáveis PC_i e BAC_i , influenciando, respetivamente, o valor ganho (EV) e o valor planeado (PV) do projeto de construção no momento de controlo serão descritos por uma distribuição triangular, distribuição PERT e por uma distribuição beta. No presente caso, por se tratar de um projeto de construção hipotético, no qual se pretende simular e antecipar a realidade da 9.^a semana (momento em que se definiu que o mesmo seria analisado – momento de controlo), as distribuições aplicadas à variável AC de cada atividade, servem apenas para gerar o conjunto de valores referentes aos custos reais que o mesmo poderá apresentar durante o seu desenvolvimento.

- **Variável PC_i**

Para determinar a gama de valores que a variável PC_i poderá apresentar, no **momento de controlo**, quando as atividades que se encontram em execução (atividades F, G e H) são representadas pelas distribuições de probabilidade mencionadas anteriormente, a sobreposição das mesmas e os parâmetros requeridos para a sua caracterização apresentam-se nas Figuras 15, 16 e 17.

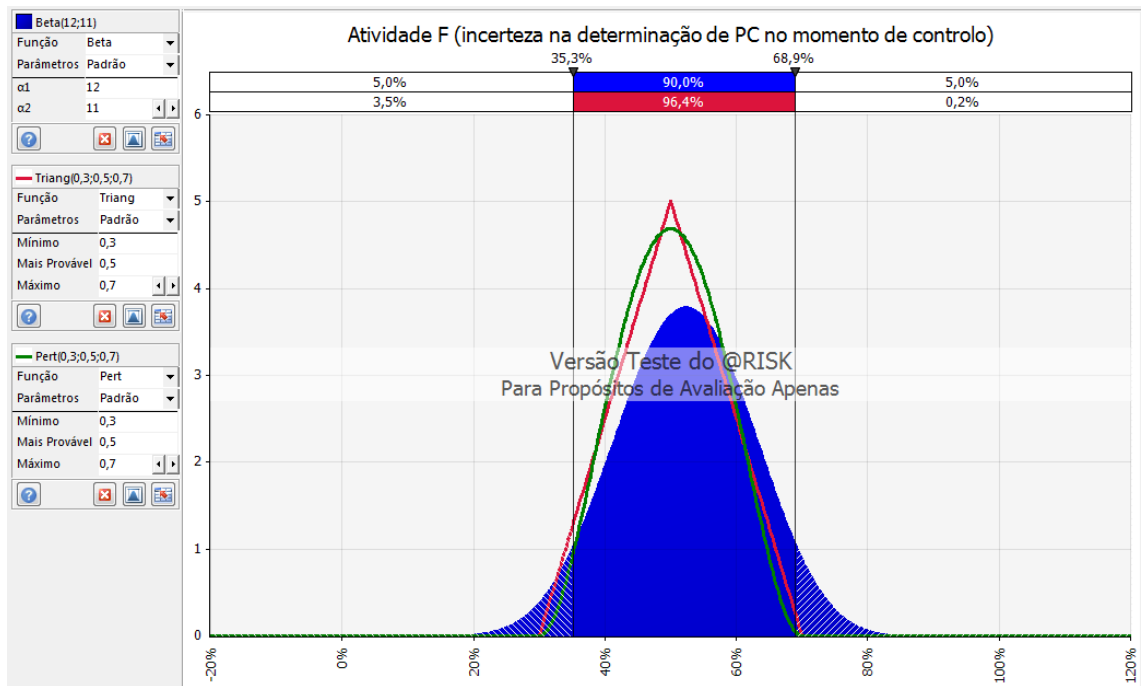


Figura 15: Sobreposição das distribuições beta, triangular e PERT que representam a incerteza dos valores da variável PC, em AT, relativamente à atividade F.

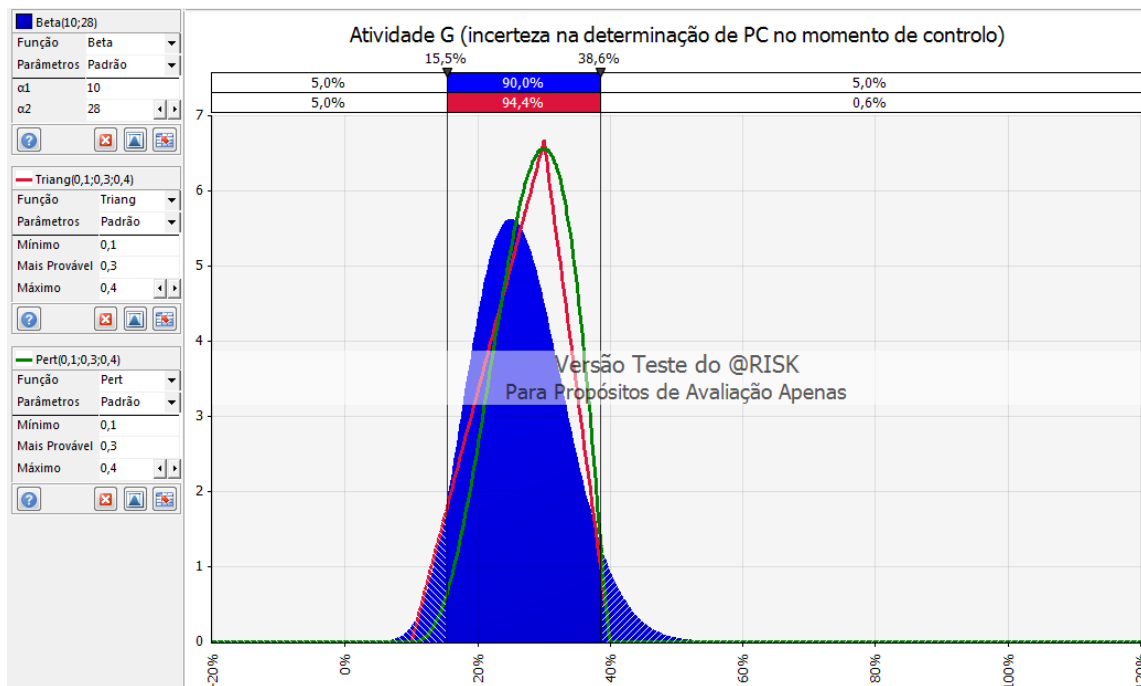


Figura 16: Sobreposição das distribuições beta, triangular e PERT que representam a incerteza dos valores da variável PC, em AT, relativamente à atividade G.

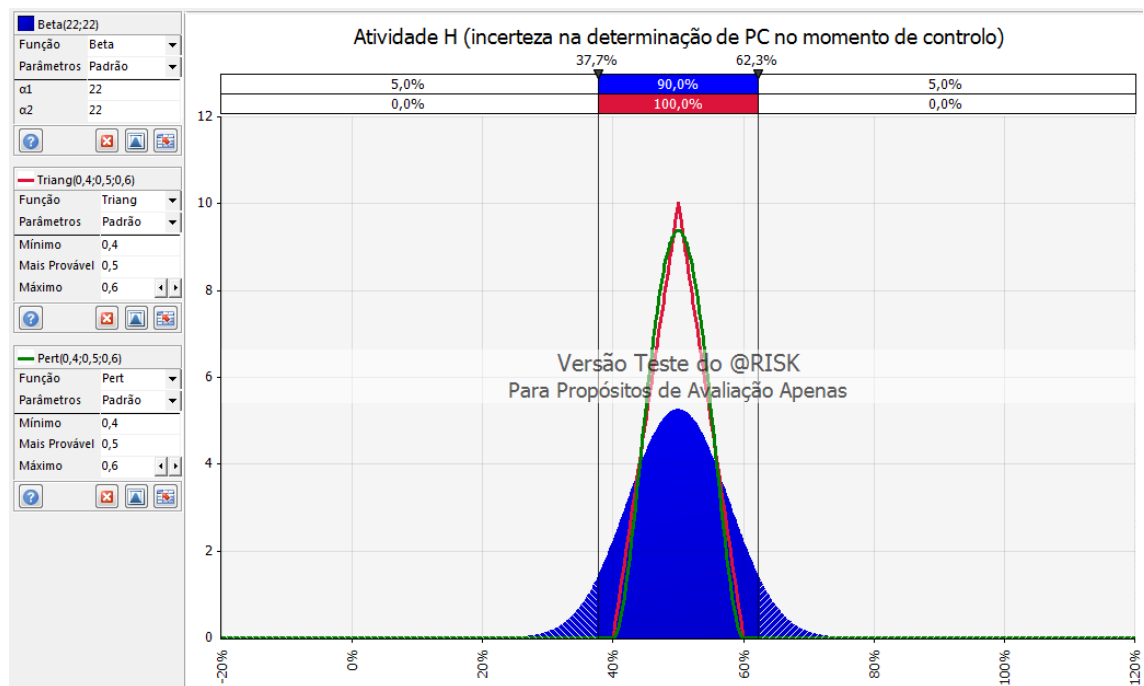


Figura 17: Sobreposição das distribuições beta, triangular e PERT que representam a incerteza dos valores da variável PC, em AT, relativamente à atividade H.

É importante realçar que na definição dos valores mínimos, mais prováveis e máximos que se adotaram para cada atividade quando estas estariam representadas pelas **distribuições triangular** e **PERT** tomaram valores iguais devido às semelhanças na definição dos seus parâmetros característicos e à simplicidade de aplicação das mesmas. Quanto à **distribuição beta** e, uma vez que se assumiu que as diferentes atividades encontrar-se-iam em diferentes estádios de execução⁴ no momento de controlo, os valores atribuídos aos parâmetros α e β que condicionam a densidade da cauda da referida distribuição, não seguem o mesmo padrão das demais funções, tal como é possível visualizar nas Figuras 15, 16 e 17 através das sobreposições apresentadas. Tal facto foi propositado de forma a evidenciar com maior notoriedade a incerteza associada na determinação de uma percentagem que represente fidedignamente o trabalho que estaria concluído no momento de controlo (PC_i) quando as atividades em curso se encontram em diferentes fases de execução. Os parâmetros usados para definir as distribuições de cada uma das atividades encontram-se resumidos na Tabela 7.

⁴ Poderá visualizar-se na Figura A.3, em Anexo, que no momento de controlo (AT = 9.^a semana), os trabalhos realizados no âmbito da atividade F deverão estar quase concluídos, que a atividade G estará numa fase inicial de desenvolvimento visto que só toma início na semana correspondente ao momento de controlo e, por último, que a atividade H se deverá encontrar numa fase de execução intermédia, uma vez que a mesma está agendada para ser desenvolvida entre as semanas 9 e 10.

Atividades	Distribuição Triangular			Distribuição PERT			Distribuição Beta	
	Mínimo	Mais provável	Máximo	Mínimo	Mais provável	Máximo	α	β
F	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	12	11
G	0.1	0.3	0.4	0.1	0.3	0.4	10	28
H	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6	22	22

Tabela 7: Parâmetros adotados na definição das distribuições triangular, PERT e beta da variável PC_i das atividades em curso no momento de controlo (AT= 9.^a semana).

Ainda relativamente ao estudo da incerteza nos valores determinados para a variável PC_i referentes ao trabalho efetivamente concluído no âmbito das atividades que se encontram em execução no momento de controlo, para que seja possível fazer uma comparação caso não fosse considerada tal incerteza e, portanto, não se adotasse uma perspetiva estocástica, simular-se-ão cenários alternativos para a determinação da dita variável recorrendo a metodologias tradicionais (deterministas), nomeadamente, através das Regras 50/50, 30/70 e 80/20. Os cenários que se pretendem analisar para avaliar os valores obtidos para PC_i encontram-se enumerados na Tabela 8.

	AC_i ($i= A, \dots, K.$)	BAC_i ($i= A, \dots, K.,$ influenciando diretamente a variável PV)	PC_i ($i= F, G, H.,$ influenciando diretamente a variável EV)
Cenário 1	Distribuição Triangular	Valor médio da distribuição que descreve o custo real (AC) de cada atividade i	Regra 50/50
Cenário 2			Regra 30/70
Cenário 3			Regra 80/20
Cenário 4	Distribuição Triangular	Valor médio da distribuição que descreve o custo real (AC) de cada atividade i	Distribuição Triangular
Cenário 5			Distribuição PERT
Cenário 6			Distribuição Beta

Tabela 8: Cenários alternativos do projeto de construção que serão simulados para antecipar a realidade da semana 9 quando PC_i é determinado por metodologias tradicionais (cenários 1 a 3) ou sob uma condição de incerteza (cenários 4 a 6).

- **Variável BAC_i**

A incerteza dos valores orçamentados, na **fase de planeamento**, para cada atividade que integra o presente projeto serão igualmente objeto de estudo. Contudo, importa lembrar que, por se tratar de um projeto hipotético e uma vez que é necessário criar uma linha de base de planeamento para simular e antecipar a realidade da semana 9 (momento de controlo), o custo real de cada atividade (AC)⁵ será descrito pelas distribuições estatísticas anteriormente mencionadas e o valor orçamentado para cada uma delas (BAC) dependerá da distribuição que lhe está alocada, adotando duas abordagens distintas, nomeadamente:

- Assumindo **valores determinísticos** para BAC_i , menosprezando que os mesmos poderão estar suscetíveis a possíveis alterações durante a execução dos trabalhos e portanto, não considerando nenhum grau de incerteza na sua definição aquando da fase de planeamento;

- Assumindo um **intervalo de valores** para BAC_i , onde os montantes orçamentados poderão estar sujeitos a possíveis alterações durante o ciclo de vida do projeto, os quais não são possíveis de prever numa fase de planeamento e adotando, portanto, uma abordagem que considera existir um certo grau de incerteza na definição dos mesmos – perspetiva estocástica.

Os parâmetros que definem as funções estatísticas que descrevem os custos reais (AC) de cada atividade do projeto encontram-se resumidos na Tabela 9.

Atividades	Distribuição Triangular			Distribuição PERT			Distribuição Beta			
	Mín.	Mais provável	Máx.	Mín.	Mais provável	Máx.	α	β	Mín.	Máx.
A	11520	12800	14080	11520	12800	14080	3.2	3.3	11520	14080
B	19215	21350	23485	19215	21350	23485	3.3	3.2	19215	23485
C	18405	20450	22495	18405	20450	22495	3.2	3.3	18405	22495
D	9855	10950	12045	9855	10950	12045	3.2	3.2	9855	12045

⁵ As sobreposições das funções estatísticas que expressam os custos reais de cada atividade do projeto encontram-se representadas nas Figuras A.4 a A.14, em Anexo.

E	9180	10200	11220	9180	10200	11220	3.2	3.3	9180	11220
F	7965	8850	9735	7965	8850	9735	3.2	3.3	7965	9735
G	23040	25600	28160	23040	25600	28160	3.3	3.2	23040	28160
H	15390	17100	18810	15390	17100	18810	3.1	3.2	15390	18810
I	13635	15150	16665	13635	15150	16665	3	3.2	13635	16665
J	13410	14900	16390	13410	14900	16390	3.1	3.2	13410	16390
K	11475	12750	14025	11475	12750	14025	3.1	3.2	11475	14025

Tabela 9: Parâmetros adotados na definição das distribuições triangular, PERT e beta que expressam o custo real de cada atividade do projeto.

Quanto aos diversos cenários que se pretendem analisar para avaliar o impacto dos montantes definidos para BAC_i quando, na fase de planejamento, se adotam as diferentes abordagens apresentadas anteriormente (com e sem incerteza), encontram-se enumerados na Tabela 10.

	AC_i (<i>i</i> = A,..., K.)	BAC_i (<i>i</i> = A,..., K., influenciando diretamente a variável PV)	PC_i (<i>i</i> = F, G, H., influenciando diretamente a variável EV)
Cenário 7	Distribuição PERT	Valor médio da distribuição que descreve o custo real (AC) de cada atividade <i>i</i>	Distribuição Triangular
Cenário 8			Distribuição PERT
Cenário 9			Distribuição Beta
Cenário 10	Distribuição Beta	Valor médio da distribuição que descreve o custo real (AC) de cada atividade <i>i</i>	Distribuição Triangular
Cenário 11			Distribuição PERT
Cenário 12			Distribuição Beta
Cenário 13	Distribuição Triangular	Intervalo de valores de P10 a P90 ⁶ da distribuição que descreve o custo real (AC) de cada atividade <i>i</i>	Distribuição Triangular
Cenário 14			Distribuição PERT
Cenário 15			Distribuição Beta

⁶ Os parâmetros que definem as funções estatísticas usadas para descrever os custos orçamentados de cada atividade do projeto (BAC_i) e que delimitam o intervalo de valores que as mesmas poderão apresentar, encontram-se resumidos na Tabela A.1, em Anexo.

Cenário 16	Distribuição PERT	Intervalo de valores de P10 a P90 da distribuição que descreve o custo real (AC) de cada atividade i	Distribuição Triangular
Cenário 17			Distribuição PERT
Cenário 18			Distribuição Beta
Cenário 19	Distribuição Beta	Intervalo de valores de P10 a P90 da distribuição que descreve o custo real (AC) de cada atividade i	Distribuição Triangular
Cenário 20			Distribuição PERT
Cenário 21			Distribuição Beta

Tabela 10: Cenários alternativos do projeto de construção que serão simulados para antecipar a realidade da semana 9 considerando que os montantes definidos para BAC_i , na fase de planejamento, poderão ou não ser sujeitos a alterações.

Tendo em conta o modelo que se definiu e, mediante os pressupostos que se estipularam, determinar-se-á a influência da incerteza das variáveis PC e BAC na avaliação do estado de progresso do projeto no momento de controlo, onde as mesmas irão assumir os vários cenários que se pretendem analisar com recurso à simulação de Monte Carlo. Para o efeito, recorrer-se-á ao *software @Risk*, desenvolvido pelo fabricante *Palisade Corporation*, apresentando-se como uma ferramenta de modelação e análise de risco quando integrado com o *Microsoft Office Excel*. Os resultados serão registados e classificados em função da duração, custos ou outros quaisquer parâmetros escolhidos como dados de *output*. No presente caso serão realizadas 10000 iterações de forma a que os dados do projeto se assemelhem tanto quanto possível a uma distribuição normal.

4.3.3. *Outputs do modelo*

Uma vez iniciada a simulação, obtêm-se os custos e as durações admissíveis para cada atividade descritos em intervalos limitados por um valor mínimo e máximo, ao contrário da metodologia tradicional EVM que apenas ministra uma estimativa de ponto único. Não obstante, a simulação de Monte Carlo apresenta ainda a distribuição de probabilidade das variáveis que se pretendem prever para intervalos de tempo futuros. A metodologia EVM e o *software* que realiza a análise de risco são aplicados ao projeto de maneira distinta, no entanto, providenciam para fatores semelhantes informações que devem ser complementadas. Após a determinação do conjunto de valores que as variáveis

anteriores poderão apresentar num contexto de incerteza, o ficheiro de cálculo *Excel*, usado pelo *software*, é então preenchido com os parâmetros da metodologia EVM que se pretendem analisar nos vários períodos do projeto, sendo possível aferir se o mesmo se encontra sob controlo. As variáveis que se definiram como *outputs* do modelo no presente estudo são as que a seguir se apresentam:

- Valor ganho, EV, quando AT= 9.^a semana;
- Desvios: SV, CV;
- Índices de desempenho: SPI, CPI;
- Indicadores de previsão: EAC_t , no qual a previsão do tempo total do projeto é calculada tendo em conta a duração inicialmente planeada e o índice de desempenho de execução registado no momento de controlo;
- Indicadores adicionais: VAC(%), onde o desvio na conclusão será calculado assumindo a perspetiva que se considera ser a mais provável até o projeto findar e, por outro lado, adotando igualmente um cenário pessimista no desenvolvimento dos seus trabalhos.

Para projetos que apresentem atrasos consideráveis é determinante encontrar os motivos que estão na sua origem e aplicar as respetivas soluções. Cada um dos modelos apresentados calcula o tempo de conclusão do projeto e monitoriza os fatores que causaram o seu atraso, destacando as atividades mais propícias a apresentar maiores desvios em relação aos montantes orçamentados. Tais atividades são então introduzidas num modelo comparativo onde se pretende eliminar a demora antes evidenciada, por forma a melhorar o desempenho do projeto e encontrar soluções com ação eficaz.

Os resultados que se obtiveram a partir do modelo de simulação, integrado com os princípios de cálculo do EVM (considerando a incerteza associada na determinação da percentagem de trabalho efetivamente concluído no momento de controlo e dos montantes orçamentados para cada atividade antes do projeto iniciar), encontram-se no capítulo seguinte.

5. Apresentação e discussão de resultados

A análise de desvios, dos índices de desempenho e a previsão de tempo e custos para a conclusão do projeto constituem uma das mais importantes etapas do processo de controlo. Nesta fase, é ainda pertinente salientar que a qualidade dos resultados obtidos resultam da própria estrutura do modelo, das distribuições de probabilidade que se adotaram para cada atividade, dos valores dos parâmetros específicos que definem a distribuição e do número de iterações efetuadas na simulação de Monte Carlo (Kerzner, 2013). Uma vez que o modelo de simulação expõe as principais fontes de incerteza nas distribuições de cada atividade do projeto, é possível determinar a probabilidade de alcançar diferentes níveis de custos e prazos de conclusão. Contudo, o recurso a *softwares* de simulação para efetuar previsões, deve ser ministrado com alguma prudência uma vez que é alheio aos pressupostos que se definiram para o modelo numa fase inicial e, por vezes, sugerem um leque de resultados falaciosos e suscetíveis de induzir em erro os gestores aquando da tomada de decisões importantes (Meredith e Mantel, 2012).

Comparando os diversos cenários, nos quais PC_i é calculado mediante uma abordagem determinista ou estocástica, os custos reais (AC) são representados através de funções estatísticas (distribuições triangular, PERT e beta) e os montantes orçamentados para cada atividade (BAC_i) são mensurados em função dos valores médios (perspetiva determinista) ou definidos pelo intervalo compreendido entre os percentis P10 e P90 da distribuição que expressa AC (perspetiva estocástica) analisar-se-á, no presente capítulo, o impacto dos valores obtidos relativamente aos *outputs* do modelo que se propuseram analisar.

VALOR GANHO (EV)

- **Cenários 1, 2 e 3 versus cenários 4 a 21**

Tendo em conta as três distribuições que se adotaram para descrever a incerteza na determinação da variável PC_i no momento de controlo, através da análise dos dados que resultaram da simulação de Monte Carlo referentes aos cenários 4 a 21, mais concretamente no que respeita ao intervalo de valores previstos para EV compreendidos entre os percentis P5 e P95 (Tabela 11), poderá constatar-se que qualquer valor

contemplado no referido intervalo é inferior às quantias determinadas pelas metodologias tradicionais deterministas, nomeadamente, recorrendo às regras 50/50 (cenário 1) e 80/20 (cenário 3), tal como representado na Figura 18.

Cenário	EV (€)			
	Perspetiva determinista	Perspetiva estocástica		
	Regras de Proporção	Média	P5	P95
1	101 532,50 €			
2	91 223,50 €			
3	116 996,00 €			
4		95 556,63 €	92 285,75 €	98 489,12 €
5		95 974,31 €	93 093,73 €	98 651,99 €
6		95 690,89 €	91 842,36 €	99 677,71 €
7		95 524,94 €	92 295,13 €	98 479,08 €
8		95 990,71 €	93 110,19 €	98 662,82 €
9		95 625,88 €	91 831,74 €	99 634,33 €
10		95 525,87 €	92 232,82 €	98 457,88 €
11		95 967,40 €	93 102,89 €	98 655,48 €
12		95 638,89 €	91 824,25 €	99 741,87 €
13		95 512,17 €	91 987,22 €	98 861,47 €
14		95 932,74 €	92 719,45 €	98 994,50 €
15		95 586,21 €	91 485,33 €	99 819,00 €
16		95 551,54 €	92 084,06 €	98 782,08 €
17		95 978,11 €	92 923,94 €	98 959,73 €
18		95 644,80 €	91 626,78 €	99 849,83 €
19		95 509,35 €	92 072,74 €	98 693,13 €
20		95 921,84 €	92 848,26 €	98 831,23 €
21		95 627,39 €	91 702,35 €	99 861,11 €

Tabela 11: Valores de EV, no momento de controlo, quando PC_i é determinado segundo uma perspetiva determinista (pelas fórmulas fixas) e estocástica (expressa através das funções estatísticas triangular, PERT e beta), onde se apresentam os valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC.

Como tal, da análise dos montantes estimados para EV (Tabela 11), assumindo que no momento de controlo o progresso do projeto de construção poderia ser descrito por qualquer dos cenários simulados, poderá afirmar-se que existe cerca de 95% de confiança de que o valor ganho determinado não seja superior a aproximadamente 99.862,00€, ao contrário do que sugerem os montantes calculados a partir das regras 50/50 e 80/20.

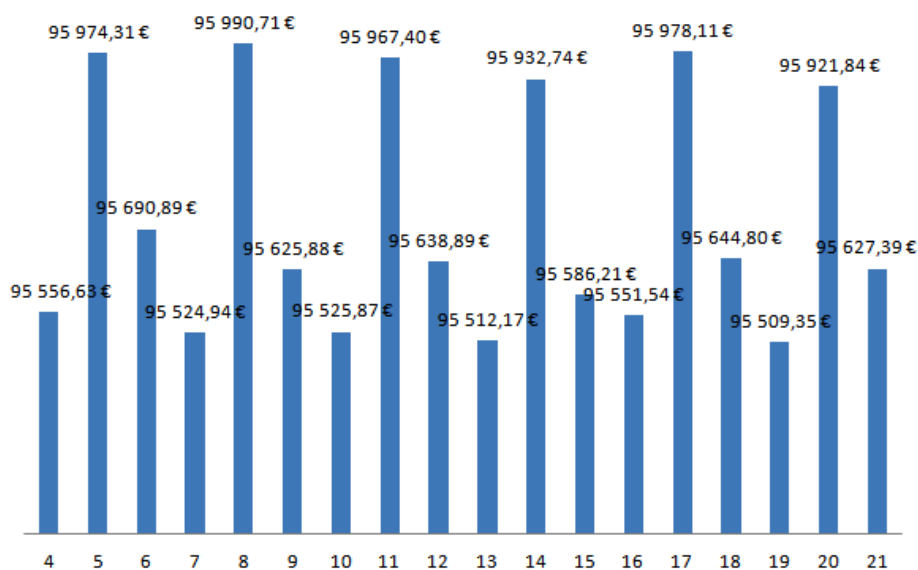


Figura 19: Valores (médios) de EV no momento de controlo (AT= semana 9), assumindo uma perspetiva estocástica no cálculo de PC_i — cenários 4 a 21.

No que respeita ao impacto da variável BAC_i , da observação da Tabela 12, é possível observar que quando o orçamento estipulado para cada atividade na fase de planeamento é definido por uma distribuição de probabilidade confinada aos percentis P10 e P90 da função que descreve AC, o intervalo dos valores previstos para EV no momento de controlo (cuja probabilidade de ocorrência é de cerca de 90%) é superior comparativamente ao determinado mediante uma perspetiva determinista. Assim, para um mesmo intervalo de confiança, ao assumir um contexto de incerteza nos montantes orçamentados de cada atividade, obtém-se uma maior amplitude dos valores previstos para o valor ganho do projeto no momento de controlo.

BAC _i definido segundo		Cenário	Amplitude de P5 a P95 (€)
Perspetiva Determinista	Valor médio da distribuição que descreve o custo real (AC) de cada atividade	4	6 203,37 €
		5	5 558,26 €
		6	7 835,35 €
		7	6 183,95 €
		8	5 552,63 €
		9	7 802,59 €
		10	6 225,06 €
		11	5 552,59 €
		12	7 917,62 €
Perspetiva Estocástica	Intervalo de valores de P10 a P90 da distribuição que descreve o custo real (AC) de cada atividade	13	6 874,25 €
		14	6 275,05 €
		15	8 333,67 €
		16	6 698,02 €
		17	6 035,79 €
		18	8 223,05 €
		19	6 620,39 €
		20	5 982,97 €
		21	8 158,76 €

Tabela 12: Amplitude do intervalo entre P5 e P95 dos valores determinados para EV no momento de controlo (AT= semana 9), assumindo uma perspetiva determinista (cenários 4 a 12) e estocástica (cenários 13 a 21) na definição de BAC_i.

Da observação da Figura 20, é ainda notório que quando a percentagem de trabalho efetivamente concluído (PC_i) é caracterizado por uma função beta, a gama dos valores determinados para EV apresenta uma “almofada” mais extensa, podendo destacar-se os cenários 6, 9, 12, 15, 18 e 21.

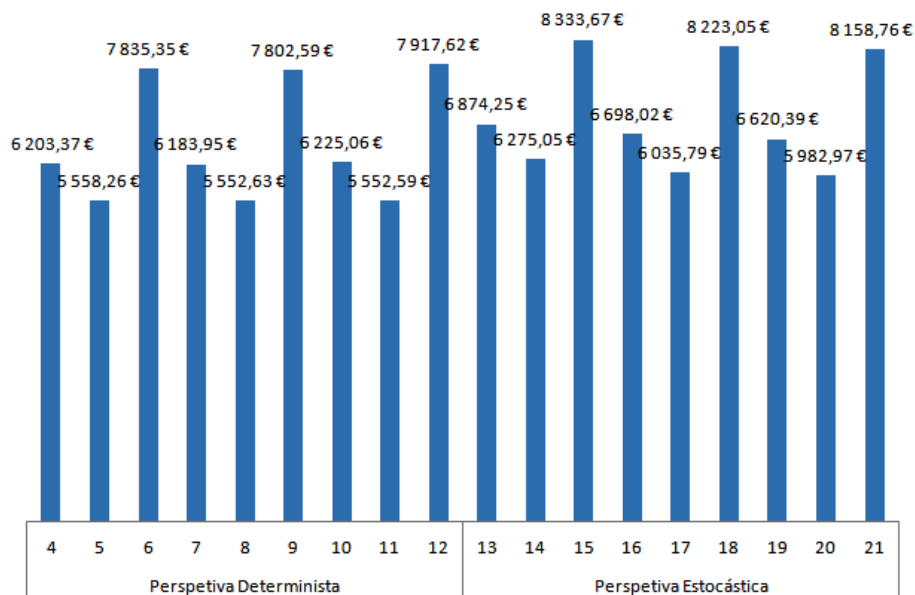


Figura 20: Amplitude do intervalo entre P5 e P95 dos valores determinados para EV no momento de controlo (AT= semana 9), assumindo uma perspetiva determinista (cenários 4 a 12) e estocástica (cenários 13 a 21) na definição de BAC_i.

- **Cenários 4 a 21**

Na Figura 22, poderá observar-se a probabilidade do projeto se encontrar atrasado no momento de controlo ($SV < 0$) quando se assume que o mesmo poderá exibir as características que definem cada cenário que se simulou. Da sua análise conclui-se que ao descrever PC_i segundo uma distribuição beta (cenários 6, 9, 12, 15, 18 e 21) o projeto apresenta uma maior probabilidade de vir a estar numa fase de execução mais favorável, existindo aproximadamente 4% de probabilidade de se encontrar adiantado no momento em que o mesmo é sujeito a uma análise. Porém, é igualmente notório que quando a mesma variável é representada pelas funções triangular e PERT, a probabilidade deste se encontrar atrasado é semelhante (nalguns cenários poderá até dizer-se que é equivalente).

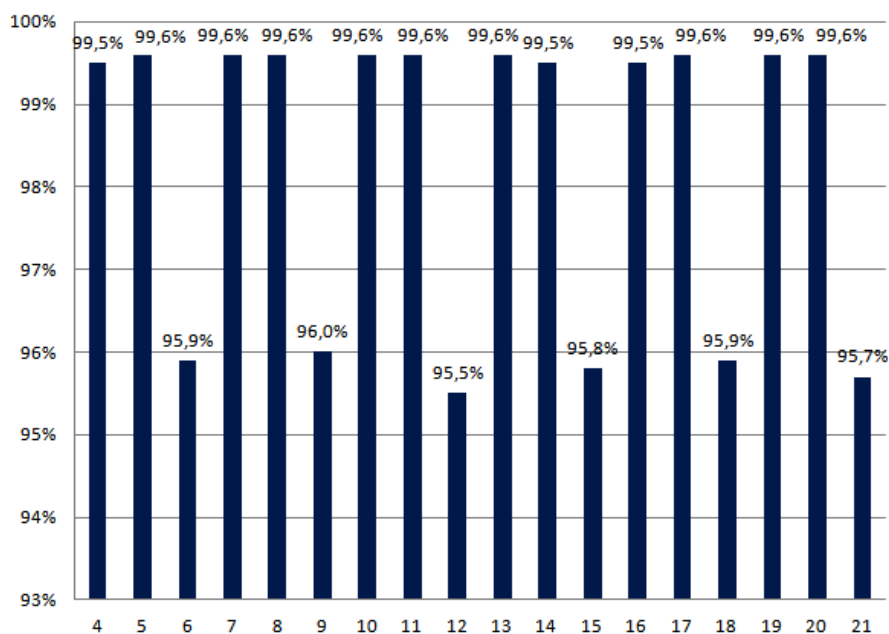


Figura 22: Probabilidade do projeto se encontrar atrasado ($SV < 0$) no momento de controlo (AT= semana 9) – cenários 4 a 21.

Quanto ao impacto da variável BAC_i relativamente aos montantes estipulados para as atividades do projeto na fase de planeamento, ao assumir ambas as perspetivas (determinista ou estocástica), verifica-se que os desvios de execução estimados apresentam valores (médios) negativos semelhantes, evidenciando igualmente probabilidades idênticas do mesmo se encontrar atrasado face ao calendário que se tomou como referência para a elaboração dos trabalhos previstos em cada atividade.

- **Cenários 4 a 21**

Da informação que proveio da SMC no que se refere à probabilidade do projeto estar a custar mais do que o que estaria planeado relativamente à 9.^a semana do cronograma, através da observação da Figura 24, poderão novamente destacar-se os cenários onde PC_i segue uma distribuição beta (cenários 6, 9, 12, 15, 18 e 21) como sendo os que denotam uma perspetiva mais otimista do projeto, na medida em que apresentam uma menor probabilidade dos custos incorridos na sua elaboração serem superiores aos montantes inicialmente estipulados, traduzindo portanto, valores positivos para CV no momento de controlo. Contudo, é igualmente evidente que o mesmo apresenta uma maior probabilidade de estar a custar mais que o previsto (“*over budget*”) quando assume as características dos cenários nos quais a incerteza de PC_i se expressa por meio de uma distribuição triangular, nomeadamente, os cenários 4, 7, 10, 13, 16 e 19.

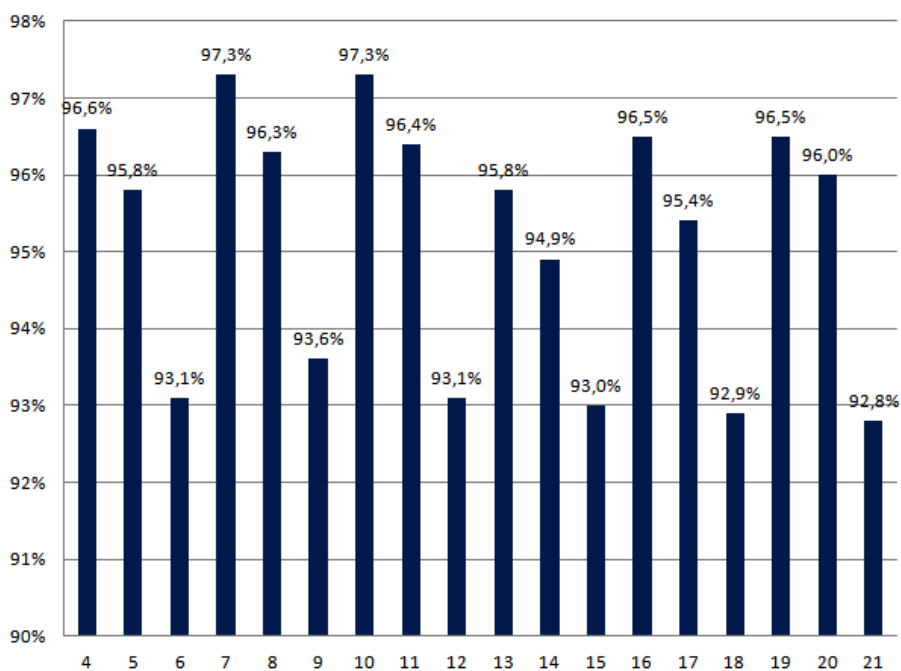


Figura 24: Probabilidade do projeto se encontrar acima do orçamento ($CV < 0$) no momento de controlo (AT= semana 9) - cenários 4 a 21.

Ao contrário do que se mencionou anteriormente no que respeita à influência da variável BAC_i nos valores determinados para os desvios de execução, da análise da Figura 24 (confrontando os cenários 4 a 12 com os cenários 13 a 21, respetivamente), poderá observar-se que quando os montantes orçamentados na fase de planeamento são mensurados assumindo um contexto de incerteza (perspetiva estocástica na definição de

- **Cenários 4 a 21**

Da análise da Figura 26, na qual se encontram representados graficamente os coeficientes determinados para cada cenário referentes ao índice de desempenho de execução (média, P5 e P95) do projeto, é possível constatar que quando PC_i segue uma distribuição triangular ou PERT, prevê-se que haja uma menor probabilidade do projeto estar adiantado no momento de controlo, do que quando a mesma variável assume uma distribuição beta. Poderá justificar-se tal constatação, uma vez que os percentis P95 correspondentes aos cenários nos quais PC_i é expresso por meio de uma função beta apresentam valores mais aproximados da unidade, comparativamente com os determinados nas restantes distribuições.

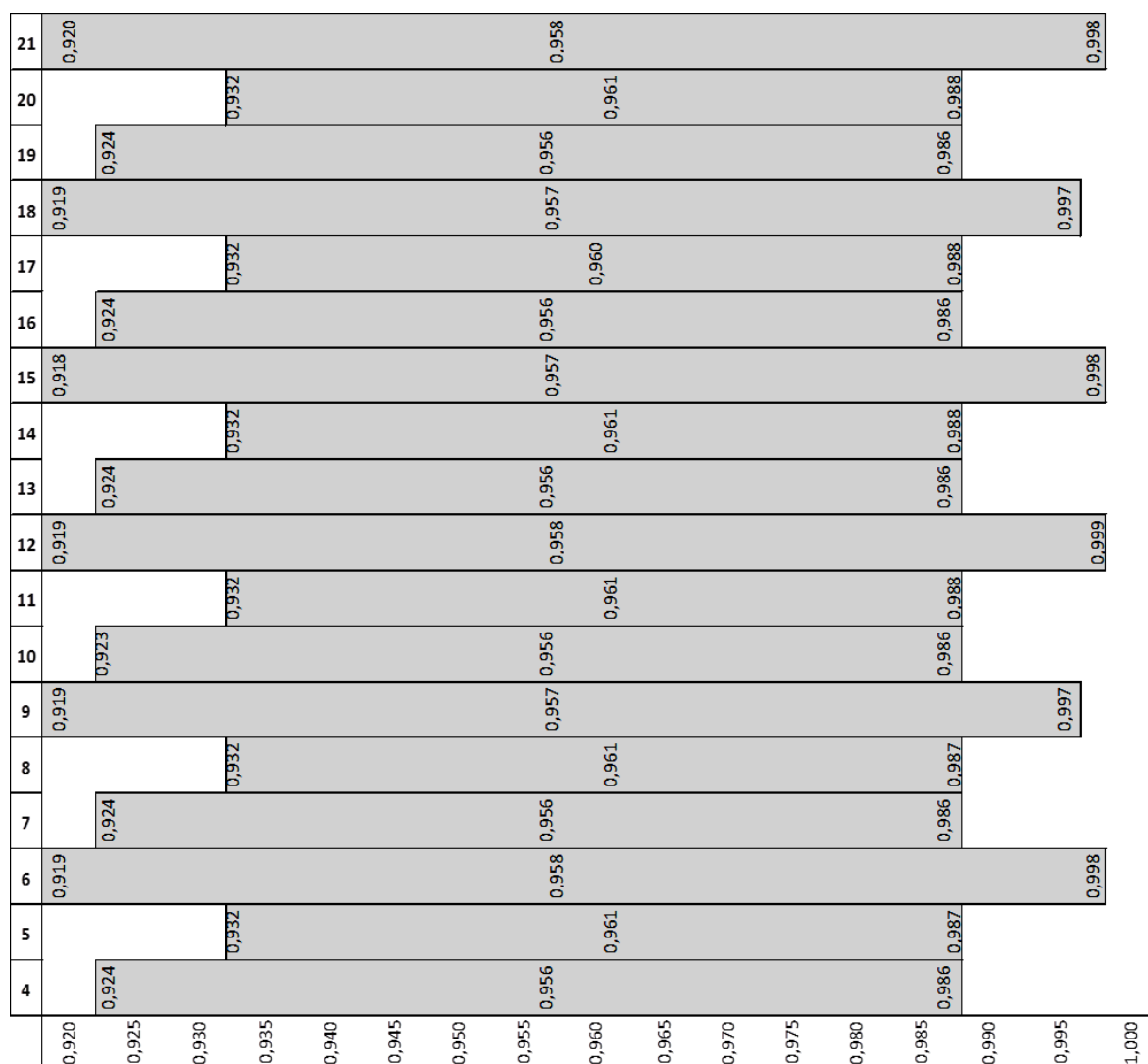


Figura 26: Representação dos valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC relativamente ao índice de desempenho de execução dos cenários 4 a 21.

Para clarificar a importância dos valores obtidos para o referido índice de desempenho e tomando como exemplo os cenários em que PC_i descreve uma distribuição triangular (nos quais os valores médios apresentados são menores), quando $SPI=0.956$ significa que, por cada semana com 5 dias de trabalho, apenas 4.78 dias (4 dias e aproximadamente 19 horas) estão efetivamente a produzir valor, ou seja, os trabalhos estão a ser realizados com uma eficiência de cerca de 95.6%.

No que respeita ao impacto dos montantes orçamentados para BAC_i verificou-se que a referida variável apresenta um comportamento análogo ao evidenciado aquando do estudo de SV. Concluiu-se que, quer se adote uma perspetiva determinista ou estocástica no processo de orçamentação das atividades que integram o projeto, comparando os cenários 4 a 12 respetivamente com os cenários 13 a 21, os valores (médios), os percentis P5 e P95 que caracterizam SPI apresentaram valores similares.

ÍNDICE DE DESEMPENHO DE CUSTO (CPI)

- **Cenários 1, 2 e 3 *versus* cenários 4 a 21**

Somando-se ao que já se referiu no âmbito do estudo de SPI, também os valores calculados para CPI a partir das tradicionais regras do EVM (50/50 e 80/20) manifestam uma situação mais otimista do projeto no momento de controlo, apresentando valores superiores à unidade (Figura 27). Tal situação não surpreende, uma vez que os dados respeitantes aos desvios de custo (CV) foram já analisados e portanto, era previsível que se obtivessem as mesmas conclusões acerca do seu desempenho de custo para o mesmo momento de análise (AT= 9.^a semana) ao adotar uma perspetiva determinista no referido cálculo.

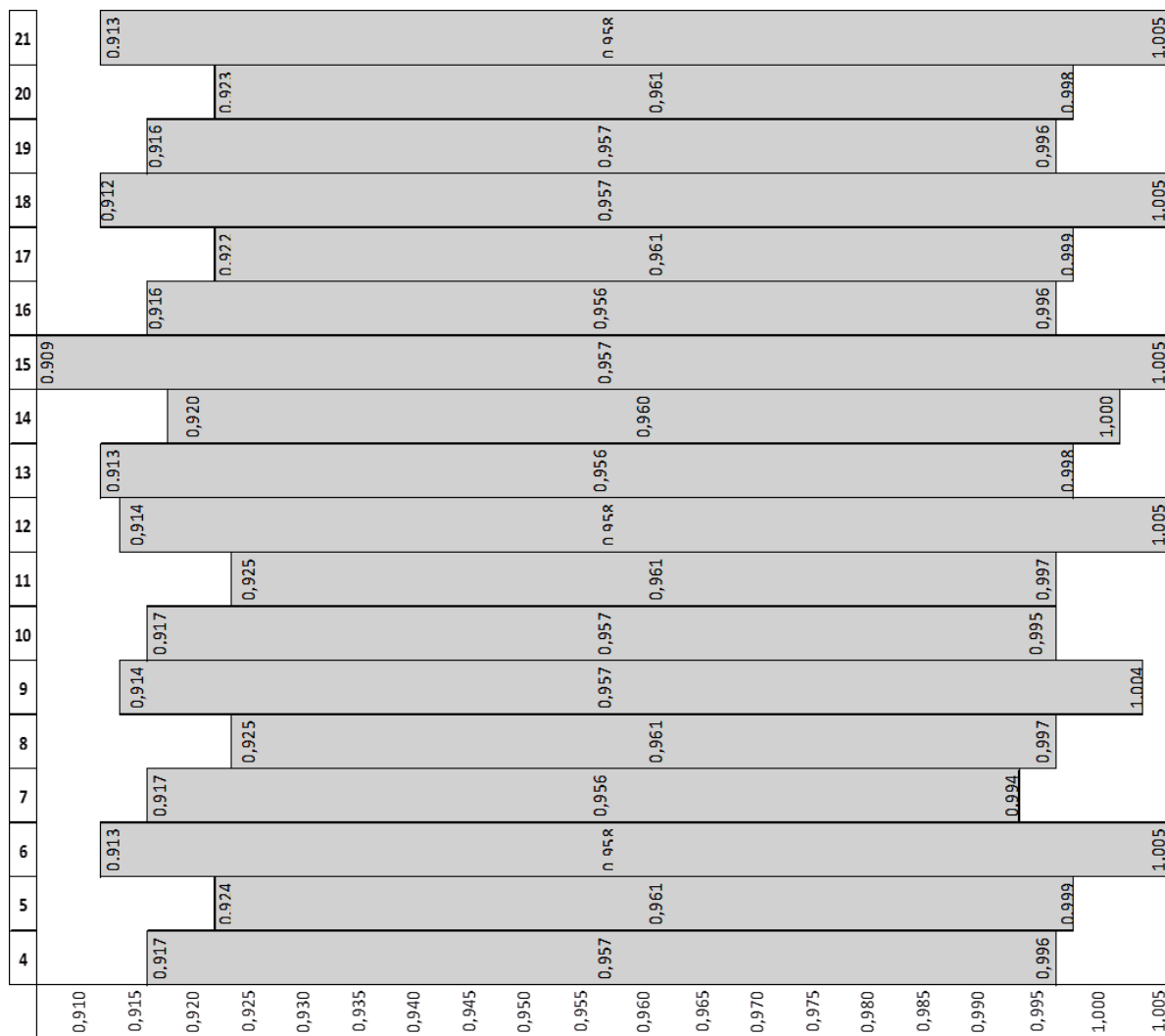


Figura 28: Representação dos valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC relativamente ao índice de desempenho de custo dos cenários 4 a 21.

Por forma a entender a importância do presente índice, poderá também traduzir-se o desempenho do projeto em unidades monetárias. Por exemplo, no caso específico do cenário 5, o qual apresenta um dos maiores valores médios determinados para CPI (CPI=0.961), poderá afirmar-se que, por cada euro que se gastou, corresponderam a 0.96€ ganhos do orçamento do projeto.

Similarmente ao que se verificou na análise dos desvios de custo (CV) registados no momento de controlo respeitantes aos vários cenários, depreende-se que quando BAC_i segue uma distribuição estatística compreendida entre os percentis P10 a P90 da função que descreve os custos reais, CPI toma valores mais próximos da unidade comparativamente aos valores determinados excluindo um cenário de incerteza no

processo de orçamentação das atividades (tal como seria espectável tendo em conta o já mencionado no estudo de CV).

Neste sentido, poderá mostrar-se o impacto de BAC_i destacando os cenários 14 e 5, onde ambos assumem as mesmas características em termos de PC_i (distribuição PERT) e de AC (distribuição triangular), distinguindo-se apenas na abordagem adotada aquando da definição da variável BAC_i , na fase de planeamento. Ora, enquanto que relativamente ao cenário 14 existe cerca de 95% de probabilidade do projeto ser eficiente na utilização dos seus recursos quando se assume um certo grau de incerteza nos montantes orçamentados de cada atividade ($CPI_{P95(\text{cenário } 14)}=1.000$), o mesmo não se verifica ao adotar-se uma abordagem determinista ($CPI_{P95(\text{cenário } 5)}=0.999$).

ESTIMATIVA DE TEMPO NA CONCLUSÃO (EAC_t)

- **Cenários 1, 2 e 3 versus cenários 4 a 21**

Considerando que cada semana corresponde a 5 dias de trabalho e tendo em conta a duração planeada na elaboração do presente projeto de construção através da aplicação do CPM, estaria previsto que o mesmo fosse realizado com uma duração mínima de 19 semanas (equivalente a 95 dias de trabalho).

Como tal, para o cálculo de EAC_t respeitante a cada cenário, assumiu-se que o projeto teria uma duração planeada de 95 dias e que os trabalhos estariam a ser desenvolvidos de acordo com o índice de desempenho de execução (SPI) registado no momento de controlo. As datas previstas para a conclusão do mesmo encontram-se representadas na Figura 29, onde os valores estimados para os cenários 4 a 21 correspondem a uma probabilidade de ocorrência de cerca de 90%.

- **Cenários 4 a 21**

Tendo em conta as datas previstas para a conclusão do projeto que resultaram da SMC (Tabela 13), quando a incerteza na determinação do trabalho que estaria efetivamente concluído no momento de controlo se expressa por meio de uma função PERT (cenários 5, 8, 11, 14, 17 e 20) poderá afirmar-se que existe cerca de 90% de probabilidade deste ser concluído na sua totalidade entre, aproximadamente, 98 a 101 dias, assumindo que o seu desempenho se manterá constante ao registado no momento de controlo.

Deverá ainda salientar-se que, de entre todos os cenários analisados, quando PC_i descreve uma distribuição de probabilidade PERT, tanto os valores médios como os percentis P95 apresentam valores inferiores para EAC_i, denunciando que a construção da vivenda poderá ser concluída num menor período de tempo comparativamente com o tempo esperado quando tal incerteza é representada pelas demais funções (Figura 30).

Cenário	EACt (dias)			
	Perspetiva determinista	Perspetiva estocástica		
	Regras de Proporção	Média	P5	P95
1	93,49			
2	104,06			
3	81,14			
4		99,38	96,38	102,85
5		98,94	96,22	101,96
6		99,26	95,23	104,96
7		99,41	96,39	102,85
8		98,92	96,21	101,95
9		99,33	95,27	103,37
10		99,37	96,37	102,87
11		98,90	96,18	101,91
12		99,27	95,13	103,33
13		99,37	96,31	102,79
14		98,93	96,19	101,97
15		99,32	95,21	103,47
16		99,40	96,32	102,84
17		98,95	96,17	101,95
18		99,33	95,25	103,40
19		99,37	96,34	102,79
20		98,93	96,19	101,96
21		99,27	95,19	103,30

Tabela 13: Estimativa do tempo (em dias) na conclusão do projeto, tendo em conta o índice de desempenho de execução registado no momento de controlo (AT= semana 9).

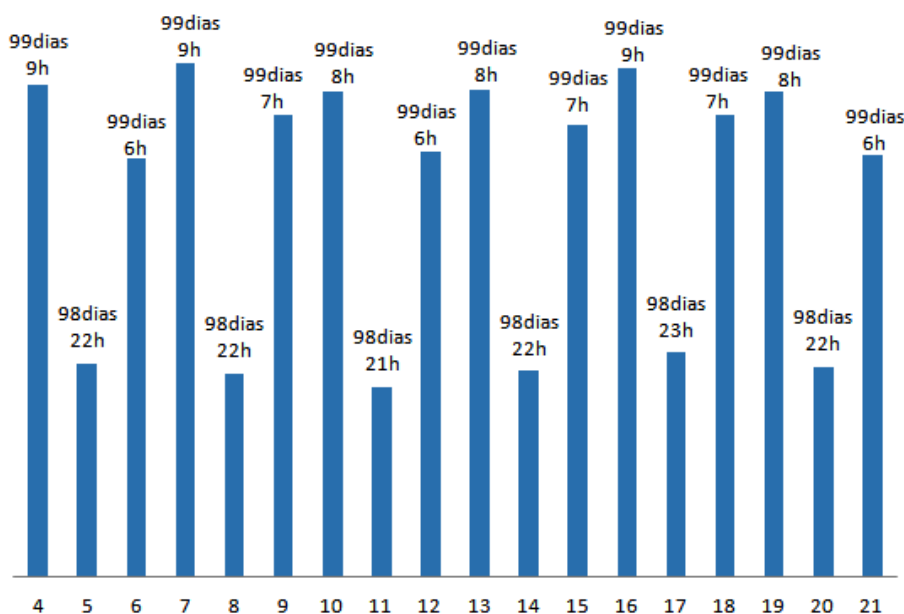


Figura 30: Tempo médio estimado (em dias) na conclusão do projeto, tendo em conta o índice de desempenho de execução registado no momento de controlo (AT= semana 9) – cenários 4 a 21.

No presente projeto de construção a diferença no tempo estimado que se obteve para os diferentes cenários não parece ser muito relevante, uma vez que os resultados diferem apenas num dia de trabalho, no entanto, uma vez mais se deverá realçar que, ao analisar projetos de maiores dimensões e com um horizonte temporal maior, a determinação da variável EAC_t para estimar o seu tempo de conclusão poderá ser crucial para que o mesmo seja realizado com sucesso e sem grandes desvios de tempo.

DESVIO NA CONCLUSÃO (VAC)

Perspetiva mais provável:

Assumindo que o trabalho que será desenvolvido para concluir o projeto apresentará o **mesmo padrão de desempenho de custo** que o registado até ao momento de controlo, apresentam-se os seguintes resultados:

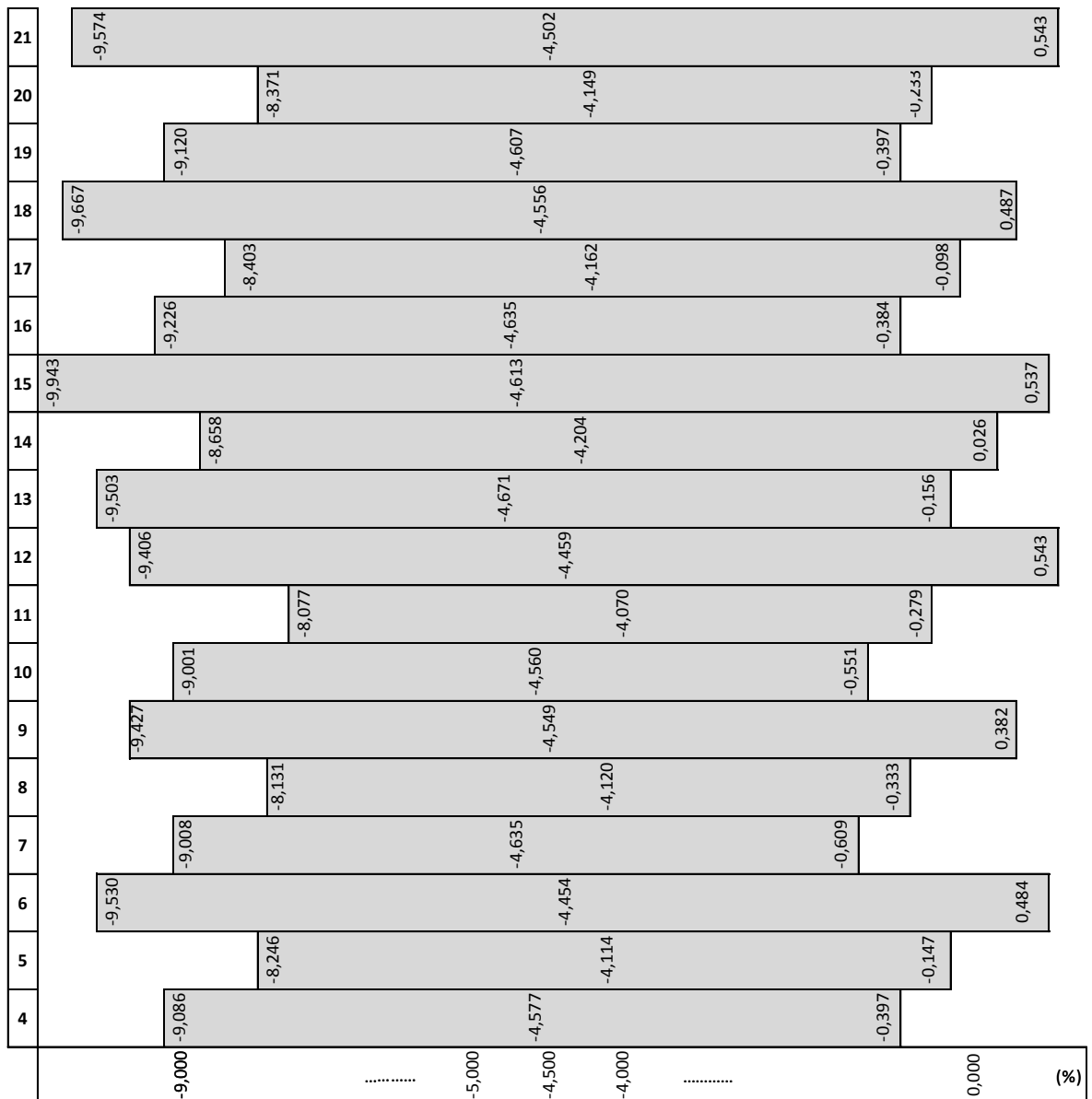


Figura 32: Representação dos valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC relativamente ao desvio na conclusão dos cenários 4 a 21, tendo em conta a perspetiva que poderá ser mais provável no desenvolvimento dos trabalhos do projeto até à sua conclusão.

Ainda neste contexto, poderá destacar-se que o valor (médio) que apresenta o pior cenário que o projeto poderá experienciar é quando $VAC = -4.671\%$ (cenário 13), elucidando para o facto de que o mesmo apresentará um desvio de quase 5% entre o custo total que fora orçamentado ($\sum(BAC_i)$) e o custo estimado para a sua conclusão (EAC).

percentagens mais baixas relativamente à possibilidade do projeto apresentar um percentual negativo para os desvios na conclusão ($VAC_{\text{pessimista}} < 0$).

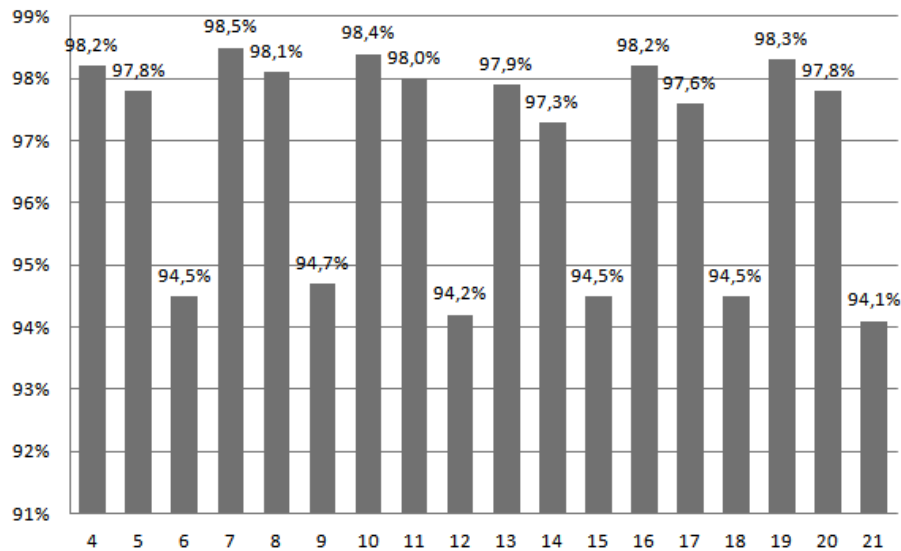


Figura 34: Probabilidade do desvio na conclusão apresentar valores negativos ($VAC < 0$) ao adotar uma perspetiva pessimista para o desenvolvimento dos trabalhos do projeto até à sua conclusão – cenários 4 a 21.

Ao adotar-se uma perspetiva pessimista para a execução dos trabalhos que ainda faltam concluir até que o projeto seja dado como terminado, através da análise da Tabela A.8 em Anexo, o valor médio que sugere a pior situação possível é assumido novamente pelo cenário 13 ($VAC = -6.826\%$), o qual prevê que ocorra um desvio de quase 7% entre o custo total orçamentado e o custo estimado para a sua conclusão.

Em suma, da análise dos dados que resultaram da simulação de Monte Carlo para os *outputs* do modelo comentados no presente capítulo, verificou-se que quando a incerteza na determinação do trabalho que estaria concluído no momento de controlo (PC_i) se expressava por meio das distribuições triangular e PERT, estas sugeriam resultados mais aproximados entre si do que quando a mesma variável se encontrava descrita por uma distribuição de probabilidade beta. Tal facto poderá ser justificado porque na sua definição ambas usam os mesmos parâmetros característicos (valor mínimo, valor mais provável, valor máximo), enquanto que a função beta (generalizada), além do já mencionado, exige a

definição dos parâmetros α e β , simulando, portanto, um comportamento ligeiramente divergente para uma mesma atividade.

É também de realçar que, do ponto de vista dos montantes orçamentados para cada atividade (BAC_i) na fase de planeamento, quando estes eram definidos assumindo um determinado grau de incerteza (perspetiva estocástica), os valores que resultavam da SMC relativamente às variáveis EV, CV, CPI e VAC, eram ligeiramente diferentes dos determinados quando o processo de orçamentação era simplesmente estipulado em função dos valores médios (perspetiva determinista). Nalguns cenários, tal facto levou até a que se formulassem conclusões distintas relativamente ao desempenho do projeto devido às diferentes abordagens na definição de BAC_i . Neste contexto, deverá ainda fazer-se a ressalva de que a diferença nos valores obtidos não assumiu uma dimensão muito evidente ou significativa, uma vez que no presente estudo os montantes ministrados se reportavam a um projeto de pequenas dimensões e com algumas limitações ao nível dos pressupostos que se definiram, contudo, abordar-se-á mais detalhadamente este assunto no capítulo seguinte.

Tendo em consideração todas as variáveis da metodologia EVM que se analisaram sob um contexto de incerteza (EV, SV, CV, SPI, CPI, EAC_t e VAC), de um modo generalizado, qualquer que tenha sido a distribuição de probabilidade adotada para expressar tanto os montantes orçamentados, como a percentagem de trabalho efetivamente concluído em AT, se depreende que muito provavelmente na 9.^a semana do cronograma (mais concretamente, cerca de 90% de probabilidade, nos casos em que PC_i assume as funções triangular e PERT), o projeto estará atrasado, a gastar mais do que havia sido previsto e a não ser eficiente na utilização dos seus recursos. Por outro lado, o mesmo não se poderá dizer relativamente ao cálculo dos mesmos parâmetros da metodologia EVM ao adotar uma perspetiva determinista (a qual se denominou na presente dissertação por “EVM tradicional”). Os valores determinados para as mesmas variáveis, calculados a partir das tradicionais regras 50/50 e 80/20, traduzem uma realidade contraditória daquela que se previu para o mesmo projeto ao assumir um contexto de incerteza.

A formulação de conclusões díspares relativamente a um mesmo momento do ciclo de vida do projeto, como consequência da implementação da metodologia EVM ao adotar perspetivas distintas no cálculo das variáveis base e dos demais parâmetros (desvios e índices de desempenho), mostram claramente a necessidade do gestor dispor de informação adicional que providencie um retrato mais adequado e fidedigno acerca do real

progresso do mesmo no momento de controlo. Tal informação auxiliará o gestor na previsão e avaliação do impacto que poderão ter as suas decisões (por exemplo, a adoção de medidas corretivas ou até mesmo, a incorreta avaliação da quantidade de trabalho realizado no momento de controlo) ao nível do estado de progresso do projeto, com particular nível de confiança.

6. Conclusões

No atual capítulo apresentam-se as principais conclusões que resultaram da investigação desenvolvida no âmbito da presente dissertação, refletindo se os objetivos propostos na sua concretização terão sido atingidos e mencionando as possíveis limitações que impossibilitaram obter melhores resultados. Não obstante, referir-se-ão ainda algumas recomendações que devem ser tidas em consideração no caso de se realizarem futuras investigações onde a mesma temática seja abordada.

6.1. Importância e contributos

Em virtude da revisão bibliográfica realizada, muitos autores destacaram a importância da aplicação do EVM na gestão de projetos por se tratar de uma metodologia eficaz, capaz de integrar prazos, custos e o âmbito dos projetos. Embora represente uma ferramenta de gestão que acrescenta inúmeros benefícios nos processos de controlo e monitorização, tem suscitado algumas dúvidas relativamente à credibilidade na informação que traduz o estado real de progresso do projeto quando comparado com o que estaria agendado.

O estudo que fora desenvolvido pretendeu, portanto, demonstrar o impacto dos montantes orçamentados (na fase de planeamento) das atividades de um determinado projeto de construção e do valor ganho (num dado momento de controlo), evidenciando até que ponto o caráter subjetivo que lhes está associado, em especial, pelo recurso da técnica da percentagem de trabalho concluído no cálculo de EV, poderá deturpar o real progresso do projeto e traduzir cenários muito díspares mediante o percentual que se estimou.

A incerteza nos valores definidos para o orçamento do projeto, muitas vezes, fundamentados somente na experiência do gestor, assim como a incorreta perceção do estado de desenvolvimento das atividades em curso num dado momento de controlo, foram expressas por meio de funções estatísticas adequadas, aplicadas às variáveis PC_i e BAC_i , nas quais se simularam cenários distintos para um mesmo instante do seu ciclo de vida. Dos resultados obtidos concluiu-se que o gestor poderá ter a capacidade de influenciar os valores que traduzem o estado de progresso do projeto, nomeadamente, ao nível da fase de planeamento, uma vez que o orçamento por ele estipulado é tomado como referência

durante toda a execução do projeto, como também, ao nível do processo de controlo, quando este é sujeito a uma avaliação e se determinam os desvios (de tempo e de custo) e os respetivos índices de desempenho. Assim, a não inclusão de elementos no projeto que evitem riscos em trabalhos futuros poderá acrescentar custos na sua execução que seriam evitados se considerados atempadamente pelo gestor. Também o grau de subjetividade com que avalia tais variáveis condicionará, naturalmente, o maior ou menor rigor na informação que relata a sua real *performance*, nomeadamente, se num dado momento de controlo, o projeto se encontra acima ou abaixo do orçamento ou se estará atrasado ou adiantado tendo em conta a calendarização definida previamente.

Através da simulação de diferentes cenários, onde se reproduziram as ressalvas em termos da percentagem de trabalho que estaria concluído num dado momento e dos montantes orçamentados para a construção do projeto hipotético analisado, comprovou-se que a quantificação estatística da incerteza nas referidas variáveis, implementando uma perspetiva estocástica aos princípios fundamentais do EVM, permite que os gestores detenham mais controlo sobre os seus projetos, na medida em que, a sua avaliação individual do estado de desenvolvimento do mesmo e as respetivas ações corretivas por ele tomadas, permitem conhecer o impacto que as mesmas terão com particular nível de confiança. Ao implementar tal procedimento, haverá um menor risco do projeto vir a apresentar grandes desvios de tempo e/ou custo em comparação aos casos nos quais o gestor avalia o seu estado de progresso arbitrando uma percentagem particular para o trabalho que se encontra efetivamente concluído, adotando uma abordagem determinista (também designada na presente dissertação por “EVM tradicional”).

Da revisão de literatura levada a cabo constatou-se que existem alguns estudos no âmbito desta temática, porém, representam ainda um número diminuto tendo em conta a gravidade das consequências que poderão advir devido à incerteza na mensuração das ditas variáveis e que poderão pôr em causa a concretização do projeto com sucesso. Como tal, espera-se que o modelo de simulação que se desenvolveu possa funcionar como um “alerta” da importância de realizar um controlo mais rigoroso dos projetos, em especial, no que se refere à determinação do valor ganho. A par do referido, também o rigor na elaboração dos orçamentos deverá ser salvaguardado e sustentado numa base de dados com informação credível e atualizada. O presente estudo poderá constituir um despertar para que outra atenção seja dada aos processos de planeamento e controlo, quando se recorre à metodologia EVM para a gestão de projetos.

6.2. Limitações do estudo e investigações futuras

Dado o curto espaço de tempo para a realização da presente dissertação, alguns pressupostos que se definiram podem ter impossibilitado obter uma representação mais credível relativamente ao cenário “padrão” que melhor caracteriza a execução dos trabalhos intervenientes nos projetos de construção. Uma limitação do estudo desenvolvido prende-se com o facto de se ter considerado, na fase de planeamento, que o trabalho realizado em cada atividade seria proporcional ao tempo de duração definido para a mesma, mais concretamente, aquando da determinação dos valores de PV e de AC. Por forma a obter uma perspetiva mais aproximada da realidade, poderia igualmente aplicar-se uma determinada função estatística que expressasse a aleatoriedade da variável PC na determinação dos custos reais (tal como se procedeu no cálculo de EV no momento de controlo), uma vez que estes resultam da própria natureza dos trabalhos de construção e nem sempre são proporcionais à duração na execução das atividades. Contudo, tal abordagem implicaria algum trabalho suplementar, além de que o objetivo primordial se reportava apenas à determinação da incerteza de PC nos montantes determinados para o valor ganho do projeto no momento de controlo.

À semelhança do referido, também a qualidade da informação é um pré-requisito para que o EVM seja uma ferramenta eficaz. Caso se tivesse recorrido a uma base de dados que contemplasse um maior número de projetos semelhantes ao aqui idealizado e, após uma análise estatística dos dados de tempo e custos das respetivas atividades, ajustados à distribuição que melhor os representaria, definir-se-iam os valores para os parâmetros característicos das funções estatísticas com maior rigor, ao invés de se tomar por base um projeto finalizado com as mesmas características e fundamentado com informação complementar proveniente do conhecimento e experiência em campo do engenheiro responsável pelo mesmo. Estas constituem as principais limitações do estudo apresentado, porém, representam simultaneamente possíveis tópicos para investigação futura.

No que se refere ao modelo de simulação, tendo em conta que os resultados obtidos representaram uma diferença pouco significativa nos montantes determinados a partir das diferentes funções estatísticas que expressavam a incerteza das variáveis em análise, seria interessante realizar o mesmo procedimento onde na sua aplicação se recorresse também à

distribuição *lognormal*, igualmente destacada na literatura como uma função adequada para representar a aleatoriedade das atividades dos projetos de construção. A aplicação do modelo para um maior número de cenários permitiria aferir se as quantias apresentadas seriam da mesma ordem de grandeza das já determinadas, fortalecendo assim as conclusões do gestor de projeto.

É também sabido que a elaboração de um modelo de cálculo EVM aplicado ao *software MS Project* fornece melhores condições aos gestores de projetos de construção no planeamento das atividades, permitindo a simulação das alterações nos orçamentos e/ou prazos, e identificando antecipadamente desvios que apenas seriam reconhecidos em fases mais adiantadas do projeto. Contudo, a tomada de decisão com base em estimativas deterministas muitas vezes não são realistas, motivo pelo qual seria essencial a determinação da gama de valores dos parâmetros EVM (numa fase de planeamento) em substituição das estimativas deterministas. Neste sentido, aconselha-se que trabalhos futuros acompanhem o desenvolvimento de um projeto de construção, integrando a incerteza nas atividades (por exemplo, através da simulação das mesmas no *software @Risk*, apresentando como *outputs* os indicadores de desvios e índices de desempenho do EVM) e simultaneamente, ministrar o processo de controlo com suporte do *software MS Project*. Deste modo seria possível acompanhar e avaliar de que forma os resultados obtidos através da simulação contribuiriam, em termos práticos, para o desempenho do projeto, ao invés da mera aplicação do “EVM tradicional” ao *MS Project*, usada apenas para registar os valores que expressam o estado de desenvolvimento do projeto (integração de prazos e custos) ou formular previsões deterministas.

É notório que cada um destes aspetos coloca uma complexidade adicional ao modelo de simulação analisado, no entanto, representaria de forma mais fidedigna o processo de controlo quando aplicado ao contexto real da gestão de projetos. A incorreta orçamentação e perceção da realidade do progresso dos projetos poderá ter como consequência a formulação de conclusões erradas, que podem conduzir à implementação de medidas de atuação inapropriadas face à conjuntura do projeto e pôr em risco a sua concretização com sucesso. Não obstante às referidas limitações, espera-se com este trabalho ter contribuído para realçar a importância desta temática na prática da gestão de projetos, em especial, no que respeita ao processo de planeamento e controlo, incentivando a realização de outros trabalhos nesta área específica.

Bibliografia

- Acebes, F., Pajares, J., Galán, J. M., & López-Paredes, A. (2013). Beyond Earned Value Management: A Graphical Framework for Integrated Cost, Schedule and Risk Monitoring. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 74, 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.03.027>
- Acebes, F., Pajares, J., Galán, J. M., & López-Paredes, A. (2014). A new approach for project control under uncertainty. Going back to the basics. *International Journal of Project Management*, 32(3), 423–434. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.08.003>
- Acebes, F., Pereda, M., Poza, D., Pajares, J., & Galán, J. M. (2015). Stochastic earned value analysis using Monte Carlo simulation and statistical learning techniques. *International Journal of Project Management*, 33(7), 1597–1609. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.06.012>
- AECOPS. (2009). “Engenheiros apresentam propostas para reduzir derrapagens nas obras públicas.” Retrieved January 24, 2017, from http://prewww.aecops.pt/pls/daecops3/pnews.build_page?text=19699117
- Ali, A. S., & Rahmat, I. (2010). The performance measurement of construction projects managed by ISO-certified contractors in Malaysia. *Journal of Retail & Leisure Property*, 9(1), 25–35. <https://doi.org/10.1057/rlp.2009.20>
- Anbari, F. T. (2003). Earned value project management method and extensions. *Project Management Journal*, 34(4), 12–23.
- Babar, S., Thaheem, M. J., & Ayub, B. (2016). Estimated Cost at Completion: Integrating Risk into Earned Value Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001245](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001245).
- Barr, Z. (1996). Earned value analysis: A case study. *PM Network*, 10(12), 31–37. Retrieved from <http://www.pmi.org/Marketplace/Pages/ProductDetail.aspx?GMProduct=00100459100&iss=1>
- Burke, R. (2013). *Project Management: Planning and Control Techniques* (Fifth Ed). Wiley.
- Cândido, L. F., Heineck, L. F. M., & Neto, J. de P. B. (2014). Critical analysis on earned

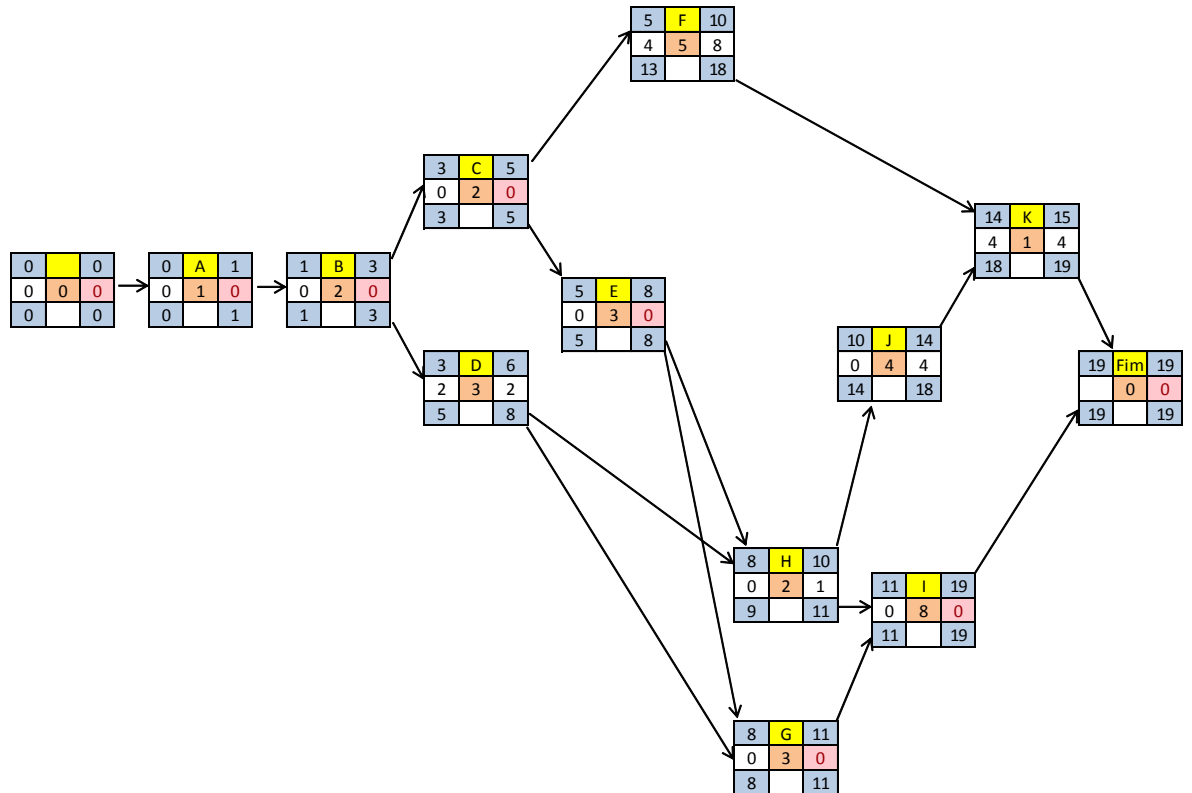
- value management (EVM) technique in building construction. In *Contract and Cost Management* (pp. 159–170). Oslo.
- Chen, H. L. (2014). Improving Forecasting Accuracy of Project Earned Value Metrics: Linear Modeling Approach. *Journal of Management in Engineering*, 30(2), 135–145. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000187](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000187)
- Chen, H. L., Chen, W. T., & Lin, Y. L. (2016). Earned value project management: Improving the predictive power of planned value. *International Journal of Project Management*, 34(1), 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.09.008>
- Chen, S., & Zhang, X. (2012). An Analytic Review of Earned Value Management Studies in the Construction Industry. *Construction Research Congress 2012*, (May 2012), 236–246. <https://doi.org/10.1061/9780784412329.025>
- Cioffi, D. F. (2006). Designing project management: A scientific notation and an improved formalism for earned value calculations. *International Journal of Project Management*, 24(2), 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.07.003>
- Cioffi, D. F., & Khamooshi, H. (2009). A practical method of determining project risk contingency budgets. *Journal of the Operational Research Society*, 60(4), 565–571.
- Czemplik, A. (2014). Application of Earned Value Method to Progress Control of Construction projects. *Procedia Engineering*, 91, 424–428. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.087>
- De Marco, A., & Narbaev, T. (2013). Earned Value-Based Performance Monitoring of Facility Construction Projects. *Journal of Facilities Management*, 11(1), 69–80.
- Fernandes, M. N. (2008). *Gestão de Negócios de Sistemas de Energia - Aplicação da Metodologia Earned Value Management (EVM)*. (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. Retrieved from <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137785639>
- Fleming, Q. W., & Koppelman, J. M. (2002). Earned Value Management - Mitigating the Risks Associated with Construction Projects. *Risk Management*, pp. 90–95.
- Garcia, A. (Coord)., Dias, A., Soares, L., Brochado, M., & Rebêlo, S. (2009). *Auditoria a empreendimentos de obras públicas por gestão directa - Conclusões e Recomendações do Tribunal de Contas*. Lisboa: Tribunal de Contas. Retrieved from http://www.tcontas.pt/pt/actos/rel_auditoria/2009/2s/audit-dgtrc-rel017-2009-2s.pdf

- Keng, T. C. (2015). The Application of Earned Value Management (EVM) in Construction Project Management. *Journal of Technology Management and Business*, 2(2), 1–11.
- Kerzner, H. R. (2013). *Project Management - A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling* (Eleventh E). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Kim, B.-C., & Kim, H.-J. (2014). Sensitivity of Earned Value Schedule Forecasting to S-Curve Patterns. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(7). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000856](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000856)
- Kim, E., Jr., W. G. W., & Duffey, M. R. (2003). A model for effective implementation of Earned Value Management methodology. *International Journal of Project Management*, 21, 375–382. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00049-2](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00049-2)
- Kim, Y.-W., & Ballard, G. (2000). Is the Earned-Value Method an Enemy of Work Flow? In *Proceedings IGLC 8* (pp. 1–10). Brighton, UK.
- Kuhl, M. E., & Perez Graciano, M. K. . (2014). Project Planning and Predictive Earned Value Analysis Via Simulation. In *2014 Winter Simulation Conference* (pp. 3377–3387). Rochester, NY.
- Lee, J.-S. (2015). Calculating cumulative inefficiency using earned value management in construction projects. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42, 222–232. <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0029>
- Lipke, W. H. (2003). Schedule is Different. *The Measurable News*, 1–10.
- Memon, A. H., Rahman, I. A., & Azis, A. A. A. (2012). Time and Cost Performance in Construction Projects in Southern and Central Regions of Peninsular Malaysia. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, 1(1), 45–52.
- Meredith, J. R., & Mantel, S. J. (2012). *Project Management: A Managerial Approach. International Student Edition* (Eighth Ed). John Wiley & Sons, Inc.
- Meyer, W. G., Steyn, H., & Nkiwane, N. H. (2016). The use of earned value management for initiating directive project control decisions : A case study. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27(1), 192–203. <https://doi.org/10.7166/27-1-1260>
- Miguel, A. (2006). *Gestão Moderna de Projectos - Melhores Técnicas e Práticas* (2.^a Edição). Lisboa: LIDEL.
- Mohammed, I. A., Sarhan, F. M., & Sameer, D. (2014). Evaluation the Performance of the

- Infrastructure Project using Earned Value Management. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 5(9), 145–155. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/294729779>
- Naeini, M. E. (2013). Cost Control Development under Stochastic Performance Control. *International Journal of Economics, Finance and Management Sciences*, 1(1), 54–60. <https://doi.org/10.11648/j.ijefm.20130101.17>
- Naeni, L. M., Shadrokh, S., & Salehipour, A. (2011). A fuzzy approach for the earned value management. *International Journal of Project Management*, 29(6), 764–772. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.07.012>
- Norton, T., Brennan, P., & Mueller, M. (2014). De-mystifying Earned Value Management for Ground Based Astronomy Projects, Large and Small. In T. Norton, P. Brennan, & M. Mueller (Eds.), *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* (pp. 1–10). Cambridge. <https://doi.org/10.1117/12.2056543>
- Pajares, J., & López-Paredes, A. (2011). An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index. *International Journal of Project Management*, 29(5), 615–621. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.04.005>
- Pinto, J. A. N. P. (2013). *Análise Estocástica com Recurso a Ferramentas Informáticas no Planeamento de Empreitadas de Construção*. (Dissertação de Mestrado). Instituto Politécnico do Porto, Porto.
- Project Management Institute. (2004). The Project Management Framework. In *Project Management Body of Knowledge* (Third Ed.). Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.
- Project Management Institute. (2005). Derivations of the Basic EVM Elements. In *Practice Standard for Earned Value Management*. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.
- Roldão, V. S. (2000). *Gestão de projectos: uma perspectiva integrada* (1.^a Edição). Lisboa: MONITOR.
- Soares, J. P. A. (2014). *Análise das metodologias de cálculo do risco aplicáveis a projetos de construção*. (Dissertação de Mestrado). Universidade do Minho, Guimarães. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1822/36254>

- Teixeira Netto, J., L G Quelhas, O., França, S., Meiriño, M., & Lameira, V. (2015). Performance Monitoring using EVM Indicator: A Study Case of Construction Projects in the Public Sector in Brazil. *Sistemas & Gestão*, 10(1), 194–202. <https://doi.org/10.7177/sg.2015.v10.n1.a16>
- Vandevoorde, S., & Vanhoucke, M. (2006). A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. *International Journal of Project Management*, 24, 289–302. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.10.004>
- Willems, L. L., & Vanhoucke, M. (2015). Classification of articles and journals on project control and earned value management. *International Journal of Project Management*, 33, 1610–1634. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.06.003>

Anexos



Legenda:

X	Atividade
d	Duração
ES (<i>earliest start</i>)	Início mais cedo
LS (<i>latest start</i>)	Início mais tarde
EF (<i>earliest finish</i>)	Conclusão mais cedo
LF (<i>latest finish</i>)	Conclusão mais tarde
TS (<i>total slack</i>)	Folga total
FS (<i>free slack</i>)	Folga livre

ES	X	EF
FS	d	TS
LS		LF

Figura A.1: Aplicação do CPM ao projeto de construção em estudo para identificar as respectivas atividades críticas e a duração prevista na sua execução.

Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A	100,0%																		
B		50,0%	50,0%																
C				50,0%	50,0%														
D				33,3%	33,3%	33,3%													
E						33,3%	33,3%	33,3%											
F						20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%									
G									33,3%	33,3%	33,3%								
H									50,0%	50,0%									
I												12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%
J											25,0%	25,0%	25,0%	25,0%					
K															100,0%				

Figura A.2: Calendarização prevista para a realização das atividades do projeto – fase de planejamento⁷.

Atividade	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A	100,000%																		
B		50,000%	50,000%																
C				50,000%	50,000%														
D				33,333%	33,333%	33,333%													
E						33,333%	33,333%	33,333%											
F									RiskTriang(0,3;0,5;0,7)										
G									RiskTriang(0,1;0,3;0,4)										
H									RiskTriang(0,4;0,5;0,6)										
I																			
J																			
K																			

Legenda:

Atividades já concluídas
Atividades ainda a decorrer
Atividades que ainda não iniciaram

Figura A.3: Estado de desenvolvimento das atividades quando AT= semana 9 – momento de controlo⁸.

⁷ Note-se que os valores apresentados na Figura A.2 se referem à variável PC_i tendo em conta o pressuposto de que o trabalho realizado em cada atividade será proporcional ao tempo de duração definido para a mesma.

⁸ Na Figura A.3, o valor de PC_i das atividades que se encontram em desenvolvimento no momento de controlo, foi expresso, a título de exemplo, por meio de uma distribuição triangular.

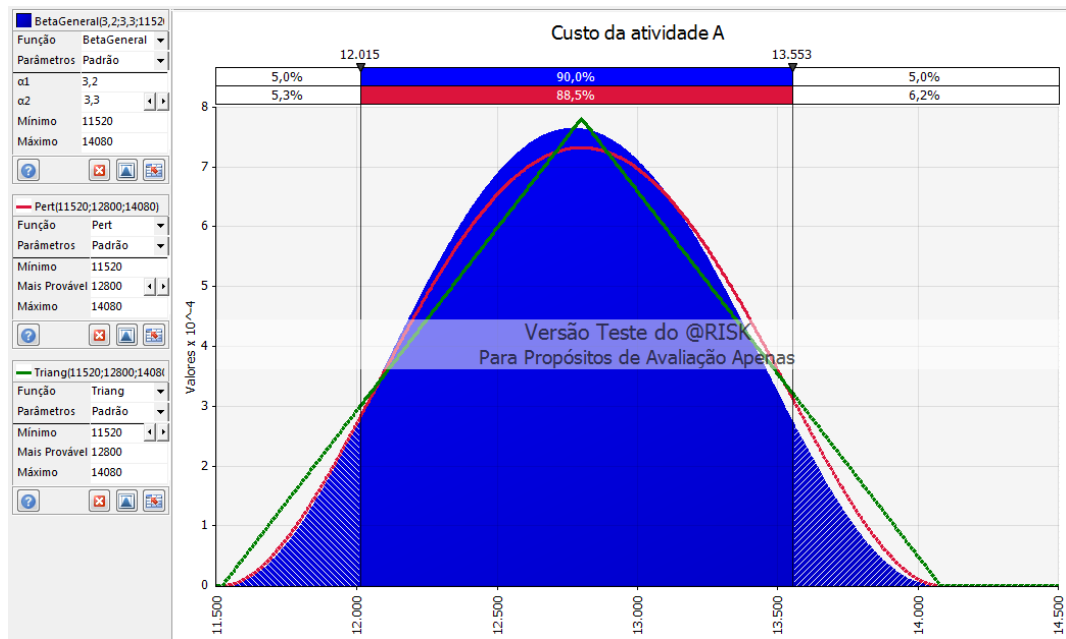


Figura A.4: Sobreposição das distribuições beta, PERT e triangular que expressam o custo real da atividade A.

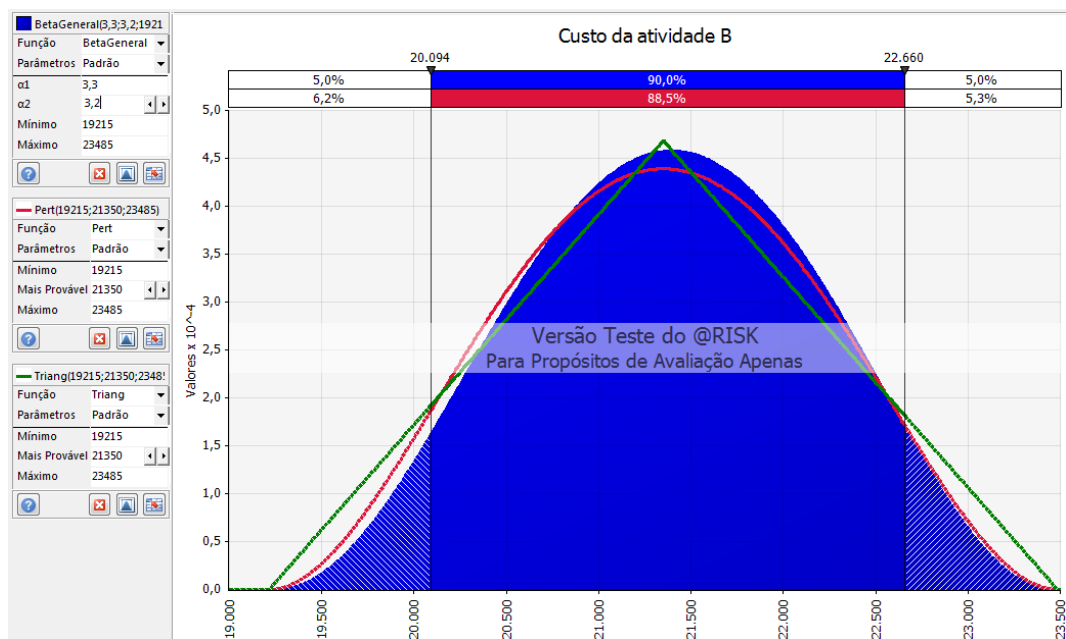


Figura A.5: Sobreposição das distribuições beta, PERT e triangular que expressam o custo real da atividade B.

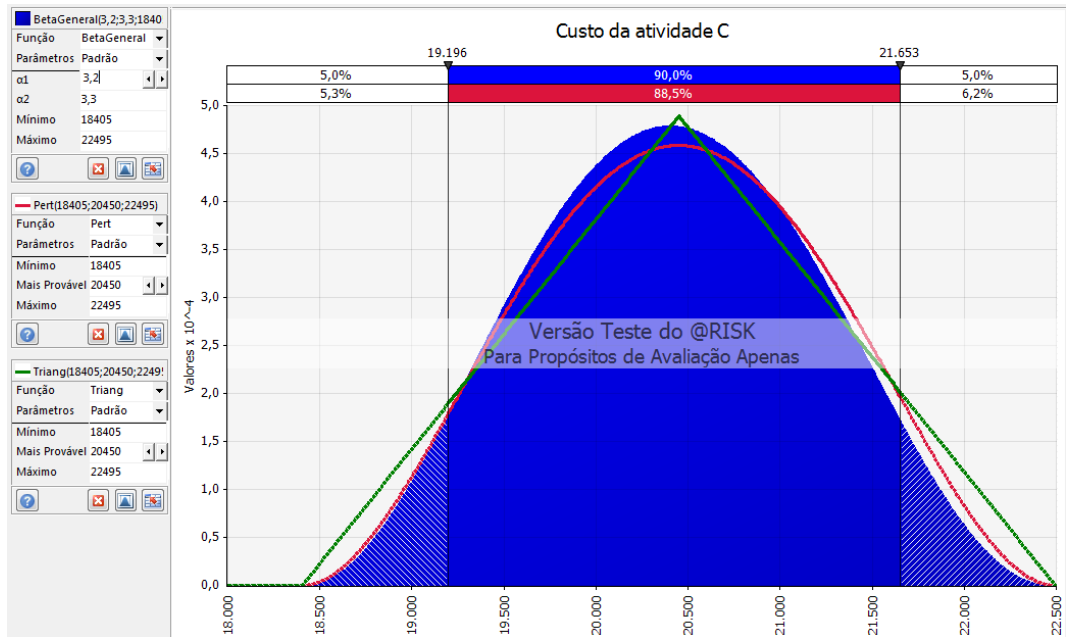


Figura A.6: Sobreposição das distribuições beta, PERT e triangular que expressam o custo real da atividade C.

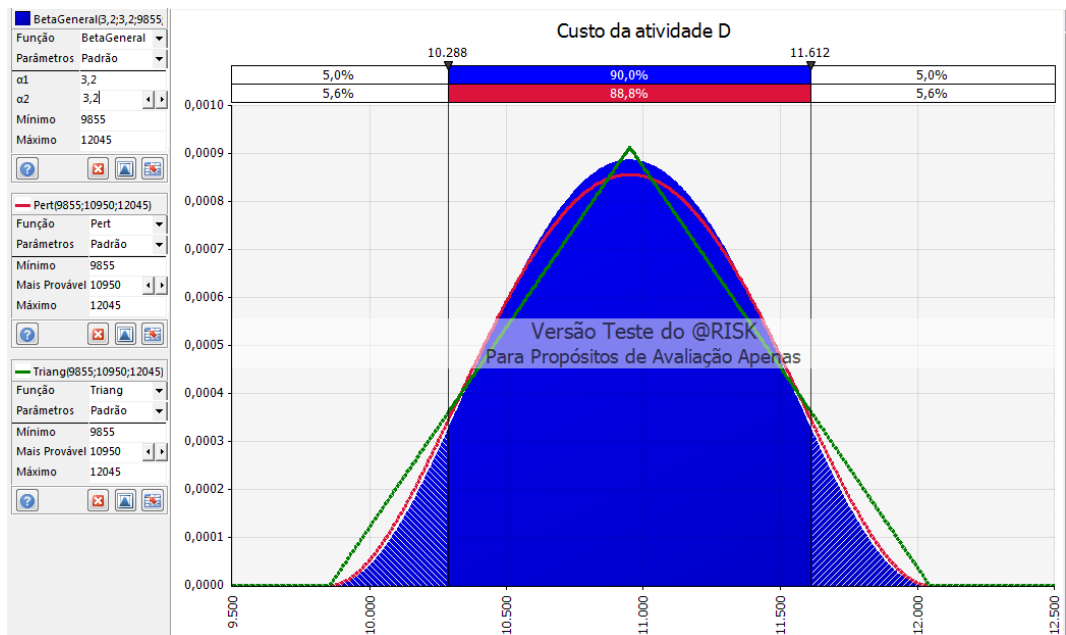


Figura A.7: Sobreposição das distribuições beta, PERT e triangular que expressam o custo real da atividade D.

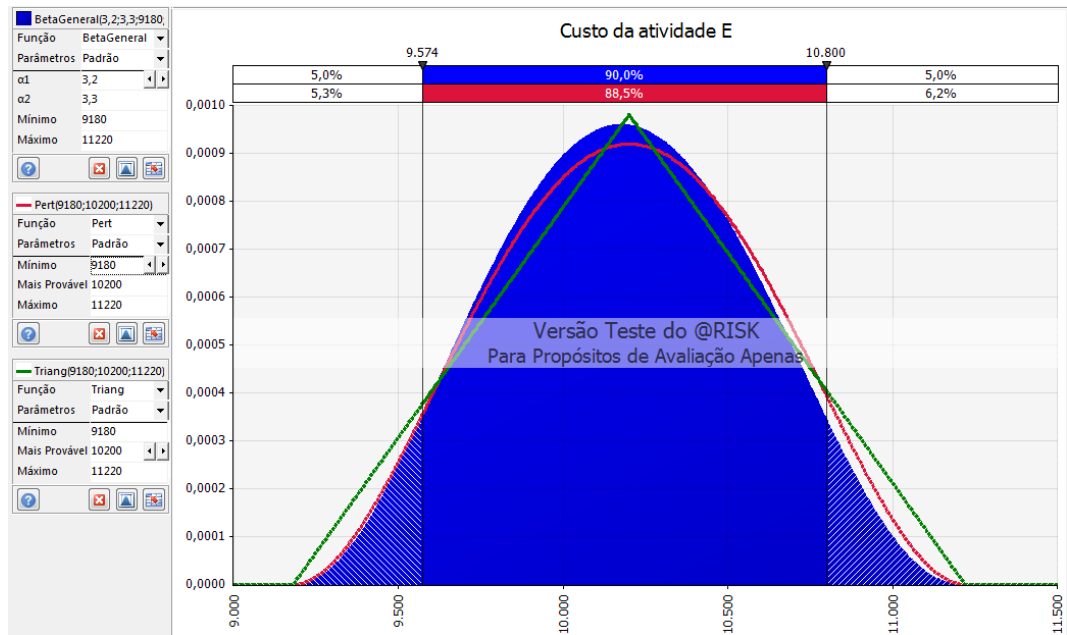


Figura A.8: Sobreposição das distribuições beta, PERT e triangular que expressam o custo real da atividade E.

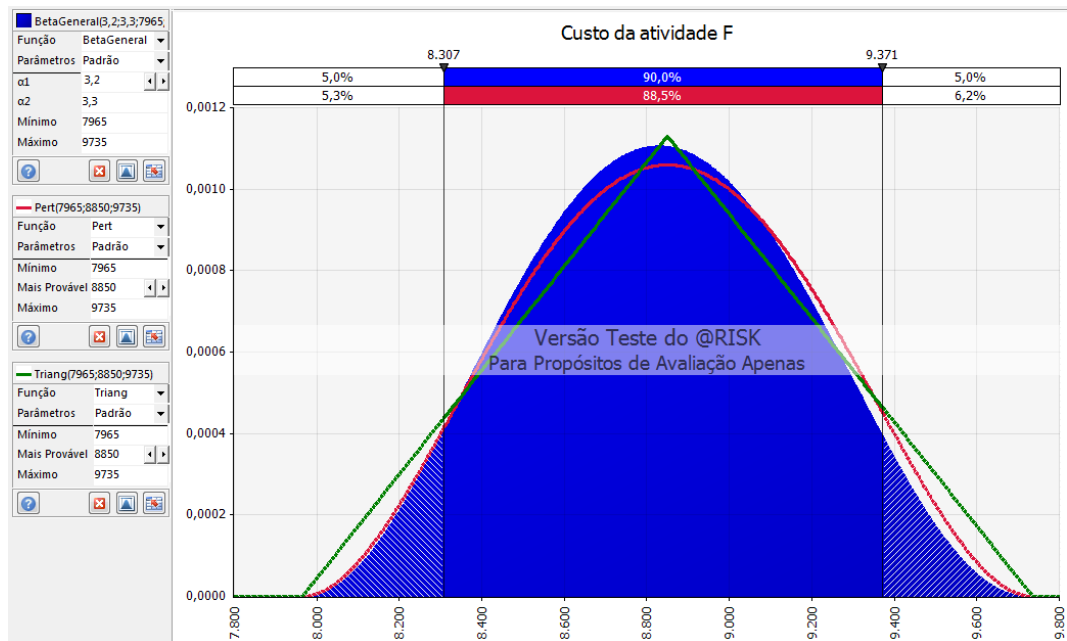


Figura A.9: Sobreposição das distribuições beta, PERT e triangular que expressam o custo real da atividade F.

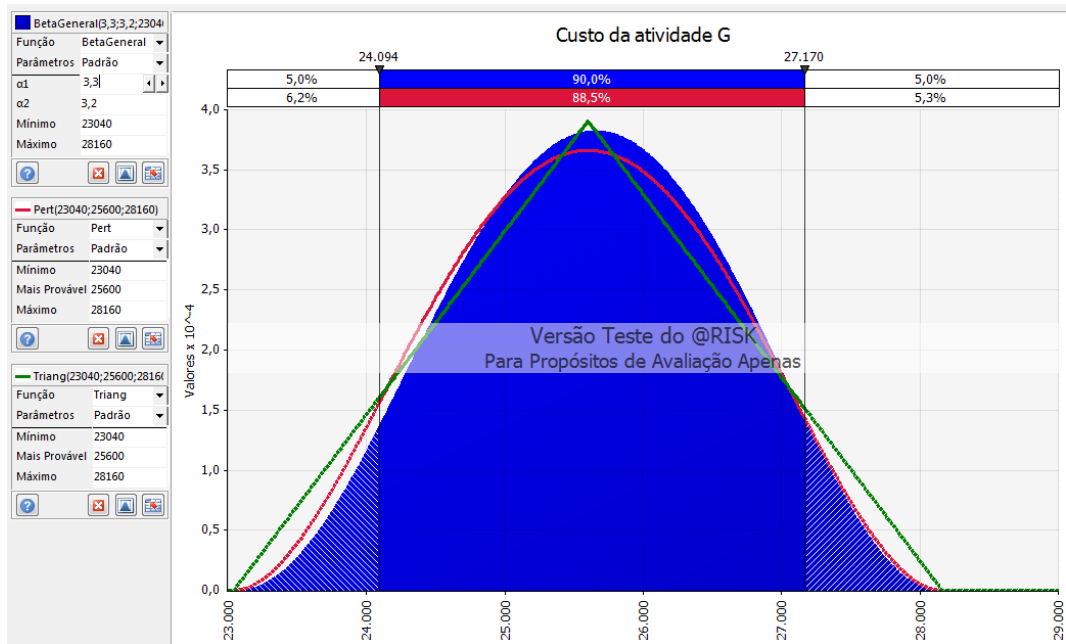


Figura A.10: Sobreposição das distribuições beta, PERT e triangular que expressam o custo real da atividade G.

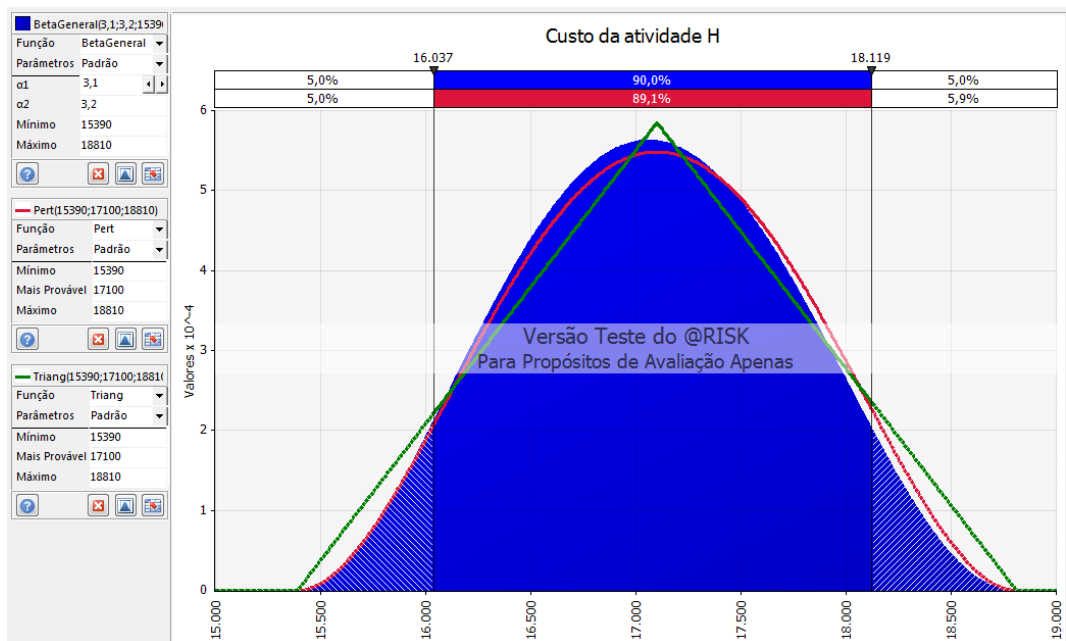


Figura A.11: Sobreposição das distribuições beta, PERT e triangular que expressam o custo real da atividade H.

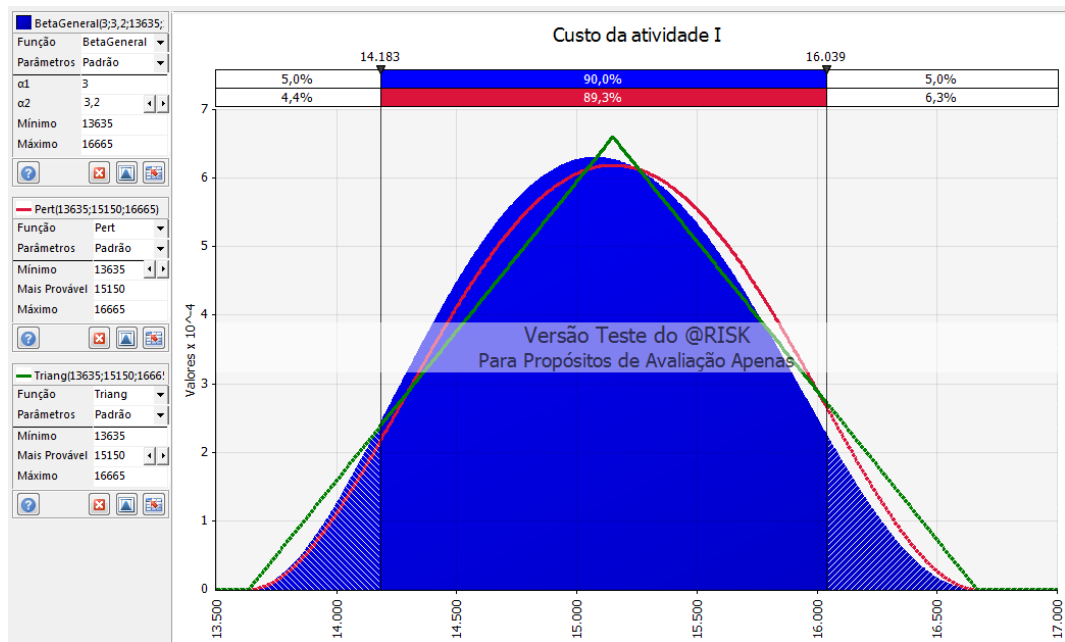


Figura A.12: Sobreposição das distribuições beta, PERT e triangular que expressam o custo real da atividade I.

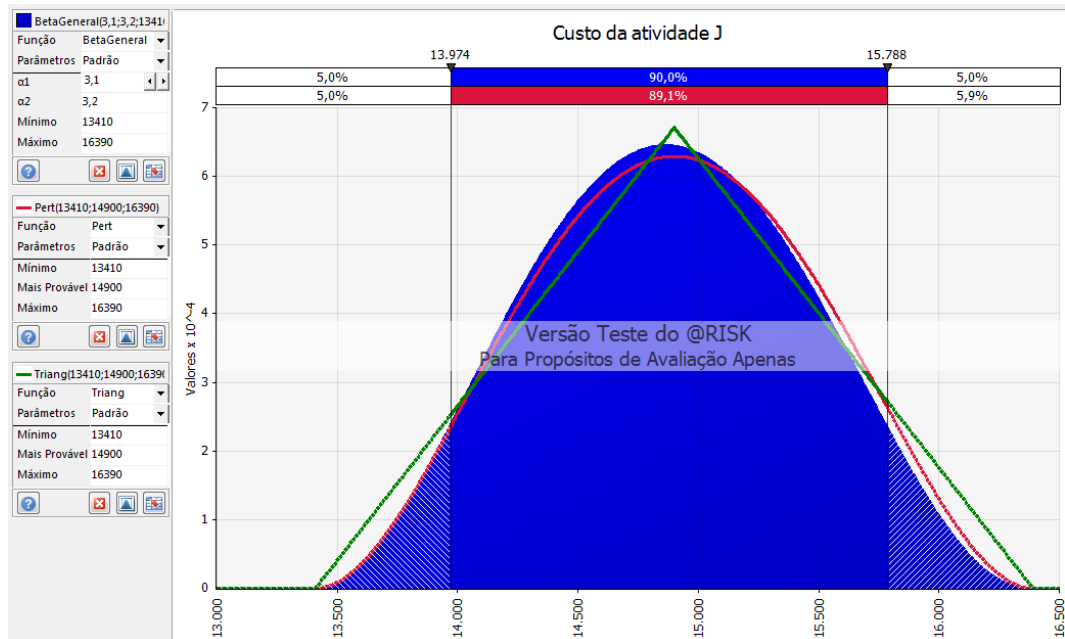


Figura A.13: Sobreposição das distribuições beta, PERT e triangular que expressam o custo real da atividade J.

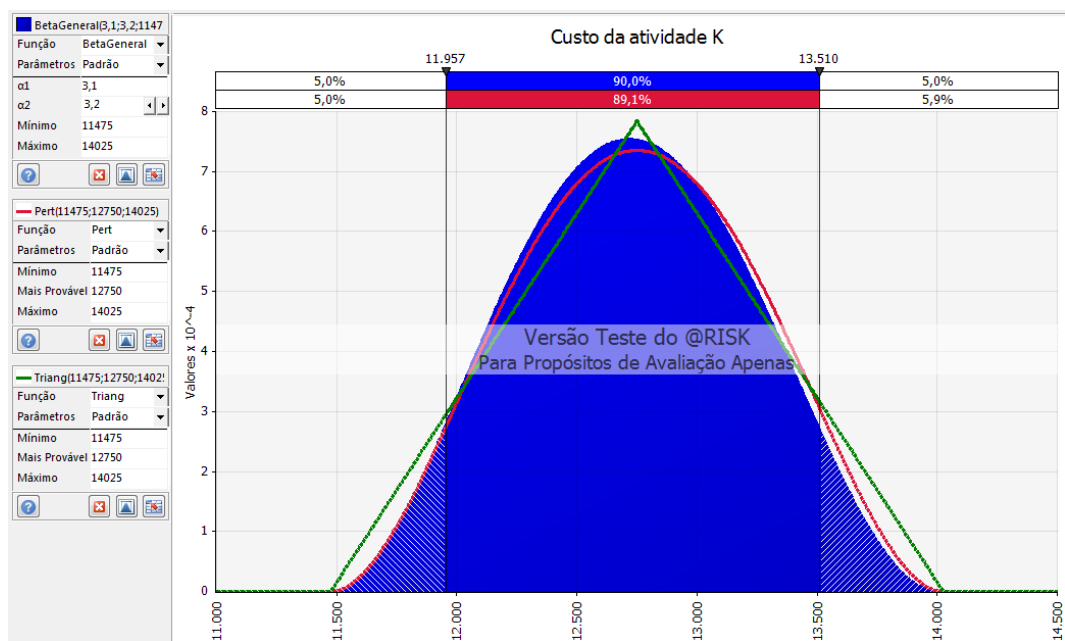


Figura A.14: Sobreposição das distribuições beta, PERT e triangular que expressam o custo real da atividade K.

Atividade	Distribuição Triangular			Distribuição PERT			Distribuição Beta			
	Mín.	Mais provável	Máx.	Mín.	Mais provável	Máx.	α	β	Mín.	Máx.
A	12092,90	12792,54	13495,27	12156,92	12799,87	13437,29	3.2	3.3	12156,18	13409,43
B	20149,64	21366,81	22506,18	20276,71	21366,57	22442,87	3.3	3.2	20326,98	22434,66
C	19321,55	20446,98	21584,51	19410,03	20445,53	21467,58	3.2	3.3	19420,39	21423,80
D	10339,24	10947,66	11548,49	10403,92	10959,14	11506,64	3.2	3.2	10415,71	11494,38
E	9631,46	10188,78	10758,22	9675,96	10199,86	10730,49	3.2	3.3	9682,23	10688,54
F	8356,47	8849,28	9334,49	8409,17	8853,88	9296,91	3.2	3.3	8408,87	9269,91
G	24146,79	25587,67	26988,26	24303,93	25614,79	26926,06	3.3	3.2	24416,97	26881,58
H	16147,21	17096,59	18035,35	16234,12	17112,92	17985,74	3.1	3.2	16235,46	17924,84
I	14322,98	15159,10	15985,97	14387,63	15147,27	15921,79	3	3.2	14350,77	15866,19
J	14078,46	14905,39	15734,74	14144,38	14901,43	15655,68	3.1	3.2	14138,32	15616,29
K	12040,25	12749,58	13457,59	12111,69	12754,56	13402,62	3.1	3.2	12083,60	13361,08

Tabela A.1: Parâmetros adotados na definição das distribuições triangular, PERT e beta que expressam o custo orçamentado de cada atividade do projeto (BAC_i)⁹.

⁹ Note-se que os valores mínimos, mais prováveis e máximos apresentados na Tabela A.1 correspondem, respectivamente, aos percentis P10, médias e percentis P90 da variável AC, obtidos através da simulação de Monte Carlo, quando a mesma estaria representada por uma distribuição triangular, PERT e beta.

Cenário	SV (€)			
	Perspetiva determinista	Perspetiva estocástica		
	Regras de Proporção	Média	P5	P95
1	1 610,83 €			
2	-8 698,17 €			
3	17 074,33 €			
4		-4 365,04 €	-7 635,92 €	-1 432,54 €
5		-3 947,36 €	-6 827,94 €	-1 269,68 €
6		-4 230,78 €	-8 079,31 €	-243,96 €
7		-4 397,39 €	-7 627,21 €	-1 443,25 €
8		-3 931,62 €	-6 812,15 €	-395,02 €
9		-4 296,45 €	-8 090,59 €	-288,00 €
10		-4 351,30 €	-7 644,35 €	-1 419,29 €
11		-3 909,77 €	-6 774,28 €	-1 221,69 €
12		-4 238,28 €	-8 052,92 €	-135,30 €
13		-4 353,05 €	-7 586,97 €	-1 364,24 €
14		-3 932,48 €	-6 819,65 €	-1 240,21 €
15		-4 279,01 €	-8 165,44 €	-216,41 €
16		-4 390,02 €	-7 629,66 €	-1 377,22 €
17		-3 963,45 €	-6 814,37 €	-1 224,27 €
18		-4 296,76 €	-8 130,21 €	-265,66 €
19		-4 351,70 €	-7 566,05 €	-1 387,77 €
20		-3 939,20 €	-6 835,57 €	-1 240,18 €
21		-4 233,65 €	-8 018,93 €	-204,14 €

Tabela A.2: Valores de SV, no momento de controlo, determinados segundo uma perspetiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (onde se apresentam os valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC).

Cenário	CV (€)			
	Perspetiva determinista	Perspetiva estocástica		
	Regras de Proporção	Média	P5	P95
1	1 614,35 €			
2	-8 694,65 €			
3	17 077,85 €			
4		-4 334,69 €	-8 454,78 €	-394,01 €
5		-3 917,01 €	-7 746,17 €	-143,06 €
6		-4 200,43 €	-8 807,59 €	-243,96 €
7		-4 389,06 €	-8 374,86 €	-601,39 €
8		-3 923,29 €	-7 635,83 €	-326,25 €
9		-4 288,12 €	-8 715,30 €	378,98 €
10		-4 316,52 €	-8 345,14 €	-538,66 €
11		-3 874,99 €	-7 537,61 €	-274,53 €
12		-4 203,50 €	-8 703,97 €	538,37 €
13		-4 414,03 €	-8 828,62 €	-153,55 €
14		-3 993,46 €	-8 083,54 €	24,85 €
15		-4 339,99 €	-9 151,03 €	519,99 €
16		-4 383,51 €	-8 570,01 €	-376,19 €
17		-3 956,95 €	-7 850,27 €	-95,65 €
18		-4 290,26 €	-8 902,85 €	483,90 €
19		-4 356,30 €	-8 457,89 €	-387,21 €
20		-3 943,81 €	-7 824,86 €	-225,26 €
21		-4 238,26 €	-8 812,41 €	535,26 €

Tabela A.3: Valores de CV, no momento de controlo, determinados segundo uma perspetiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (onde se apresentam os valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC).

Cenário	SPI			
	Perspetiva determinista	Perspetiva estocástica		
	Regras de Proporção	Média	P5	P95
1	1,016			
2	0,913			
3	1,171			
4		0,956	0,924	0,986
5		0,961	0,932	0,987
6		0,958	0,919	0,998
7		0,956	0,924	0,986
8		0,961	0,932	0,987
9		0,957	0,919	0,997
10		0,956	0,923	0,986
11		0,961	0,932	0,988
12		0,958	0,919	0,999
13		0,956	0,924	0,986
14		0,961	0,932	0,988
15		0,957	0,918	0,998
16		0,956	0,924	0,986
17		0,960	0,932	0,988
18		0,957	0,919	0,997
19		0,956	0,924	0,986
20		0,961	0,932	0,988
21		0,958	0,920	0,998

Tabela A.4: Valores de SPI, no momento de controlo, determinados segundo uma perspetiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (onde se apresentam os valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC).

Cenário	CPI			
	Perspetiva determinista	Perspetiva estocástica		
	Regras de Proporção	Média	P5	P95
1	1,017			
2	0,913			
3	1,171			
4		0,957	0,917	0,996
5		0,961	0,924	0,999
6		0,958	0,913	1,005
7		0,956	0,917	0,994
8		0,961	0,925	0,997
9		0,957	0,914	1,004
10		0,957	0,917	0,995
11		0,961	0,925	0,997
12		0,958	0,914	1,005
13		0,956	0,913	0,998
14		0,960	0,920	1,000
15		0,957	0,910	1,005
16		0,956	0,916	0,996
17		0,961	0,922	0,999
18		0,957	0,912	1,005
19		0,957	0,916	0,996
20		0,961	0,923	0,998
21		0,958	0,913	1,005

Tabela A.5: Valores de CPI, no momento de controlo, determinados segundo uma perspetiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (onde se apresentam os valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC).

Cenário	EACt (semanas)			
	Perspetiva determinista	Perspetiva estocástica		
	Regras de Proporção	Média	P5	P95
1	18,70			
2	20,81			
3	16,23			
4		19,88	19,28	20,57
5		19,79	19,24	20,39
6		19,85	19,05	20,99
7		19,88	19,28	20,57
8		19,78	19,24	20,39
9		19,87	19,05	20,67
10		19,87	19,27	20,57
11		19,78	19,24	20,38
12		19,85	19,03	20,67
13		19,87	19,26	20,56
14		19,79	19,24	20,39
15		19,86	19,04	20,69
16		19,88	19,26	20,57
17		19,79	19,23	20,39
18		19,87	19,05	20,68
19		19,87	19,27	20,56
20		19,79	19,24	20,39
21		19,85	19,04	20,66

Tabela A.6: Valores de EAC_t (em semanas) tendo em conta o índice de desempenho de execução registado no momento de controlo (AT= semana 9), os quais foram determinados segundo uma perspetiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (onde se apresentam os valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC).

Cenário	VAC assumindo a perspectiva mais provável (%)			
	Perspetiva determinista	Perspetiva estocástica		
	Regras de Proporção	Média	P5	P95
1	1,623%			
2	-9,530%			
3	14,599%			
4		-4,577%	-9,086%	-0,397%
5		-4,114%	-8,246%	-0,147%
6		-4,454%	-9,530%	0,484%
7		-4,635%	-9,008%	-0,609%
8		-4,120%	-8,131%	-0,333%
9		-4,549%	-9,427%	0,382%
10		-4,560%	-9,001%	-0,551%
11		-4,070%	-8,077%	-0,279%
12		-4,459%	-9,406%	0,543%
13		-4,671%	-9,503%	-0,156%
14		-4,204%	-8,658%	0,026%
15		-4,635%	-9,943%	0,537%
16		-4,162%	-9,226%	-0,384%
17		-4,556%	-8,403%	-0,098%
18		-6,712%	-9,667%	0,487%
19		-4,607%	-9,120%	-0,397%
20		-4,149%	-8,371%	-0,233%
21		-4,502%	-9,574%	0,543%

Tabela A.7: Valores de VAC (em %) calculados segundo uma perspectiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (onde se apresentam os valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC), tendo em conta o cenário que poderá ser mais provável no desenvolvimento dos trabalhos do projeto até à sua conclusão.

Cenário	VAC assumindo uma perspetiva pessimista (%)			
	Perspetiva determinista	Perspetiva estocástica		
	Regras de Proporção	Média	P5	P95
1	2,247%			
2	-14,370%			
3	18,493%			
4		-6,733%	-12,948%	-1,294%
5		-6,029%	-11,506%	-0,967%
6		-6,572%	-13,680%	0,212%
7		-6,808%	-12,959%	-1,437%
8		-6,027%	-11,498%	-1,108%
9		-6,703%	-13,681%	0,127%
10		-6,709%	-12,942%	-1,370%
11		-5,965%	-11,418%	-1,085%
12		-6,582%	-13,542%	0,274%
13		-6,826%	-13,265%	-1,042%
14		-6,116%	-11,979%	-0,821%
15		-6,764%	-14,101%	0,180%
16		-6,807%	-13,075%	-1,208%
17		-6,087%	-11,690%	-0,914%
18		-6,712%	-13,927%	0,162%
19		-6,757%	-12,907%	-1,220%
20		-6,061%	-11,734%	-1,045%
21		-6,623%	-13,755%	0,270%

Tabela A.8: Valores de VAC (em %) calculados segundo uma perspetiva determinista (EVM tradicional) e estocástica (onde se apresentam os valores médios, percentis P5 e P95 que resultaram da SMC), assumindo um cenário pessimista para o desenvolvimento dos trabalhos do projeto até à sua conclusão.