



TÉCNICO
LISBOA



ACADEMIA MILITAR
MILITARY ACADEMY

**Custo do ciclo de vida como ferramenta para a gestão
de ativos físicos – Aplicação ao aquartelamento Sede da
Academia Militar**

Emanuel Carvalho Gonçalves

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Militar

Orientador: Professor Doutor Vitor Faria e Sousa

Coorientador: Professor Doutor Carlos Paulo Oliveira da Silva Cruz

Júri

Presidente: Professor Doutor Augusto Martins Gomes

Orientador: Professor Doutor Vitor Faria e Sousa

Vogais: Professor Doutor Nuno Gonçalo Cordeiro Marques de Almeida

Tenente – Coronel Carlos Alberto Rocha Afonso

Outubro de 2016

Agradecimentos

A realização desta dissertação nunca seria possível sem o contributo individual de diversas pessoas.

Quero agradecer ao Professor Doutor Vitor Sousa toda a disponibilidade, prontidão, sentido de dever, conhecimento transmitido e, acima de tudo, paciência que teve comigo por forma a poder concluir este documento.

Agradeço ao Professor Doutor Carlos Oliveira Cruz o interesse demonstrado neste tema e a pronta disponibilidade em o acompanhar.

Agradeço ao Tenente-Coronel Rocha Afonso todas as portas me que abriu e que permitiram tanto a realização desta dissertação, como a conclusão do curso.

Agradeço ao Sargento Ajudante de Engenharia Santos a pronta disponibilidade sempre demonstrada, quando foram solicitados os dados para a realização da dissertação.

Agradeço ao Sargento Chefe Guerra a facilidade e disponibilidade apresentadas aquando da solicitação de dados presentes na DIE.

Agradeço ao meu camarada José Matos pela ajuda prestada durante a realização da dissertação.

Agradeço à Professora Olga Duarte o apoio prestado para esta dissertação.

Agradeço à AM o conhecimento diferenciado que me deu para que possa ser no futuro, melhor que do que sou no presente e do que era no passado.

Um enorme agradecimento aos 23 engenheiros que contribuíram para a minha formação como homem e como oficial do exército.

Um agradecimento aos 8 Engenheiros Militares que sempre me ajudaram a ultrapassar todos os obstáculos que foram surgindo no decorrer dos anos.

Agradeço mais particularmente à Ana Fernandes, Henrique Magalhães, Hugo Ramos, David Nabais e Humberto Cantante que nunca duvidaram que seria possível, e mantiveram um apoio incondicional, uma amizade cega e uma especial prontidão ao longo dos sete anos como aluno da AM.

Agradeço à Ana Panoias, Eva Nave e Raquel Fonseca toda a amizade, apoio, conforto e compreensão que demonstraram no decorrer desta minha etapa que agora termina.

O maior agradecimento do mundo à minha família, em especial à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão por tudo o que facultaram ao longo dos anos, de forma a tornar este percurso o menos acidentado possível. Toda a amizade, apoio e compreensão que sempre tiveram comigo.

Resumo

Os edifícios apresentam componentes e elementos que têm durabilidades variáveis, como tal é necessário compreender e prever de que forma as tomadas de decisão, feitas em cada fase dos empreendimentos, podem afetar o seu desempenho no que diz respeito ao ciclo de vida definido.

Se no passado se verificava uma aposta na construção massiva de edifícios, as alterações de diversos paradigmas que hoje se observam, com enfoque no económico, levaram a que a estratégia adotada passasse a ser vocacionada para a gestão do património existente.

Ao nível das Forças Armadas, e em particular na Academia Militar, tem-se verificado um aumento com a preocupação do seu parque edificado, levando a que se procurasse uma melhor gestão dos seus ativos e do seu património, por forma a fazer face aos desafios que se apresentam no presente e se colocarão no futuro.

O objetivo do presente trabalho visou a elaboração de uma metodologia de apoio à análise do CCV (Ciclo do Custo de Vida), e a sua aplicação prática a um edifício da Sede da Academia Militar, com o objetivo de possibilitar uma ferramenta à gestão de ativos físicos.

A análise feita permitiu detetar aqueles que são os principais gastos no edifício bem como a sua repartição. Realizou-se ainda uma previsão de intervenções a executar no mesmo, bem como um modelo de degradação com vista a estimar a periodização de intervenção no revestimento da fachada exterior.

Foram sugeridas duas medidas que levam à diminuição do custo do ciclo de vida do edifício estudado.

Palavras Chave:

Custo do ciclo de vida, gestão de ativos físicos, ativo físico, manutenção.

Abstract

Buildings have components and elements that have variable durabilities, that is why it is necessary to understand and predict how the decision-making, done in each phase of the projects, may affect its performance in relation to the defined life cycle.

If in the past the main goal was the massive construction of buildings, the changes in several paradigms that are happening today, with a focus on the economic one, led to the management of the existent asset management as the adopted strategy.

At the level of the Armed Forces, particularly the Military Academy, there has been an increase in the interests of its building stock, which results in searching for a better management of its assets and its heritage in order to meet the challenges which arise in the present and will be placed in the future.

The aim of this research was the development of a methodology for the analysis of the LCC (Life Cycle Cost) and its practical application to a building of the headquarters of the Military Academy, with the aim of providing a tool for the management of physical assets.

The analysis enabled to detect those who are the main expenses in the building as well as its distribution. It was also carried out an interventions forecast to implement on the building, as well as a degradation model in order to estimate the periodization of intervention in the coating on the outer facade.

Two measures were suggested that lead to a decrease in the cost of the life cycle of the building studied.

Keywords:

Life cycle cost, management of physical assets, physical asset, maintenance.

Índice do Texto

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice do Texto	vii
Índice de Quadros.....	ix
Índice de Figuras	xi
Lista de Acrónimos e Siglas	xiii
1. Introdução.....	1
1.1. Considerações iniciais	1
1.2. Objetivo e metodologia	2
1.3. Organização da dissertação.....	2
2. Estado da Arte	3
2.1. Considerações gerais	3
2.2. Gestão de Ativos	5
2.3. Custo do ciclo de vida.....	7
2.3.1. Conceitos	7
2.3.2. Modelos e ferramentas	8
3. Metodologia	13
3.1. Formulação.....	13
3.2. Passos.....	15
4. Caso de estudo	27
4.1. Descrição	27
4.2. Dados de Base	27
4.2.1. Informação documental	28
4.2.2. Levantamentos.....	34
4.3. Custo do Ciclo de Vida.....	34
5. Considerações Finais.....	53
5.1. Conclusões.....	53
5.2. Propostas de trabalho futuro	54
Bibliografia.....	55
Anexos	A.1
Anexo A – Modelo de degradação.....	A.3

Índice de Quadros

Quadro 3.1 - Visão geral dos passos da metodologia adotada.....	13
Quadro 3.2 - Aplicações típicas do CCV (Langdon 2007)	15
Quadro 3.3 - Conteúdo do relatório final (Adaptado Rodrigues, 2014)	25
Quadro 4.1 - Consumos de água por aluno estimados nas I.S. e na casa das máquinas	39
Quadro 4.2 - Equipamentos consumidores de energia elétrica nas diferentes divisões	41
Quadro 4.3 - Definição dos níveis de degradação (Adaptado Magos, 2015)	43
Quadro 4.4 - Correspondência entre severidade e condição (Adaptado Chai, 2011).....	43
Quadro 4.5 - Estimativa de custos e periodicidade das intervenções	48
Quadro A.1 - Codificação das variáveis categóricas	A.4
Quadro A.2 - ANOVA modelo base	A.8
Quadro A.3 - Coeficientes de regressão do modelo base	A.8
Quadro A.4 - ANOVA modelo otimizado.....	A.8
Quadro A.5 - Coeficientes de regressão do modelo otimizado	A.9
Quadro A.6 - ANOVA modelo linear final	A.9

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Diferentes fases do ciclo de vida (ISO 15686-5)	7
Figura 2.2 - Atividades desenvolvidas nas etapas do CCV (Adaptado WERF, 2011)	10
Figura 2.3 - Metodologia adotada pela SIMPLE	12
Figura 3.1 - Principal processo do CCV (Langdon, 2007b)	13
Figura 3.2 - Nível de análise (Adaptado de Rodrigues, 2014)	17
Figura 3.3 - Capacidade para influenciar os custos ao longo do tempo (Adaptado de Brito & Gaspar, 2004).....	18
Figura 3.4 - Conceito de elemento de custo (Adaptado IEC 60300-3-3).....	21
Figura 3.5 - Categorias de Custos (Adaptado ISO 15686-5, 2008).....	22
Figura 4.1 – Aquartelamento sede da AM.....	29
Figura 4.2 - Evolução da despesa anual de água no aquartelamento (€)	29
Figura 4.3 - Evolução da despesa anual de eletricidade no aquartelamento (€)	30
Figura 4.4 - Evolução da despesa anual de gás no aquartelamento (€)	31
Figura 4.5 - Edifício de internato dos alunos alvo de análise	32
Figura 4.6 - Planta das I.S.....	32
Figura 4.7 - Evolução da despesa mensal com água ao longo do ano (€).....	33
Figura 4.8 - Evolução da despesa mensal com eletricidade ao longo do ano (€).....	33
Figura 4.9 - Evolução da despesa mensal com gás ao longo do ano (€).....	33
Figura 4.10 - Categorias de custos para análise	36
Figura 4.11 - Variação da taxa de inflação referente às categorias de custos analisadas (1993-2015).....	37
Figura 4.12 - Divisão do consumo de água no edifício.....	40
Figura 4.13 - Distribuição do consumo elétrico por divisão	41
Figura 4.14 - Distribuição do consumo elétrico nos quartos	42
Figura 4.15 Processo adotado para atualização dos custos existentes na análise do CCV	45
Figura 4.16 - Análises de sensibilidade efetuadas	46
Figura 4.17 - Avaliação do risco – Gráficos de frequência acumulada	47
Figura 4.18 - Custos atualizados a 2015 das alternativas estudadas	49
Figura 4.19 - Evolução dos custos no edifício ao longo dos anos (cenário base)	49
Figura 4.23 Repartição dos encargos no edifício no cenário base	50
Figura 4.21 - Comparação do CCV entre o cenário base e a substituição de lâmpadas.....	51
Figura 4.22 - Comparação do CCV entre o cenário base e a adoção de redutores de caudal ..51	
Figura 4.23 - Repartição dos encargos no edifício após substituição de lâmpadas	52
Figura 4.24 - Repartição dos encargos no edifício após adoção de redutores de caudal.....	52
Figura A.1 - Modelo polinomial da degradação de pinturas exteriores.....	A.3
Figura A.2 - Importância relativa das variáveis significativas.....	A.5
Figura A.3 - Sinal das variáveis significativas	A.6
Figura A.4 - Influência das variáveis significativas	A.7

Lista de Acrónimos e Siglas

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AM – Academia Militar

CAE – Custo Anual Equivalente

CAL – Custo Atual Líquido

CCV – Custo do Ciclo de Vida

DIE – Direção de Infraestruturas

EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

GA – Gestão de Ativos

IS – Instalações Sanitárias

LCC – Life Cycle Cost

LED – Light Emitting Diode

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

PME's – Pequenas e Médias Empresas

SIMPLE - Sustainable Infrastructure Management Program Learning Environment

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

VAL – Valor Atual Líquido

1. Introdução

1.1. Considerações iniciais

Os edifícios são construídos para providenciar aos seus proprietários ou ocupantes apoio para uma variedade de finalidades. Entre essas finalidades incluem-se o abrigo para pessoas e bens e/ou proporcionar um ambiente propício para a realização de um vasto leque de atividades (e.g., educação, saúde, lazer, serviços, comércio, produção). Desta diversidade de funções desempenhadas emergiram diferentes tipos de edifícios, tais como residenciais, hospitalares, escolares, militares, comerciais, industriais, entre outros.

A construção de um edifício representa, usualmente, um investimento avultado com uma vida útil que se pode estender por várias gerações. Estes investimentos são feitos com o intuito de que haverá benefícios decorrentes de novas funcionalidades, maior produtividade, melhoria das condições de vida e maior prosperidade para as comunidades em geral.

Os edifícios são compostos por componentes e elementos de durabilidade variável, cuja falha prematura pode comprometer o desempenho do sistema como um todo, e apresentam uma dinâmica própria associada à evolução do uso que lhes é dado. Como tal, é fundamental tentar compreender e prever de que forma as decisões tomadas em cada fase dos empreendimentos (planeamento, conceção, construção, operação, manutenção, reabilitação, fim de vida) afetam o seu desempenho à escala do ciclo de vida definido.

A preocupação com o ciclo de vida dos edifícios e infraestruturas de engenharia sempre esteve presente na prática da engenharia. Mas se durante o século passado se assistiu a uma intensa construção de edifícios e infraestruturas de engenharia para suprimir o défice existente, a alteração desse contexto bem com dos paradigmas políticos, sociais e, fundamentalmente, económicos que se têm vindo a verificar ao longo das últimas décadas motivaram a transição para uma maior relevância na gestão do património existente em detrimento da construção nova.

Face à diversidade de soluções atualmente existentes (e.g., sistemas construtivos, componentes de edifícios, materiais), a complexidade dos fenómenos com influência no desempenho físico (e.g., durabilidade dos materiais) e funcional (e.g., alteração dos usos e valores) dos componentes e elementos, e todos os constrangimentos e incertezas relativas a projeções para períodos ao nível da escala temporal do ciclo de vida dos edifícios e infraestruturas de engenharia, a gestão de ativos construídos revela-se um desafio complexo que requer contribuições de diferentes áreas.

Os edifícios públicos – edifícios governamentais, instalações de saúde, escolas, instalações correcionais – constituem uma classe particular de ativos construídos de suporte aos estilos de vida essenciais a qualquer comunidade segundo os padrões da sociedade ocidental moderna. A nível nacional, a maioria destas instalações eram tradicionalmente ativos públicos administrados pelas autoridades públicas, e cujas decisões sobre a forma como são usados, operados, mantidos, demolidos ou mesmo substituídos, podem ter grandes consequências para as comunidades. Com isto, torna-se importante a gestão dos ativos de forma a tornar cada vez mais eficaz o controlo dos custos procurando maximizar o valor gerado pelo ativo no seu todo.

Ao nível das Forças Armadas, a preocupação crescente com os recursos das unidades passou a ser um ponto-chave na política de cada uma. Neste contexto, uma instituição como a Academia Militar (AM), com objetivos e vivências específicas, não pode ficar alheia ao problema e deve pautar pela melhoria contínua da gestão dos seus ativos e da preservação do seu património de modo a fazer face aos desafios que se lhe colocam agora e no futuro. Ao nível dos edifícios no aquartelamento da AM torna-se crítico adotar uma abordagem holística que permita tomar as melhores decisões tendo em consideração o ciclo de vida dos ativos como um todo e avaliando a influência dos constrangimentos e incertezas que existem em qualquer cenário.

1.2. Objetivo e metodologia

O objetivo desta dissertação consiste em compreender e aplicar o conceito de custo do ciclo de vida (CCV) de forma a perceber como este pode ser fulcral na ajuda da tomada de decisão relativa a um ativo.

Para tal, são apresentadas três metodologias diferentes que pretendem ser uma ferramenta no auxílio da análise a realizar.

A realização do estudo do caso prático, aplicado a um edifício da AM – Sede, será baseado nessas metodologias.

O edifício alvo da análise já se encontra construído, sendo necessária a recolha de todos os dados necessários para a sua compreensão. O contexto em que este está inserido influenciará as decisões a tomar.

Tendo em conta os dados recolhidos sobre o edifício, pretende-se ainda a apresentação da evolução da degradação, ou o decréscimo de desempenho, dos componentes e serviços que o constituem.

1.3. Organização da dissertação

A dissertação apresentada encontra-se dividida em cinco capítulos principais.

No primeiro capítulo, a introdução, são tecidas umas breves considerações acerca do tema do presente documento.

Após o capítulo inicial, surge o estado da arte. Neste capítulo são apresentados os conceitos e os modelos e ferramentas que servirão de base para o desenrolar da dissertação, fundamentando as opções tomadas.

O terceiro capítulo pretende expor a metodologia proposta para a análise que se pretende efetuar ao caso de estudo.

Após a apresentação da metodologia proposta, o capítulo quatro descreverá o caso de estudo, apresentando todas as suas vertentes, e aplicará a metodologia enunciada no capítulo anterior.

O capítulo cinco encontra-se reservado para as conclusões retiradas da elaboração do trabalho, bem como para a apresentação de propostas de desenvolvimento futuro que sirvam para complemento deste.

2. Estado da Arte

2.1. Considerações gerais

Na Europa, o setor da construção desempenha um papel importante na economia, gerando aproximadamente 10% do PIB e garantindo 20 milhões de empregos, fundamentalmente nas pequenas e médias empresas (PME's) (European Commission, 2012). Segundo dados do Eurostat relativos a 2011 e disponibilizados pela Comissão Europeia, o setor da construção foi dos que mais se ressentiu, atingindo quedas de 16% entre janeiro de 2008 e novembro de 2011 (European Commission, 2012).

A Comissão Europeia estabeleceu então objetivos a curto prazo que visavam o apoio ao crescimento e ao emprego neste setor, bem como objetivos a longo prazo que pretendiam uma aproximação articulada e coordenada ao nível europeu de forma a melhorar a cadeia de valor (*value chain*), particularmente através de parcerias voluntárias entre os setores públicos e privados. No comunicado enviado pela Comissão ao Parlamento e Conselho Europeus, é visível ainda o estabelecimento de outras medidas a serem tomadas no imediato, como a renovação e a manutenção dos edifícios, que representa uma importante parte do total de produção e emprego na construção. Segundo este comunicado, a taxa média de renovação de edifícios existentes é de 1,2% por ano, pretendendo-se atingir uma renovação anual de 3%, respeitantes a edifícios do governo central, bem como 2% da totalidade do parque habitacional. Estas alterações contribuiriam para assegurar um crescimento económico e laboral a um nível local por toda a União Europeia (European Commission, 2012).

Em Portugal, a taxa de crescimento da construção residencial acompanhou a evolução decrescente registada na Europa durante o período de 2008-2010. Fatores como o rendimento das famílias, o mercado de trabalho e também as taxas de juro, foram determinantes nesta evolução (Nunes, 2011). Segundo dados disponibilizados pelo Euroconstruct, Portugal registou das maiores quedas que se verificaram nesta vertente, apresentando uma taxa de crescimento de 1% apenas em 2013, contrastando com os 3% apresentados pelos outros países. Relativamente à construção não residencial, Portugal apresentou uma queda de 6% até 2011, registando um crescimento de 2% a partir de 2012. (Nunes, 2011) A manutenção e a reabilitação, a partir desse ano, passaram a adquirir maior importância em Portugal. Este segmento, sendo já alvo de forte evolução em outros países, apresenta-se como um desafio em Portugal, principalmente no que diz respeito às PME's deste setor, tendo estas que enfrentar uma alteração da estrutura produtiva a este nível (Nunes, 2011).

Para muitas organizações os edifícios representam uma parcela significativa das suas operações. Nos EUA, o investimento na construção de edifícios não-residenciais ascendeu a mais de 300 mil milhões de dólares, em 2014 (United States Census Bureau, 2015). Adicionalmente, os custos operacionais apenas com os edifícios governamentais representaram mais de 21.5 mil milhões de dólares em 2013 (U.S. General Services Administration, 2015). De facto, os edifícios exigem investimentos iniciais elevados e acarretam encargos significativos com a sua operação, manutenção e reabilitação/renovação para manter a adequabilidade física e funcional ao longo do seu ciclo de vida.

Mesmo com disponibilidade financeira, a gestão de edifícios é um problema complexo e os efeitos da alocação inadequada de fundos encontra-se bem documentada, especialmente no caso de

edifícios públicos. Nos EUA, a American Society of Civil Engineers reporta que a condição global das infraestruturas públicas é de apenas D+, equivalente a uma classificação de “Inadequado” (American Society of Civil Engineers, 2013).

Perante o cenário de envelhecimento das infraestruturas em muitos países desenvolvidos, entre os quais Portugal, associado a uma estabilização da necessidade de novas infraestruturas e os constrangimentos em termos de consumos de recursos (e.g., materiais, financeiros, energéticos), assiste-se a uma transição de uma parcela significativa do investimento em construção nova para a reabilitação das construções existentes (Cohen, 2004; Laefer & Manke, 2008).

Num âmbito mais alargado da construção sustentável, as metodologias da gestão de ativos físicos têm vindo a ganhar um relevo crescente. Estas têm sido implementadas há décadas no domínio das infraestruturas, incluindo estradas e pavimentos (U.S. Department of Transportation, 2015), pontes (Dabous & Alkass, 2008), caminhos de ferro (Construction Engineering Research Laboratory, 2012) e redes de tubagens (Simonoff, Restrepo, & Zimmerman, 2010).

Em Portugal destaca-se o sector da água, onde a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) em parceria com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) elaboraram um guia técnico com vista “apoiar as entidades gestoras a implementar de forma adequada as metodologias de gestão patrimonial de infraestruturas” com o objetivo de melhorar continuamente “no sentido da consolidação e sofisticação do sistema de gestão patrimonial de infraestruturas” (Almeida & Cardoso, 2010). O guia elaborado pela ERSAR e pelo LNEC proporciona “um instrumento de trabalho para as entidades gestoras”, ficando incumbido a elas a aplicação prática do mesmo (Almeida & Cardoso, 2010). O forte investimento que foi feito desde 1993 em sistemas de abastecimento de água, saneamento de águas residuais e gestão de resíduos urbanos, requer que no presente sejam redirecionados esforços para uma adequada gestão dessas infraestruturas (Almeida & Cardoso, 2010).

Neste âmbito, a Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL) “desenvolveu um Sistema de Gestão das suas (infra)estruturas, assente no desenvolvimento de uma metodologia de avaliação e monitorização física dos ativos de construção civil” tendo em consideração o ciclo de vida destes, realizando inspeções sistemáticas e periódicas (EPAL, 2016). Os objetivos pretendidos pela empresa passam por “assegurar a fiabilidade e segurança na Exploração dos Ativos”, “Maximizar o ciclo de Vida dos Ativos” e “Minimizar o custo de manutenção/investimento ao longo do ciclo de vida dos Ativos” (EPAL, 2016).

No contexto dos edifícios, a sua implementação tem-se registado a um ritmo mais lento em grande medida devido ao desafio que representa a implementação de uma abordagem consistente a todos os domínios envolvidos nos edifícios. A coexistência dos vários sistemas e componentes que integram os edifícios (e.g., estrutural, elétrico, climatização, abastecimento e drenagem de águas, etc.) podem apresentar dimensões, tipologias, configurações e soluções tecnológicas muito diversificadas, tornando-os frequentemente casos únicos (Grussing, 2015). Adicionalmente, as crescentes preocupações com sustentabilidade têm contribuído para reforçar a relevância da gestão de ativos físicos em edifícios (Shami, 2008; Shipley, Utz, & Parsons, 2006).

A gestão de ativos físicos implica uma abordagem tendo em consideração o ciclo de vida, que pode ser definido de diferentes formas consoante o ativo, as partes interessadas e o contexto particular

do empreendimento (e.g., numa concessão a vida útil é usualmente definido como o menor entre a vida útil do ativo ou o prazo da concessão). Tem sido comum o recurso a metodologias de custos ciclo de vida (*life cycle costing*), como a ferramenta para ter em consideração o ciclo de vida do ponto de vista financeiro, e as metodologias de avaliação do ciclo de vida (*life cycle assessment*), como a ferramenta para ter em consideração o ciclo de vida do ponto de vista ambiental. A análise do custo do ciclo de vida é usada como sendo um critério de decisão e otimização na procura entre o melhor compromisso entre tempo, custo e desempenho (Özkil, 2003). A maioria das análises do CCV desenvolvem-se segundo um processo que contempla seis passos (National Research Council, 1991):

- Definição dos objetivos;
- Identificação das alternativas;
- Definição de hipóteses;
- Benefícios do projeto e custos;
- Avaliação das alternativas;
- Decisão entre as alternativas.

A análise do custo do ciclo de vida torna-se mais eficiente quando acontece numa fase inicial do projeto, de forma a otimizar os custos de construção e manutenção. Contudo, deve também ser usada nas fases de manutenção e operação para que haja uma otimização das estratégias de manutenção e uma simplificação da afetação eficiente dos recursos. Em suma, todas as empresas devem, formalmente, reconhecer a gestão dos custos do ciclo de vida como um elemento básico e essencial da política operacional das mesmas (National Research Council, 1991).

A Academia Militar não ficou indiferente às mudanças registadas, e no seu plano estratégico 2012-2016, mais particularmente no tópico da sustentação, referiu como áreas fundamentais de interesse a segurança, os materiais, as infraestruturas e a parte financeira, tendo sempre como base uma preocupação com a manutenção, conservação e otimização dos materiais e infraestruturas, bem como a promoção de uma sustentabilidade financeira (Academia Militar, 2012).

2.2. Gestão de Ativos

A gestão eficaz dos ativos, deixou de ser opcional. As sociedades são confrontadas com desafios importantes relacionados com a gestão de ativos (GA) (Davis, n.d.):

- as economias emergentes estão a tentar identificar os investimentos que provoquem menores custo/maiores retornos, de forma a alcançar um benefício máximo no imediato;
- os países desenvolvidos procuram perceber o CCV das suas infraestruturas;
- as economias mais maduras, estão a tentar encontrar formas de aumentar a vida das suas infraestruturas e também satisfazer os principais desafios, como as alterações climáticas.

Um ativo físico representa elementos como edifícios, infraestruturas (condutas de água, linhas férreas, túneis de metro) e ativos industriais (plataformas petrolíferas, indústrias químicas) (Davis, n.d.).

Sendo um assunto em crescente ao longo dos anos, procurou-se normalizar a gestão de ativos, isto é, criar normas que possam ser aplicadas em qualquer organização onde os ativos físicos são um fator chave, ou crítico, no alcance dos objetivos da mesma. Como tal, em 2004 foi criada a PAS 55 (Publicly Available Specification) tendo sido revista em 2008.

Em 2014, surge a família ISO 55000, que está repartida em três normas distintas:

- ISO 55000, que visa a especificação dos conceitos e terminologias sobre a GA;
- ISO 55001, que apresenta os requisitos para sistemas de GA;
- ISO 55002, que serve como guia de interpretação e implementação da ISO 55001.

Analisando os documentos anteriores, pode-se concluir que a gestão de ativos reúne o conhecimento e as ferramentas que uma organização necessita de forma a alcançar os seus objetivos através do uso dos seus ativos (IAM, 2014).

A ISO 55000 estabelece fatores importantes para alcançar o supracitado:

- a natureza e o propósito da organização;
- o seu contexto operacional;
- as suas restrições financeiras e os requisitos regulamentares;
- as necessidades e expectativas da organização e dos interessados.

Tendo em consideração a informação que consta nas normas acima identificadas, uma boa gestão de ativos é:

- multidisciplinar;
- sistemática;
- orientada para os sistemas;
- baseada no risco;
- ideal;
- sustentável;
- integral.

Numa organização de gestão de topo, os seus funcionários e as partes interessadas devem implementar o que está planeado, controlar as atividades e monitorizar as mesmas, de forma a explorar as oportunidades e reduzir os riscos a um nível aceitável (ISO 55000, 2014).

A GA envolve o equilíbrio entre os custos, as oportunidades e os riscos, com o desempenho do ativo, de forma a alcançar os objetivos organizacionais (ISO 55000, 2014). Uma GA permite que uma organização avalie a necessidade e a performance dos ativos a diferentes níveis. Adicionalmente, é possível ainda a aplicação de abordagens analíticas relativamente à gestão de um ativo ao longo das diferentes etapas do seu ciclo de vida.

2.3. Custo do ciclo de vida

2.3.1. Conceitos

Uma análise de custos engloba bastantes parâmetros que vão desde os mais gerais até aqueles que são mais específicos e particulares.

No caso dos ativos físicos construídos, existem custos diretamente associados ao terreno de construção e custos financeiros que imergem nos diferentes impactos económicos que podem surgir. Podem ainda existir custos que resultem da recuperação de materiais ou de impostos sobre os rendimentos (ISO 15686-5, 2008).

O conjunto dos valores atrás referidos, que englobam custos não relacionados com a construção, rendimentos obtidos, algum tipo de externalidade que possa advir e os custos do ciclo de vida estão na base dos custos totais do ciclo de vida (WLC - *Whole life costs*) ou custo total de ciclo de vida. Podem-se definir estes tipos de custos como todos aqueles que são significativos e relevantes, seja numa fase inicial ou numa fase futura de um ativo, durante o seu ciclo de vida, enquanto satisfazem os requisitos de desempenho (ISO 15686-5, 2008). O custo do ciclo de vida (CCV, ou LCC - *Life cycle cost* em inglês), é o custo que um produto acumula ao longo do seu ciclo de vida. Este ciclo de vida engloba todas as operações que ocorrem desde a sua aquisição, passando pelas fases de operação e manutenção até ao seu fim de vida (Langdon, 2007b). A Figura 2.1 enquadra os conceitos anteriores. Nela também são apresentadas as diferentes fases que compõem o ciclo de vida de um ativo construído.

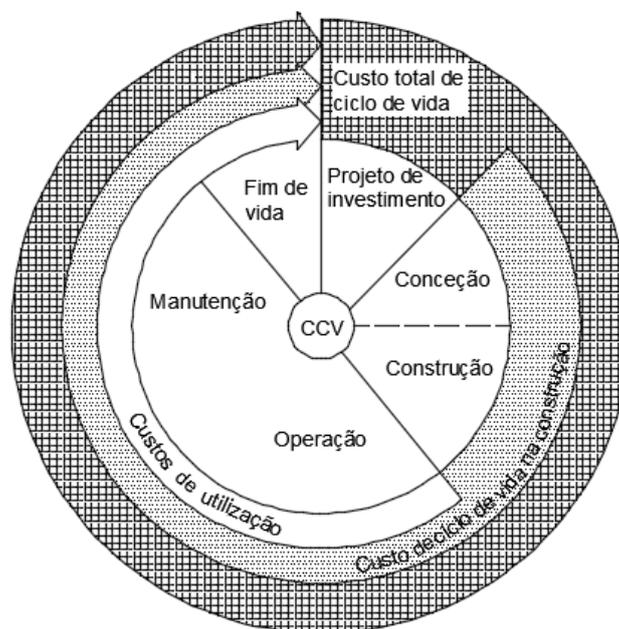


Figura 2.1 - Diferentes fases do ciclo de vida (ISO 15686-5)

Um ativo terá a sua desativação quando se verificar que este deixa de providenciar um determinado nível de serviço que é exigido. Contudo, determinados ativos alcançam o seu fim de vida mesmo antes de se tornarem não funcionais. Tal acontece quando ocorrem mudanças de

regulamentações, o ativo em questão se torna uma despesa ou até mesmo quando aumenta a exigência de serviço para este (WERF, 2011).

A preocupação ambiental, que regista um crescente nos últimos anos, tem de estar sempre incluída em todos os custos anteriormente referidos. Como tal, surge o conceito de avaliação do ciclo de vida (ACV, ou LCA - *life cycle assessment* em inglês) que é um método de avaliação e medição do impacto que provoca um produto, um sistema ou uma atividade no ambiente (ISO 15686-5, 2008).

2.3.2. Modelos e ferramentas

A importância da consideração do custo do ciclo de vida de um produto numa fase inicial, prende-se com o facto de este apresentar diferentes alternativas/opções a um determinado cliente, para que se consigam obter custos iniciais satisfatórios, bem como prever possíveis custos que possam surgir nas fases subseqüentes a esta. Uma visão mais alargada sobre o impacto positivo que se obtém aquando da realização de uma análise acerca do custo do ciclo de vida de um produto, permite perceber que este depende de fatores como o ativo em questão, o cliente e mesmo as circunstâncias em que se está a realizar o projeto (Langdon, 2007b).

Contudo, ainda é possível perceber que há uma elevada tendência, por parte de quem adquire um bem, em optar por uma solução economicamente mais viável em prol de uma solução que seria melhor para o ambiente e para a sociedade. Alternativas como estas requerem que haja, na altura da aquisição, um maior investimento monetário. De forma a proceder a uma mudança de pensamento ao nível do que foi anteriormente referido, é necessário que aconteça uma definição dos objetivos ambientais, sociais e económicos em cada fase do processo de aquisição (Perera, Morton, & Perfrement, 2009).

Uma análise do CCV deve incidir fundamentalmente em elementos (e.g. edifícios e infraestruturas de engenharia civil) que apresentem um elevado custo de capital, possam permitir uma poupança de energia, de água e de resíduos e ainda aqueles que possibilitem uma redução dos custos de manutenção e custos de operação (Willmott Dixon, n.d.).

É importante considerar quatro fases distintas (WERF, 2011) que apresentam diferentes etapas para uma análise do CCV (Figura 2.2).

A norma ISO 15686-5:2008 representa o consenso internacional relativamente à análise do custo do ciclo de vida para ativos construídos. Os CCV são divididos nas categorias de construção, operação, manutenção e fim de vida. Cada categoria inclui um leque diversificado de custos incluindo (ISO 15686-5, 2008):

- construção – pretende incidir, por exemplo, em trabalhos temporários que possam acontecer (e.g. limpeza do terreno), taxas relativas a bens de construção e serviços e também a adaptações iniciais que possam ter de acontecer no ativo;
- operação - o foco deve estar centrado nos custos que possam existir com o aluguer, seguros, custos relacionados com operações regulamentares (controlo de incêndio) e mesmo o custo relacionado com todos os serviços que existem, ou possam existir, num edifício (combustível para cozinhar, aquecimento, energia, água);

- manutenção - tem como enfoque as alterações que ocorrem, ou poderão ocorrer, ao longo do ciclo de vida do ativo. As inspeções cíclicas, a adaptação ou substituição do ativo em uso, as pequenas e grandes reparações e mesmo as limpezas do ativo, são exemplos de etapas que ocorrem nesta fase;
- fim de vida - tem como objetivo analisar os custos inerentes à eliminação final do ativo ou substituição da sua finalidade.

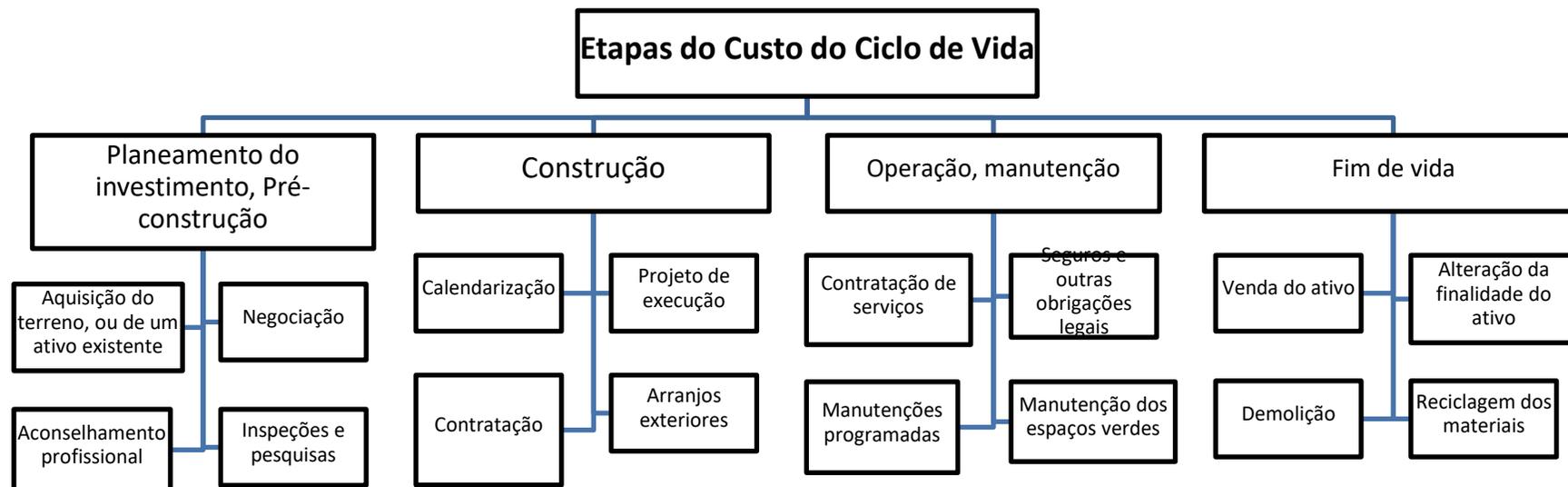


Figura 2.2 - Atividades desenvolvidas nas etapas do CCV (Adaptado WERF, 2011)

Baseado na norma acima referida, a consultora Davis Langdon em 2007 apresentou uma metodologia preparada para incidir sobre o setor público e o setor privado. Esta apresenta quinze passos fundamentais a seguir, bem como os resultados que se devem esperar após a conclusão de cada um deles, podendo ser resumidos em: numa primeira fase a análise do CCV deve começar pela definição do objetivo da sua aplicação e posteriormente, proceder-se à identificação dos requisitos dos parâmetros bem como a análises e confirmação das exigências do projeto e do ativo. No fim desta etapa definem-se as opções para análise. A fase seguinte destina-se a reunir os custos envolvidos e os dados de desempenho já conhecidos de modo a serem utilizados na análise. Após a reunião dos dados supracitados, procede-se à finalização dos parâmetros para análise. Numa fase final é realizada a análise do CCV e são expostos os resultados. Por fim, uma última fase destinada à interpretação dos resultados obtidos, bem como à apresentação de um relatório final.

Uma das notas importantes deixadas para a aplicação da metodologia, sugere que existe a possibilidade de combinar etapas entre si, isto é, adaptar a metodologia à dimensão do projeto, à etapa do projeto e ainda ao nível de detalhe exigido (Langdon, 2007b).

A consultora apresenta no fim da publicação, seis casos de estudo prático para a aplicação desta metodologia. O processo de análise do CCV é semelhante em todos os seis casos de estudo, cinco deles são alusivos ao setor público e um caso de estudo está destinado ao setor privado.

Uma outra hipótese de análise é a apresentada pela *Sustainable Infrastructure Management Program Learning Environment (SIMPLE)* que expõe uma proposta de metodologia que se baseia nas seguintes etapas fundamentais (WERF, 2011):

- definição dos fundamentos do projeto;
- desenvolvimento de dados relacionados com o CCV para cada opção de projeto (determinar a discriminação dos custos de modo a saber quais os que são relevantes para a análise, determinar o método de estimativa dos custos para cada elemento do CCV...);
- analisar cada opção (desenvolver o CCV de cada alternativa e estipular um fundamento analítico que permita fazer comparações);
- análise documental;
- revisão e término das projeções do CCV.

A metodologia apresentada pela SIMPLE pretende incidir fundamentalmente em quatro objetivos:

- minimizar os custos totais de posse das infraestruturas de serviços para os seus clientes, apresentando um nível desejado de desempenho;
- apoiar considerações de gestão que afetem decisões durante qualquer fase do ciclo de vida;
- identificar os atributos dos ativos com uma influência significativa nos fatores do CCV, de modo a que estes possam ser eficazmente geridos;

- identificar as necessidades de capital para os projetos;

A Figura 2.3 ilustra a metodologia adotada pela SIMPLE.

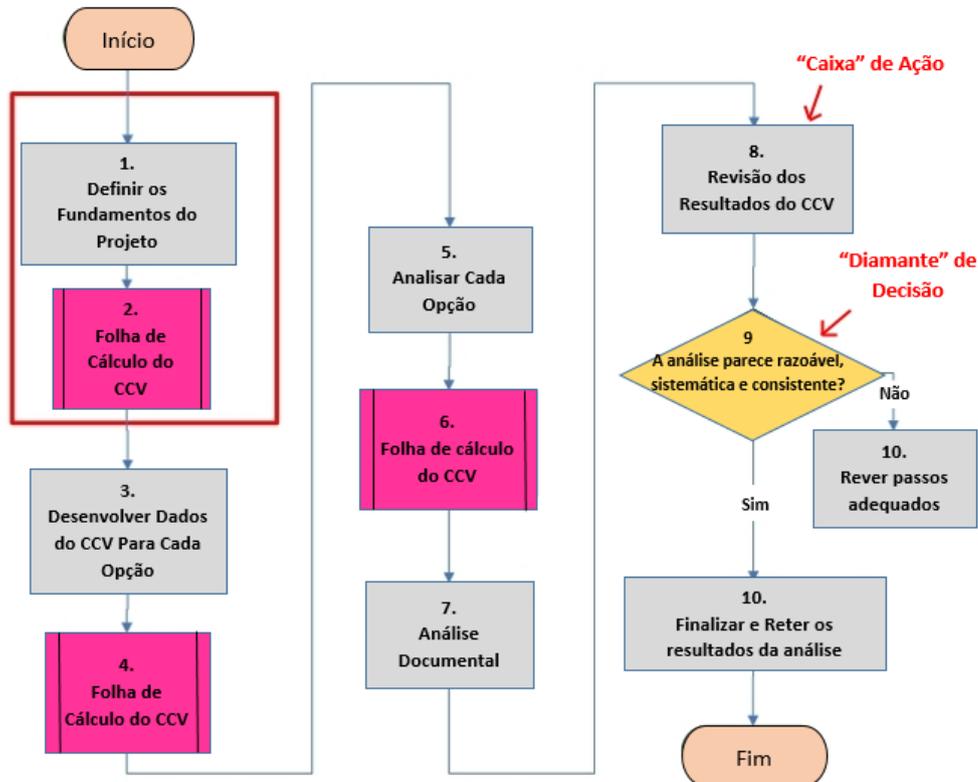


Figura 2.3 - Metodologia adotada pela SIMPLE

Este esquema retrata os cinco passos atrás enunciados em que se baseia a metodologia.

O primeiro passo encontra-se, na Figura 2.3, rodeado a vermelho e compreende duas “caixas”, uma de ação e uma que conduz diretamente a uma ficha de trabalho. Para o segundo e terceiro passo acontece exatamente o mesmo que o referido anteriormente, sendo que o item 3. e 4. são relativos ao segundo passo e o 5. e o 6. relativos a terceiro passo. O item 7. é respeitante ao quarto passo da análise e os restantes dizem respeito ao último passo desta.

Dentro de cada “caixa” de ação encontram-se as tarefas que devem ser desempenhadas nessa fase.

Em suma, é possível perceber que qualquer que seja o método utilizado para analisar o CCV de um ativo, a abordagem de cada um deles é semelhante.

Torna-se então necessário perceber qual o melhor método a adotar perante a situação a analisar.

A aplicação da metodologia apresentada pela SIMPLE em detrimento daquela que foi apresentada por Langdon, traduz-se numa diminuição de passos a considerar na análise, condensando-os num único passo.

Contudo, a aplicação de cada um dos métodos anteriormente referidos, não necessita de ser feita na íntegra, isto é, pode-se adotar um método, fazendo as alterações necessárias, conforme o pretendido para a situação.

3. Metodologia

3.1. Formulação

Para esta dissertação optou-se pela adoção da metodologia da Davis Langdon (Langdon, 2007a) aplicando as alterações necessárias por forma a enquadrá-la no caso de estudo. Como tal, após a identificação do objetivo principal da análise, entende-se que devam ser identificados, numa fase inicial, quais os requisitos do ativo, antecipando este passo à escolha das metodologias de avaliação, da necessidade de análise adicionais e também do âmbito da análise.

A Figura 3.1 expõe o principal processo de uma análise do CCV.

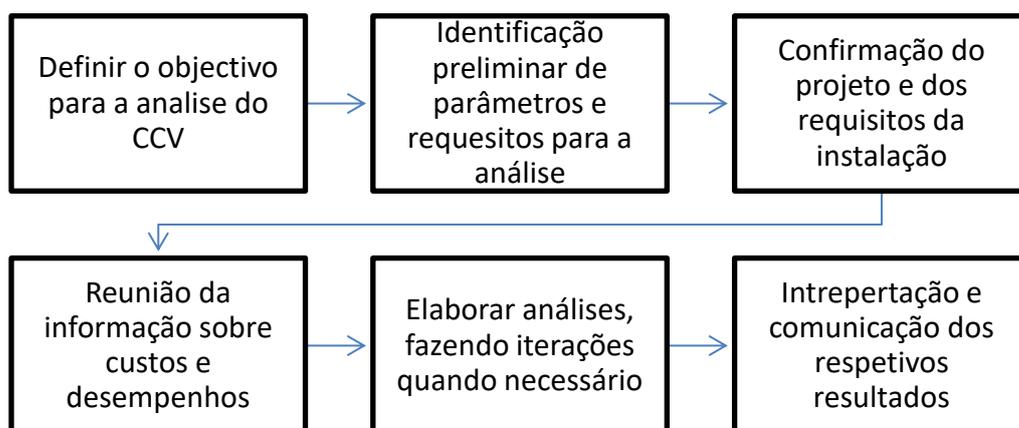


Figura 3.1 - Principal processo do CCV (Langdon, 2007b)

O Quadro 3.1 apresenta o que poderá ser esperado em cada passo da metodologia proposta:

Quadro 3.1 - Visão geral dos passos da metodologia adotada

Passo	Resultado
1 - Identificação do objetivo principal da análise do CCV	<ul style="list-style-type: none">Motivo da realização da análise do CCV
2 - Identificação dos requisitos do empreendimento e do ativo	<ul style="list-style-type: none">Reunião dos dados necessários para a análise
3 - Identificação do âmbito da análise	<ul style="list-style-type: none">Contexto de aplicação da análise do CCVDefinição da etapa do ativoLimites da análise
4 - Identificação do contributo da sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none">Impacto ambiental associadoIncluir a ACV na análise

Passo	Resultado
5 - Identificação do período de análise e dos métodos de avaliação económica	<ul style="list-style-type: none"> • Período de análise a considerar • Métodos de avaliação económica
6 - Identificação da necessidade de análises adicionais	<ul style="list-style-type: none"> • Risco associado • Análises de sensibilidade
7 - Definição dos critérios de avaliação e das categorias de custos	<ul style="list-style-type: none"> • Categorias de custos (realização de uma CBS)
8 - Seleção das opções alternativas a analisar	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar as alternativas face ao objetivo do cliente
9 - Recolha de dados dos perfis temporais de custos	<ul style="list-style-type: none"> • Recolha dos dados financeiros e económicos
10 - Apreciação do risco preliminar (opcional)	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação do risco/incerteza assumidos
11 - Revisão e confirmação da parametrização da análise (período, parâmetros financeiros e análises adicionais)	<ul style="list-style-type: none"> • Corroboração dos parâmetros analisados (período de análise, parâmetros financeiros)
12 - Realização da avaliação financeira	<ul style="list-style-type: none"> • Execução da avaliação financeira e económica
13 - Realização de análise de sensibilidade e apreciação do risco detalhada (opcional)	<ul style="list-style-type: none"> • Realização de análises de sensibilidade • Realização de análises de risco
14 - Interpretação e apresentação dos resultados iniciais	<ul style="list-style-type: none"> • Revisão e interpretação dos resultados • Apresentação dos resultados iniciais ao cliente (graficamente, através de tabelas...)
15 - Apresentação dos resultados finais	<ul style="list-style-type: none"> • Relatório final

3.2. Passos

Passo 1 - Identificação do objetivo principal da análise do CCV

O âmbito deste passo tem como finalidade a identificação do porquê da realização de uma análise CCV, bem como perceber como esta pode ser aplicada, de uma forma apropriada e bem-sucedida, e compreender os resultados que podem ser esperados (Langdon, 2007a).

A obtenção de uma melhor compreensão dos custos totais de um ativo bem como a maior transparência da composição destes custos, é uma das formas de usar o CCV, ajudando no apoio das tomadas de decisão. Langdon (2007a) dá ênfase também à importância que esta análise tem aquando da necessidade de alcançar um equilíbrio entre os custos de capital iniciais e os custos de receita futuros. O Quadro 3.2 ilustra como o CCV pode ser aplicado em várias circunstâncias.

Quadro 3.2 - Aplicações típicas do CCV (Langdon 2007)

Contexto e Necessidade	Aplicação típica do CCV
Durante o planeamento do investimento, os clientes necessitam de saber as implicações dos custos totais da operação bem como da construção do projeto, de forma a definir a sua viabilidade.	A análise será baseada em dados aproximados, informação histórica de projetos similares, mas suficientes para permitir estabelecer opções e orçamentação que definam se o projeto deve continuar, se deve existir uma redução nele ou se deve parar.
Durante as fases iniciais do projeto, terão de ser tomadas decisões em elementos fundamentais – estrutura, enquadramento, serviços e acabamentos.	A análise pode recorrer a estudos de viabilidade e pré-projectos, bem como a informação histórica, de forma a sustentar as decisões em características chave do projeto – a sua dimensão, âmbito, método de construção e operação.
Aquando do detalhe na fase de conceção, os parâmetros de custo essenciais do projeto serão determinados, mas uma análise detalhada das decisões ainda será necessária para o comprometimento com a construção.	A informação pode agora ser introduzida na análise, baseada numa clara visão de todos os elementos base do projeto e acedendo a custos relacionados, vida útil e dados de manutenção das especificações do fabricante. Isto permite uma repartição pormenorizada do CCV confirmando a viabilidade do projeto e uma avaliação das opções detalhadas do projeto. Análises de risco e sensibilidade também devem ser realizadas.
Um projeto detalhado também requer uma seleção final de materiais, componentes e sistemas. Decisões semelhantes irão subsequentemente ser necessárias no caso da sua substituição durante as fases de manutenção e operação.	A análise CCV pode ter o seu enfoque em componentes ou sistemas específicos com o benefício dos respetivos custos, vida útil e dados de manutenção das especificações do fabricante. O principal foco será em ter opções de avaliação, ranking e seleção

Contexto e Necessidade	Aplicação típica do CCV
<p>Durante a operação da renovação completa do ativo e substituição de alguns elementos, podem ser necessários:</p> <ul style="list-style-type: none"> Os elevados custos operacionais O alto consumo de energia Obsolescência (física, técnica, económica social) Mudanças no tipo de utilização do ativo Sistemas ou componentes perto do fim do seu tempo de vida 	<p>O CCV pode ser aplicado no apoio à seleção da opção de substituição ou renovação mais apropriada, quer ao nível do ativo ou de um componente.</p> <p>A análise pode ser baseada em dados históricos ou de referência, ou mesmo em dados detalhados provenientes das especificações do fabricante e comparar dados de custos correntes.</p> <p>É essencial que a análise tenha em conta o impacto de sistemas interligados e o ativo total.</p>

Passo 2 - Identificação dos requisitos do empreendimento e do ativo

O principal objetivo desta etapa é reunir toda a informação disponível sobre os requisitos para o ativo, isto é, quais as funções que este vai desempenhar bem como as exigências físicas que deve obedecer, as exigências de qualidade e as restrições que possam existir, tais como o orçamento disponível e o prazo previsto (Langdon, 2007b).

Esta informação é essencial para identificar possíveis alternativas que possam ser avaliadas como parte da análise do custo do ciclo de vida.

Passo 3 - Identificação do âmbito da análise

A aplicação deste terceiro passo exige perceber a etapa em que se encontra o ativo na altura da realização da análise, no que diz respeito ao seu ciclo de vida, os limites da análise e se existe alguma inclusão ou exclusão específica.

Previamente foram referidas as diferentes etapas a considerar:

- construção;
- operação;
- manutenção;
- fim de vida.

Cada uma das etapas supracitadas incluem diversas atividades que podem ser realizadas durante a análise, isto é, consoante a etapa em que se encontrar ativo, é possível perceber onde e como se poderá atuar.

Esta metodologia apresentada pressupõe uma aplicação a um projeto para construção e utilização de um ativo individual, contudo, os princípios usados, bem como os processos aplicados, podem ser adaptados a uma qualquer escala (Langdon, 2007b).

A realização de uma análise CCV pode ser efetuada de forma a apoiar um projeto com vista a investir em diferentes âmbitos (Langdon, 2007b):

- um único ativo individual já construído, tal como um edifício ou uma estrutura de engenharia civil;
- um elemento, um material ou um sistema individual dentro de um ativo;
- um portfolio de ativos.

Existem três níveis distintos de análise do CCV: nível estratégico, nível sistémico e nível detalhado (ISO 15686-5, 2008).

O nível estratégico assenta na necessidade de avaliar alternativas estratégicas para a aquisição/construção de um ativo. Neste nível estão incluídas atividades como a definição de requisitos para um ativo construído em termos de funcionalidade e desempenho, bem como as diferentes prioridades do cliente (ISO 15686-5, 2008).

O nível sistémico e detalhado tem como objetivo a integração do CCV na avaliação das várias opções que surgem na fase de projeto.

A análise do CCV decorrente dos passos anteriores, poderá ser realizada tendo em consideração as diferentes fases do ciclo de vida: planeamento, construção, operação, manutenção e fim do ciclo de vida. De forma a realizar uma análise consistente, é necessário ainda ter em conta diferentes níveis de consideração: custo, funcionalidade, manutenção, desempenho ambiental e alienação (ISO 15686-5, 2008) (Figura 3.2).

Nível de análise, componentes e respetivos critérios e fases de análise					
Considerações:		Nível de análise:			
		Nível estratégico? (atividades relacionadas com avaliações de várias opções estratégicas para a aquisição/construção de um ativo)			
	S/N	Construção	Operação	Manutenção	Fim do ciclo de vida
Custos					
Funcionalidade					
Manutenção					
Desempenho ambiental					
Alienação					
Considerações:		Nível sistémico? (atividades relacionadas com a avaliação de várias soluções que dão resposta às orientações estratégicas definidas anteriormente)			
			S/N	Construção	Operação
Custos					
Funcionalidade					
Manutenção					
Desempenho ambiental					
Alienação					
Considerações:		Nível detalhado? (atividades relacionadas com a avaliação de diferentes componentes e materiais que compõe a solução escolhida anteriormente)			
			S/N	Construção	Operação
Custos					
Funcionalidade					
Manutenção					
Desempenho ambiental					
Alienação					
Exemplo: Considera-se como opção ao nível estratégico a necessidade de poupança com custos de energia ao nível sistémico o recurso a soluções de energia renováveis e ao nível detalhado o recurso a painéis fotovoltaicos					

Figura 3.2 - Nível de análise (Adaptado de Rodrigues, 2014)

O custo do ativo aumenta ao longo do seu ciclo de vida, tornando cada vez mais difícil a influência externa de agentes de decisão (gestores, proprietários, etc.). Sendo assim, as fases iniciais da vida da

estrutura ganham mais relevância, permitindo maior facilidade na tomada de decisões que irão afetar a vida da construção (Brito & Gaspar, 2004).

A Figura 3.3 ilustra a capacidade que existe de influenciar os custos ao longo das diferentes etapas do ciclo de vida.

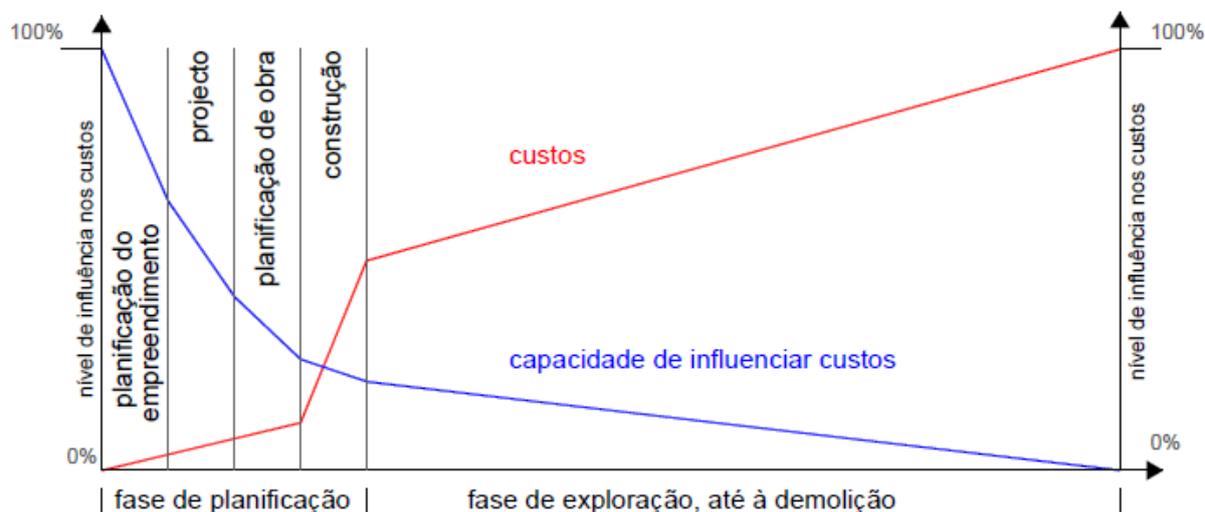


Figura 3.3 - Capacidade para influenciar os custos ao longo do tempo (Adaptado de Brito & Gaspar, 2004)

Uma análise CCV pode ser usada como uma intervenção pontual ou, caso a intenção seja atuar num contexto mais amplo, poderá servir para esclarecer diferentes decisões em diferentes etapas do projeto ou do ciclo de vida do ativo (Langdon, 2007a).

À medida que o projeto percorre as diferentes etapas, procede-se a um refinamento dos dados necessários para a análise. Então, como os cálculos são baseados em dados cada vez mais detalhados e fiáveis e as hipóteses iniciais são testadas e validadas, as decisões estratégicas iniciais são confirmadas e subsequentes deliberações são tomadas num crescente nível de detalhe (Langdon, 2007a).

Torna-se relevante que, durante a fase inicial da definição do âmbito da análise, sejam definidos os vastos limites desta. Como tal, é importante perceber, por exemplo, se o período de análise irá incluir a totalidade do ciclo de vida do ativo, ou apenas parte deste, e mesmo que custos, ou receitas, devem ser incluídos ou excluídos da análise (Langdon, 2007a).

Passo 4 - Identificação do contributo da sustentabilidade

O objetivo deste passo prende-se em perceber de que forma a análise desta se relaciona com o custo do ciclo de vida. De forma a proceder a uma avaliação da sustentabilidade, os especialistas reconhecem três questões fundamentais e interligadas entre si: a questão ambiental, a questão social e a questão económica (Langdon, 2007a). Torna-se claro que existem certas matérias de difícil quantificação e como tal, difíceis de incorporar numa análise CCV. Contudo, é amplamente aceite que

o impacto ambiental associado aos ativos construídos pode ser significativo e deve ser considerado (Langdon, 2007a).

Existem diferentes formas para proceder a uma avaliação da sustentabilidade. Estas têm em consideração o tipo de ativo em questão, as questões do ambiente que são alvo de preocupação e ainda parâmetros particulares de interesse geral (Langdon, 2007a). As diferentes abordagens para proceder a esta avaliação são, frequentemente, as seguintes: (Langdon, 2007a)

- Avaliação do Ciclo de Vida;
- estudos de impacto ambiental.

A primeira abordagem indicada, e explicada no subcapítulo 2.3.1, é aquela que é geralmente aceite e reconhecida no meio, sendo ainda alvo de análise em normas internacionais (Langdon, 2007a).

A avaliação do custo do ciclo de vida e a avaliação do ciclo de vida são dois processos distintos que são desenvolvidos e estudados em diferentes contextos na indústria da construção (Langdon, 2007a). Contudo, existem semelhanças que podem ser associadas a estes dois métodos, por exemplo (Langdon, 2007a):

- a preocupação com a avaliação dos impactos que as decisões tomadas terão a longo prazo;
- o uso de dados semelhantes no que respeita à contribuição dos materiais e energia;
- ambos têm em conta a fase de operação e manutenção;
- prever a possibilidade de reciclar ao invés de eliminar.

Porém, embora se tenham apresentado semelhanças entre os dois métodos, subsistem mesmo assim algumas diferenças (Langdon, 2007a):

- o custo do ciclo de vida combina todos os custos relevantes relacionados com o ativo, isto é, todos os que estão na base para a realização das decisões de investimento;
- a avaliação do ciclo de vida permite que as decisões sejam realizadas tendo por base os potenciais impactos ambientais destas.

Apesar de já existirem custos que permitem a conversão de certos impactos ambientais em encargos monetários, não existem atualmente metodologias estabelecidas para quantificar outros.

Importa então entender que nem sempre se obtêm os mesmos resultados respeitantes às duas avaliações. Contudo, a avaliação do impacto ambiental tem em geral um papel importante na tomada de decisão a logo prazo e torna-se cada vez mais fundamental tomar medidas que levem à inserção da avaliação do ciclo de vida, nas fases iniciais do processo de avaliação do custo do ciclo de vida (Langdon, 2007a).

Passo 5 - Identificação do período de análise e dos métodos de avaliação económica

O período de análise deve ser baseado nas exigências do cliente, o que pode levar a que este seja qualquer intervalo de tempo ao longo do ciclo de vida do ativo (ISO 15686-5, 2008). A decisão do tempo apropriado da análise, depende de fatores que estão relacionados com o cliente, com o projeto e/ou ativo e do enquadramento financeiro, legal e regulamentar (Langdon, 2007).

Torna-se necessário compreender os impactos que estão subjacentes à escolha de um período de análise longo ou curto. Optando por um período de análise longo, é importante perceber que essa escolha acarreta maior risco. A incerteza a longo prazo como a inflação, a utilização futura do ativo, a manutenção e substituição de componente, decorrente da dificuldade de prever ao longo do tempo, refletem-se no risco associado à estimativa do custo do ciclo de vida (Langdon, 2007).

Outro aspeto relevante nesta fase da metodologia é a definição taxa de atualização. Esta taxa reflete o efeito do tempo no dinheiro, permitindo comparar fluxos financeiros em diferentes momentos. No entanto, a sua escolha tem influência significativa nos resultados. A escolha de um valor elevado desvaloriza os fluxos financeiros no futuro, o que é conservativo para as oportunidades mais não para as ameaças. Já uma taxa de atualização mais baixa valoriza os fluxos financeiros futuros.

No que diz respeito aos métodos de avaliação, o mais utilizado é o Valor Atual Líquido (VAL, em inglês *Net Present Value* - NPV). Este representa a soma de todos os fluxos financeiros sejam eles positivos ou negativos, que poderão ocorrer ao longo do período de análise considerado, convertendo estes para seu valor atual. A escolha mais eficiente, no que diz respeito aos custos, é aquela que apresentar maior VAL (Paldino and Company, 2006).

Contudo, existem outros métodos de avaliação económica que poderão ser usados aquando de uma avaliação do CCV. A Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), é a taxa de atualização na qual o investimento tem um VAL igual a zero. É usada para comparar diferentes projetos em que a empresa passa investir. Quanto maior o seu valor, melhor será a alternativa a considerar (Cotts & Rondeau, 2004). Outro método de avaliação é o Período de Retorno, respeitante ao período de tempo requerido para recuperar um investimento inicial numa medida de redução de custos. O seu cálculo é baseado nas poupanças estimadas (Paldino and Company, 2006). O Custo Anual Equivalente (CAE), é o custo anual de manter e operar um ativo ao longo da sua vida útil. É usado como uma ferramenta no apoio à tomada de decisão virada para o orçamento de capital, quando comparados projetos de investimento com diferentes períodos de vida (Langdon, 2007c).

Passo 6 - Identificação da necessidade de análises adicionais

Este passo tem como objetivo o apoio na tomada de decisão sobre a necessidade de proceder a análises adicionais, nomeadamente em termos de apreciação do risco, e quais os aspetos mais relevantes a considerar nessa análise.

Dependendo dos requisitos do cliente, e também do âmbito em que se efetua o estudo do CCV, a análise de risco deve ir desde uma simples lista de potenciais riscos até uma avaliação quantitativa e/ou qualitativa do risco (Langdon, 2007b).

Contudo, torna-se importante que os clientes sejam informados da potencial incerteza e variabilidade inerente à análise CCV de modo a prevenir que excessos de fiabilidade sejam colocados nos dados. Com isto pretende-se ainda encorajar a mitigação com a inclusão de contingências no modelo (Langdon, 2007b).

Uma ferramenta usual no âmbito da gestão do risco na análise do CCV é a análise de sensibilidade. Esta permite avaliar o impacto resultante da variação das variáveis chave, tais como as taxas de atualização e a inflação, e determinar quais as que têm maior impacto no valor do CCV. Permite ainda testar se alguma variável tem um efeito significativo nos resultados globais, isto é, numa

análise de duas ou mais soluções de projeto, e quando existe uma alteração numa variável, verificar se acontece alguma alteração no ranking relativo das diferentes opções (Langdon, 2007b).

Passo 7 - Definição dos critérios de avaliação e das categorias de custos

A identificação de todos os elementos de custos que influenciam a análise do CCV é um processo importante. É recomendado que estes se definam de uma forma sistemática com o objetivo de se evitar que elementos com um peso significativo sejam ignorados (Kawauchi & Rausand, 1999). Os elementos de custos são a ligação entre as categorias de custos e a estrutura desagregada do produto ou trabalho (IEC 60300-3-3:2004, 2009).

Uma abordagem possível, frequentemente usada para identificar os elementos requeridos de custo, supõe a decomposição do produto em níveis mais baixos, categorias de custos e fases do ciclo de vida (IEC 60300-3-3:2004, 2009). É recomendado desenvolver uma estrutura de discriminação/repartição de custos. Esta pode ser desenvolvida definindo itens ao longo de três eixos independentes: fase do ciclo de vida, a estrutura de decomposição do produto/projeto e as categorias de custos (Kawauchi & Rausand, 1999). Este modelo de organização dos custos foi posteriormente adoptado pela IEC 60300-3-3 (2004) (Figura 3.4).

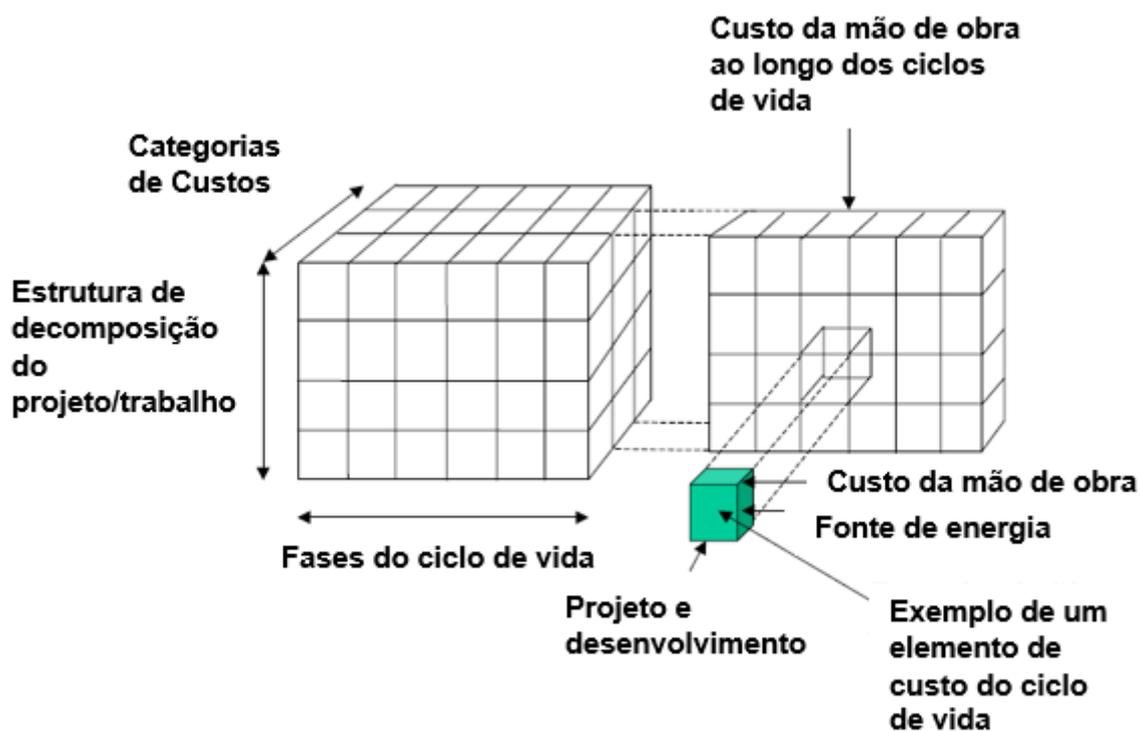


Figura 3.4 - Conceito de elemento de custo (Adaptado IEC 60300-3-3)

Como exposto na Figura 3.4, as categorias de custos estão diretamente relacionadas com as fases do ciclo de vida, isto é, cada uma das fases do ciclo de vida tem os seus encargos associados.

A ISO 15686-5:2008 bem como Langdon (2007), apresentam uma estruturação de custos semelhante à que é apresentada na Figura 3.5.



Figura 3.5 - Categorias de Custos (Adaptado ISO 15686-5, 2008)

Passo 8 - Seleção das opções alternativas a analisar

Dependendo do fim a que se destina a análise, poderá haver a necessidade de avaliar uma única opção ou comparar um número definido de opções por forma a alcançar os requisitos do cliente. (Langdon, 2007b). Durante todo este processo de aprovação, é possível que existam escolhas que foram selecionadas para avaliação que sugiram opções como “não fazer nada” ou “fazer o mínimo” (Langdon, 2007b). Caso o objetivo do cliente não passe pela adoção de um novo projeto, é também apropriado considerar alternativas para alcançar esse objetivo. (Langdon, 2007b). Outras opções que podem ser consideradas incluem (Langdon, 2007b):

- os efeitos de não realizar o projeto (incluindo os custos);
- utilizações alternativas para o ativo;
- opções de investimento alternativas;
- diferentes âmbitos para o projeto;
- consideração da adaptação/renovação de um ativo existente ou a construção de um novo.

Passo 9 - Recolha de dados dos perfis temporais de custos

Caso a análise do CCV não seja efetuada numa etapa inicial da tomada de decisão, é improvável que o projeto detalhado bem como os dados financeiros estejam disponíveis. Portanto, a análise terá de ser realizada, muito provavelmente, com base em fontes de dados, dados com referência histórica, que podem advir do próprio cliente, registos de consultores profissionais e também de conjuntos de dados que estejam divulgados (Langdon, 2007b).

A fiabilidade destes e a sua relevância para o projeto em questão, são de primordial importância dado que decisões chave irão ser influenciadas pelos resultados da análise.

Importa ainda considerar o seguinte (Langdon, 2007b):

- a origem dos dados usados;
- a representatividade dos dados, isto é, o número de projetos dos quais os dados de referência são provenientes;
- a aplicabilidade dos dados ao projeto em questão;
- a necessidade de ajustar os dados atendendo às variações dos custos no local em questão e até inflacionar os custos para valores atuais.

Passo 10 - Apreciação do risco preliminar (opcional)

Neste passo é realizada a revisão da estratégia de risco assumida anteriormente, realizando uma avaliação da mesma baseada na informação recolhida (Langdon, 2007b). Podem ser identificados os parâmetros chaves, particularmente, os riscos e incertezas em que deve existir maior incidência da análise e a gama de aplicação, e verificar a necessidade de atualizar ou acrescentar informação aos mesmos.

Passo 11 - Revisão e confirmação da parametrização da análise

Nesta fase devem ser revistos e confirmados os valores dos parâmetros financeiros e do período de análise, que já foi alvo de avaliação. Contudo, nesta etapa ter-se-á um nível mais detalhado do projeto, mais informações sobre o ativo em questão e ainda outras opções obtidas anteriormente. Os parâmetros financeiros de especial relevo, isto é, aspetos como os métodos de análise económica, as taxas de atualização e a inflação, devem ser nesta fase confirmados (Langdon, 2007b).

Como previamente já foram selecionadas as opções a serem consideradas na análise, torna-se importante agora perceber se/como as questões fiscais devem ser incorporadas, por exemplo: (Langdon, 2007b)

- se estas devem ser incluídas ou excluídas da análise CCV;
- a probabilidade de futuras taxas ambientais e o seu efeito potencial na análise;
- a probabilidade da alteração da taxa fiscal.

No entanto, importa perceber que as questões relacionadas com assuntos fiscais são uma matéria complexa, e como tal, devem ser sempre consultados especialistas.

Passo 12 - Realização da avaliação financeira

A realização da avaliação financeira pode ser feita recorrendo a softwares disponíveis para o efeito, ou mesmo através da criação de uma folha de cálculo personalizada e desenvolvida por consultores ou pelos clientes.

As folhas de cálculo padrão para esta avaliação devem incorporar ferramentas para o uso dos métodos de avaliação económica referidos anteriormente.

Passo 13 - Realização de análise de sensibilidade e apreciação do risco detalhada (opcional)

As análises de sensibilidade podem ser realizadas para analisar como determinadas variações sobre uma gama de incertezas, podem afetar os méritos relativos das opções a serem consideradas e comparadas (ISO 15686-5, 2008).

Estas análises podem ajudar a identificar os dados que têm maior impacto no resultado do CCV e o quão robusta é a decisão final (ISO 15686-5, 2008).

Relativamente ao nível de risco associado, este depende de questões como a qualidade dos dados disponíveis e da sua fiabilidade, das hipóteses relacionadas com os custos e dos métodos de cálculo (ISO 15686-5, 2008).

Passo 14 - Interpretação e apresentação dos resultados iniciais

Neste passo é realizada a revisão e interpretação dos resultados obtidos do cálculo do CCV, reconhecendo as limitações das técnicas de custo aplicadas e conseqüentemente a necessidade de consultar opinião profissional na área, assegurando ainda que o risco e a incerteza foram devidamente tratados (Langdon, 2007b).

Torna-se ainda necessário identificar neste passo, a melhor forma para se apresentar os resultados iniciais, isto é, se através de gráficos, tabelas ou qualquer outro tipo, colocando os mesmos num relatório preliminar por forma a discuti-los com o cliente (Langdon, 2007b).

Frequentemente, os resultados iniciais da análise do CCV resultam em dúvidas e sugestões do cliente para alterações em aspetos como os dados de entrada ou mesmo nos parâmetros de análise (Langdon, 2007b).

Os principais pressupostos assumidos, podem exigir uma análise à luz dos resultados obtidos. Os custos podem também eles requerer refinamentos adicionais de forma a proporcionar resultados de acordo com os objetivos pretendidos, ou mesmo para refletir outras restrições financeiras (Langdon, 2007b).

Passo 15 - Apresentação dos resultados finais

Os resultados finais da análise do CCV, devem ser documentados num relatório com o objetivo de possibilitar ao utilizador uma clara perceção deles e as suas implicações (ISO 15686-5, 2008). Este relatório deve incluir claramente os seguintes aspetos chave (ISO 15686-5, 2008):

- definição do objetivo;
- o âmbito da análise;
- os principais pressupostos;
- as limitações;
- as restrições;
- as incertezas;
- os riscos;
- os efeitos de uma análise de sensibilidade.

Por forma a elaborar um relatório final consoante a ISO 15686-5:2008, esta recomenda onze elementos que devem ser incluídos nele (Quadro 3.3), sendo estes, alvo de análise na metodologia final apresentada por Langdon (2007).

Quadro 3.3 - Conteúdo do relatório final (Adaptado Rodrigues, 2014)

Elementos a incluir no relatório final
Sumário executivo
Objetivos e âmbito de análise (incluindo o período de análise e custos considerados/excluídos)
Declaração dos objetivos da análise do CCV
Materiais considerados
Considerações feitas
Constrangimentos e riscos identificados
Alternativas em análise
Discussão minuciosa da interpretação de resultados
Representação gráfica dos resultados
Plano de substituição e manutenção, se assim for desejado pelo cliente, suportado pelo nível de análise
Apresentação das conclusões relativamente aos objetivos em estudo e recomendações para trabalhos futuros

Com a metodologia proposta, e atendendo ao contexto da sua aplicação, pretende-se que o utilizador da mesma a empregue na organização ou no ativo em estudo.

4. Caso de estudo

4.1. Descrição

A AM é um Estabelecimento de Ensino Superior Público Universitário Militar que tem como missão a formação de oficiais destinados aos quadros permanentes do Exército e da Guarda Nacional Republicana (*Decreto -Lei n.º 27/2010 de 31 de março do Ministério da Defesa Nacional, 2014*).

O aquartelamento Sede da AM situa-se em Lisboa e compreende os órgãos de comando, conselho e apoio ao comando bem como parte do corpo de alunos. Tem uma área de implantação de cerca de 20000 m². Este espaço acresce de elevado significado histórico, pois das suas instalações faz parte o Palácio da Bemposta, local onde se encontra o gabinete do Comandante da AM, a Sala do Conselho, a Biblioteca e o Salão Nobre.

A área deste *campus* é composta por diferentes tipologias de espaços e edifícios, que compreendem um edifício destinado às piscinas, um campo de futebol, um espaço aberto com campo de futsal, pista de tartan, um pórtico e outros recursos à prática de atividades de cariz militar, um pavilhão e um ginásio cobertos, messe de oficiais, sargentos, praças e alunos, bar de oficiais, sargentos, praças e alunos, um edifício destinado ao alojamento de sargentos e praças e três edifícios destinados, fundamentalmente, ao alojamento dos alunos.

Estes últimos edifícios, que serão alvo de análise, estão divididos da seguinte forma: um destinado ao alojamento dos cadetes de quarto ano, que formam a quarta companhia de alunos, outro destinado aos oficiais alunos de Engenharia, Transmissões, Serviço de Material e Medicina e cadetes alunos de Medicina, formando a quinta companhia de alunos e por fim, um com a finalidade de alojamento feminino, quartos para oficiais e gabinetes.

O aquartelamento sede em geral, e os edifícios de alojamento em particular, destacam-se pela necessidade de assegurar a funcionalidade de uma forma contínua, não existindo um limite temporal definido para a vida das infraestruturas. Adicionalmente, a utilização tem um cariz cíclico dinâmico (em função do acesso de alunos) e intenso (decorrente da concentração de pessoas e das atividades desenvolvidas).

4.2. Dados de Base

Com o objetivo de se proceder à análise do custo do ciclo de vida, efetuou-se a recolha dos dados necessários para o efeito.

Tendo em consideração todas as limitações de acesso a estes, recorreu-se à secção financeira da AM de forma a obter dados relacionados com os consumos mensais de água, eletricidade e gás.

A variação da população da Sede da AM ao longo dos anos, desempenha um papel fundamental na oscilação dos custos supracitados.

Os dados relacionados com as intervenções registadas no edifício foram recolhidos na Direção de Infraestruturas do Exército (DIE). Relativamente a estes dados, apenas se conseguiram obter aqueles que datavam aos anos de 1995, 1997, 1999, 2002 e 2011, espaço temporal bastante reduzido tendo em consideração a idade do edifício

4.2.1. Informação documental

A informação documental recolhida para a realização da presente dissertação, baseou-se em faturas e documentos facultados pela secção e unidade acima referidas.

Ao nível do quartel

A sede da AM tem, como já foi referido, diferentes edifícios que apresentam distintos níveis de ocupação e utilização (Figura 4.1). Resultante disso, e da dimensão do aquartelamento, existem diversos contadores para a verificação dos diferentes consumos. No que diz respeito ao consumo de água, este apresenta registos em quatro contadores diferentes. A contabilização da eletricidade é feita para a globalidade do aquartelamento e o consumo de gás é registado em três locais distintos.

Relativamente ao consumo de água, este apresenta os maiores registos onde existem dormitórios e, conseqüentemente, instalações sanitárias (I.S.), o que se justifica tendo em conta a vivência interna da instituição. As oscilações do consumo de água no quartel, acontecem naturalmente dado os períodos de maior e menor ocupação que se registam neste, isto é, com o fim das aulas e início de verão, o aquartelamento regista baixos níveis de ocupação, daí um decréscimo no consumo de água. Aquando do início do ano letivo, setembro e outubro, volta a ocorrer um aumento no consumo que sofrerá uma queda em dezembro, dado tratar-se de um mês em que o nível de ocupação é novamente diminuto em grande parte dos dias. A Figura 4.2 expõe a variação anual do valor gasto com o consumo de água total do aquartelamento, contemplando a média do total de cada mês ao longo dos anos de 2010-2014.



Figura 4.1 – Aquecimento sede da AM

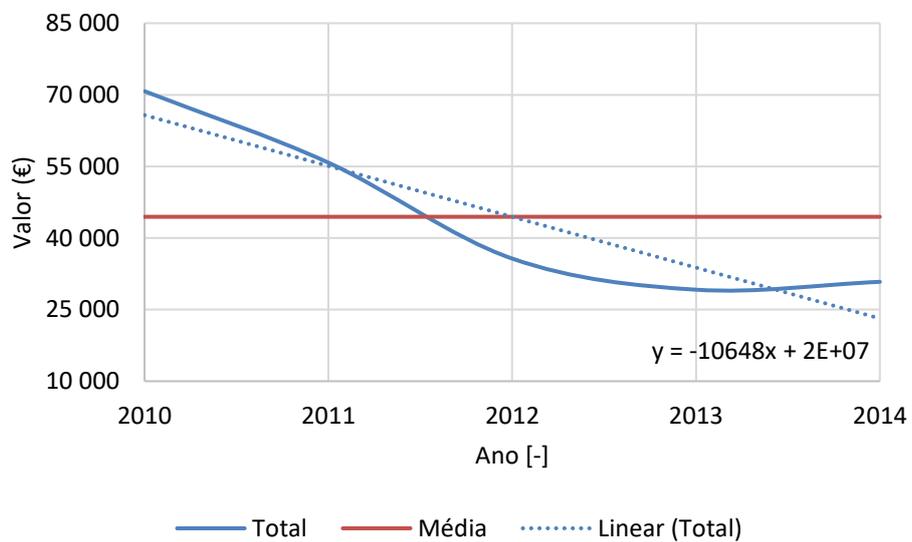


Figura 4.2 - Evolução da despesa anual de água no aquartelamento (€)

Relativamente aos consumos de eletricidade, verifica-se que durante os meses de inverno em que existe maior ocupação das instalações, janeiro e novembro, o consumo de eletricidade apresenta valores acima da média. Isto deve-se ao facto de não existir aquecimento integrado nos edifícios e, portanto, é habitual o recurso a aparelhos como termoventiladores que têm uma potência média de

2000W. Durante os restantes meses de inverno, nomeadamente fevereiro e dezembro, o consumo decresce devido à baixa ocupação que se regista durante os mesmos. A Figura 4.3 representa a variação anual do valor económico do consumo registado durante os meses do período referente a 2010-2014.

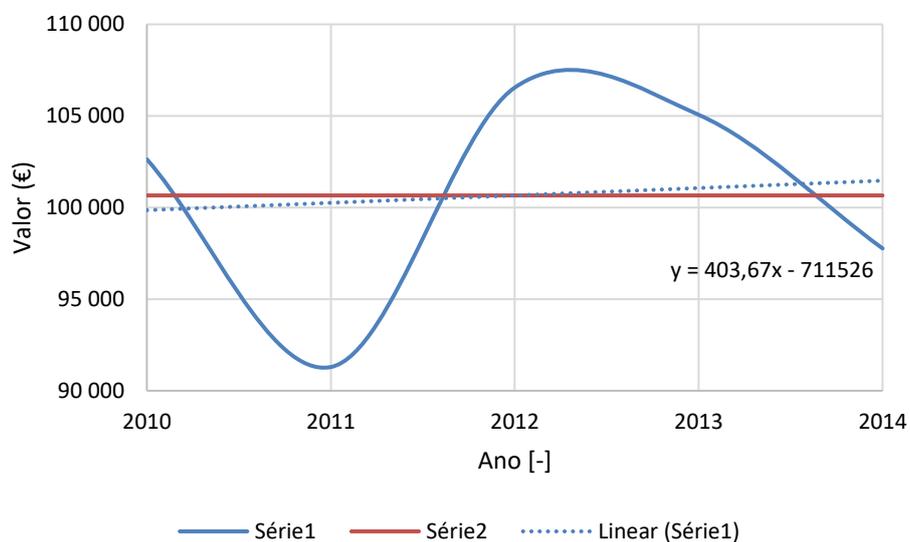


Figura 4.3 - Evolução da despesa anual de eletricidade no aquartelamento (€)

O valor do consumo de gás no aquartelamento, fundamentalmente usado para aquecimento de água, mas também utilizado na confeção das refeições, apresenta os valores mais altos nos meses em que existe maior nível de ocupação. É importante notar ainda que os dois meses que apresentam maiores valores, janeiro e novembro, coincidem com os meses da realização das provas físicas por parte dos alunos da AM. Os consumos de gás apresentam os maiores valores junto ao edifício dos dormitórios dos alunos e no destinado à alimentação. Este último, desde 2015 que apresenta menores consumos pelo facto de a alimentação ter deixado de ser confeccionada na AM. A variação dos valores anuais relativos ao consumo de gás, encontram-se representados na Figura 4.4.

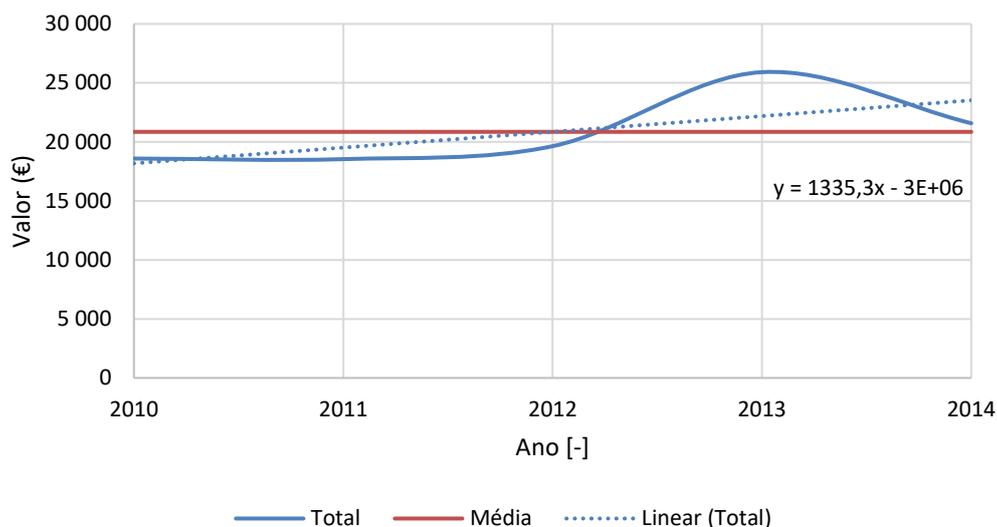


Figura 4.4 - Evolução da despesa anual de gás no aquartelamento (€)

Ao nível do Edifício

O edifício em estudo, como já foi mencionado anteriormente, é a caserna dos alunos. Este é o que apresenta maiores valores nos consumos diários devido facto de ser o que tem maior população. Esta, para além de todos os alunos dos cursos que frequentam o quarto ano da AM, contempla ainda os oficiais que possuem quarto neste edifício. Outro fator importante de ocupação, é o facto dos oficiais alunos dos cursos de Engenharia, Transmissões e Serviço de Material, continuarem durante mais dois anos nesta instituição por forma a frequentarem os respetivos mestrados no Instituto Superior Técnico.

Adjacente a este edifício existem uns balneários gerais que podem ser utilizados pelos alunos, bem como por pessoal civil que frequente as instalações da AM por qualquer motivo (e.g. curso de árbitros).

Após uma primeira descrição do edifício apresentada no subcapítulo 4.1, pretende-se agora uma melhor perceção deste. Cada parte do edifício é composta por três pisos, existindo dez quartos em cada. Em cada piso existe uma instalação sanitária constituída por nove urinóis, vinte lavatórios, três chuveiros e quatro bacias retretes (Figura 4.6), à exceção da I.S. feminina que tem quatro bacias retretes, oito chuveiros e catorze lavatórios. O edifício conta ainda com três espaços amplos que podem ser designados como salas de estudos e uma casa das máquinas, junto aos balneários gerais (edifício à direita da Figura 4.5).



Figura 4.5 - Edifício de internato dos alunos alvo de análise

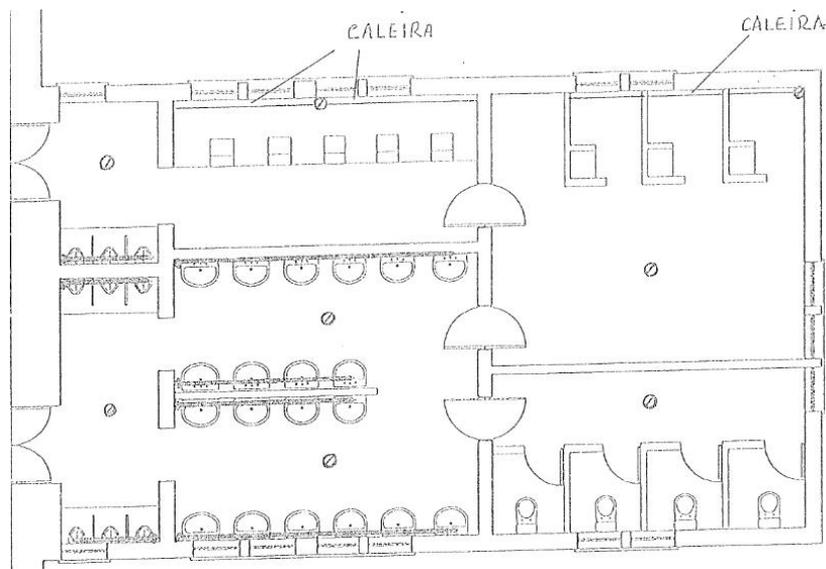


Figura 4.6 - Planta das I.S.

A população do edifício tem apresentado quedas ao longo dos anos, dada a diminuição de entradas na AM. De forma a estimar o número de alunos a considerar para a realização da análise, realizou-se a média destes ao longo dos últimos cinco anos. Como tal, utilizou-se o valor de 200 alunos como referência.

A Figura 4.7, Figura 4.8 e Figura 4.9 permitem analisar a variação entre meses dos consumos de água, energia elétrica e gás no período anual. É visível o decréscimo dos consumos durante os meses de baixa ocupação do edifício, nomeadamente julho e agosto, e um aumento dos consumos energéticos e de gás durante os meses de inverno, devido à falta de aquecimento no edifício, questão que é contornada pelos alunos com o uso de aparelhos próprios para o efeito.

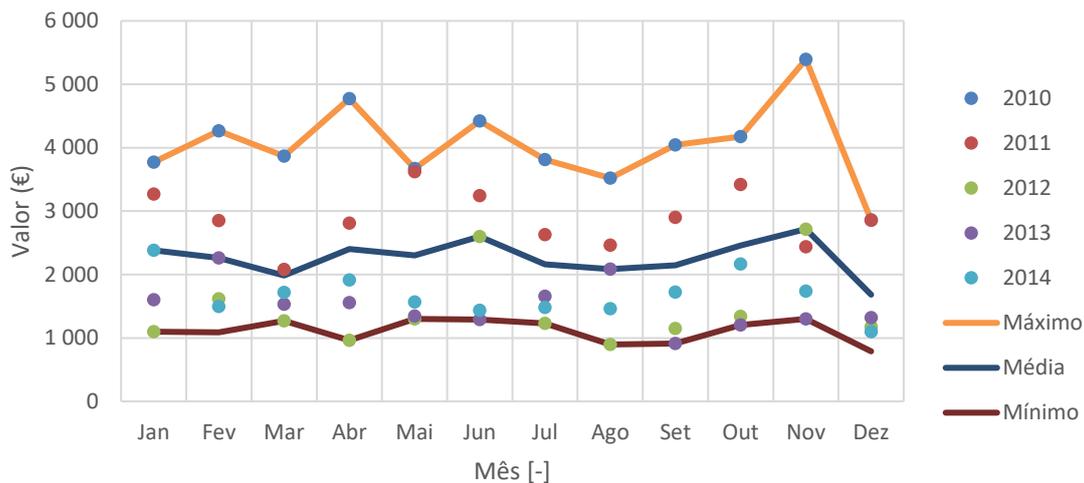


Figura 4.7 - Evolução da despesa mensal com água ao longo do ano (€)

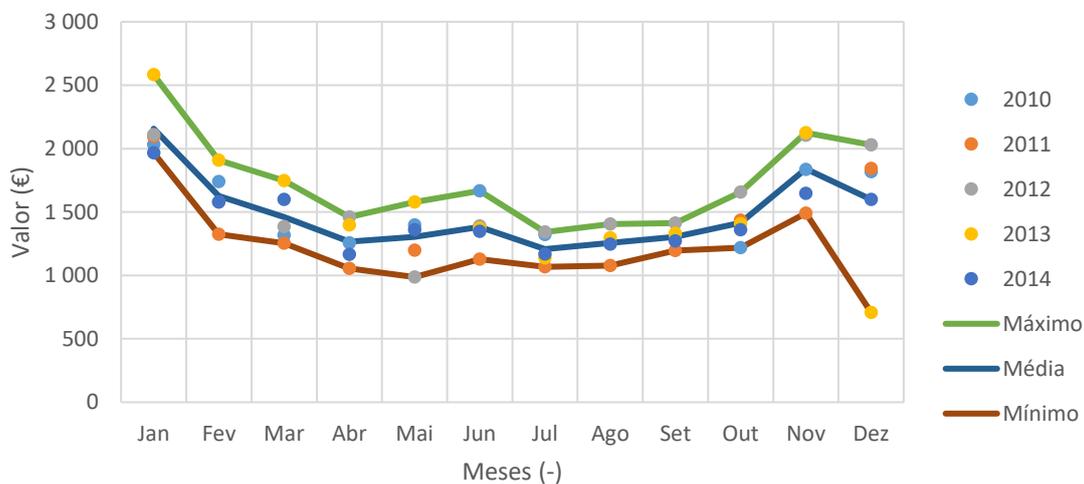


Figura 4.8 - Evolução da despesa mensal com eletricidade ao longo do ano (€)

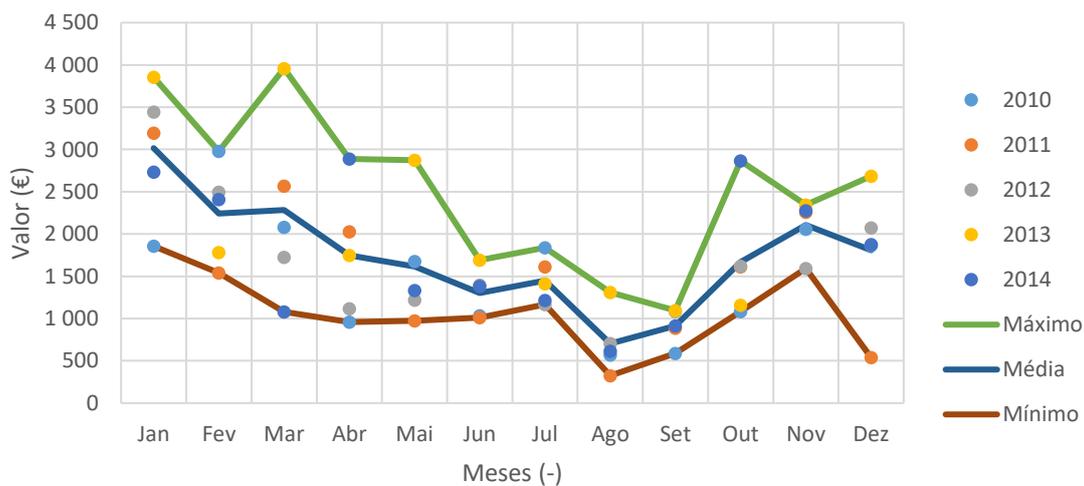


Figura 4.9 - Evolução da despesa mensal com gás ao longo do ano (€)

O consumo de água no edifício representa cerca de 60% do consumo total do aquartelamento. Registam-se mínimos em março, julho, agosto, setembro e dezembro, coincidentes com os meses em que há períodos de férias.

O facto de existir unicamente medição do consumo de eletricidade num único contador em todo o aquartelamento, obrigou a adoção de uma abordagem que permitisse estimar que parcela desse consumo ocorre no edifício em estudo. A abordagem usada para o efeito encontra-se detalhada no passo 9 da metodologia, tendo-se estimado que o consumo de eletricidade no edifício corresponde a 38,8% do total no aquartelamento. Os meses de inverno são aqueles em que o consumo de energia é mais elevado, destacando-se dentro desses, os dois em que a população está mais presente. Uma restante parte significativa do consumo de energia, é repartida pelos edifícios destinados às aulas dos alunos, onde existem projetores e computadores, e também pelas casernas das praças, que embora não tenham uma atividade diária tão intensa como os alunos, também eles usufruem de elementos consumidores de energia elétrica.

O consumo de gás no edifício representa 50% da totalidade registada para o aquartelamento. O edifício destinado ao alojamento de praças, as piscinas e o edifício do refeitório (onde se confeccionaram as refeições até 2014), representam os outros focos de consumo de gás.

4.2.2. Levantamentos

Após a recolha da informação documental existente, é importante conhecer os hábitos de consumo daqueles que frequentam a AM, nomeadamente dos alunos desta instituição.

Através da experiência de vivência que se prolonga há aproximadamente sete anos, bem como do contacto direto com os diferentes alunos da AM, recolheram-se os hábitos acima mencionados. Recorreu-se ainda a trabalhos que previamente já tinham realizado uma análise sobre o assunto em questão.

4.3. Custo do Ciclo de Vida

Após a recolha da informação disponível, este subcapítulo aplicará a metodologia proposta no capítulo anterior.

Passo 1 - Identificação do objetivo principal da análise do CCV

O objetivo da análise é a identificação dos custos existentes na unidade, relativos aos dados obtidos, e a sua otimização. Após a sua identificação, pretende-se uma avaliação e comparação de estratégias alternativas para o uso, operação e manutenção do ativo.

Analisando o Quadro 3.2, é possível perceber que com uma análise do CCV é esperado um apoio às tomadas de decisão que afetam a gestão do ativo. É necessário também que as alternativas consideradas para análise, têm de ter em conta o impacto de sistemas interligados e o ativo total.

Passo 2 - Identificação dos requisitos do empreendimento e do ativo

Sendo o ativo em análise o edifício destinado ao internato dos alunos que frequentam a Sede da AM, este necessita de agregar diversas funções. Estas abrangem um leque distinto de atividades que englobam a pernoita, a higiene pessoal e o carácter académico dos alunos.

O edifício apresenta distintos níveis de ocupação durante o dia, isto é, durante a manhã e até ao início das aulas verifica-se uma intensa utilização das instalações, nomeadamente das I.S. Após o término do dia de aulas, a utilização atinge um pico, pois é quando se encontra praticamente na sua máxima lotação. Nesta altura, os alunos podem realizar tarefas que vão desde o estudo até prática desportiva. Importa ainda referir que ao longo do dia, e maioritariamente na parte da manhã, existe outra grande utilização das I.S., dada a especificidade dos cursos da AM terem obrigatoriamente treino físico no seu horário diário.

Como tal, e sabendo dos requisitos do ativo, é necessário compreender a importância que existe na tomada de decisão tendo em conta as implicações que essas possam ter nas exigências físicas e de qualidade que o edifício necessita.

Passo 3 - Identificação do âmbito da análise

Neste passo é importante conhecer a etapa do ciclo de vida em que se encontra o ativo. De momento o edifício encontra-se na fase de utilização e, tendo em consideração a sua função, não se prevê o fim de vida a curto prazo. Adicionalmente, visto que quando os edifícios militares deixam de ter a funcionalidade prevista são adaptados de forma a conseguirem a sua exploração para outro fim, esta é uma fase de relevância relativamente reduzida. Tendo em consideração as soluções construtivas, a fase de aquisição também já tem pouca relevância para a AM.

Sendo assim, nesta análise, foram consideradas as categorias de custos associadas à operação e manutenção por forma a procurar a substituição ou otimização dos serviços existentes.

Passo 4 - Identificação do contributo da sustentabilidade

Para o edifício em questão, e no âmbito da presente análise, foram excluídos contributos para a sustentabilidade. Contudo, os consumos de recursos durante a fase de utilização do edifício, nomeadamente água e energia, são aspetos que têm ligação com as questões ambientais.

Passo 5 - Identificação do período de análise e dos métodos de avaliação económica

Para esta análise optou-se pela adoção de um período de análise de 50 anos. Tendo em conta o que já foi referido sobre a possibilidade de adotar novas funcionalidades para este edifício, é aceite que o período de análise considerado seja pequeno, contudo, um período e análise mais alargado é mais suscetível ao risco.

Relativamente ao método de avaliação económica adotado, optou-se pelo CAL.

Passo 6 - Identificação da necessidade de análises adicionais

É importante conhecer a potencial incerteza e variabilidade associadas a esta análise, de forma a ponderar a confiança depositada nos dados para análise.

Como tal, nesta análise torna-se importante conhecer os riscos associados à análise do CCV, quantitativos ou qualitativos, e perceber se existe alguma variável que afete significativamente os resultados globais da análise, tal como a taxa de inflação ou a taxa de desconto.

Passo 7 - Definição dos critérios de avaliação e das categorias de custos

Tendo em consideração os dados recolhidos, a Figura 4.10 apresenta as categorias de custos para análise:

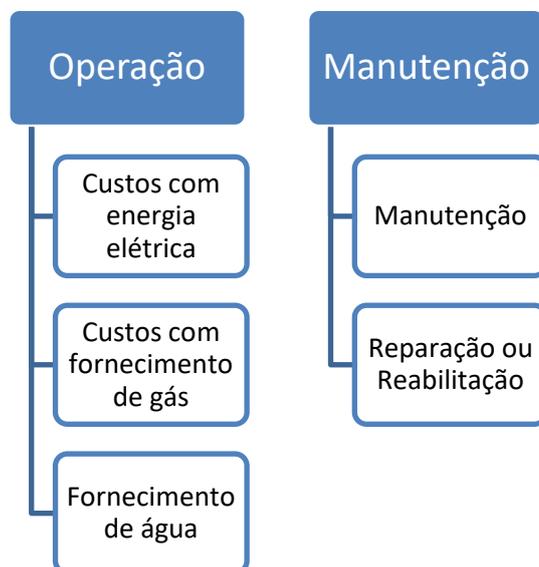


Figura 4.10 - Categorias de custos para análise

Para o estudo das categorias de custos acima expostas, e de forma a analisar o seu impacto económico ao longo dos anos, recorreu-se à utilização de diferentes taxas de inflação, nomeadamente a taxa de inflação global, a taxa de inflação da água, eletricidade e gás e a taxa de inflação de manutenção da habitação. Os dados foram retirados do site da PORDATA, apresentando-se a sua evolução temporal entre 1993 e 2015 na Figura 4.11. De um modo geral, constata-se um decréscimo generalizado das taxas, com a tendência para estabilizar entre os 2 e os 4%, exceção feita aos anos imediatamente após a crise financeira de 2008. No período entre 2008 e 2012 verificou-se alguma volatilidade das taxas, em especial da água, eletricidade e gás.

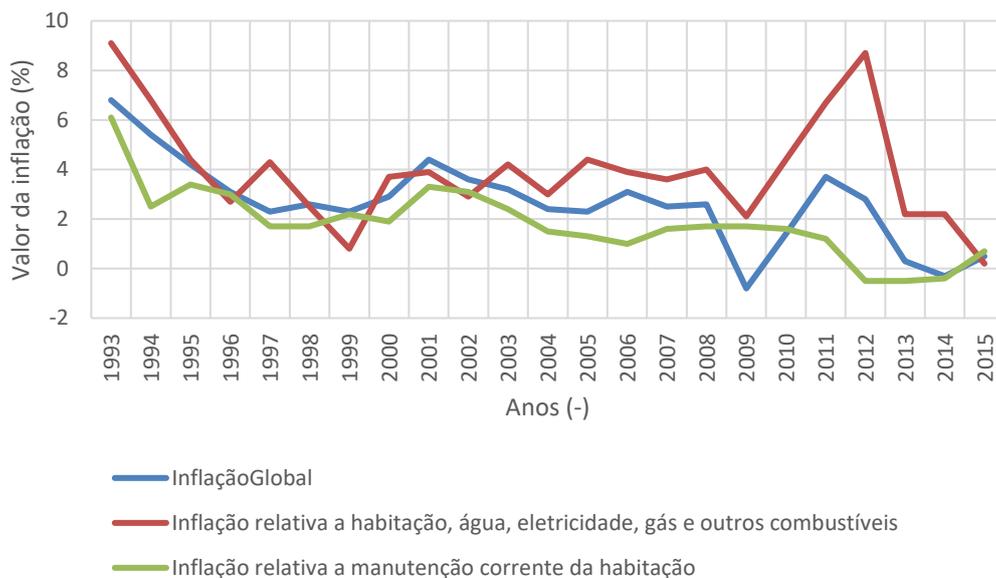


Figura 4.11 - Variação da taxa de inflação referente às categorias de custos analisadas (1993-2015)

Outro critério de avaliação utilizado na análise do CCV foi a taxa de atualização, calculada da seguinte forma:

$$Ta = [(1 + T1)(1 + T2)(1 + T3)] - 1$$

em que:

T1 - representa o rendimento real;

T2 - representa o prémio de risco;

T3 - representa a inflação.

Dada a especificidade da AM e, portanto, do edifício em questão, não existe a necessidade de considerar o retorno, visto que não se trata de um investimento com vista a obter lucro. Logo, a variável T1 irá apenas considerar a taxa de obrigações do tesouro português, emitida pela República Portuguesa. Este valor é indicativo do valor mobiliário representativo de um empréstimo de médio-longo prazo da República de Portugal, pretendendo-se assim refletir o valor do dinheiro no tempo para o estado, já que a AM é um organismo público.

Dada a necessidade de utilizar do edifício, mantendo-o em funcionamento por forma a cumprir todas as funções para o qual está destinado, permite desprezar a variável T2. Na prática existe risco, mas não existe a alternativa de não utilizar o edifício e canalizar as verbas para outro investimento. Assim, admite-se que o risco existente é em grande medida constante para todas as alternativas operação e manutenção do edifício.

Relativamente à variável T3, considerou-se a média dos valores da taxa de inflação dos últimos quinze anos.

Passo 8 - Seleção das opções alternativas a analisar

A análise do CCV do edifício em questão, apresenta um cenário base onde são avaliadas as atividades económicas desenvolvidas no período de análise escolhido (e.g. grandes reparações,

substituição de componentes, pinturas de fachadas). Contudo, para além das anteriormente referidas, apresentam-se ainda duas opções a ser consideradas para análise:

- Substituição de lâmpadas tubulares fluorescentes T8 de 36W, por lâmpadas LED tubulares de 20W;
- instalação de Redutores de caudal nos chuveiros e nas torneiras das I.S.

A primeira opção apresentada, referente à substituição de lâmpadas, apresenta diversas vantagens, nas quais se destacam o baixo consumo (cerca de 50% menos do que as lâmpadas fluorescentes) e o elevado tempo de vida (aproximadamente três vezes mais), fatores determinantes para os hábitos de uso e consumo da população do edifício. O investimento neste tipo de iluminação apenas terá impacto no número de lâmpadas adquiridas, isto é, o facto dos componentes instalados permitirem a substituição direta de lâmpadas, o custo com a substituição e montagem do sistema de iluminação não existe.

O regime de internato a que estão sujeitos os alunos da AM, acrescentando as atividades desenvolvidas inerentes à sua condição, faz com que o consumo de água anual no edifício, seja aproximadamente 60% do consumo registado em todo o aquartelamento. Portanto, recomendam-se medidas que levem a uma diminuição destes valores. Tendo por base o que foi anteriormente referido, foi estudada a viabilidade económica resultante da instalação de redutores de caudal em todas as torneiras e chuveiros das I.S. do edifício em causa, resultando em poupanças que podem atingir os 60%.

Passo 9 - Recolha de dados dos perfis temporais de custos

Os dados relativos aos consumos com a água, energia elétrica e gás, foram recolhidos com base em informação documental disponibilizada pela AM, nomeadamente as faturas mensais dos encargos referidos.

O consumo de água apresentado pelo edifício, é registado por um contador que engloba outros consumos de edifícios circundantes (e.g. edifício da porta de armas e edifício de internato feminino para praças). Contudo, a despesa de água apresentada pelos últimos, é uma pequena fração quando comparada com a do internato dos alunos. É então necessário perceber onde ocorrem os maiores consumos de água. O Quadro 4.1 e a Figura 4.12, resultam da avaliação feita aos equipamentos existentes (através de ensaios sobre o consumo de cada um), bem como do elevado conhecimento que existe da vivência interna da instituição, complementando com o contacto direto existente com diversos utilizadores. O consumo de água no edifício acontece em duas zonas distintas, nas I.S. e na casa das máquinas, nome dado ao local onde os alunos têm à sua disposição duas máquinas de lavar roupa para uso próprio. Através dos seguintes elementos, é possível perceber que o maior consumo, mais de metade, ocorre nos banhos.

Quadro 4.1 - Consumos de água por aluno estimados nas I.S. e na casa das máquinas

Instalações Sanitárias	Lavatórios	
	N.º de lavagens dos dentes por dia	3
	Caudal da torneira (litros/minuto)	10,0
	Tempo da atividade (minutos)	2,0
	N.º lavagens das mãos ou outras utilizações similares	6
	Caudal da torneira (litros/minuto)	10,0
	Tempo da atividade (minutos)	0,5
	N.º de vezes que se desfaz a barba por semana	5
	Caudal da torneira (litros/minuto)	10,0
	Tempo da atividade (minutos)	5,0
	Chuveiros	
	N.º de banhos por dia	2
	Caudal do chuveiro (litros/minuto)	10,0
	Tempo da atividade (minutos)	8,0
	Autoclismos	
	N.º descargas por dia	2,0
	Volume da descarga (litros)	10,0
Urinóis		
N.º descargas por dia	4,0	
Volume da descarga (litros)	1,0	
Zona de lavagem de botas		
N.º de utilizações por semana	2	
Caudal da torneira (litros/minuto)	30,0	
Tempo da atividade (minutos)	1,0	
Casa das máquinas	Máquinas de lavar roupa	
	Nº de Pré-Lavagens manuais por semana	6
	Caudal da torneira (litros/minuto)	30
	Tempo de atividade (minutos)	2
	N.º de máquinas de lavar roupa	2
	N.º de utilizações por semana por máquina	6
	Consumo por utilização (litros)	45,0
	Capacidade (kg)	7,0

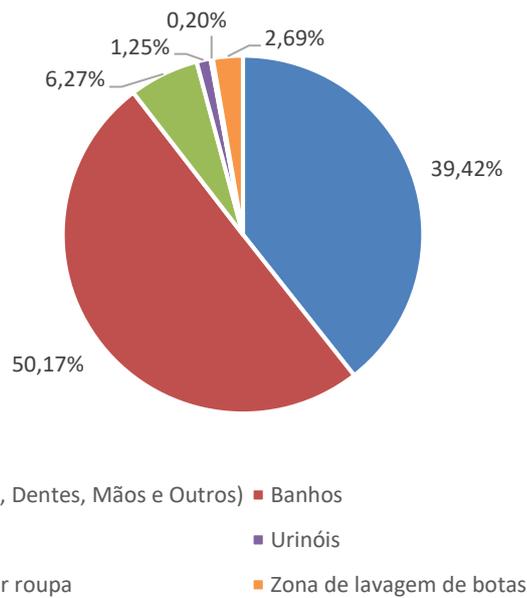


Figura 4.12 - Divisão do consumo de água no edifício

O registo do consumo de energia elétrica é feito para todo o aquartelamento, sendo então necessário estimar a percentagem gasta pelo edifício destinado à análise. Mais uma vez, teve-se em consideração o conhecimento dos consumos de cada aparelho, bem como a elevado grau de conhecimento da vivência interna da instituição. Como tal, reuniram-se os principais equipamentos de consumo de energia presentes nas diferentes divisões do edifício e estimaram-se os períodos de funcionamento diário de cada um (Quadro 4.2).

Tendo em consideração estes consumos, a Figura 4.13 ilustra que é nos quartos onde se regista o maior gasto com a energia elétrica. O consumo de energia elétrica nas salas de estudo não é apresentado, dado o seu valor bastante baixo comparativamente aos restantes espaços referidos.

Quadro 4.2 - Equipamentos consumidores de energia elétrica nas diferentes divisões

Divisão	Equipamento	Tempo de funcionamento (h)	Energia consumida durante uma hora (W)	Número de equipamentos por divisão
Quarto	Lâmpada fluorescente- T8	5,0	36,0	4,0
	Candeeiro	3,0	11,0	4,0
	Telemóvel a carregar	2,0	5,0	4,0
	Termo ventilador (só inverno)	6,0	2000,0	1,0
	Ferros de engomar	0,3	1500,0	1,0
	Frigorífico	24,0	200,0	0,2
	Computador Ligado	6,0	250,0	4,0
Instalações sanitárias	Lâmpada fluorescente- T8	5,0	36,0	14,0
Salas de estudo	Lâmpada fluorescente- T8	4,0	36,0	4,0
Espaços de circulação	Lâmpada fluorescente- T8	4,0	36,0	12,0
Casa das Máquinas	Máquina de secar roupa	1,0	3500,0	1,0
	Máquina de lavar roupa	2,0	2000,0	2,0
	Lâmpada fluorescente- T8	1,0	36,0	2,0

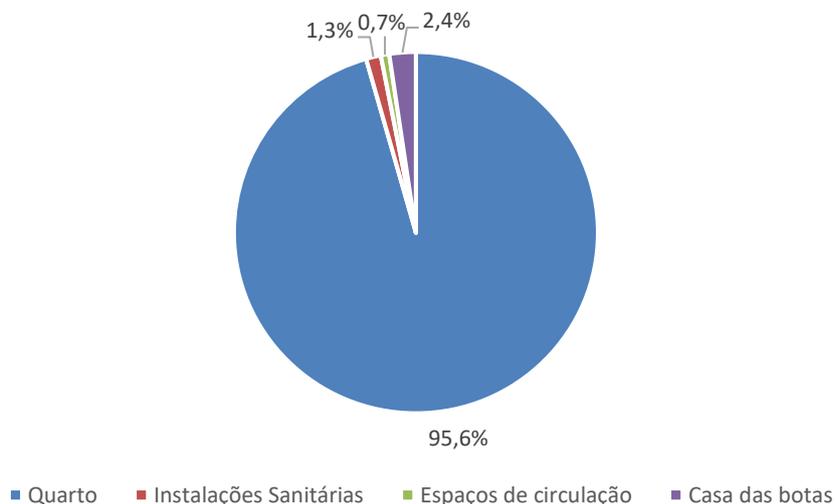


Figura 4.13 - Distribuição do consumo elétrico por divisão

Tendo em consideração a elevada percentagem de energia consumida nos quartos, procurou então perceber-se, de uma forma mais detalhada, como é que este consumo é distribuído. Através da análise da Figura 4.14, é possível perceber que a utilização dos computadores é o principal fator de consumo energético nesta divisão. A razão inerente a este facto, é devido ao carácter académico a que

os alunos da AM estão sujeitos, sendo o computador o principal meio de trabalho de cada um, não esquecendo todas as restantes atividades que podem ser realizadas com este aparelho (e.g. visualização de filmes, navegação na internet, jogos, etc.). O segundo elemento a apresentar um grande consumo é o termoventilador, aparelho que embora só tenha uso no inverno, devido à falta de aquecimento nos quartos, encontra-se ligado por grandes períodos de tempo. Outro aparelho que aparece com uma percentagem significativa nesta análise é o frigorífico. Este elemento não se encontra em todos os quartos dos alunos, contudo, dada a vivência que se verifica, fundamentalmente, após o quarto ano da AM, para todos os alunos que frequentam instituições externas à mesma por forma acabar os seus cursos, apresenta-se como um aparelho fundamental e muitas vezes imprescindível para estes. A razão é que nem sempre existe disponibilidade para tomar as refeições na AM e assim é possível armazenar alimentos para confeccionar as próprias refeições. Uma boa iluminação destes espaços é fundamental, dado ser aquele em que os alunos despendem grande parte do seu dia, como foi referido, e onde realizam as suas atividades académicas após as aulas. Tendo em consideração o anteriormente referido, é então natural que a iluminação destes espaços seja o terceiro fator com maior preponderância no consumo de eletricidade.

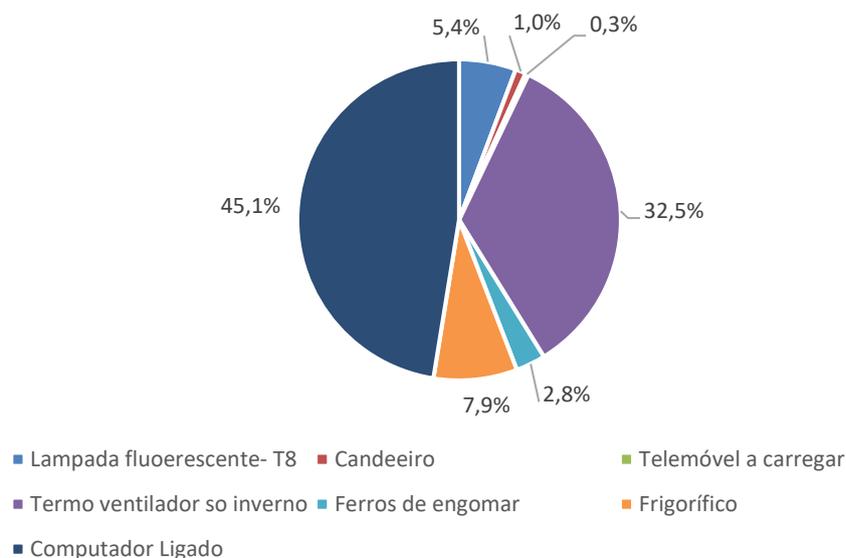


Figura 4.14 - Distribuição do consumo elétrico nos quartos

Após a análise feita ao consumo de eletricidade, é possível estimar que o edifício consome 38,8% do total de energia consumida no aquartelamento. Relativamente ao consumo de gás no edifício, destinado ao aquecimento das águas, este representa 51% do consumo geral do aquartelamento.

Outro aspeto de elevado interesse de análise, passa pela periodização da manutenção da fachada exterior do edifício, que apresenta um revestimento de tinta. O modelo de degradação adotado e a sua aplicabilidade, encontram-se explicados no Anexo A, sendo importante perceber os valores que ajudam à sua definição. Primeiramente é necessário enquadrar a fachada num nível de degradação. O Quadro 4.3 apresenta os níveis de degradação a considerar:

Quadro 4.3 - Definição dos níveis de degradação (Adaptado Magos, 2015)

Níveis de degradação	Estado de conservação
Nível 0	Sem degradação ou não detetável
Nível 1	Bom estado
Nível 2	Degradação ligeira
Nível 3	Degradação moderada
Nível 4	Degradação generalizada

Tendo em consideração o atual estado de conservação da fachada, adotou-se para a análise o nível 2 de degradação.

A definição da severidade da degradação normalizada (S_w), é a relação que existe entre o valor da extensão ponderada e uma área de referência, consequente do produto da área da fachada pelo nível de condição mais desfavorável (Chai, 2011) e é expressa da seguinte forma:

$$S_w = \frac{\sum(A_n \times k_n \times k_{a,n})}{A \times k}$$

onde:

A_n - área do revestimento afetado por uma anomalia n [m^2];

k_n - fator multiplicativo das anomalias n , em função em função do seu nível de degradação, tomando os valores pertencentes ao intervalo $K = \{0, 1, 2, 3, 4\}$;

$k_{a,n}$ - coeficiente de ponderação correspondente ao peso relativo da anomalia detetada; $k_{a,n} \in \mathbb{R}^+$; $k_{a,n} = 1$ em caso da inexistência de qualquer especificação;

A - área da fachada [m^2];

k - fator multiplicativo correspondente ao nível de condição mais elevada da degradação de um revestimento de área A .

Assume-se para o presente trabalho que existe igual peso relativo entre as diferentes anomalias, logo $k_{a,n}=1$.

Torna-se então necessário avaliar a relação entre severidade e condição, isto é, relacionar a escala, expressa em percentagem, da severidade, com a escala da condição, que apresenta os cinco níveis exposto no Quadro 4.3. Segundo Chai (2011), a correspondência entre severidade e condição pode ser expressa como apresentado no Quadro 4.4:

Quadro 4.4 - Correspondência entre severidade e condição (Adaptado Chai, 2011)

Severidade	Níveis de degradação
$S_w, p \leq 1\%$	0
$1\% < S_w, p \leq 10\%$	1
$10\% < S_w, p \leq 20\%$	2
$20\% < S_w, p \leq 40\%$	3
$S_w, p \geq 40\%$	4

Portanto, através da análise do Quadro 4.4 e atendendo ao nível de degradação escolhido, o valor de S_w está compreendido no intervalo [10%;20%]. Para a presente dissertação adotou-se o valor médio do intervalo, 15%. Utilizando a equação 1 apresentada em anexo, e inserindo os respetivos códigos, chega-se a um intervalo de intervenções de 14 anos.

Passo 10 - Apreciação do risco preliminar (opcional)

Até esta etapa foram assumidos diferentes riscos, quer os relacionados com o período de análise considerado, aqueles que estão inerentes ao uso das taxas de inflação e taxa de desconto e até mesmo o que possa estar associado às alternativas propostas para o edifício.

Tendo em consideração todas as justificações apresentadas nos passos anteriores, bem como os dados disponíveis para análise, não existe a necessidade de realizar nenhuma atualização nem acrescento de informação aos mesmos.

Passo 11 - Revisão e confirmação da parametrização da análise

Para a análise do CCV do edifício de internato dos alunos na sede da AM, foi definido um período de análise de 50 anos.

Os parâmetros financeiros foram identificados da seguinte forma: taxa de inflação média dos últimos quinze anos (global), taxa de inflação relativa a habitação, água, gás e outros combustíveis e taxa de inflação relativa a manutenção corrente de habitação dos anos respeitantes ao período de análise. Para o cálculo da taxa de atualização considerou-se ainda a percentagem de 2,1% relativa à taxa de obrigações do tesouro português.

Foram ainda estudadas duas hipóteses de análises adicionais: substituição de lâmpadas fluorescentes T8 de 36W, por lâmpadas LED de 20W e colocação de redutores de caudal nas torneiras e chuveiros das I.S.

Foi estimada também a periodicidade que se deve seguir relativa à pintura da fachada exterior.

Passo 12 - Realização da avaliação financeira

A realização desta avaliação teve por base os custos apresentados até ao momento. Pela condicionante de apenas existirem dados relativos ao período que contempla os anos de 2010-2014, foram estimados os valores dos restantes anos respeitantes ao período de análise considerado.

A Figura 4.15 explana o processo adotado de forma a atualizar os custos referentes ao consumo de gás no ano de 2009, ao ano de referência usado nesta análise, 2015.

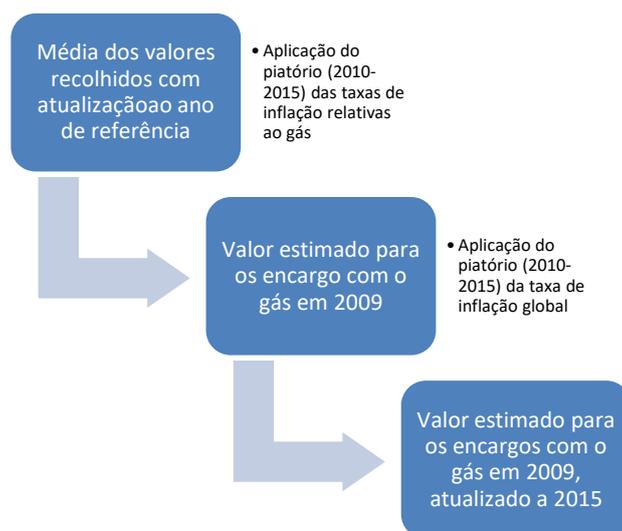


Figura 4.15 Processo adotado para atualização dos custos existentes na análise do CCV

Da mesma forma que se adotou uma estimativa para os custos anteriores a 2010, foi utilizado um processo idêntico para estimativa dos custos posteriores a 2015. Admitiu-se uma taxa de inflação constante correspondente à média dos últimos quinze anos.

Após a estimativa do valor do investimento inicial para a alternativa considerada, foi então utilizado o VAL de forma a obter os custos atualizados a 2015.

Passo 13 - Realização de análise de sensibilidade e apreciação do risco detalhada (opcional)

Uma análise de sensibilidade consiste na seleção das variáveis e parâmetros considerados críticos no modelo estudado, isto é, aqueles cujas suas variações, sejam elas positivas ou negativas, em relação ao valor considerado como melhor estimativa no caso de referência, originam as alterações mais importantes desses parâmetros. Portanto, esta análise é bastante importante pois permite mitigar ou controlar aqueles que são os riscos mais influentes

Como tal, procedeu-se à realização de uma análise de sensibilidade considerando como variáveis os encargos energéticos, o consumo de água e gás e ainda os gastos com as manutenções feitas e previstas.

Das análises realizadas, apresentam-se três exemplos de forma a ilustrar três situações distintas. A primeira respeitante ao ano de 1995 onde se realizou uma intervenção no internato dos alunos, o que implica que a variável respeitante à manutenção apresente um valor de 7,4%. Neste mesmo ano, a variável referente à água é aquela que apresenta maior percentagem, facto transversal a toda a análise. A segunda situação apresentada é referente ao ano de 2017, altura em que não se estima nenhuma intervenção e, portanto, só as restantes variáveis são influenciadoras do resultado apresentado. A terceira e última situação ilustrada, é respeitante ao ano de 2035 onde se estimam novas intervenções no edifício e por conseguinte a variável referente à manutenção volta a apresentar uma carga percentual mais elevada.

Os resultados da análise de sensibilidade efetuada, apresentam-se na Figura 4.16.

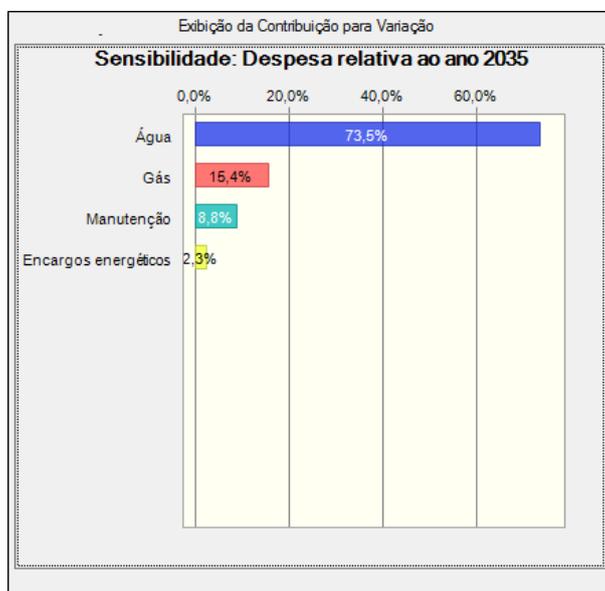
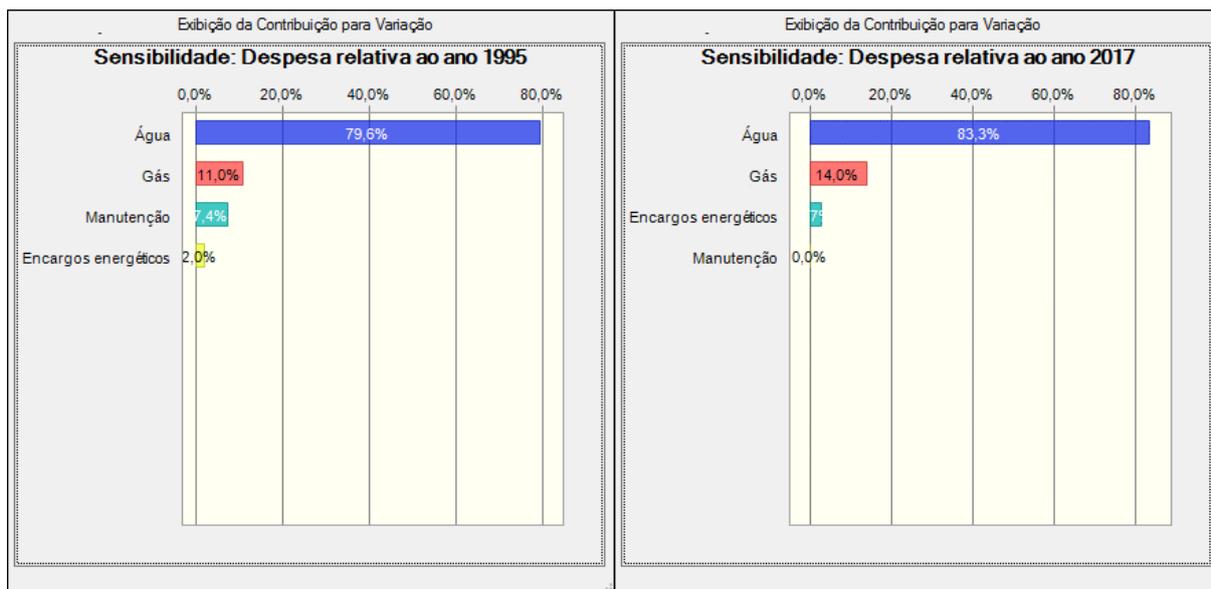


Figura 4.16 - Análises de sensibilidade efetuadas

Após a realização da análise de sensibilidade e identificadas as variáveis críticas, procedeu-se à análise da influência da incerteza combinada nas várias variáveis. Para cada uma das variáveis foi atribuída uma distribuição de probabilidades representativa da variabilidade esperada dos valores de cada variável, centrada no valor esperado que foi usado no caso de referência.

Atendendo às variáveis analisadas gerou-se a curva de probabilidade acumulada de forma a verificar quais os valores registados nos diferentes percentis de certeza. Para tal, o nível de contingência assumido, isto é, o nível de certeza adotado para a apresentação dos resultados foi de 80% (Figura 4.17).

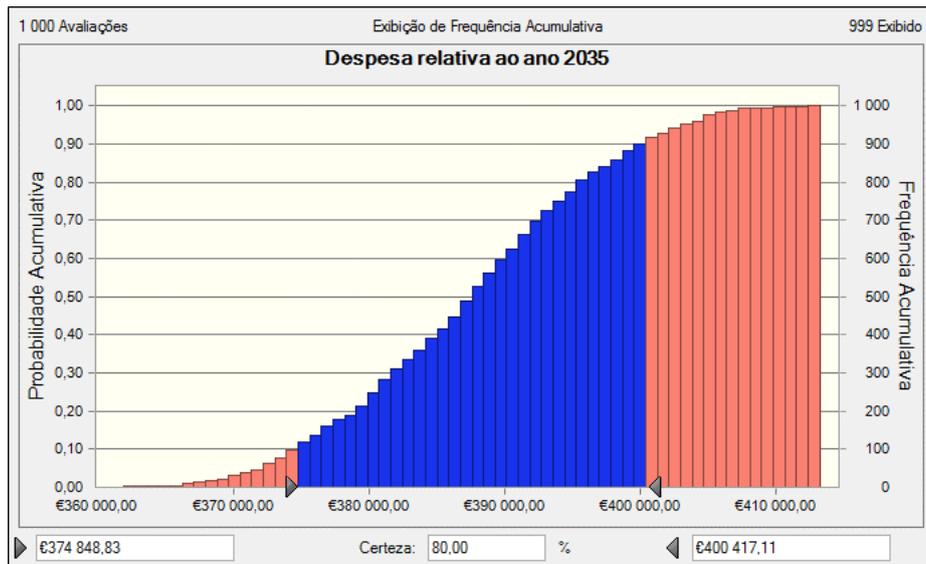
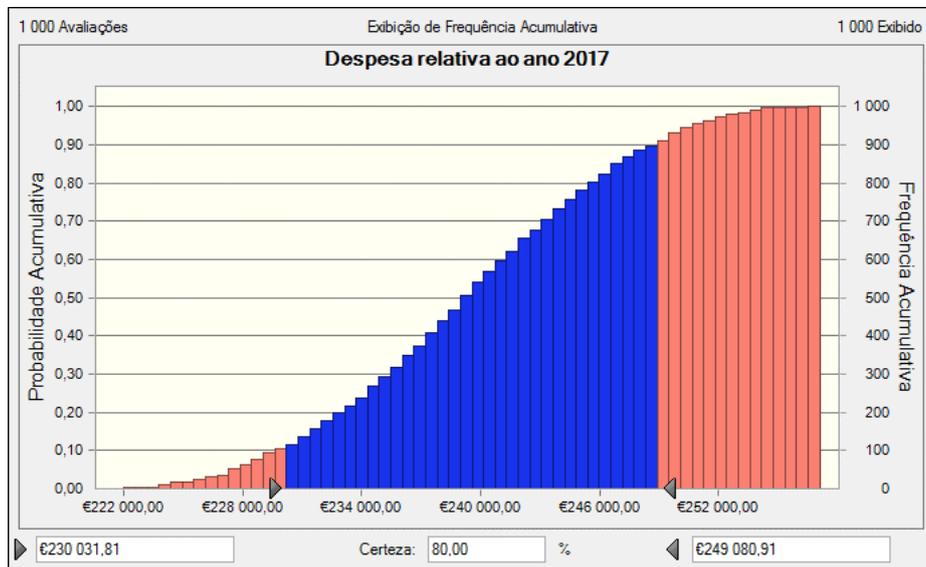
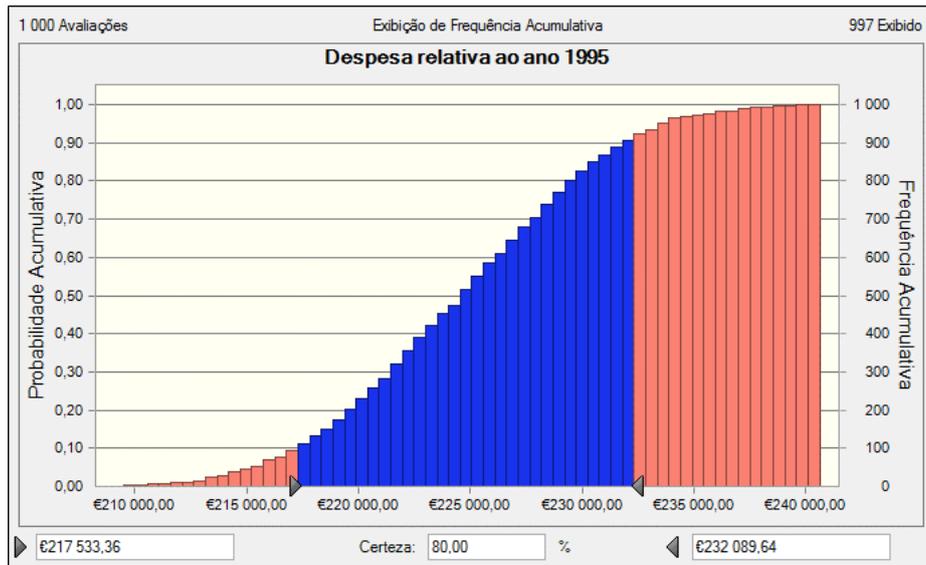


Figura 4.17 - Apreciação do risco – Gráficos de frequência acumulada

Passo 14 - Interpretação e apresentação dos resultados iniciais

Após a obtenção dos custos atualizados a 2015, bem como da inserção na análise do CCV das alternativas consideradas, obtiveram-se resultados que indiciam poupanças relativamente ao cenário base considerado.

As estimativas realizadas para a manutenção/substituição de componentes no edifício, tiveram como base as áreas e unidades presentes nos documentos consultados na DIE, relativos às intervenções realizadas neste. O Quadro 4.5 apresenta a estimativa realizada e inserida para o cálculo do CCV. A periodicidade das intervenções teve em consideração o ano de 2017 como o ano zero.

Quadro 4.5 - Estimativa de custos e periodicidade das intervenções

Estimativas de manutenção						
Reparação		Custo Unitário (2016)		Quantidade		Periodicidade
Pinturas interiores	Quartos	4,3	€/m ²	10368	m ²	15
	Instalações Sanitárias	4,3	€/m ²	993,6	m ²	15
	Espaços de circulação	4,3	€/m ²	17811,86	m ²	20
	Sala de estudo	4,3	€/m ²	221,865	m ²	20
Cobertura		16,88	€/m ²	500,31	m ²	30
Pintura Lambris		4,3	€/m ²	305	m ²	20
Manutenção da caixilharia de alumínio		21,49	€	110	m	15
Reparação do pavimento em tacos de madeira		7,65	€/m ²	870	m ²	30
Manutenção da tubagem de aço inox e ferro galvanizado		0,73	€/m	576	m	15
Torneiras em chuveiros		25	€	20	Un	15
Torneiras em lavatórios		20	€	100	Un	15
Torneiras nos urinóis		20	€	27	Un	15
Substituição dos fluxómetros das sanitas		60	€	12	Un	25
Depósito de 1200l de água quente		4500	€	1	Un	30
Urinóis		30	€	27	Un	25
Bacias de retrete sifónicas		35	€	12	Un	20
Lavatórios		35	€	60	Un	30

A maior economia de recursos verifica-se aquando da adoção da medida relacionada com a poupança de água, colocação de redutores de caudal nos chuveiros e nas torneiras. Embora a poupança seja mais reduzida no que diz respeito à eficiência energética, com a adoção de lâmpadas LED, trazendo mesmo assim poupanças anuais significativas, esta medida não deve ser posta de parte devido à facilidade com que o processo de substituição pode ser feito (Figura 4.18).

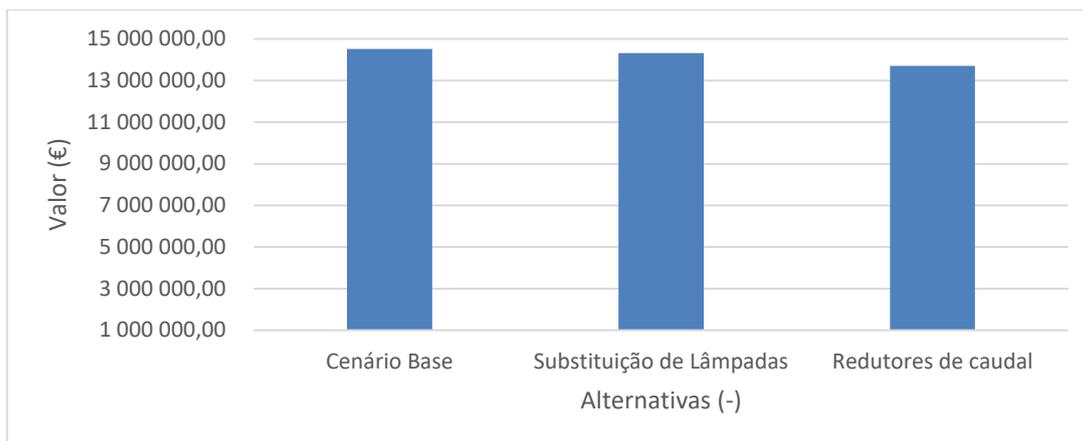


Figura 4.18 - Custos atualizados a 2015 das alternativas estudadas

A evolução dos custos no edifício apresenta um andamento ascendente ao longo dos anos do período de análise. Este facto deve-se à aplicação das diferentes taxas de inflação referidas anteriormente (Figura 4.19).

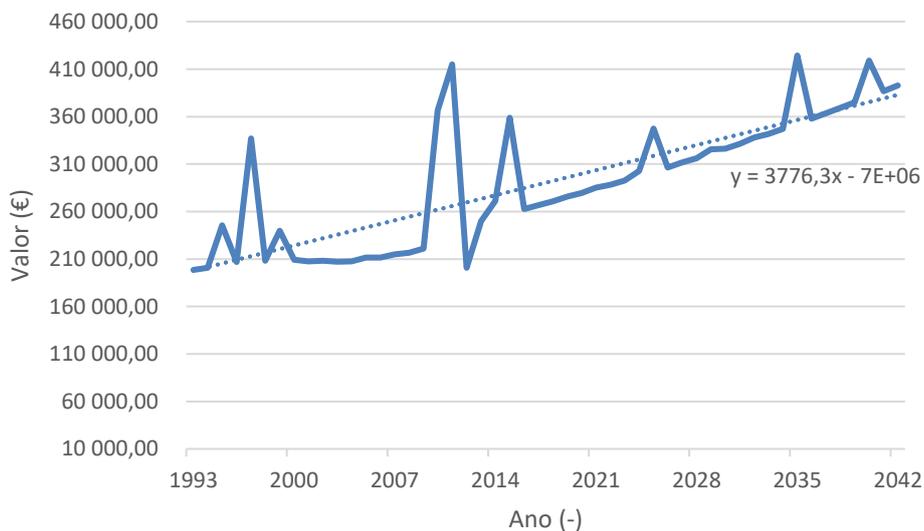


Figura 4.19 - Evolução dos custos no edifício ao longo dos anos (cenário base)

O elevado valor que se apresenta no ano de 2011, é devido à reparação da cimalha do edifício que se registou no respetivo ano.

Relativamente ao cenário base importa compreender onde acontecem os principais encargos económicos no edifício. Como já foi explicado diversas vezes, o internato obrigatório dos alunos e a realização de atividades desportivas inerentes ao seu dia a dia, implica a realização de todas as suas atividades de higiene dentro do edifício, sendo os gastos com água os que apresentam maiores registos. A utilização de gás para o aquecimento das águas, aparece naturalmente em segundo lugar (Figura 4.20).

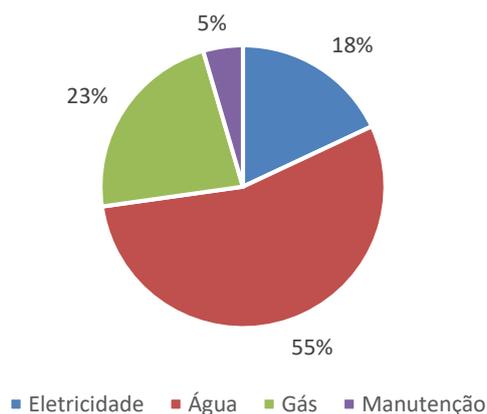


Figura 4.20 Repartição dos encargos no edifício no cenário base

Torna-se então importante referir que as otimizações realizadas no âmbito da água e do gás, têm um grau de importância superior e devem ser cuidadosamente tratadas, isto é, um grau de planeamento detalhado numa fase inicial do projeto, poderá vir a ser decisivo no que diz respeito a gastos futuros nestas duas áreas.

Apresentadas e explicadas as poupanças com a adoção das duas medidas estudadas, é importante nesta fase a comparação do CCV do cenário base com o CCV após a adoção das medidas. Comparando a Figura 4.21 com a Figura 4.22, constata-se que o impacto económico da adoção de redutores de caudal nas torneiras e chuveiros do edifício, é bastante mais significativo do que a adoção de lâmpadas LED. O investimento estimado para a substituição de lâmpadas, e tendo em consideração a taxa de inflação, é de 6 342,05 € apresentando um tempo de vida de sete a dez anos. Relativamente à introdução de redutores de caudal, estima-se um investimento de 949,29 €. Portanto, estima-se uma poupança no CCV de 205 064,85€ e de 814 935,15 € respeitante à substituição de lâmpadas e adoção de redutores de caudal, respetivamente, para o período de análise considerado.

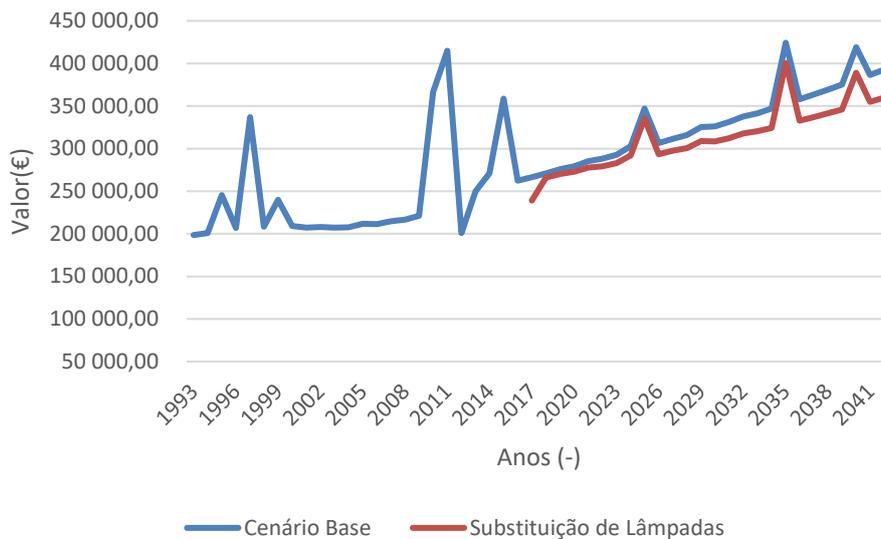


Figura 4.21 - Comparação do CCV entre o cenário base e a substituição de lâmpadas

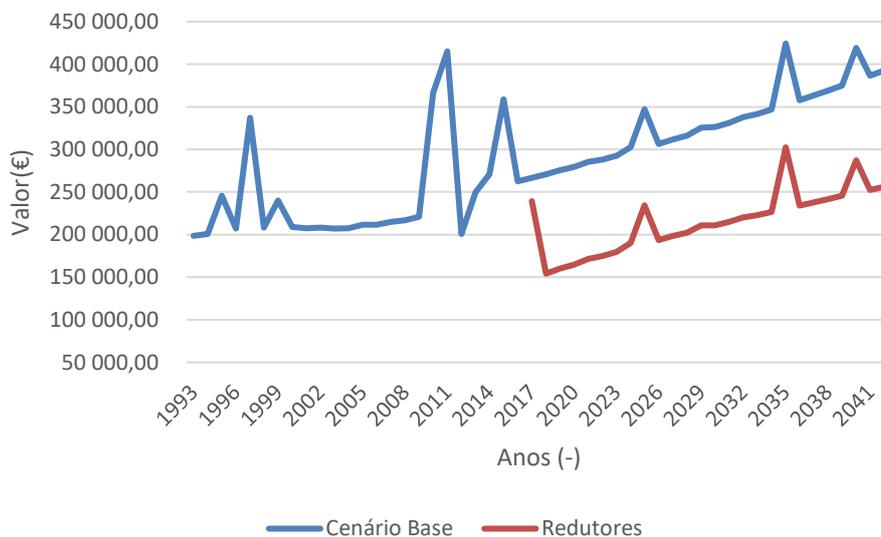


Figura 4.22 - Comparação do CCV entre o cenário base e a adoção de redutores de caudal

Interessa agora analisar, os impactos destas medidas na repartição dos custos apresentados anteriormente.

A adoção de lâmpadas LED de 20W e 120cm, implica a diminuição do impacto da eletricidade em onze pontos percentuais (Figura 4.23). Já a adoção de redutores de caudal implica uma diminuição de aproximadamente 50% no consumo de água (Figura 4.24).

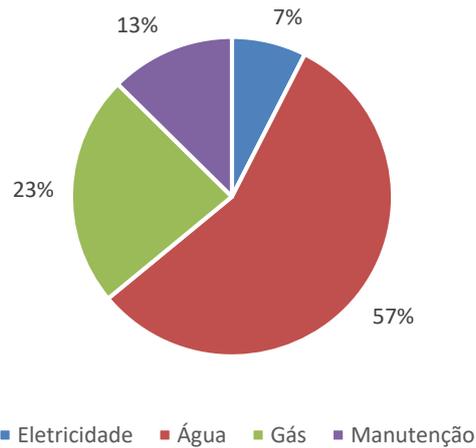


Figura 4.23 - Repartição dos encargos no edifício após substituição de lâmpadas

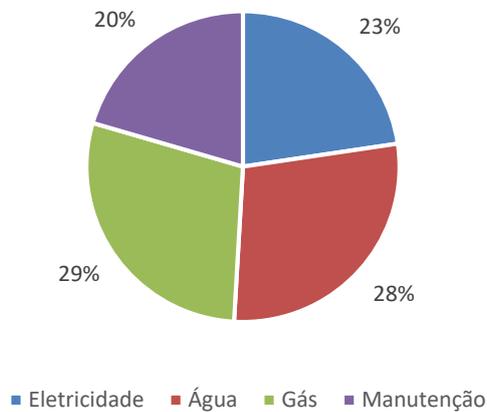


Figura 4.24 - Repartição dos encargos no edifício após adoção de redutores de caudal

A introdução de redutores de caudal, dado o elevado consumo de água registado na globalidade do edifício, representa 21% do CCV deste.

Analisando o CCV do edifício e as opções analisadas, a poupança com a introdução destas representa 24% do CCV do edifício.

Importa referir que, a poupança de gás com a instalação de redutores de caudal, que irá naturalmente acontecer, não foi contabilizada devido à ausência de informação que interliga estes dois consumos.

Passo 15 - Apresentação dos resultados finais

Nesta etapa final, seria realizado um relatório que incluiria todos os parâmetros expostos no passo 15 apresentado na metodologia proposta no capítulo 3. Contudo, devido ao carácter desta dissertação, não é necessária a elaboração do mesmo.

5. Considerações Finais

5.1. Conclusões

A necessidade do estudo do CCV, seja em materiais, edifícios ou outras componentes que o possibilitem, tem vindo a ganhar um importante relevo na sociedade atual dado o impacto económico e financeiro que pode advir desse estudo. A preocupação crescente com os ativos físicos de uma determinada instituição (instalações e equipamentos) e o interesse na sua otimização, faz com que estas exijam a rentabilização dos seus investimentos através do controlo do seu CCV.

Em Portugal, a adoção das medidas supracitadas começa a ganhar importância nos diferentes setores de atividade industrial. Contudo, a falta de legislação ou normas nacionais nesta área é um fator negativo que contrasta com outros países da União Europeia.

A implementação de estudos deste cariz no exército, são fortemente recomendados de forma a possibilitar uma melhor racionalização dos recursos da instituição. Na AM, a aplicação de medidas com vista à análise do CCV dos seus edifícios, é um processo que para além de ser benéfico para a instituição exército, é também uma forma da própria AM conseguir controlar as atividades que decorrem nesta, isto é, perceber onde e como atuar.

A presente dissertação pretendeu desenvolver uma metodologia prática para a análise do CCV em edifícios. A escassa bibliografia, direcionada para o tema do presente documento, em Portugal, levou a que esta tivesse sido apoiada em normas e legislação internacional. A aplicação da metodologia apresentada a um caso prático, aumenta o leque de alternativas a considerar em futuros trabalhos, nomeadamente em Portugal.

Durante a realização da dissertação, a importância com a componente económica revelou-se um elemento importante aquando de uma análise do CCV. A recolha de dados relativos aos gastos com energia, água e gás exigiram a assunção de hipóteses e levantamentos, dada a complexidade que existe na instituição no que respeita à base de dados de armazenamento desta informação, bem como a difusão de informação por diversas secções da unidade. Para tal foi tida em consideração a experiência pessoal de vivência interna na AM bem como do contacto direto com os alunos da mesma.

No que diz respeito a pequenas remodelações/operações no edifício, estas são por vezes realizadas com meios internos, o que leva a que não existam dados minimamente detalhados sobre elas. A amostra de dados relativos a intervenções realizadas no edifício é limitada, pelo que se desenvolveu um modelo de previsão da degradação para as pinturas exteriores, intervenção que se admitiu ser a mais relevante em termos de custos. O modelo tem em consideração os seguintes fatores: i) a densidade urbanística; ii) a distância ao mar; iii) as condições de humidade; iv) o tipo de acabamento; e iv) a idade. Assim, foi possível estabelecer uma periodicidade de intervenções na fachada exterior do edifício, tendo sido estimado intervalos entre intervenções na pintura da fachada de 14 anos. Com a experiência interna na instituição, verifica-se que tal não acontece devido à intervenção pouco rigorosa aquando das intervenções, o que implica uma maior regularidade destas por forma a manter os níveis fundamentalmente estéticos da fachada.

A aplicação da metodologia ao edifício de internato dos alunos, permitiu perceber que este edifício é aquele que contribui de forma significativa para o aumento do CCV do quartelamento sede

da AM. As atividades diárias realizadas pelos alunos, bem como as especificidades físicas existentes nos horários destes, tornam o consumo de água aquele com maior preponderância nos consumos gerais do edifício, representando 55% do total.

A implementação de medidas que visem a redução do consumo de água, mas também dos outros encargos, deve ser vista como uma prioridade para a instituição. Como tal, um investimento nestas medidas, é uma solução que apresentará benefícios a longo prazo para a instituição. A instalação de redutores de caudal nas torneiras e chuveiros das I.S. bem como a substituição das lâmpadas atuais por lâmpadas LED, são medidas que apresentam um forte impacto económico, e também ambiental, na AM, sendo a primeira opção aquela que se apresenta como economicamente mais vantajosa. A aplicação simultânea das duas alternativas, apresenta poupanças de 24% do CCV do edifício, para o período de análise considerado (50 anos). Considerando ainda os elevados gastos que existem no edifício relacionados com o consumo de água, acrescidos da contribuição dos balneários gerais, estimou-se uma poupança de 21% na introdução de redutores de caudal nos chuveiros e nas torneiras, face ao CCV do cenário base.

Em suma, foram cumpridos os objetivos propostos e o presente documento apresenta-se como mais uma ferramenta que possibilitará a aplicação prática de uma análise do CCV a edifícios.

5.2. Propostas de trabalho futuro

De forma a complementar o trabalho realizado pela presente dissertação, poderão ser realizados os seguintes trabalhos futuros:

- estudo para a colocação de contadores individuais por edifício de forma a perceber onde acontecem os maiores gastos, nomeadamente relativos ao consumo energético, pois só existe um para todo o aquartelamento;
- criação de uma base de dados com o objetivo de armazenar a informação relativa aos consumos energéticos, de água e gás;
- criação de uma base de dados onde ocorresse o registo, obrigatório, de todas as intervenções que acontecem através de meios internos;
- aumentar a diversidade de categorias de custos a introduzir na análise, nomeadamente custos relacionados com limpeza;
- aumentar o número de medidas com impacto positivo no CCV do edifício, nomeadamente as relacionadas com os gastos com o gás;
- apresentação da redução do consumo de gás aquando da introdução dos redutores de caudal;
- aplicação da metodologia a outros edifícios da sede da AM.

Bibliografia

- Academia Militar. (2012). Plano Estratégico 2012-2016.
- Almeida, M., & Cardoso, M. (2010). Gestão patrimonial de infra-estruturas de águas residuais e pluviais. Uma abordagem centrada na reabilitação. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos & Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- American Society of Civil Engineers. (2013). *2013 Report Card for America's Infrastructure*. Retrieved from [infrastructurereportcard.org](http://www.infrastructurereportcard.org/): <http://www.infrastructurereportcard.org/>
- Brito, J., & Gaspar, P. (2004). *O Ciclo de Vida das Construções IV - Vida Útil Económica*.
- Chai, C. de V. V. C. (2011). *Previsão da vida útil de revestimentos de superfícies pintadas em paredes exteriores*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico.
- Cohen, A. (2004, September). Making the Upgrade with Funds for New Facilities Increasingly Hard to come by, Renovations and Phased Retrofits are allowing Large Spectator Venues to change with the Times. *Athletic Business*, 50–58.
- Construction Engineering Research Laboratory. (2012). RAILER. Retrieved May 15, 2016, from Sustainment Management System: <http://sms.cecer.army.mil/SitePages/RAILER.aspx>
- Cotts, D. G., & Rondeau, E. P. (2004). *The facility manager's guide to finance and budgeting*.
- Dabous, S. A., & Alkass, S. (2008). Decision support method for multi-criteria selection of bridge rehabilitation strategy. *Construction Management and Economics*, 883–893.
- Davis, R. (n.d.). *An Introduction to Asset Management*.
- Decreto -Lei n.º 27/2010 de 31 de março do Ministério da Defesa Nacional, Pub. L. No. Diário da República, 1.ª série — N.º 22 (2014). Retrieved from www.dre.pt
- EPAL. (2016). Empresa Portuguesa das Águas Livres. Retrieved August 24, 2016, from <http://www.epal.pt/>
- European Commission. (2012). *Communication From The Commission To The European Parliament And The Council*. Brussels.
- Grussing, M. N. (2015). *Risk-Based Facility Management Approach For Building Components Using A Discrete Markov Process - Predicting Condition, Reliability, And Remaining Service Life*. Urbana, Illinois.
- IAM. (2014). *Asset Management – An Anatomy*.
- IEC 60300-3-3:2004. Gestión de la confiabilidad. Parte 3-3: Guia de aplicación. Cálculo del cost del ciclo e vida, Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015 (2009).
- ISO 15686-5. Building and Constructed Assets - Service Life Planning: Part 5: Life cycle costing (2008).
- ISO 55000. Asset management - Overview, principles and terminology (2014).

- Kawauchi, Y., & Rausand, M. (1999). *Life Cycle Cost (LCC) Analysis in Oil and Chemical Process Industries*.
- Laefer, D. F., & Manke, J. P. (2008). Building Reuse Assessment for Sustainable Urban Reconstruction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(3), 217–227.
- Langdon, D. (2007a). Life Cycle Costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology - Final Guidance.
- Langdon, D. (2007b). Life Cycle Costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology - Final Methodology.
- Langdon, D. (2007c). Life Cycle Costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology - Literature review.
- Magos, M. M. T. (2015). *Aplicação do método factorial à previsão da vida útil de pinturas de paredes exteriores*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico.
- National Research Council. (1991). *Pay Now or Pay Later: Controlling Cost of Ownership from Design Throughout the Service Life of Public Buildings*. Washington DC: National Academies Press.
- Nunes, C. (2011). Boletim Mensal de Economia Portuguesa - Perspectivas para o Sector da Construção. Gabinete de Estratégia e Estudos & Gabinete de Planeamento, Estratégia, Avaliação e Relações Internacionais.
- Özkil, A. (2003). *Cost Structure and Life Cycle Cost (LCC) for Military Systems*. (Multiple, Ed.), *The Use of Life Cycle Cost and Nature of Decisions*. NATO's Research and Technology Organisation (RTO).
- Paldino and Company. (2006). *King County LCCA Guide*.
- Perera, O., Morton, B., & Perfrement, T. (2009). *Life Cycle Costing in Sustainable Public Procurement: A Question of Value*. International Institute for Sustainable Development.
- Rodrigues, J. (2014). *O custo do ciclo de vida de edifícios como suporte à gestão de ativos físicos construídos Metodologia aplicada a edifícios não residenciais*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico.
- Shami, M. (2008). Solid waste sustainability related to building deconstruction. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 8(2), 117–191.
- Shiple, R., Utz, S., & Parsons, M. (2006). Does Adaptive Reuse Pay? A Study of the Business of Building Renovation in Ontario, Canada. *International Journal of Heritage Studies*, 12(6), 505–520.
- Simonoff, J., Restrepo, C. E., & Zimmerman, R. (2010). Risk management of cost consequences in natural gas transmission and distribution infrastructures. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23(2), 269–279.
- U.S. Department of Transportation. (2015). Asset Management. Retrieved May 15, 2016, from

<https://www.fhwa.dot.gov/asset/>

U.S. General Services Administration. (2015). *Federal Real Property Profile*. Retrieved from gsa.gov:
<http://www.gsa.gov/portal/content/104199>

United States Census Bureau. (2015). *Construction Spending*. Retrieved from
http://www.census.gov/construction/c30/historical_data.html

Water Environment Research Foudation (WERF). (2011). Life Cycle Cost Projection Tool. Retrieved
April 9, 2016, from <http://simple.werf.org/simple/media/LCCT/howTo.html>

Willmott Dixon. (n.d.). What is Whole Life Costing , Life Cycle Analysis and Life Cycle Costing?

Anexos

Anexo A – Modelo de degradação

A estimativa dos custos com intervenções periódicas necessárias para manter o edifício, decorrentes do presente documento, considera unicamente a reabilitação das fachadas.

No respeitante a outros componentes da envolvente exterior, nomeadamente as caixilharias e coberturas, e da envolvente interior, como sejam os pavimentos, tetos e paredes, estes apresentam taxas de degradação menores e são passíveis, em muitos casos, de intervenção com meios internos. Portanto, admite-se que os custos correspondentes no ciclo de vida dos edifícios são reduzidos. Na prática, o revestimento exterior das paredes em causa (pintura) apresenta uma taxa de degradação geralmente superior aos restantes componentes dos edifícios

O emprego de meios internos, neste caso da Academia Militar, por forma a executar a pintura da fachada exterior, é limitado, dada a necessidade que existe de recorrer a andaimes para a execução da tarefa. Portanto, admite-se que este tipo de intervenção representa a maior parcela que existe relativa aos custos com a manutenção e reabilitação dos componentes do edifício.

De forma a estimar o intervalo entre as intervenções, recorreu-se aos dados de degradação de pinturas de paredes exteriores de Magos (Magos, 2015), que incluem os dados do levantamento de Chai (Chai, 2011). Ao contrário da primeira, para a presente análise foram incluídos todos os casos. A Figura A1, apresenta o modelo de regressão linear resultante. Devido à inclusão de todos os casos, o coeficiente de determinação (R^2) alcançado, foi ligeiramente inferior ao valor de 0,75 obtido por Magos (2015).

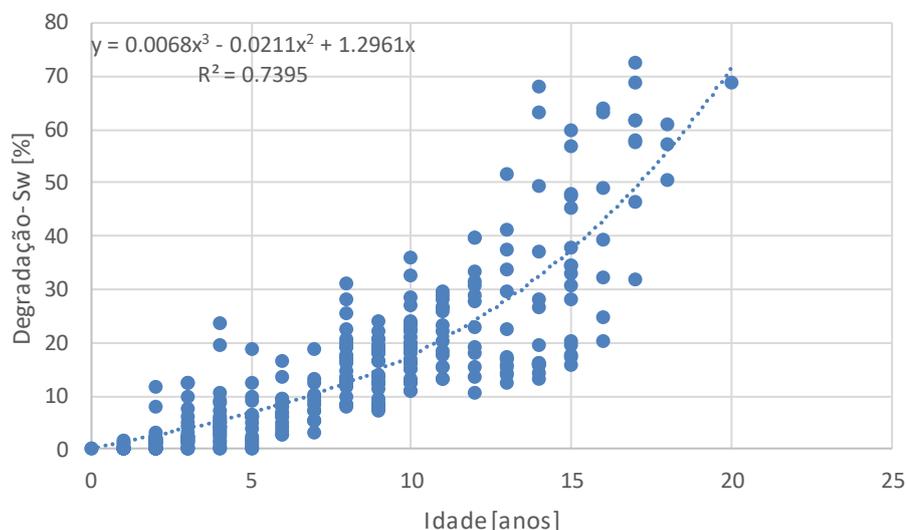


Figura A.1 - Modelo polinomial da degradação de pinturas exteriores

O modelo representado na Figura A.1 apenas considera uma variável, para o caso a idade, contudo, os dados de Magos abrangem uma gama de informação mais vasta sobre os edifícios e do seu contexto/envolvente, nomeadamente a localização, a densidade de urbanização, a orientação, a geometria, a exposição, a distância ao mar/rio, a humidade e poluição, o tipo, cor, textura e brilho da tinta e o acabamento da pintura. Para além do anteriormente referido, aquando da utilização de uma

expressão polinomial apenas com a idade, surgem questões de autocorrelação em modelos de regressão linear.

O aperfeiçoamento do modelo, permitiu avaliar quais das restantes variáveis são estatisticamente significativas, permitindo assim uma explicação para a variabilidade dos dados e a identificação da relação mais forte entre a idade e a degradação, considerando um modelo linear. O critério de seleção de Aikake permitiu selecionar as variáveis estatisticamente significativas. Então, estas variáveis foram convertidas numa escala numérica, como está explanado no Quadro A1.

Quadro A.1 - Codificação das variáveis categóricas

Localização	Código	Urbanização	Código	Orientação	Código
Lisboa	1	Densa	1	Norte	1
Amadora	1	Corrente	2	Este	2
Loures e Odivelas	1	Geometria	Código	Sul	3
Oeiras	2	Compacta	1	Oeste	4
Cascais	2	Irregular	2	Uso	Código
Sintra	2	Humidade/poluição	Código	Habitação/comércio	1
Almada	3	Corrente	1	Habitação	2
Seixal	3	Desfavorável	2	Serviços	3
Barreiro	3	Cor	Código	Exposição	Código
Moita	3	Branco	1	Suave	1
Distância ao mar/rio	Código	Cor-de-rosa claro	1	Moderada	2
< 1 km	1	Amarelo	2	Severa	3
1 km - 5 km	2	Cinzentos	2	Acabamento	Código
> 5 km	3	Verde claro	2	Liso	1
Tipo de tinta	Código	Azul claro	2	Rugoso fino	2
Silicatos	1	Cor-de-laranja	2	Rugoso	3
Lisa (Pliolite)	2	Cor-de-rosa escuro	3	Brilho	Código
Lisa	3	Vermelho	3	Mate	1
Texturada	4	Verde escuro	3	Acetinada	2
Membrana elástica	5	Castanho	3	Semi-mate	3

Procedeu-se também à identificação e exclusão dos casos estatisticamente discrepantes (*outliers*). Este processo teve em consideração a forma de levantamento de dados (inspeção visual por dois alunos de mestrado sem experiência prática em anos distintos), a diversidade de soluções tecnológicas que podem existir na amostra dos edifícios inspecionados (e.g., materiais utilizados, técnica de aplicação) e a propensão que existe de poderem variar as condições de execução bem como da exposição a que estão sujeitas devido aos agentes e degradação (e.g. condições meteorológicas no momento da aplicação, qualidade da mão-de-obra, características do substrato). Para a sua identificação, utilizou-se a distância de Cook (D), considerando como *outlier* se $D > 4/n$, em que n é o número de casos na amostra.

Da aplicação da metodologia, resultaram dez modelos correspondentes aos melhores conjuntos. O recurso ao coeficiente de determinação ajustado, ocorreu por forma a escolher o melhor modelo, dado que o número de variáveis explicativas resultantes dos vários modelos, varia entre 7 e 10. O fator transversal a todos os modelos é o facto de a combinação da idade e do cubo da idade, serem as variáveis com maior capacidade explicativa. O facto de em nenhum dos modelos a idade surgir isoladamente, este resultado revela a aceleração da degradação com o tempo. No respeitante ao

modelo com o coeficiente de determinação ajustado mais elevado, as variáveis urbanização, geometria, distância ao mar e ao rio, humidade, poluição e acabamento, contribuem de forma estatisticamente significativa para explicar a degradação de pinturas exteriores, como pode ser visto na Figura A2.

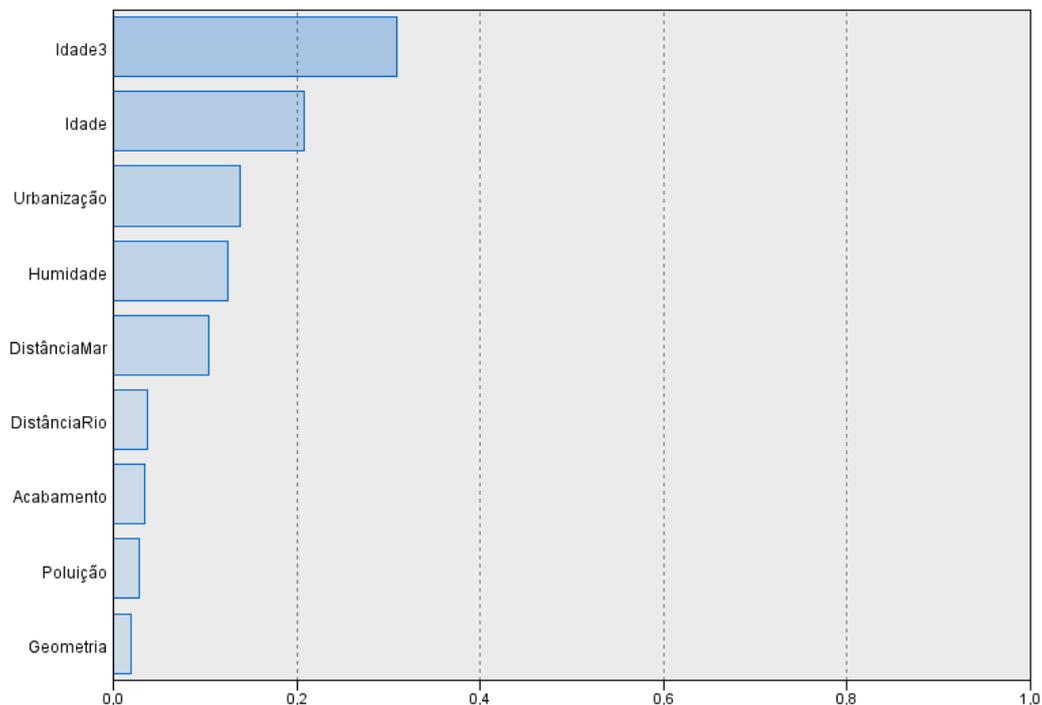


Figura A.2 - Importância relativa das variáveis significativas

A Figura A3 ajuda a identificar o sinal da contribuição das variáveis de forma a explicar a degradação das variáveis. O sinal das variáveis categóricas está dependente da escala que for definida por forma a converter a codificação alfabética em numérica. Então:

- o aumento da densidade da urbanização aumenta a degradação;
- a distância ao mar, especialmente inferior a 5km, aumenta a degradação;
- as condições desfavoráveis de humidade aumentam a degradação;
- o acabamento mais rugoso diminui a degradação
- o aumento da poluição aumenta a degradação
- a distância ao mar diminui a degradação;
- a idade aumenta a degradação;
- a geometria irregular diminui a degradação.

Na Figura A4 é possível perceber a influência das variáveis significativas, à exceção da geometria, cuja a importância é secundária. Devido ao facto de por vezes não existir nenhum rio nas proximidades, e, portanto, não existir a necessidade de aplicação desta variável, transformou-se a distância ao rio numa escala distinta.

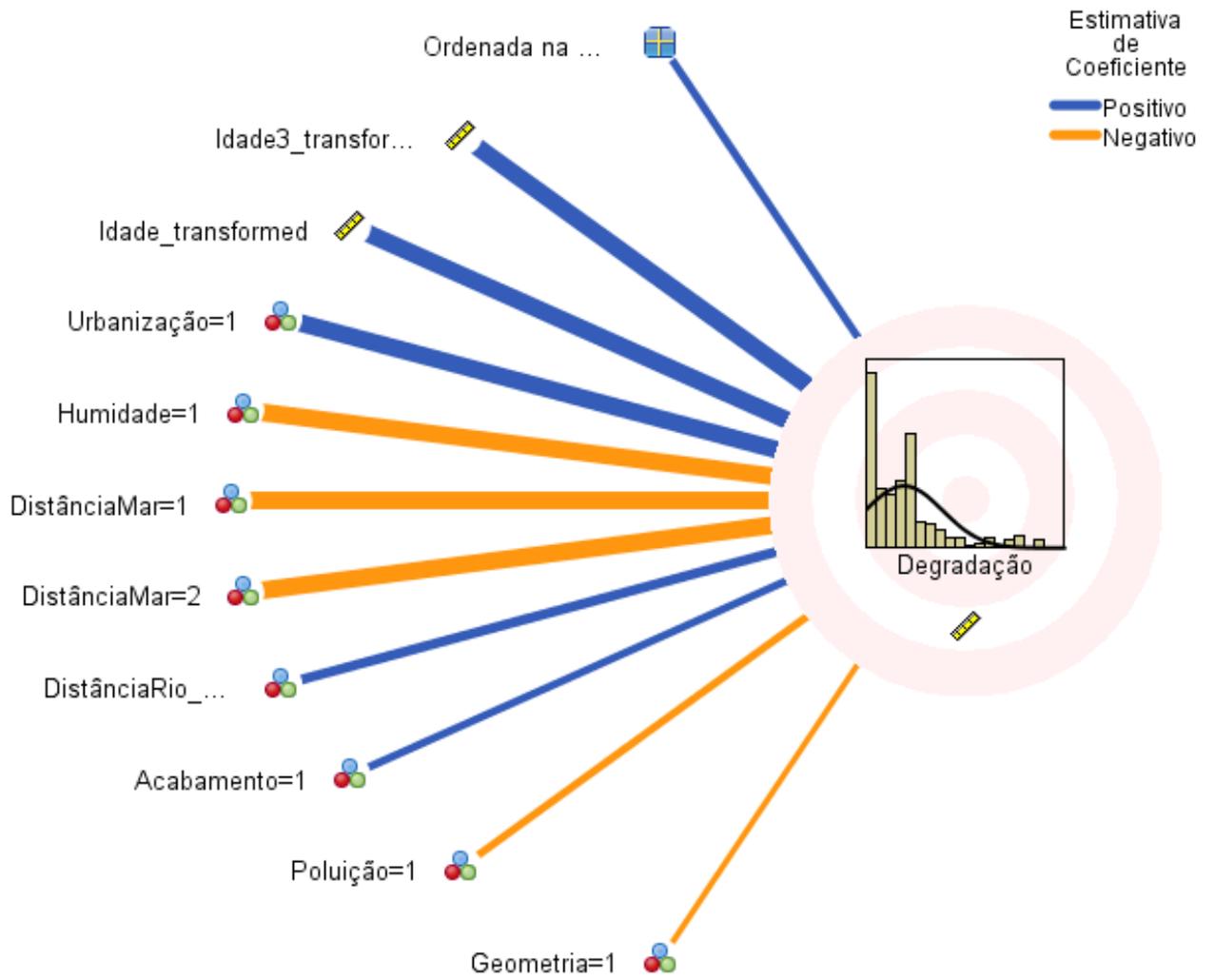
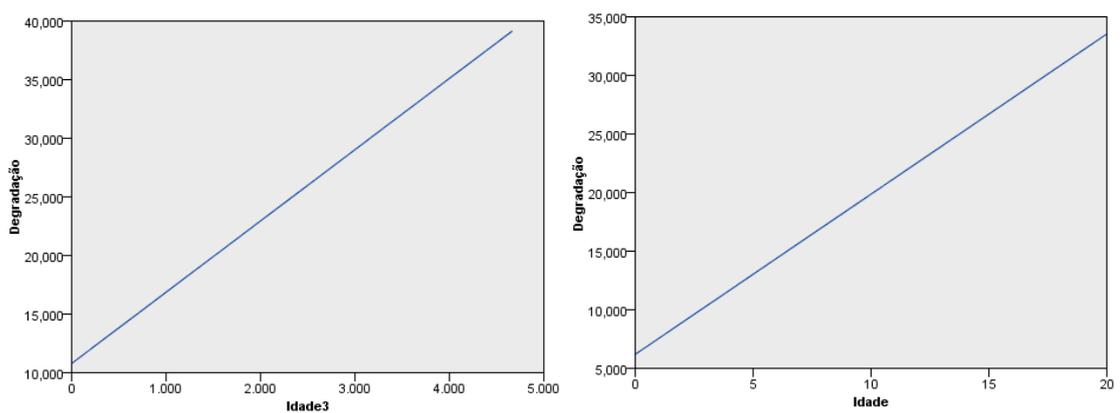


Figura A.3 - Sinal das variáveis significativas



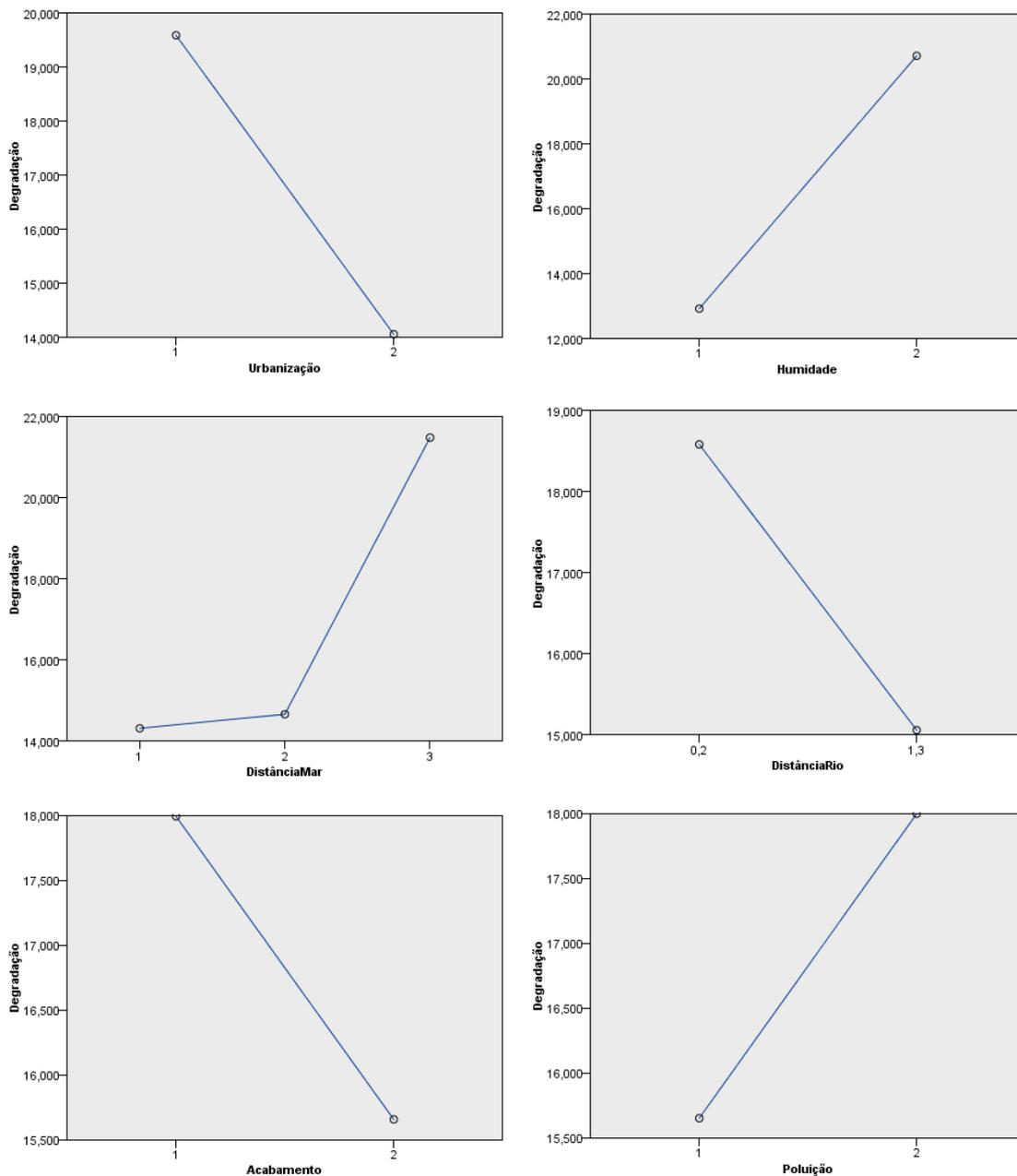


Figura A.4 - Influência das variáveis significativas

Foi possível ainda a identificação de trinta *outliers*. Já com a inclusão das variáveis identificadas como estatisticamente significativas, determinou-se então o modelo de regressão linear. Chega-se então à conclusão da viabilidade do modelo desenvolvido, isto é, o modelo é estatisticamente significativo (Quadro A2), apresentando um coeficiente de determinação de 0,916.

Quadro A.2 - ANOVA modelo base

Modelo		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
1	Regressão	85923,062	9	9547,007	343,798	0.000
	Resíduo	7886,473	284	27,769		
	Total	93809,535	293			

Fazendo a análise dos coeficientes de regressão das variáveis no modelo base, que se apresentam no Quadro A3, é possível constatar que os da distância ao rio e geometria não são estatisticamente significativos ($p\text{-value} > 0.1$). Foi possível ainda detetar mais um caso divergente que apresenta um resíduo padronizado superior a 3.

Quadro A.3 - Coeficientes de regressão do modelo base

Modelo	Coef. não padronizados		Coef. padronizados	t	Sig.	
	B	Erro Padrão	Beta			
1	Urbanização	-4,439	,867	-,430	-5,122	,000
	DistânciaMar	1,278	,463	,167	2,760	,006
	Humidade	3,538	,921	,313	3,843	,000
	Acabamento	-2,961	,659	-,268	-4,494	,000
	Poluição	1,273	,754	,098	1,689	,092
	DistânciaRio	,304	,487	,039	,624	,533
	Idade	1,169	,148	,551	7,913	,000
	Idade3	,006	,001	,447	9,840	,000
	Geometria	1,101	1,050	,073	1,049	,295

Portanto, foi possível desenvolver um modelo otimizado que exclui a distância ao rio, a geometria e o *outlier* detetado, visível no Quadro A4. Assim, o modelo resultante, aumentou o coeficiente de determinação para 0.918, mas, mais importante, é verificar que o coeficiente de determinação ajustado aumentou de 0.913 para 0.916.

Quadro A.4 - ANOVA modelo otimizado

Modelo		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
1	Regressão	85232,457	7	12176,065	456,571	0.000
	Resíduo	7600,515	285	26,668		
	Total	92832,972	292			

A observação do Quadro A5 relativo ao modelo otimizado, permite verificar que o coeficiente de regressão relativo à variável da poluição, não se apresenta como estatisticamente significativo.

Quadro A.5 - Coeficientes de regressão do modelo otimizado

Modelo		Coef. não padronizados		Coef. padronizados	t	Sig.
		B	Erro Padrão	Beta		
1	Urbanização	-3,972	,724	-,387	-5,486	,000
	DistânciaMar	1,518	,412	,198	3,683	,000
	Humidade	4,296	,736	,382	5,835	,000
	Acabamento	-2,910	,625	-,264	-4,659	,000
	Poluição	,890	,711	,068	1,250	,212
	Idade	1,117	,143	,528	7,832	,000
	Idade3	,006	,001	,466	10,457	,000

Dado que aquando da remoção da variável, não existe nenhuma alteração em nenhum dos coeficientes de determinação, optou-se pelo modelo mais simples a que corresponde a seguinte equação:

$$Sw = -4.207 \times U + 1.757 \times DM + 4.655 \times H - 2.692 \times A + 1.136 \times I + 0.006 \times I^3 \quad (1)$$

onde:

- U - código da densidade urbanística;
- DM - código da distância ao mar;
- H - código das condições de humidade;
- A - código do tipo de acabamento;
- I - idade.

Os resultados da ANOVA do modelo linear final são apresentados no Quadro A6, sendo que todos os coeficientes de regressão são estatisticamente significativos com p-value < 0.001.

Quadro A.6 - ANOVA modelo linear final

Modelo		Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
1	Regressão	85190,761	6	14198,460	531,359	0.000
	Resíduo	7642,211	286	26,721		
	Total	92832,972	292			

A equação anteriormente apresentada, tem a limitação de não convergir para zero com a idade. De forma a contornar essa limitação, desenvolveu-se outra equação, contudo, o coeficiente de determinação diminui para 0,858.

$$Sw = 0.756 \times I^{1.885} \times \left(-0.048 \times U^{0.945} + 0.001 \times DM^{4.679} - 0.813 \times H^{-0.281} + 1.099 \times A^{-0.072} \right) \quad (2)$$

A maior capacidade elucidativa patente na primeira equação apresentada, leva a que esta seja a usada para a presente dissertação. O facto de o objetivo passar por estimar a idade em que o estado de degradação requer intervenção, faz com que a limitação por ela apresentada, a idade não convergir para zero, se torne irrelevante.

