

**Análise económica da fase do fim de vida de edifícios
escolares públicos**

Metodologia aplicada a elementos de cobertura

Mariana Alves Lebre

Dissertação para obtenção do Grau de mestre em

Engenharia Civil

Orientadores:

Professor Doutor Nuno Gonçalo Cordeiro Marques de Almeida

Engenheira Ana Filipa das Neves Rodrigues Marques Couto Salvado

Júri

Presidente: Professora Doutora Maria Cristina De Oliveira Matos Silva

Orientador: Professor Doutor Nuno Gonçalo Cordeiro Marques de Almeida

Vogais: Professor Doutor Vitor Faria e Sousa

Mai de 2019

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Gostaria de fazer um especial agradecimento, em primeiro lugar, aos orientadores que tornaram possível a realização desta dissertação, o professor Nuno Marques de Almeida, e a Engenheira Ana Filipa Salvado. Pela presença e disponibilidade que manifestaram, e as valiosas sugestões nos momentos certos para a concretização deste desafio.

Ao LNEC pelo acolhimento e disponibilização de dados essenciais ao estudo efetuado, um agradecimento ao Núcleo de Economia, Gestão e Tecnologia da Construção do Departamento de Edifícios.

A todos os professores que me transmitiram o conhecimento e as ferramentas que me fizeram chegar até ao fim deste curso que tanto me faz sentir feliz e realizada.

Aos meus pais, pela educação que me deram, pelos valores que me transmitiram, pela dedicação à família, pelo apoio nos momentos bons e menos bons, agradeço a oportunidade que me deram de concluir este mestrado com determinação para seguir um caminho de muito trabalho e com um mundo pela frente para conquistar.

Agradeço ainda aos meus amigos de sempre, Carolina Marques, Inês Moreira e João Valério, que nunca deixam de estar presentes.

Aos colegas que se tornaram amigos ao longo deste percurso, Maria Antoci, Tiago Zão, Sofia Casanova, Carolina Correia, Pedro Lourenço, Miguel Silva, pelas muitas horas de trabalho em conjunto e por estarem sempre disponíveis a ajudar em qualquer altura, muito obrigada.

Resumo

O conceito de Custo do Ciclo de Vida (CCV) é uma ferramenta útil para estimar custos relativos a todas as fases de vida dos edifícios e apoiar os processos de tomada de decisão. Esta ferramenta pode contribuir para a promover a competitividade no setor da construção, valorizar os edifícios e otimizar o seu desempenho económico desde a fase de pré-construção até ao fim de vida, no qual a gestão de resíduos tem uma importância significativa.

A fase do fim de vida é o objeto de estudo da presente dissertação, sendo constituída por diversos módulos: desconstrução, transporte, processamento e eliminação dos resíduos de construção e demolição. A gestão de resíduos é um tema atual, e assim é importante incentivar a adequada gestão dos mesmos no setor da construção.

Esta dissertação pretende estimar os custos relativos à fase do fim de vida de elementos de cobertura, aplicando os requisitos das normas europeias EN 15643-4 e EN 11627. O objetivo é aplicar esta metodologia. Estas normas propõem uma organização estruturada dos custos que pode ser aplicada a qualquer tipo de edifícios, neste caso a elementos de cobertura de edifícios escolares públicos.

Os custos obtidos para a fase do fim de vida de edifícios devem ser tidos em consideração, ainda que pouco significativos face a todos os custos que ocorrem numa análise completa do CCV de um edifício.

No final da dissertação são apresentados os principais contributos e sugestões de desenvolvimentos futuros com vista à melhoria da aplicabilidade da metodologia.

Palavras-chave: Análise económica; Fim do ciclo de vida, Edifícios escolares, Elementos de cobertura; Resíduos de construção e demolição (RCD)

Abstract

The concept of Life Cycle Cost (LCC) is a useful tool for estimating costs related to buildings in all its life stages and to support the decision-making processes. This tool can contribute to promoting competitiveness in the construction sector, valuing buildings and optimizing their economic performance from the pre-construction to the end-of-life stage, where waste management is of significant importance.

The end-of-life stage is the object of study of the present dissertation, and consists of several modules: deconstruction, transportation, processing and disposal of construction and demolition waste. Waste management is a current topic, and so it is important to encourage the proper management of waste in the construction sector.

This dissertation intends to estimate costs related to the end-of-life stage of roofing elements, applying the requirements of European standards EN 15643-4 and EN 16627.

The objective is to apply the methodology. These standards propose a cost structure model that can be applied to any type of buildings, in this case, roofing elements of public-school buildings.

The costs incurred for module C related to the end-of-life of buildings should be considered, although less significant than all the costs incurred in a complete analysis of a building's LCC.

At the end of the dissertation are presented the main contributions and suggestions of future developments with a view to improving the applicability of the methodology.

Key-words: Economic analysis; End of life stage, School buildings, Roofing elements; Construction and Demolition Waste (CDW)

Índice de conteúdos

Agradecimentos.....	iii
Resumo	vii
<i>Abstract</i>	ix
Índice de conteúdos	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de tabelas	xv
Lista de abreviaturas e acrónimos	xvii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e âmbito	1
1.2. Objetivo e metodologia.....	1
1.3. Organização da dissertação.....	2
2. Revisão de conhecimentos	3
2.1. Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV)	3
2.2. Fim de vida de edifícios.....	5
2.3. Informação económica do fim de vida de edifícios	10
2.4. Fim de vida de elementos de cobertura	15
3. Metodologia para análise do custo do ciclo de vida	17
3.1. Descrição genérica.....	17
3.2. Estrutura adaptada à fase de fim de vida de edifícios	18
4. Caso de estudo – coberturas de edifícios escolares	25
4.1. Enquadramento da Parque Escolar	25
4.2. Aplicação da metodologia ACCV a elementos de cobertura	27
5. Análise de resultados e viabilidade de aplicação da metodologia proposta	33
5.1. Análise e apresentação de resultados	33
5.2. Discussão de resultados e viabilidade de aplicação.....	40

6. Conclusões e desenvolvimentos futuros	41
6.1. Conclusões.....	41
6.2. Desenvolvimentos futuros	43
Referências bibliográficas	45
Anexos.....	I

Índice de figuras

Figura 1 - Elementos do CTCV (adaptado de ISO 15686-5).	4
Figura 2 - Fases a considerar para o ciclo de vida de um edifício (adaptado de EN 16627).	5
Figura 3 - Custo de transporte de resíduos recolhidos junto de empresas do setor.	13
Figura 4 - Ano de construção das escolas em estudo.	29
Figura 5 - Tipologias escolares da amostra em estudo.	29
Figura 6 - Custos de demolição (módulo C1) para elementos de estrutura de suporte metálica de coberturas.....	34
Figura 7 - Custos de demolição (módulo C1) para elementos de estrutura de suporte de coberturas.....	35
Figura 8 - Custos de demolição (módulo C1) por área de elementos de revestimento de coberturas.....	36
Figura 9 - Custos de demolição (módulo C1) por área de elementos de impermeabilização e isolamento de coberturas.	37

Índice de tabelas

Tabela 1 - Aspetos económicos do desempenho do edifício ao longo do ciclo de vida - Fase de fim de vida (adaptado de EN 15643-4).	6
Tabela 2 - Estatísticas relativas a RCD na Dinamarca.	10
Tabela 3 - Custos de demolição de revestimentos. (Orçamentos e Orçamentação, 2019)	11
Tabela 4 - Custos de transporte de resíduos de construção e demolição em contentores.	12
Tabela 5 - Custos de transporte de resíduos.	13
Tabela 6 - Custos de transporte de resíduos de construção e demolição em países europeus.	14
Tabela 7 - Custos de entrega para processamento de resíduos de construção e demolição. ..	14
Tabela 8 - Custos e taxas relativos à valorização de resíduos de construção e demolição.	15
Tabela 9 – Passos da ACCV a adotar e respetivos requisitos nas normas ISO 15686-5 e EN 16627.....	18
Tabela 10 - Escolas do parque escolar português em cada período de construção.....	25
Tabela 11 - Intervenções planeadas e realizadas pela Parque Escolar nas diversas fases do PMEES.	26
Tabela 12 - Capítulos do ProNIC adaptados às obras da Parque Escolar.	27
Tabela 13 - Taxas de inflação desde o ano de 2010 até 2018. (Portal do INE, 2019).....	28
Tabela 14 – Média, mediana e desvio padrão dos custos de desconstrução dos elementos estudados.	34
Tabela 15 - Custos de transporte recolhidos em empresas do setor.	38
Tabela 16 - Custos de processamento de resíduos recolhidos na Empresa C.....	39
Tabela 17 - Resumo dos custos estudados relativos à fase do fim de vida de elementos de cobertura.	40

Lista de abreviaturas e acrónimos

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
ACCV	Análise do Custo do Ciclo de Vida
CAL	Custo Atual Líquido
CCP	Código dos Contratos Públicos
CCV	Custo do Ciclo de Vida
CML	Câmara Municipal de Lisboa
CTCV	Custo Total do Ciclo de Vida
CV	Ciclo(s) de Vida
EN	<i>Euro Norm</i> (Norma Europeia)
GAF	Gestão de Ativos Físicos
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)
LER	Lista Europeia de Resíduos
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
ME	Ministério da Educação
NP	Norma Portuguesa
PE	Parque Escolar
PMEES	Programa de Modernização das Escolas destinadas ao Ensino Secundário
PPG	Plano de Prevenção e Gestão
ProNIC	Protocolo para a Normalização da Informação Técnica na Construção
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
VAL	Valor Atual Líquido

1. Introdução

1.1. Enquadramento e âmbito

A melhoria do desempenho económico dos edifícios está associada a todas as fases do ciclo de vida e é importante considerar alguma incerteza e risco em diversos fatores aquando da estimativa de todos os custos associados ao ciclo de vida.

Na fase de fim de vida dos edifícios devem ser analisados custos relativos a aspetos como a demolição, a gestão de resíduos e respetivo transporte e a eliminação do edifício ou das suas partes (EN 16627, 2015).

O estudo da fase de fim de vida dos edifícios construídos apresenta algumas dificuldades no que respeita à análise económica dos aspetos a considerar, uma vez que pode não estar disponível a informação necessária para esta análise.

Os custos relacionados com a conceção, construção, exploração e manutenção dos edifícios influenciam o fim de vida dos mesmos, e assim o ciclo de vida pode ser alargado se for considerada esta abordagem para os edifícios em geral. O valor de investimento inicial para a construção ou aquisição de um edifício é em geral o que tem mais peso na tomada de decisões, no entanto os custos relativos às restantes fases do ciclo de vida do edifício podem ser muito superiores ao investimento inicial, resultando num custo global mais elevado.

Os edifícios são considerados como sistemas que podem ser divididos em partes chamadas de subsistemas, sendo eles a estrutura, a envolvente, as instalações especiais, o seu interior e os espaços exteriores (Arnold, 2016). Cada um destes subsistemas contém diversos elementos, e no caso da presente dissertação o foco é nos elementos de cobertura pertencentes ao subsistema da envolvente dos edifícios.

1.2. Objetivo e metodologia

O objetivo principal para o desenvolvimento desta dissertação é promover o estudo do fim de vida de edifícios através da aplicação de uma abordagem de custo do ciclo de vida (CCV) focando aspetos relacionados com a desconstrução, o transporte de resíduos para posterior processamento dos mesmos para reutilização, recuperação e/ou reciclagem, ou a sua eliminação (módulos C1, C2, C3 e C4 na EN 16627).

Pretende-se aplicar uma metodologia que identifique e quantifique os custos relativos à fase do fim de vida de coberturas dos edifícios de forma explícita e promover a implementação da análise do custo do ciclo de vida (ACCV), quando esteja disponível a informação necessária sobre o objeto de estudo.

Tem-se ainda como objetivo secundário, a recolha de dados de custos relativos à fase de fim de vida de elementos de cobertura, e a referência de fontes que possam ser úteis nesse sentido para seguimento do presente estudo.

A metodologia proposta é aplicada a edifícios escolares reabilitados pela Parque Escolar (PE), com foco no subsistema envolvente, em particular a sua cobertura.

1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação é organizada de forma a facilitar a compreensão do seu conteúdo, estando este apresentado pela seguinte sequência:

- No Capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica dos temas a abordar, destacam-se alguns conceitos essenciais e enquadramentos normativos relevantes;
- No Capítulo 3 apresenta-se a metodologia proposta para a análise do custo do ciclo de vida de elementos de cobertura em edifícios, baseada nas referências estudadas no Capítulo 2;
- No Capítulo 4 é enquadrada e aplicada a metodologia anteriormente proposta ao caso de estudo de elementos de cobertura de edifícios escolares públicos reabilitados pela Parque Escolar ao abrigo do PMEES (Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário);
- No Capítulo 5 apresentam-se os resultados da aplicação da metodologia proposta aos edifícios escolares e é realizada a análise destes resultados, demonstrando a sua aplicabilidade;
- No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões finais do estudo realizado, e apresentadas algumas propostas para desenvolvimentos e estudos futuros no âmbito do tema desta dissertação.

2. Revisão de conhecimentos

A revisão de conhecimentos para o desenvolvimento da presente dissertação aborda os temas e conceitos considerados fundamentais à sua compreensão e faz o enquadramento normativo relacionado com os mesmos.

O conceito de Ciclo de Vida (CV) de um edifício é a base para o presente estudo, e segundo a ISO 14040, compreende as fases consecutivas e interligadas de um sistema de produtos ou serviços, desde a aquisição de matérias-primas ou geração a partir de recursos naturais, até à sua eliminação (ISO 14040).

No capítulo 2.1 é abordado o conceito do custo do ciclo de vida (CCV) e a respetiva metodologia de análise (ACCV). De seguida, no capítulo 2.2 aborda-se o fim de vida de edifícios e os módulos em que se subdivide no enquadramento normativo de referência. No capítulo 2.3 é sintetizada alguma informação sobre custos no fim de vida de edifícios, e por fim é referido o ciclo de vida de elementos de cobertura, no capítulo 2.4.

2.1. Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV)

O custo de ciclo de vida (CCV) é um conceito que considera a análise dos custos decorrentes de todas as fases do ciclo de vida de um edifício, nomeadamente, as fases de conceção, construção, operação e manutenção e o seu fim de vida (ISO 15686-5).

O CCV é definido na EN 15643-4 como o custo de um edifício ou partes do mesmo (o que é construído ou o resultado de operações de construção) ao longo do seu CV, cumprindo simultaneamente os requisitos técnicos e funcionais. Esta ferramenta é utilizada como suporte à tomada de decisões no âmbito da gestão de ativos físicos (GAF) contruídos ou a construir.

A fase de conceção de um edifício pode influenciar em até 80% o custo ciclo total de vida, bem como uma grande parte dos impactes ambientais e sociais a ele associados (Institute of Asset Management, 2015).

Uma análise do custo do ciclo de vida combinada com outras ferramentas de apoio à tomada de decisões pode influenciar substancialmente as soluções adotadas em fase de projeto e as especificações dos diversos componentes, elementos e subsistemas do edifício (ISO 15686-5).

Um conceito mais abrangente que o CCV é o Custo Total do Ciclo de Vida (CTCV), definido na ISO 15686-5 como o conjunto de todos os custos e benefícios significativos e relevantes, iniciais e futuros, de um ativo ao longo do seu ciclo de vida, enquanto cumprir os seus requisitos de desempenho. O CTCV incorpora custos externos como por exemplo custos financeiros, custos de negócio, receitas provenientes da venda de terrenos, e outros custos não construtivos e receitas, além de todos os custos já considerados no CCV, como se pode observar na Figura 1.

A Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) é definida na EN 16627 como o custo de um edifício ou de uma parte de trabalhos ao longo do seu ciclo de vida, cumprindo simultaneamente os requisitos técnicos e funcionais.

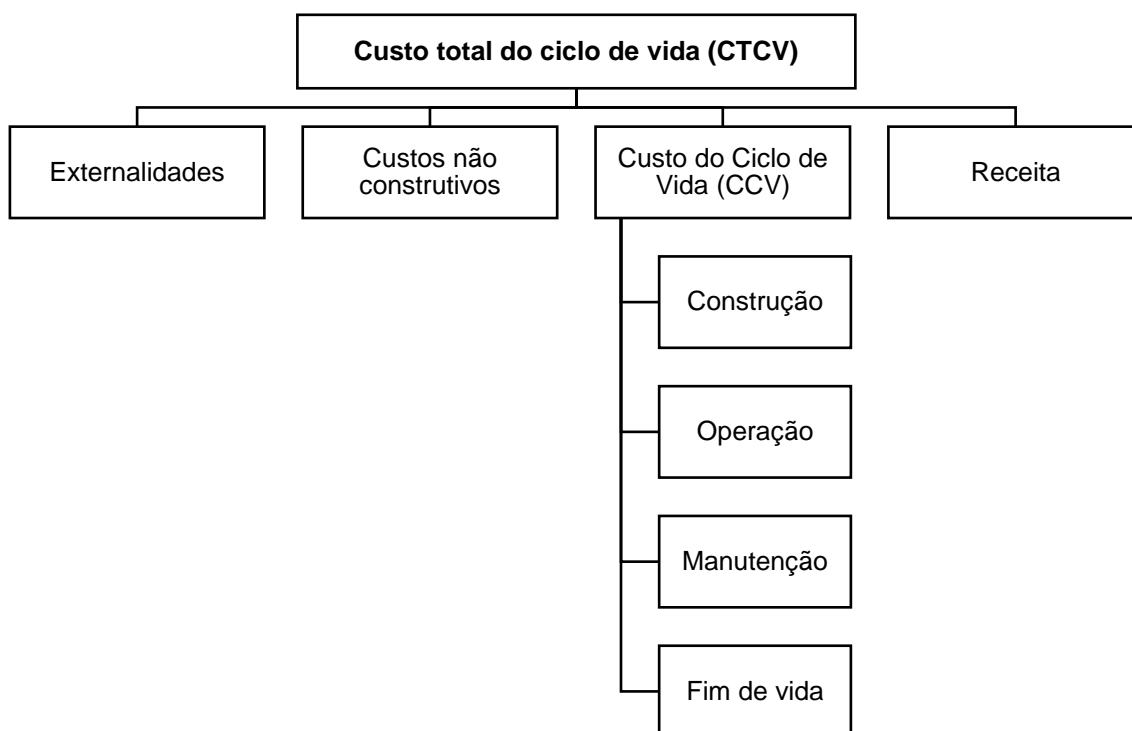


Figura 1 - Elementos do CTCV (adaptado de ISO 15686-5).

A EN 16627 define as fases a considerar para a ACCV de um edifício, organizando-as por módulos que distinguem as fases de construção, operação, manutenção e fim de vida. A organização destes módulos de informação do ciclo de vida do edifício pode ser observada na Figura 2. A informação contida em cada um destes módulos deve ter um limite bem definido para que a utilização deste sistema seja eficaz.

O módulo A refere-se à fase anterior à utilização do edifício. Este módulo inclui os custos de pré-construção tais como custos relativos ao terreno e taxas associadas e aconselhamento relativamente ao edifício, ou seja, todos os custos que possam ocorrer antes da fase de construção (A0), os custos da fase de produto que englobam o fornecimento de matérias-primas, o transporte e a produção propriamente dita (A1-3) e os custos da fase de construção respeitantes a transporte e ao processo ou processos de construção e instalação (A4-5).

O módulo B diz respeito à fase de utilização do edifício e considera todos os custos de utilização (B1), manutenção (B2), reparação (B3), substituição (B4), reabilitação (B5) e utilização operacional de energia (B6) e de água (B7) desde a conclusão da construção e entrega da obra até ao fim de vida do edifício.

O módulo C corresponde à fase depois da utilização do edifício, mais conhecida pela fase de fim de vida do edifício, e tem em consideração os custos relativos à desconstrução (C1), transporte

(C2), processamento de resíduos para reutilização, recuperação e reciclagem (C3), e ainda os custos de eliminação (C4) do edifício.

Informação do ciclo de vida do edifício														Informação suplementar para além do ciclo de vida do edifício		
Antes da fase de utilização					Fase de utilização							Depois da fase de utilização		D		
A0	A1-3			A4-5		B1-7							C1-4			
Pré-construção	Fase de produto			Processo de construção		Fase de utilização							Fase de fim de vida		Benefícios e encargos além da fronteira do sistema	
Terreno e taxas associadas															Potencial de reutilização, recuperação e reciclagem	
Aconselhamento	Fornecimento de matérias-primas	Transporte	Produção	Transporte	Processo de construção e instalação	Utilização	Manutenção	Reparação	Substituição	Reabilitação	Utilização operacional de energia	Utilização operacional de água	Desconstrução	Transporte		Processamento de resíduos para reutilização, recuperação e/ou reciclagem
A0	A1-A3			A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2		C3

Figura 2 - Fases a considerar para o ciclo de vida de um edifício (adaptado de EN 16627).

O módulo D tem em consideração informação suplementar que não se insere noutros módulos do sistema por estar além do ciclo de vida do edifício. Neste módulo é possível existirem receitas em vez de custos no caso de o edifício ou as suas partes potencialmente terem outros usos, o que pode conduzir a receitas obtidas através da venda de um bem fornecido ou da reutilização, reciclagem e valorização energética. Ao módulo D devem então ser atribuídos benefícios e encargos com componentes para reutilização, materiais para reciclagem ou recuperação de energia, que podem ter usos futuros e têm potencial de gerar receitas. Na presente dissertação a análise a efetuar não serão considerados custos e receitas relativos ao módulo D.

A análise do custo do ciclo de vida deve ser efetuada através da recolha de dados históricos de ativos, dados dos fabricantes, fornecedores, empreiteiros e especialistas, e de estimativas para as informações que não possam ser obtidas, através de técnicas de modelação. Dados de edifícios existentes podem ser utilizados como dados históricos (Schade, 2007).

A recolha de dados é apontada como a principal dificuldade para proceder à análise do desempenho económico de um edifício. Quando os dados históricos recolhidos são regularmente atualizados, é possível numa ACCV obter resultados que apresentam um nível de confiança mais elevado. Com o aumento da confiança por parte dos clientes do setor da AEC em análises deste tipo, poderá caminhar-se para que seja atribuída à ACCV a mesma importância que é atribuída às estimativas de custos atualmente (Schade, 2007).

2.2. Fim de vida de edifícios

A fase do fim de vida de edifícios, de acordo com a EN 16627, tem o seu início quando o edifício é descomissionado e não se destina a ter mais nenhum tipo de utilização, definindo o custo da

demolição ou desconstrução do mesmo como um processo com variadas saídas, sendo uma fonte de materiais, produtos e elementos de construção que devem ser descartados, recuperados, reciclados ou reutilizados.

O fim de vida de um edifício engloba várias componentes, e tal como para as outras fases do ciclo de vida, é dividida em módulos para a repartição dos custos e consequente simplificação da aplicação da metodologia de ACCV.

Os módulos que constituem a fase de fim de vida de um edifício são a desconstrução (C1), o transporte (C2), o processamento de resíduos da construção e demolição para posterior reutilização, recuperação ou reciclagem (C3) e ainda a eliminação (C4). Todos os módulos de custos relativos à fase de fim de vida são considerados custos não-anuais, uma vez que ocorrem apenas uma vez para cada ciclo completo (EN 16627).

A EN 15643-4 discrimina alguns aspetos económicos do desempenho do edifício a ter em conta para cada um dos módulos relativos a todas as fases do ciclo de vida. Apresentam-se na Tabela 1 os aspetos económicos a considerar na fase do fim de vida de edifícios.

Os resíduos produzidos pelas atividades de demolição ou desconstrução devem ser identificados através de um código designado de código LER (Lista Europeia de Resíduos). Apresenta-se no Anexo A a lista dos códigos da LER relativos a resíduos de construção e demolição, publicada pela Decisão 2014/955/UE.

Tabela 1 - Aspetos económicos do desempenho do edifício ao longo do ciclo de vida - Fase de fim de vida (adaptado de EN 15643-4).

Categorias Custos/Receitas	Custos incluídos na categoria	Exemplos de custos
Desconstrução (C1)	Desconstrução/desmantelamento Demolição	Inspeção no fim de vida, desativação, planeamento Reintegração do estaleiro para dar resposta às exigências contratuais, Limpeza do local de obra
Transporte (C2)	Todos os custos associados ao transporte com o processo de desconstrução e remoção dos bens do edifício	No transporte do local da obra, transporte de materiais do estaleiro para o primeiro local de armazenamento ou eliminação
Fim de vida (C1-C4)	Honorários e impostos	Impostos sobre bens e serviços dos custos relativos aos locais de aterro e outros custos de eliminação de resíduos

Categorias Custos/Receitas	Custos incluídos na categoria	Exemplos de custos
Tratamento de resíduos para reutilização, recuperação ou reciclagem (C3)	Custos com reutilização, reciclagem e recuperação de energia no fim da vida	Custos de reutilização, reciclagem, recuperação de energia a partir de materiais recuperados com interesse tais como metais, agregados, madeira, plásticos, etc.

2.2.1. Desconstrução (Módulo C1)

A desconstrução completa ou demolição seletiva é um processo de demolição que permite que os materiais sejam separados para reciclagem ainda no local da demolição (Jeffrey, 2011).

A desconstrução distingue-se da demolição convencional por abrir caminho à valorização e reutilização de todos os produtos do edifício, que no caso da demolição convencional seriam tratados como resíduos sem valor e posteriormente depositados em aterro em vez de serem valorizados por outros meios (Couto, Couto, & Teixeira).

No módulo de desconstrução devem ser incluídos os custos relativos à desconstrução, desmantelamento ou demolição dos edifícios ou de partes dos mesmos. Estes custos incluem todas as operações realizadas no local da obra e operações realizadas em locais temporários fora do local da obra, conforme necessário para os processos de desconstrução após o descomissionamento, incluindo a desconstrução, desmontagem e/ou demolição no local. Devem ser descritos todos os processos relevantes considerados necessários para a desconstrução do edifício (EN 16627).

2.2.2. Transporte (Módulo C2)

No módulo relativo ao transporte devem estar incluídos todos os custos de transporte de materiais para eliminação ou de todos os materiais até que seja atingido o seu estado do fim de resíduos, o que inclui os custos de transporte de e para possíveis locais intermédios de armazenamento ou processamento. Deve ser especificado o nível de detalhe necessário para determinar os custos considerados relevantes (EN 16627).

Os custos de transporte dependem de forma praticamente linear da distância entre o local da obra e o local de tratamento dos RCD. Os custos de transporte, carga e descarga de resíduos de RCD podem afetar o custo total de demolição em até 40%, dependendo do processo de demolição ou desconstrução adotado e os respetivos custos associados (Lassandro, 2003).

O transporte de RCD deve ser sempre acompanhado por uma guia de acompanhamento de resíduos, segundo o disposto no Artigo 12º do Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de março.

2.2.3. Processamento de resíduos para reutilização, recuperação e / ou reciclagem (Módulo C3)

No fim de vida dos edifícios, todos os dados de saída dos processos de desconstrução, demolição, desmontagem, e de eventuais manutenções, reparações, substituições ou recondiçamentos, sejam eles produtos de construção, materiais ou elementos de construção do edifício, são considerados resíduos. O estado de fim de resíduo, isto é, quando um resíduo deixa de ser considerado como tal, é atingido quando (EN 16627):

- o material, produto ou elemento construtivo recuperado é utilizado para fins específicos;
- existe um mercado ou procura para o material, produto ou elemento construtivo, e seja identificado por um valor económico positivo;
- o material, produto ou elemento construtivo recuperado preenche os requisitos técnicos para os fins específicos a que se destina, e cumpre a legislação e normas existentes aplicáveis aos produtos;
- o uso do material, produto ou elemento construtivo não conduza a impactos adversos no ambiente ou na saúde humana.

Os custos que devem ser atribuídos a este módulo (C3) são relativos a operações na obra ou em locais temporários de processamento de resíduos que estejam localizados fora do local da obra. Devem ser descritos todos os processos de tratamento de resíduos adotados, como por exemplo: triagem, processos preparatórios para reutilização, reciclagem e recuperação de energia, até ao momento em que os *outputs* do desmantelamento, desconstrução ou demolição do edifício ou obras de construção deixem de ser resíduos. Os mesmos processos podem também gerar materiais para eliminação e devem igualmente ser atribuídos ao módulo C3. Os processos utilizados devem ser apenas soluções e tecnologias que sejam comprovadamente viáveis económica e tecnicamente (EN 16627).

O Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de março estabelece o regime das operações de gestão de resíduos, e inclui as operações de prevenção e reutilização de resíduos e as suas operações de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação (Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de março).

Na Diretiva 2008/98/CE de 19 de novembro é proposta, no Artigo 4º, a hierarquização dos resíduos como princípio geral para a legislação e política de prevenção e gestão de resíduos, sendo a hierarquia a seguinte:

- a) Prevenção e redução;
- b) Preparação para a reutilização;
- c) Reciclagem;
- d) Outros tipos de valorização, por exemplo a valorização energética;

e) Eliminação.

As medidas a ser adotadas para a gestão eficaz dos resíduos numa obra devem ser descritas num plano de prevenção e gestão de resíduos da construção e demolição (PPG de RCD), que no caso de empreitadas e concessões de obras públicas acompanha obrigatoriamente o projeto de execução, de acordo com o Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de Março.

No PPG de RCD é obrigatório constar a caracterização sumária da obra a efetuar e dos métodos construtivos a utilizar, bem como as metodologias de incorporação de reciclados de RCD e de prevenção de resíduos, os métodos de acondicionamento e triagem de resíduos na obra ou em local afeto à mesma, e estimativas de produção de RCD e frações para as operações de reciclagem, valorização e eliminação. Os resíduos devem ser identificados pelo respetivo código da lista europeia de resíduos (Código LER) (Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de março).

A Diretiva 2008/98/CE de 19 de novembro introduz como objetivo o aumento de, no mínimo, 70% da preparação para reutilização, reciclagem e valorização de resíduos de construção e demolição até 2020.

Em Copenhaga foi definido um Plano de Gestão de Recursos e Resíduos no qual se apresenta um conjunto de medidas e iniciativas com o objetivo e visão de esta se tornar uma cidade com zero desperdício (*Zero Waste City*) até 2050. Algumas destas medidas referem-se aos resíduos de construção e demolição, sugerindo iniciativas como a separação mais cuidadosa de substâncias perigosas e de resíduos limpos, para que a sua reutilização e reciclagem sejam facilitadas (The Technical and Environmental Administration, City of Copenhagen, 2018).

Os resíduos de construção e demolição representam 45% do total de resíduos em Copenhaga, e cerca de 87% destes resíduos são reciclados, servindo para outros fins ou utilizações. Os restantes resíduos de construção e demolição são incinerados ou depositados em aterros (The Technical and Environmental Administration, City of Copenhagen, 2018).

As quantidades de resíduos produzidos seguem as tendências económicas, verificando-se uma diminuição da produção de resíduos entre 2008 e 2009 na Dinamarca, como resultado da crise económica que ocorreu nesse período (Comissão Europeia, 2012).

Na Tabela 2 apresentam-se alguns dados estatísticos sobre RCD, recolhidos em relatórios e planos de gestão de resíduos elaborados na Dinamarca.

Na Dinamarca a estratégia de incentivo à reciclagem dos resíduos é materializada através de taxa sobre a incineração de resíduos com valores de cerca de 40€ por tonelada, e taxa para aterro de resíduos no valor de 70€ por tonelada. Por sua vez, para a reciclagem dos resíduos não são previstas taxas, incentivando assim a reciclagem de uma maior quantidade de resíduos, quando a mesma seja possível (Comissão Europeia, 2012).

O objetivo principal de qualquer política em matéria de resíduos deve consistir em minimizar os impactos negativos da produção e gestão de resíduos na saúde humana e no ambiente, em

reduzir a utilização de recursos e incentivar a aplicação da hierarquia de resíduos apresentada anteriormente (Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de novembro, 2008).

Tabela 2 - Estatísticas relativas a RCD na Dinamarca.

Ano	RCD / Total	Reciclagem	Incineração	Aterro	Dados de:
2009	30 %	86,85 %	11,05 %	2,10 %	Copenhaga 2009-2012 ¹
2014 ²	35 %	87,50 %	5,30 %	6,50 %	Dinamarca 2016 ³
2018	45 %	87 %	13 %		Copenhaga 2018 ⁴

Deve ser atribuído a todos os resíduos produzidos um código LER, e para cada código deve ser atribuída uma operação de eliminação ou valorização. Estas operações devem ser as que se encontram previstas no Decreto-Lei nº. 73/2011 de 17 de junho, que se apresentam no Anexo B.

2.2.4. Eliminação (Módulo C4)

O módulo correspondente à fase de eliminação inclui o possível tratamento pós-transporte que seja necessário antes da eliminação propriamente dita. Os custos de eliminação de resíduos no módulo C4 são considerados parte do ciclo de vida do edifício, de acordo com o princípio do poluidor-pagador. O módulo C4 quantifica todos os custos resultantes da disposição final de materiais, incluindo neutralização, incineração ou aterro. Qualquer rendimento ou receita para o proprietário do edifício, resultante da venda do terreno ou do processo de eliminação de resíduos não deve ser incluído no módulo C4, e deve ser atribuído ao módulo D. Devem ser descritos os processos ou atividades necessárias antes da eliminação final quando não abrangidos pelos módulos C1 a C3, assim como o processo para a eliminação em si (EN 16627).

2.3. Informação económica do fim de vida de edifícios

A metodologia para a estimativa de custos em cada um dos módulos acima descritos, relativos ao fim de vida dos edifícios é feita através de várias fontes de informação e da sua comparação. As fontes de informação consideradas são em grande parte publicações científicas de diversos

¹ (Comissão Europeia, 2012)

² Os restantes resíduos (0,7%) foram encaminhados para armazenamentos temporários ou tiveram tratamento especial.

³ (The Danish Environmental Protection Agency, Ministry of Environment and Food of Denmark, 2016) relativo a 2014

⁴ (The Technical and Environmental Administration, City of Copenhagen, 2018)

países, principalmente europeus, uma vez que são fontes com valores para os custos em estudo mais aproximados à realidade para edifícios no fim de vida localizados em Portugal.

Neste capítulo apresenta-se a informação económica relevante para o presente estudo, que foi recolhida de várias fontes, relativa aos módulos C1, C2, C3 e C4 da fase do fim de vida dos edifícios.

2.3.1. Desconstrução (Módulo C1)

Dados referentes a custos de desconstrução de elementos de edifícios estão disponíveis em diversas fontes de informação, nomeadamente o ProNIC, bases de dados do LNEC, o Gerador de Preços do CYPE (Gerador de Preços, 2018), o Orçamentos e Orçamentação (<https://orçamentos.eu/>) e livros como o Laxton's Building Price Book (Johnson, 2018).

Apresentam-se na Tabela 3 exemplos de custos recolhidos para a demolição de alguns tipos de revestimentos de coberturas de edifícios (Orçamentos e Orçamentação, 2019).

Tabela 3 - Custos de demolição de revestimentos. (Orçamentos e Orçamentação, 2019)

Custo	Preço de custo [€/m²]	Preço de venda [€/m²]
Demolição de revestimento de cobertura em telha cerâmica Romana, (ripado, telhas, cumeeiras, rincões, beirados e acessórios), incluindo triagem, depósito, transporte, reciclagem e/ou colocação dos resíduos em vazadouro.	9,55	11,55
Demolição de revestimento de cobertura em telha cerâmica Canudo, (ripado, telhas, cumeeiras, rincões, beirados e acessórios), incluindo triagem, depósito, transporte, reciclagem e/ou colocação dos resíduos em vazadouro.	10,43	12,61
Demolição de revestimento de cobertura em telha cerâmica Marselha, (ripado, telhas, cumeeiras, rincões, beirados e acessórios), incluindo triagem, depósito, transporte, reciclagem e/ou colocação dos resíduos em vazadouro.	8,67	10,48
Demolição de revestimento de cobertura em telha cerâmica Lusa, (ripado, telhas, cumeeiras, rincões, beirados e acessórios), incluindo triagem, depósito, transporte, reciclagem e/ou colocação dos resíduos em vazadouro.	8,67	10,48
Remoção do revestimento da cobertura em chapa de fibrocimento, incluindo a remoção de remates, rufas e elementos de fixação, operações de valorização e remoção a vazadouro de acordo com a legislação em vigor. Nota: Os materiais constituídos por fibrocimento deverão ser removidos, transportados e acondicionados em vazadouro autorizado, de acordo com o Decreto-Lei n.º 266/2007, de 24 de Julho, incluindo a notificação à Autoridade para as Condições do Trabalho.	16,66	20,15

2.3.2. Transporte (Módulo C2)

Os custos relativos ao transporte de resíduos são em geral dependentes da distância entre o local onde são produzidos e o destino para seu processamento ou eliminação. O transporte de diferentes tipos de resíduos pode também sofrer algumas variações, como por exemplo no caso de resíduos perigosos, para os quais o custo em geral é mais elevado. Apresentam-se no Anexo

C os custos de transporte de resíduos inertes em contentores com diferentes capacidades (Gerador de Preços, 2018).

As informações relativas aos custos de transporte de resíduos de construção e demolição foram recolhidas através de consulta a diversas empresas do setor da construção que utilizam este tipo de serviços. Em geral os custos considerados referem-se a contentores para resíduos com capacidade de 6 metros cúbicos, sendo que diferentes tipos de resíduos representam diferentes quantidades de material por contentor.

Os contentores são colocados em obra, e os custos praticados pelas empresas de transporte de resíduos incluem o transporte do contentor vazio para obra, a sua colocação em local adequado, a recolha do mesmo contentor cheio, e o transporte desde a obra até ao local de valorização ou eliminação dos resíduos recolhidos. O custo de transporte dos contentores de resíduos é em geral independente do tipo de resíduos produzidos.

Os preços praticados por estas empresas são exemplos reais de custos em Portugal referentes ao módulo C2, e apresentam-se resumidos de seguida na Tabela 4. Os custos praticados por estas empresas referem-se a distâncias de transporte variáveis. No entanto, estes custos não variam com a distância de transporte e são custos apresentados pelas empresas consultadas para obras realizadas na área da Grande Lisboa.

Tabela 4 - Custos de transporte de resíduos de construção e demolição em contentores.

Empresa	Capacidade do contentor [m³]	Custo de transporte [€/contentor]	Custo de transporte [€/m³]
A	6,00	90,00	15,00
B	6,00	70,00	11,67
C	6,00	150,00	25,00
D	6,00	300,00	50,00
E	6,00	140,00	23,33
F	6,00	60,00	10,00

De acordo com informações disponibilizadas pela empresa C, considera-se para resíduos de madeira que são transportadas 0,25 toneladas por metro cúbico de contentor, para resíduos inertes 1,25 toneladas por metro cúbico, para resíduos metálicos provenientes de estruturas de suporte metálicas ou chapas metálicas de revestimento 0,37 toneladas por metro cúbico, e para os casos em que os resíduos sejam avaliados como mistura de resíduos considera-se o transporte de 0,2 toneladas por metro cúbico de contentor.

Assim, os custos de transporte de resíduos por tonelada são os que se apresentam de seguida na Tabela 5.

Tabela 5 - Custos de transporte de resíduos.

Empresa	Custo de transporte [€/ton]			
	Madeira	Inertes	Metal	Mistura
A	60,00	12,00	40,54	75,00
B	46,86	9,34	31,54	58,35
C	100,00	20,00	67,57	125,00
D	200,00	40,00	135,14	250,00
E	93,32	18,66	63,05	116,65
F	40,00	8,00	27,03	50,00

Segundo a informação recolhida junto da empresa C, considera-se um custo de 250€ por tonelada para o transporte de resíduos considerados perigosos, tais como materiais que contenham amianto na sua composição. A empresa C considera ainda que para os resíduos perigosos contendo amianto são transportadas 0,12 toneladas de material por metro cúbico. Considerando contentores com capacidade para 6 metros cúbicos este custo corresponde a 180€ por contentor. Assim, o custo que se considera para o transporte destes resíduos é de 250€ por tonelada de materiais considerados perigosos.

Apresenta-se na Figura 3 um gráfico relativo aos custos apresentados pelas diversas empresas para o transporte de resíduos de madeira, de resíduos inertes, de resíduos de metal e para transporte de mistura de resíduos. Neste gráfico verifica-se que os custos, apesar de apresentarem bastante variabilidade, seguem a mesma tendência nas várias empresas.

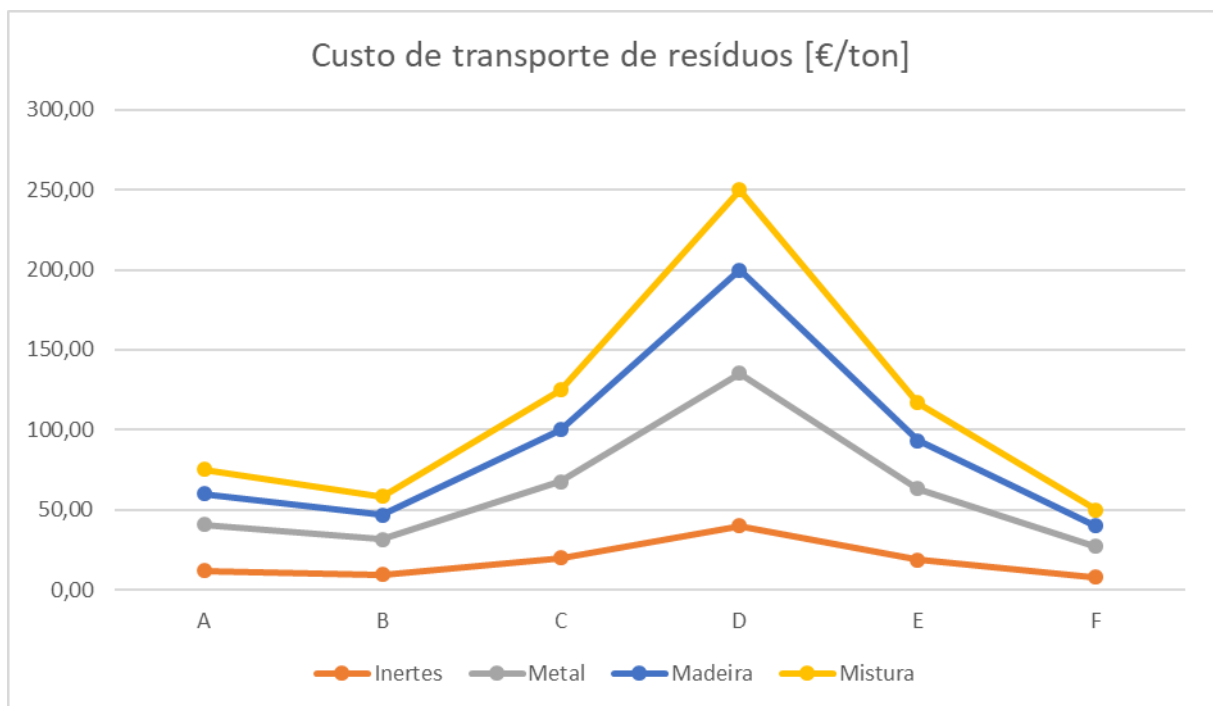


Figura 3 - Custo de transporte de resíduos recolhidos junto de empresas do setor.

Apresentam-se ainda alguns custos de transporte de resíduos da construção e demolição recolhidos em diversas fontes, na Tabela 6.

Tabela 6 - Custos de transporte de resíduos de construção e demolição em países europeus.

País	Custo		Referência
Portugal	Transporte de resíduos perigosos com amianto	97,10 €/m ³	(Gerador de Preços, 2018)
França	Transporte de agregados	8 - 10 €/ton/100km	(CDW Management in France, 2015)
Alemanha	Taxa fixa de transporte de RCD	75 – 150 €	(CDW Management in Germany, 2015)

2.3.3. Processamento de resíduos para reutilização, recuperação e/ou reciclagem (Módulo C3)

O processamento de resíduos terá custos muito variáveis dependendo do tipo de resíduos em análise, e quais os métodos utilizados para a sua valorização. O aço por exemplo, pode ser reutilizado em novas construções, e a produção de novo aço pode ser inteiramente feita a partir de resíduos de aço (Mulders, 2013).

Os dados disponibilizados pela empresa C relativos aos custos de entrega para processamento dos resíduos apresentam-se de seguida na Tabela 7.

Tabela 7 - Custos de entrega para processamento de resíduos de construção e demolição.

Código LER	Designação	Custo de entrega [€/ton]
LER - 17 01 01	Betão	10,00
LER - 17 01 03	Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos	10,00
LER - 17 09 04	Misturas de resíduos de construção e demolição (entulhos limpos)	11,00
	Misturas de resíduos de construção e demolição (entulhos com alguma mistura de plásticos, madeiras, cartão, etc.)	25,00
	Misturas de resíduos de construção e demolição (sem inertes, inclui lã de rocha, gesso cartonado e sacos de cimento)	61,00

2.3.4. Eliminação (Módulo C4)

No último módulo de custos em análise, a eliminação dos resíduos através de diversos métodos apresenta custos e taxas que são bastante variáveis com o nível de comprometimento com a preservação ambiental de um determinado país ou da entidade autorizada à eliminação dos resíduos.

A entrega para eliminação de resíduos perigosos de elementos de fibrocimento com amianto provenientes de trabalhos de demolição a um operador licenciado para gestão de resíduos perigosos tem taxas elevadas, correspondentes a 161,16 € por metro cúbico de material (Gerador de Preços, 2018).

Apresentam-se na Tabela 8 alguns exemplos de custos de eliminação de resíduos recolhidos para diferentes países europeus.

Tabela 8 - Custos e taxas relativos à valorização de resíduos de construção e demolição.

País	Custos / taxas	Ano	Referência
Bélgica	Custos de aterro	2010	(CDW Management in Belgium, 2015)
	7,23 €/ton a 85,96 €/ton		
	Taxa de aterro (média)	-	
	12,73 €/ton		
Grécia	Custos de aterro	-	(CDW Management in Greece, 2015)
	10 €/ton a 48,5 €/ton		
	Taxa de aterro	2014 a 2020	
	40 €/ton a 60 €/ton		
Portugal	Custos de aterro	-	(CDW Management in Portugal, 2015)
	29,88 €/ton a 57,60 €/ton		
	Taxa de aterro	2019	(APA, 2018)
	9,9 €/ton		
Reino Unido	Custos de aterro	2015/2016	(CDW Management in United Kingdom, 2015)
	£ 8/ton a £ 49/ton		
	Taxa de aterro		
	£ 82,60/ton		
Suécia	Custos de aterro	-	(CDW Management in Sweden, 2015)
	54 €/ton a 65 €/ton		
	Taxa de aterro		
	54 €/ton		

2.4. Fim de vida de elementos de cobertura

A envolvente exterior de um edifício apresenta-se como o subsistema “mediador face às condições climáticas exteriores, de forma a permitir manter condições de conforto interiores” (Rodrigues, 2009).

A cobertura de um edifício corresponde ao piso mais elevado do mesmo, e pode ter uma configuração inclinada ou plana, sendo neste último caso geralmente denominada de cobertura em terraço. A cobertura deve cumprir funções estruturais e de revestimento, e trata-se do elemento do subsistema da envolvente exterior dos edifícios que tem maior influência no seu desempenho global (Morgado, 2012). Estes elementos, por serem a principal proteção de um edifício aos agentes exteriores a que o mesmo está exposto em permanência, necessitam de especial atenção no que toca a ações de manutenção, reparação e substituição, e assim é essencial estudar com detalhe o seu ciclo de vida.

Segundo Morgado (2012), as ações da água, da temperatura, da radiação solar e do vento provocam e aceleram o processo de degradação dos materiais constituintes dos elementos de coberturas, e conseqüentemente desse subsistema no global. O desempenho de todos os elementos que constituem uma cobertura é de elevada relevância para o desempenho global de qualquer edifício.

Os elementos de cobertura, pela importância que apresentam, devem cumprir determinadas exigências funcionais relativas a segurança, habitabilidade, durabilidade e economia.

Quanto à segurança, deve garantir-se que a cobertura resiste às ações permanentes, variáveis e acidentais a que possa estar sujeita, e ainda em determinados casos, a segurança contra o risco de incêndio. As exigências de habitabilidade referem-se à estanqueidade da cobertura, conforto térmico e acústico, parâmetros estéticos e de iluminação natural (Rato & Brito, 2003).

“Para satisfazer as exigências de durabilidade, os materiais empregues devem conservar as suas qualidades e devem ser tomadas certas disposições construtivas que permitam o acesso, a limpeza, a manutenção e a reparação do sistema de cobertura” (Rato & Brito, 2003).

Por fim, as exigências de economia dizem respeito à viabilidade económica da solução ou soluções em consideração, e a questões energéticas para minimização do consumo de energia no edifício (Rato & Brito, 2003). A utilização de isolamentos térmicos permite uma melhoria no desempenho térmico e eficiência energética global do edifício, sendo uma prática corrente nos edifícios em geral.

Ao atingirem a fase de fim de vida, os elementos de cobertura apresentam-se mais uma vez com elevada importância, visto que são constituídas por diversos materiais, tanto na sua estrutura de suporte como nos isolamentos (térmicos e/ou acústicos), nas impermeabilizações e nos revestimentos. Estes materiais, durante a desconstrução da cobertura devem ter especial atenção para que seja assegurada a devida separação dos materiais por tipologia de resíduos, para posterior transporte e seu processamento ou eliminação.

O custo de transporte de resíduos em geral é dependente da distância do local de produção dos mesmos até aos aterros ou operadores licenciados para o seu processamento. Verifica-se que para os custos recolhidos junto das empresas consultadas, isto não acontece. Os custos apresentados por estas empresas são orçamentados para qualquer obra na área da Grande Lisboa, e o custo está associado apenas ao transporte de determinada quantidade de contentores. O transporte de resíduos considerados perigosos poderá ter um custo mais elevado.

O processamento ou eliminação dos resíduos, por sua vez, dependem do tipo de resíduos produzidos, sendo aplicada uma taxa de entrega dos resíduos em aterros ou entidades licenciadas para o processamento, e tem custos mais elevados no caso de resíduos perigosos (Marrana, 2015), como por exemplo materiais de revestimento que contenham fibras de amianto, amplamente utilizados em coberturas de edifícios construídos até o uso destas fibras ter sido proibido por ter efeitos nocivos para a saúde humana.

3. Metodologia para análise do custo do ciclo de vida

A metodologia que se apresenta de seguida é definida na ISO 15686-5 como uma metodologia para a avaliação económica sistemática dos custos do ciclo de vida, ao longo de um período de análise definido no âmbito da mesma. Esta norma promove a utilização de análises do custo do ciclo de vida e facilita a sua implementação prática (ISO 15686-5).

Deve ser definido o âmbito da análise a efetuar, assim como o seu objetivo, os principais pressupostos, limitações, constrangimentos, incertezas, riscos e ainda os efeitos de análises de sensibilidade (ISO 15686-5).

A variabilidade nas características dos edifícios e dos objetivos de diferentes entidades que pretendam utilizar a ferramenta de ACCV dificulta a generalização de uma única metodologia para esta análise, no entanto devem ser feitos alguns ajustes que possam facilitar a sua aplicação consoante o caso concreto em estudo.

Os custos tidos em consideração para a aplicação da metodologia em estudo são relativos à fase de fim de vida dos edifícios, incluindo subcapítulos de custos relativos a inspeções de eliminação, eliminação e demolição (incluindo limpeza do local), reintegração para atender aos requisitos contratuais, impostos e taxas sobre bens e serviços, e outros custos que não se enquadrem nas categorias anteriores (ISO 15686-5).

3.1. Descrição genérica

A norma EN 15643-4 propõe um sistema que facilita a avaliação do desempenho económica dos edifícios através de uma abordagem baseada no ciclo de vida dos mesmos. Esta norma faz um enquadramento do desempenho económico dos edifícios, e das metodologias de ACCV a utilizar para contribuir para a sua melhoria.

A avaliação do desempenho económico de um edifício deve quantificar os aspetos e impactes económicos do edifício ao longo do seu ciclo de vida, com base no custo e no valor financeiro do mesmo (EN 15643-4).

O módulo A engloba todos os custos que ocorrem antes da fase de utilização do edifício, considerando todas as atividades de pré-construção, fornecimento e transporte de matérias-primas, produção, transporte e processos de construção e instalação.

No módulo B devem ser avaliados os custos da fase de utilização do edifício, tais como custos de utilização, manutenção, reparação, substituição, reabilitação, e ainda os custos referentes ao uso operacional de energia e água no edifício.

O módulo C é o foco do presente estudo e trata todos os custos relativos ao fim de vida do edifício, após a sua fase de utilização, incluindo os custos de desconstrução, transporte de resíduos, processamento de resíduos e a sua eliminação.

Aglomerando toda a informação de custos disponíveis na estrutura de módulos proposta na EN 15643-4 é possível avaliar o desempenho económico do edifício.

3.2. Estrutura adaptada à fase de fim de vida de edifícios

A metodologia de ACCV que se pretende realizar é apresentada no Capítulo 5 da EN 16627, no qual são apresentados de forma esquemática os requisitos necessários para efetuar a análise pretendida.

Os passos da ACCV a utilizar na presente dissertação resultam de uma adaptação dos requisitos apresentados na ISO 15686-5 e na EN 16627, e são apresentados na Tabela 9, em correspondência com os respetivos requisitos das normas.

Tabela 9 – Passos da ACCV a adotar e respetivos requisitos nas normas ISO 15686-5 e EN 16627.

Passos da ACCV		Requisitos ISO 15686-5	Requisitos EN 16627
1	Propósito da ACCV	4.1; 4.4	6.1
2	Âmbito da ACCV	4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5; 5.1; 5.2; 5.3; 5.4	6.1; 7.1; 7.4
3	Período e métodos de análise económica	5.3; 7.4	7.3; 10; 11
4	Requisitos do projeto e do ativo	7.1 a 7.4 e Anexo B	7.1; 8.7
5	Análise de opções e custos a considerar	4.4	7; 9
6	Base de dados: custos e períodos de ocorrência	4.2; 4.4; 4.6; 5.4	7.4; 9.9; 10
7	Verificação dos parâmetros financeiros e do período de análise	5.4	10
8	Avaliação do desempenho económico	4.6	11
9	Análise de sensibilidade	8.4 e Anexo C	10.3; 10.4
10	Interpretação e apresentação dos resultados iniciais	9.1; 9.2; 9.3	12; 13
11	Apresentação e interpretação dos resultados finais	9.1; 9.2; 9.3	12; 13

A EN 16627 apresenta ainda alguns passos opcionais que não serão considerados para esta análise uma vez que se encontram fora do âmbito da presente dissertação, tais como as análises detalhadas de risco, as análises de sensibilidade e a verificação de resultados em comparação com os resultados de análises anteriores.

Para cada passo da metodologia em estudo encontra-se discriminado de seguida o tipo de informações que devem ser incluídas e processadas numa análise do custo do ciclo de vida, para que a avaliação do desempenho económico do objeto de estudo seja o mais completa possível.

Passo 1 - Propósito da ACCV

O propósito de uma análise do custo do ciclo de vida é a quantificação do desempenho económico do objeto de estudo, em geral um edifício, ao longo do seu ciclo de vida, como parte de uma avaliação integrada de sustentabilidade do mesmo (EN 16627).

Deve ser bem definido qual o objetivo de efetuar a análise do custo do ciclo de vida e o nível de detalhe requerido, para que todos os intervenientes possam contribuir de forma assertiva para a mesma finalidade e compreender como serão utilizados os resultados da análise (ISO 15686-5).

Os objetivos podem passar pela necessidade de apoio a processos de tomada de decisões relativas ao edifício, pela necessidade de documentar o seu desempenho económico num determinado período da sua vida, para declarar o desempenho do edifício em relação a requisitos legais, para propósitos de financiamento ou outras finalidades (EN 16627).

Passo 2 - Âmbito da ACCV

O âmbito de uma análise de custo do ciclo de vida deve identificar o que está incluído na mesma, devendo ser definidos quais os limites para a análise a efetuar.

Se a avaliação for restrita a uma parte de um edifício ou a uma parte do ciclo de vida, ou no caso de quaisquer impactes ou aspetos relevantes não serem abordados, essa informação deve ser documentada, relatada e fundamentada. Estas opções de analisar apenas uma parte do edifício ou uma ou mais fases do seu ciclo de vida, têm uma influência muito significativa nos custos estudados e no desempenho económico em análise (EN 16627).

Para um edifício existente, a análise deve incluir todos os custos de aquisição e os custos relativos às fases do ciclo de vida do edifício anteriores à análise, e ainda as fases do ciclo de vida restantes até ao fim de vida do edifício (EN 16627).

Na fase de fim de vida dos edifícios, a demolição pode ocorrer antes ou depois da eliminação, e deve ser claro se os custos de demolição estão ou não incluídos na análise (ISO 15686-5).

Passo 3 - Período e métodos de análise económica

O período de estudo de referência para a ACCV deve ser definido para os elementos a analisar.

Em geral, para avaliar o desempenho económico de um edifício, o período de estudo a considerar é a vida útil do mesmo, no entanto outros períodos de estudo podem ser considerados, consoante os objetivos ou os resultados pretendidos para a análise (EN 16627).

Este período de análise é definido de acordo com os requisitos do cliente, e pode ser qualquer período ao longo de todo o CV do edifício (ISO 15686-5).

A obsolescência deve ser tida em consideração na definição do período de estudo, uma vez que o edifício pode atingir o fim de vida útil não planeado ou sofrer uma mudança de utilização (ISO 15686-5).

O desempenho económico de edifícios deve ser descrito utilizando indicadores como o custo ou o valor financeiro ao longo do ciclo de vida. Existem outros indicadores que são usados na prática corrente, apresentados no Anexo D da EN 15643-4.

Passo 4 - Requisitos do projeto e do ativo

O objeto de estudo deve ser descrito pelas suas características físicas, geográficas, temporais e o tipo de uso a que se destina, facilitando a seleção dos tipos de custos que se pretende analisar em cada módulo e da forma melhor forma para os organizar e apresentar.

Os cenários que devem ser tidos em consideração representam as várias fases do ciclo de vida do edifício, e devem neste passo ser descritos, de acordo com a estrutura em módulos que posteriormente servirá para organizar os custos a analisar na ACCV (EN 16627).

Os cenários a descrever para o objeto de estudo, segundo a EN 16627, são os seguintes:

- Cenário de pré-construção (Módulo A0);
- Cenário de construção (Módulos A1-A5);
- Cenário de utilização (Módulos B1-B7);
- Cenário de fim de ciclo de vida (Módulos C1-C4);
- Cenário de benefícios além dos limites do sistema (Módulo D).

No presente estudo é abordado apenas o cenário de fim do ciclo de vida, correspondente ao módulo C definindo na mesma norma.

Em todos os cenários e para todos os dados e informações apresentadas, deve ser especificada e documentada a sua origem, e indicado se se tratam de dados recolhidos, assumidos, estimados ou calculados (ISO 15686-5).

Passo 5 - Análise de opções e custos a considerar

Neste passo devem ser descritas todas as alternativas a considerar que possam ter influência nos resultados, como por exemplo a utilização de materiais ou métodos de construção ou demolição diferentes para um mesmo elemento, ou a análise de apenas uma fase do ciclo de vida, e assim saber caracterizar e distinguir os custos que serão avaliados.

Passo 6 - Base de dados: custos e períodos de ocorrência

Todos os custos a analisar devem ser categorizados e organizados de forma a facilitar a compreensão do âmbito e objetivos da análise. Os custos devem ter origem em dados históricos, estimativas de custos conhecidos, custos praticados por empresas do sector, ou ainda modelos baseados nos desempenhos esperados (ISO 15686-5).

A análise económica não deve considerar nos custos o acréscimo do IVA (Imposto sobre o Valor Acrescentado). O IVA deve ser considerado separadamente, uma vez que depende de estatutos fiscais relativos (fiscalidade atribuída) ao cliente e ao projeto (EN 16627).

Os custos a analisar devem ser o mais atualizados possível, plausíveis e representativos para a região ou país de referência para a análise (EN 16627).

Quando numa análise de custo do ciclo de vida os custos a estudar são apresentados como custos nominais, a taxa de desconto a utilizar deve incluir o efeito da inflação (taxa de desconto real anual). (ISO 15686-5)

Os custos relativos aos vários módulos correspondentes à fase do fim de vida devem incluir-se e respeitar os cenários descritos no requisito 7.4.4 da EN 16627.

Passo 7 - Verificação dos parâmetros financeiros e do período de análise

Os valores de alguns parâmetros financeiros (como por exemplo taxas de inflação e de desconto) e do período de análise propostos no Passo 3, devem nesta fase ser verificados, havendo oportunidade para ajustes caso se revele necessário.

A taxa de desconto real anual proposta pela EN 16627 utilizada para comparação de custos atuais líquidos (CAL) ou de valores atuais líquidos (VAL) é de 3%.

Passo 8 – Avaliação do desempenho económico

A análise económica deve ser efetuada inicialmente sem que sejam aplicadas taxas de desconto aos custos e receitas, isto é, recorrendo a valores nominais (EN 16627).

O fator de desconto para atualização de valores deve ser calculado através da expressão (1):

$$FD(T) = \frac{1}{(1 + r)^T} \quad (1)$$

No caso de se aplicar um fator de capitalização aos custos ou receitas, o mesmo é calculado através da expressão (2):

$$FD(T) = (1 + r)^T \quad (2)$$

Nas expressões (1) e (2), r representa a taxa de desconto real anual e T representa o número de anos decorridos entre o ano de referência (início do período de análise) e o ano de ocorrência do custo.

O fator de desconto é utilizado para calcular o Valor Atual Líquido (VAL) no caso de serem considerados custos e receitas, e o Custo Atual Líquido (CAL) no caso de serem considerados apenas custos. O VAL é a soma acumulada dos fluxos de caixa descontados até à data de referência (EN 16627).

Como referido anteriormente, a EN 16627 sugere que se considere um valor de 3% para a taxa de desconto real anual.

Os valores destes indicadores podem ser calculados para cada módulo das fases do ciclo de vida do edifício, ou podem ser agregados (EN 16627).

Passo 9 – Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade pode ter como variável as taxas de inflação ou deflação, no entanto em geral são utilizadas taxas reais, por excluírem o impacto de inflações futuras. No caso de se justificar pela situação ou por pedido do cliente da ACCV, podem ser usadas taxas nominais. É possível avaliar a importância de determinadas variáveis na ACCV a realizar, através da influência que apresentam numa análise de sensibilidade (EN 16627).

Passo 10 - Interpretação e apresentação dos resultados iniciais

A base para a avaliação é a transparência e rastreabilidade da informação utilizada, tais como as opções e escolhas feitas para a análise durante o processo de cálculo do CCV. Deve ser igualmente garantida a rastreabilidade e transparência dos resultados do desempenho económico do edifício, o que implica a apresentação da informação ao nível de detalhe necessário para que seja possível avaliar a qualidade da informação. O tipo, qualidade e fonte dos dados devem também ser relatados (EN 16627).

Os resultados de uma ACCV devem ser documentados num relatório para que os utilizadores possam compreender de forma clara os resultados e as implicações, e este relatório deve incluir a definição do propósito da análise, o seu âmbito, principais pressupostos, limitações, restrições, incertezas, riscos e efeitos refletidos por análise de sensibilidade (ISO 15686-5).

Deve ser identificada a necessidade de efetuar futuras iterações da ACCV (ISO 15686-5).

Passo 11 - Apresentação e interpretação dos resultados finais

No Passo 11 deve ser preparado um relatório final do desempenho económico do edifício em estudo. De acordo com a ISO 15686-5 e a EN 16627, o relatório de avaliação do desempenho económico deve incluir, no mínimo, a seguinte informação:

- Sumário executivo;
- Uso pretendido e âmbito da avaliação;
- Identificação dos objetivos da avaliação;
- Alternativas consideradas para a avaliação;
- Restrições e riscos identificados;
- Identificação do edifício (morada, etc);
- Cliente da avaliação;
- Nome e qualificação do avaliador;
- Método de avaliação incluindo número de versão e referência;
- Ponto de avaliação no ciclo de vida do edifício;

- Período para o qual a avaliação é válida;
- Data de avaliação;
- Declaração da verificação da avaliação;
- Nome e qualificação do verificador, caso seja efetuada.

Em relação ao edifício devem ser incluídas informações como a sua tipologia, requisitos técnicos e funcionais relevantes, como por exemplo requisitos regulamentares ou do cliente, o tipo de ocupação padrão, a vida útil exigida, o período de estudo considerado para a avaliação. Pode ainda ser incluída informação relativa ao tipo estrutural do edifício, ano de comissionamento, ano de remodelação, número de ocupantes, horários de funcionamento, sistemas de aquecimento, arrefecimento, ventilação e água quente, sistemas de iluminação, energia e comunicações (EN 16627).

O relatório deve apresentar uma discussão aprofundada da interpretação dos resultados obtidos, incluindo referência a exclusões que tenham sido feitas, como por exemplo os módulos não avaliados (MNA) (ISO 15686-5).

Os resultados da ACCV devem ser apresentados num formato apropriado, incluindo todos os custos (e receitas) que foram utilizados para cada módulo do ciclo de vida. Qualquer módulo que seja excluído deve ser devidamente identificado e assinalado como MNA (Módulo Não Avaliado). A comunicação dos resultados deve ser simplificada e limitada a uma seleção de indicadores, e o módulo D deve ser apresentado separadamente dos restantes módulos do ciclo de vida, nos quais para cada indicador os resultados podem ser somados entre si, possibilitando a determinação de cada indicador para cada fase do ciclo de vida. A comunicação de resultados graficamente facilita a sua análise e compreensão (EN 16627).

Caso seja identificada a necessidade de verificar resultados, a verificação deve analisar a consistência entre o propósito da avaliação e os limites e cenários utilizados, a rastreabilidade dos dados, a consistência com outras avaliações de desempenho do edifício tais como avaliações de desempenho ambiental ou social, e a avaliação deve ser comprovadamente completa ao nível de todo o edifício (EN 16627).

4. Caso de estudo – coberturas de edifícios escolares

O caso a estudar na presente dissertação é uma amostra de escolas reabilitadas ao abrigo do Programa de Modernização das Escolas destinadas ao Ensino Secundário (PMEES) pela Parque Escolar. O objeto de estudo são os elementos de cobertura que foram demolidos, sendo analisada a fase de fim de vida destes elementos.

4.1. Enquadramento da Parque Escolar

A Parque Escolar é uma entidade pública de natureza empresarial que foi criada no âmbito do Programa de Modernização das Escolas destinadas ao Ensino Secundário (PMEES) aquando da aprovação deste programa. A PE celebrou em 2007 um Contrato-Programa com o Estado Português, sendo-lhe atribuída a responsabilidade pelo planeamento, gestão, desenvolvimento e execução do programa de modernização aprovado também em 2007. O contrato celebrado apresenta um modelo de financiamento para o investimento inicial por parte de várias entidades, entre elas o Estado Português, o Banco Europeu de Investimento (BEI) e o Banco de Desenvolvimento do Conselho da Europa (CEB) (Portal Parque Escolar, 2019).

O PMEES tem como objetivos a recuperação e modernização dos edifícios, a abertura das escolas à comunidade para utilização dos edifícios no âmbito de diversas atividades além da sua utilização para o propósito a que se destinam, e ainda a criação de um sistema eficaz de gestão dos edifícios (Portal Parque Escolar, 2019).

Atualmente, o parque escolar destinado ao ensino secundário público é composto por 477 escolas, das quais 23% foram contruídas até ao fim da década de 60, e 46% foram construídas entre 1980 e 1989 (década de 80), aquando da expansão da rede escolar e do alargamento da escolaridade obrigatória para 9 anos (em 1986), correspondente ao ensino básico (Salvado & Couto, 2015).

Apresentam-se na Tabela 10 os períodos de construção das escolas secundárias portuguesas (Salvado, Couto, Raposo, & Gonçalves, 2014).

Tabela 10 - Escolas do parque escolar português em cada período de construção.

Período de construção		Nº de escolas	Percentagem
1º	Até 1935	12	2 %
2º	Entre 1936 e 1968	94	21 %
3º	A partir de 1968	371	77 %
TOTAL		477	100 %

Inicialmente, em 2007, o PMEES encontrava-se dividido em 4 fases de intervenção em edifícios escolares, no entanto apenas ocorreram 3 fases, uma vez que em setembro de 2011 o PMEES foi reavaliado. Esta reavaliação teve como objetivo a adaptação do programa de investimentos da PE à alteração das condições económico-financeiras decorrentes da conjuntura nacional, resultando na suspensão do início das obras em 38 escolas da Fase 3 e de todas as intervenções

nas escolas inseridas na Fase 4 do PMEES. Apresentam-se na Tabela 11 as intervenções planeadas face às que foram efetivamente realizadas (Salvado, Couto, Raposo, & Gonçalves, 2014).

Tabela 11 - Intervenções planeadas e realizadas pela Parque Escolar nas diversas fases do PMEES.

	Nº de escolas	
	Intervenções planeadas	Intervenções realizadas
Fase 0	4	4
Fase 1	26	26
Fase 2	75	74
Fase 3	107	69
Fase 4	92	0
	304	173

Em 2004 foi lançado o projeto de criação e desenvolvimento de um sistema integrado de gestão para a construção, do qual resultou uma ferramenta informática denominada ProNIC (Protocolo para a Normalização da Informação Técnica na Construção). Este projeto teve financiamento aprovado em dezembro de 2005, e a sua primeira fase foi concluída em 2008 (Salvado, Couto, Raposo, & Gonçalves, 2014).

O ProNIC foi desenvolvido com o objetivo de apoiar o setor da construção a vários níveis (donos de obra, projetistas, fiscalização, empreiteiros, etc.), permitindo a simplificação dos procedimentos administrativos e técnicos relacionados com as empreitadas, e ainda a disponibilização da informação técnica da construção de uma forma organizada e normalizada. A informação técnica disponibilizada é proveniente das obras realizadas no âmbito do PMEES, tendo os respetivos dados sido inseridos no ProNIC pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) (Salvado, Couto, Raposo, & Gonçalves, 2014).

A informação disponível no ProNIC encontra-se organizada em 26 capítulos, e pode ainda ser apresentada separadamente por especialidades de projeto ou por unidades de construção.

A configuração de cada obra contempla informação como a designação da obra, a descrição sumária dos trabalhos a realizar, a designação do Dono de Obra, o tipo de obra e os respetivos atributos da mesma para o cálculo de indicadores técnico-económicos, tais como a área bruta de construção nova (m²), a área bruta de construção requalificada (m²), as áreas dos espaços exteriores (m²) e o número de alunos (unidade) (Salvado, Couto, Raposo, & Gonçalves, 2014).

Para as obras de edifícios escolares no âmbito do PMEES foi adotada uma estrutura de capítulos no ProNIC que contempla todos os 26 capítulos existentes originalmente na plataforma, e que se apresenta de seguida na Tabela 12.

Tabela 12 - Capítulos do ProNIC adaptados às obras da Parque Escolar.

Capítulo	Descrição
1	Estaleiro
2	Trabalhos Preparatórios e Preliminares
3	Demolições
4	Movimentos de Terras
5	Arranjos Exteriores
6	Estruturas
7	Construção Civil
8	Instalações e Infraestruturas Prediais
9	Ascensores, Monta-Cargas, Escadas Mecânicas e Tapetes Rolantes
10	Instalações e Equipamentos de Produção de Energia Renovável
11	Mobiliário e Equipamento Fixo e Móvel
12	Diversos

Através da compilação de informação relativa às 69 escolas intervencionadas na Fase 3 do PMEES, são estudados nesta dissertação os custos relativos à fase do fim de vida de elementos de cobertura, nos quais se observou pelo estudo de toda a amostra apenas existiram intervenções de demolição em 47 escolas.

O lançamento a concurso foi efetuado via ProNIC para todas as obras da Fase 3 do PMEES. O ProNIC dispõe de diversas funcionalidades, entre as quais a possibilidade da gestão de contratos adicionais, tais como supressões, trabalhos a mais, e erros e omissões, de acordo com o previsto no Código dos Contratos Públicos (CCP). Estas funcionalidades foram desenvolvidas para utilização nas obras após a consignação, além da possibilidade do processamento dos autos contratuais das respetivas obras (Salvado, Couto, Raposo, & Gonçalves, 2014).

O custo médio relativo ao Capítulo 3 – Demolições no estudo efetuado a uma amostra de 18 escolas modernizadas ao abrigo da Fase 2 do PMEES, corresponde a 3,6% do valor total das intervenções realizadas (Salvado, Couto, Raposo, & Gonçalves, 2014).

4.2. Aplicação da metodologia ACCV a elementos de cobertura

A viabilidade da utilização da metodologia apresentada no Capítulo 3 é testada através da sua aplicação ao presente caso de estudo, seguindo os passos propostos.

Passo 1 - Propósito da ACCV

O propósito da ACCV é avaliar o desempenho económico da fase do fim de vida de elementos de cobertura de edifícios reabilitados pela Parque Escolar até 2010, ao abrigo da Fase 3 do PMEES. Esta análise tem como objetivo estudar e obter resultados que possam ser utilizados como dados para estimativas futuras relativas ao fim de vida de elementos de cobertura de edi-

fício, e ainda testar a viabilidade da utilização da metodologia de ACCV para o desenvolvimento da análise pretendida.

Passo 2 - Âmbito da ACCV

A análise recai sobre a fase do fim de vida dos elementos de cobertura pertencentes ao subsistema da envolvente exterior das 69 escolas reabilitadas pela Parque Escolar na Fase 3 do PMEES. Considera-se que os custos de demolição estão incluídos nesta análise.

Passo 3 - Período e métodos de análise económica

O período de análise a considerar é desde o ano de 2010, aquando das intervenções nas escolas inseridas na Fase 3 do PMEES, até ao ano de 2018. Os custos de demolição estudados referem-se ao ano de 2010, e assim devem os mesmo ser descontados à data da análise que se pretenda desenvolver, para que para que sejam comparáveis com outros custos que ocorram na mesma data.

A análise de desempenho económico é efetuada através de custos nominais, tendo em conta os efeitos da inflação. As taxas de inflação consideradas são as que se apresentam na Tabela 13.

Tabela 13 - Taxas de inflação desde o ano de 2010 até 2018. (Portal do INE, 2019)

Ano	Taxa de inflação [%]
2010	1,40
2011	3,70
2012	2,80
2013	0,30
2014	-0,30
2015	0,50
2016	0,60
2017	1,40
2018	1,00

Os custos devem ser descontados para o final do ano de 2018, correspondente ao final do período de referência da análise a efetuar.

Passo 4 - Requisitos dos projetos e dos ativos

No caso de estudo em análise, não está em consideração apenas um edifício, mas sim um conjunto de edifícios. Para a amostra de edifícios escolares considerada, são descritas as tipologias de edifícios em que se inserem, que em geral reúnem diversas características comuns, e o respetivo ano de construção. Assim, é feita uma generalização das características dos edifícios em estudo para cada tipologia escolar.

A amostra de escolas estudada apresenta escolas das quatro tipologias existentes em Portugal, pavilhonar 3x3, pavilhonar de base técnica, industrial e comercial, e liceal. A Figura 5 mostra a

distribuição percentual das escolas analisadas. Consideram-se as escolas para as quais foram recolhidos custos relativos a demolição de elementos de cobertura.

Para a amostra estudada, representam-se graficamente na Figura 4 os anos de construção das 47 escolas consideradas.

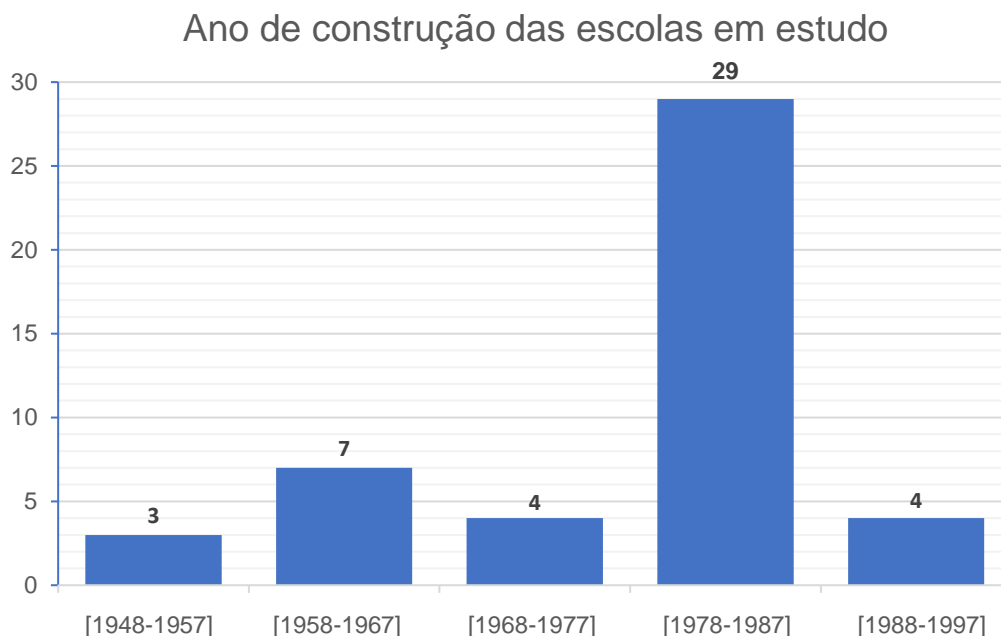


Figura 4 - Ano de construção das escolas em estudo.

Verifica-se que a maioria das escolas analisadas foi construída no período compreendido entre 1978 e 1987, que conta com 29 escolas do total de 47.

No total de 47 escolas analisadas, 45% são correspondentes a 21 escolas da tipologia pavilhonar 3x3, 36% representam 17 escolas da tipologia pavilhonar de base técnica. As restantes 9 escolas (19%) referem-se a escolas das tipologias industrial e comercial com 8% (4 escolas), e liceal com 11% (5 escolas).

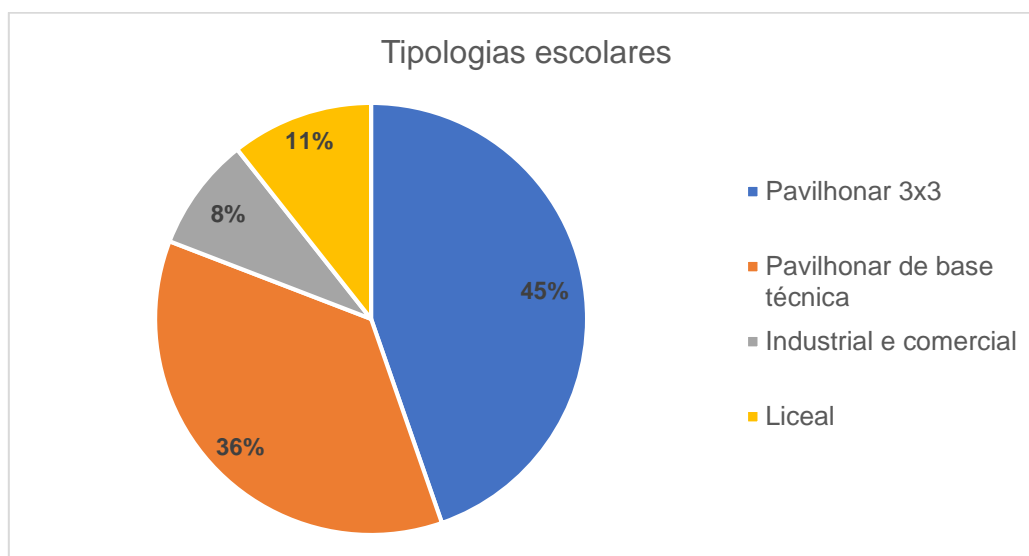


Figura 5 - Tipologias escolares da amostra em estudo.

As escolas pertencentes a cada uma destas tipologias apresentam características semelhantes. Os edifícios escolares da tipologia pavilhonar 3x3 são constituídos por pavilhões que apresentam uma configuração quadrada em planta e com estrutura em painéis de laje e de fachada pré-fabricados, e pilares em betão armado. Os blocos pavilhonares 3x3 são compostos, em geral, por um piso térreo, um a dois pisos elevados e a cobertura do edifício. As coberturas são constituídas por uma estrutura de suporte plana ou ligeiramente inclinada em betão armado e revestidas com chapas onduladas de fibrocimento, assentes na sua periferia sobre as lajes em betão armado, e sobre vigas metálicas apoiadas em paredes de alvenaria no perímetro da zona central dos pavilhões (Barrelas, 2012).

A tipologia pavilhonar de base técnica inclui edifícios escolares que tal como na tipologia pavilhonar 3x3 apresentam configuração quadrada, e estrutura porticada de betão armado. A cobertura é geralmente inclinada e revestida por chapas onduladas de fibrocimento ou chapas metálicas e painéis de chapas translúcidas numa estrutura constituída por perfis metálicos, que forma claraboias nas zonas de encontro das águas da cobertura e que permitem a entrada de luz natural. Envolvendo as claraboias existem zonas de cobertura plana de betão armado com impermeabilização em tela betuminosa. Ao redor das claraboias a cobertura apresenta uma configuração plana, com impermeabilização em telas betuminosas (Barrelas, 2012).

A tipologia escolar industrial e comercial engloba edifícios com estrutura em betão armado com lajes aligeiradas e armadas numa só direção e vigas, pilares e escadas em betão armado maciço. Em geral as coberturas apresentam uma configuração inclinada. As coberturas das escolas inseridas na tipologia industrial e comercial apresentam revestimentos em telhas cerâmicas apoiadas em ripados e vigas em madeira, assentes em asnas metálicas ou por vezes diretamente em paredes de alvenaria. São também utilizados em escolas desta tipologia revestimentos em chapas metálicas ou chapas de fibrocimento para as coberturas (Pereira, 2012).

As escolas de tipologia liceal são de conceção baseada na normalização de elementos construtivos, apresentando vãos e pilares com dimensões fixas, numa estrutura porticada de betão armado em que as lajes assentam sobre as vigas e pilares. As coberturas apresentam configurações tanto planas como inclinadas. Nos casos de coberturas planas, as mesmas são revestidas por telas de impermeabilização e por lajetas de betão pré-fabricadas, e por vezes são cobertas por mais um sistema de cobertura inclinada revestida por chapas onduladas de fibrocimento com fixações metálicas. As claraboias no centro dos edifícios são constituídas por uma estrutura de suporte em perfis metálicos e revestidas com chapas translúcidas (Barrelas, 2012). Algumas das escolas inseridas na tipologia liceal apresentam coberturas inclinadas com estrutura de suporte em madeira com elementos de ligação metálicos ou com estrutura de suporte constituída por asnas metálicas e revestimento em telhas cerâmicas (Marques, 2012).

Passo 5 - Análise de opções e custos a considerar

Os dados em estudo são custos reais ocorridos na reabilitação de edifícios existentes, pelo que não existem opções a tomar.

Os custos a analisar são referentes apenas à fase do fim de vida dos elementos de cobertura, uma vez que é o período que se pretende estudar.

Passo 6 - Base de dados: custos e períodos de ocorrência

Os custos relativos à fase do fim de vida de elementos de cobertura de edifícios escolares públicos foram recolhidos no ProNIC, para cada escola e para cada elemento analisado. A informação recolhida diz respeito a escolas reabilitadas ao abrigo do Programa de Modernização das Escolas destinadas ao Ensino Secundário (PMEES). Os custos que constam no ProNIC referem-se ao módulo de custos C1. Apresentam-se no Anexo D.1 todos os custos recolhidos, que se tratam de objeto de análise no Capítulo 5.

Todos os custos apresentados ocorrem apenas uma vez ao longo do ciclo de vida do edifício, por isso não faz sentido, neste caso, serem atribuídos aos custos os respetivos períodos de ocorrência.

Os custos recolhidos são custos reais do ano de 2010, que são transformados em custos nominais para 2018 através de uma capitalização para serem tidos em conta os efeitos da inflação, desta forma os custos podem ser comparados e associados a custos relativos a outros módulos à mesma data. Os custos capitalizados para o ano de 2018 podem ser consultados no Anexo D.2.

Os custos relativos aos restantes módulos da fase do fim de vida de edifícios são estudados ao longo do Capítulo 2, e podem ser considerados preenchidos diferentes módulos consoante o tipo de elemento ou material, uma vez que os processos de valorização de resíduos ou a sua eliminação em aterro ou por incineração diferem para os vários tipos de resíduos, nomeadamente para resíduos considerados como resíduos perigosos.

Consideram-se ainda para a base de dados a utilizar na presente metodologia, todos os dados recolhidos em referências bibliográficas e junto de empresas do setor, apresentados anteriormente ao longo do capítulo correspondente à revisão de conhecimentos.

Passo 7 - Verificação dos parâmetros financeiros e do período de análise

As taxas de inflação consideradas no Passo 3 são adequadas para efetuar a análise, e serão utilizadas para capitalizar os custos reais de 2010 em custos nominais que possam ser comparáveis em 2018. Todos os custos nominais de 2018 são afetados de uma taxa de desconto real anual de 3% sugerida na EN 16627, obtendo-se assim o CAL.

Passo 8 – Avaliação do desempenho económico

A avaliação do desempenho económico deve ser realizada aplicando uma taxa de atualização aos custos de desconstrução, correspondentes ao módulo C1 da fase do fim de vida dos elementos em análise que foram recolhidos no ProNIC, uma vez que todos os custos analisados ocorreram no passado, aquando da Fase 3 do PMEES, em 2010.

Passo 9 – Análise de sensibilidade

Não é efetuada nesta ACCV uma análise de sensibilidade visto que todos os custos ocorrem no mesmo ano, logo as taxas de desconto teriam igual influência em toda a análise. Por outro lado, se os custos recolhidos para cada módulo do fim de vida de edifícios fossem alvo de uma análise de sensibilidade, por serem referentes ao mesmo ano, também a sua influência seria igual para este tipo de análise. Assim, considera-se que uma análise de sensibilidade se encontra fora do âmbito da presente dissertação.

Passo 10 - Interpretação e apresentação dos resultados iniciais

A concretização deste passo é desenvolvida no Capítulo 5, e considera-se que para efeitos de elaboração de um relatório, os passos anteriormente descritos ao longo da dissertação contêm toda a informação que deveria constar do mesmo.

Passo 11 - Apresentação e interpretação dos resultados finais

Este passo é desenvolvido ao longo do Capítulo 5, à semelhança do que acontece no Passo 10.

5. Análise de resultados e viabilidade de aplicação da metodologia proposta

A aplicação de metodologia ao caso de estudo, permite por fim apresentar e interpretar os resultados obtidos, de acordo com o que se propõe nos passos 10 e 11 da mesma. A análise e os resultados obtidos pela aplicação desta metodologia apresentam-se ao longo do presente capítulo.

Esta análise e os respetivos resultados ajudam a determinar se a metodologia aplicada é viável para a determinação do custo do ciclo de vida de edifícios, e se se justifica a sua utilização como uma ferramenta de apoio à decisão para casos de estudo relativos a outras tipologias de edifícios ou a mais edifícios da tipologia escolar.

5.1. Análise e apresentação de resultados

Os resultados obtidos apresentam-se organizados neste capítulo divididos pelos módulos estudados para a fase do fim de vida de edifícios. Para cada elemento em estudo pretende-se preencher os módulos de custos correspondentes à demolição ou desconstrução, ao transporte dos RCD, e à sua valorização ou eliminação, conforme o material em análise.

Os resultados finais são apresentados em forma de tabelas e gráficos para todos os módulos a preencher para a fase do fim de vida dos elementos de cobertura em estudo.

Módulo C1 – Desconstrução

Os resultados relativos ao módulo C1 relativo à desconstrução são apresentados após análise estatística dos dados anteriormente apresentados no Anexo D.2. Esta análise estatística inclui o estudo de valores atípicos (*outliers*) para cada elemento considerado, e um novo estudo estatístico sem a consideração destes valores atípicos, uma vez que poderiam causar uma variabilidade indesejada nos resultados pretendidos.

Apresentam-se na Tabela 14 os valores de média, mediana e desvio padrão obtidos para os elementos estudados nas coberturas de edifícios.

Os custos obtidos para desconstrução por análise estatística dos dados recolhidos no ProNIC apresentam alguma variabilidade. Esta variabilidade pode ser explicada pelo facto de os preços unitários atribuídos a determinadas atividades de desconstrução serem dependentes de condições de trabalho, da localização geográfica onde ocorrem e de diversos outros fatores.

Observa-se na Tabela 14 que o custo de desconstrução referente a chapas de fibrocimento com amianto é mais elevado do que para os restantes tipos de revestimentos de coberturas, o que se explica pelo facto de se tratar de um resíduo considerado como perigoso, e a remoção deste tipo de chapas deve ser efetuada por empresas especializadas e licenciadas para realizar este tipo de atividade.

Tabela 14 – Média, mediana e desvio padrão dos custos de desconstrução dos elementos estudados.

	Elemento	Un.	Média	Mediana	Desvio Padrão
E.1	Estrutura de suporte metálica	€/kg	0,91	0,55	0,44
E.2	Estrutura de suporte metálica	€/m ²	8,58	8,58	1,35
E.3	Estrutura de suporte em madeira	€/m ²	20,43	20,43	7,17
E.4	Estrutura de suporte mista	€/m ³	18,22	18,22	1,66
E.5	Chapas de fibrocimento com amianto	€/m ²	10,17	8,11	5,72
E.6	Chapas metálicas	€/m ²	6,30	5,85	1,94
E.7	Chapas translúcidas	€/m ²	5,64	5,08	1,99
E.8	Telhas cerâmicas	€/m ²	4,67	4,69	1,81
E.9	Outros revestimentos (vários)	€/m ²	8,66	4,32	6,70
E.10	Impermeabilizações	€/m ²	5,39	5,46	2,64
E.11	Isolamentos	€/m ²	3,73	4,06	1,45

Na Figura 6 representam-se graficamente os custos de demolição para os elementos de estruturas de suporte metálicas de coberturas. Estes elementos (E.1) apresentam uma distribuição de custos que varia entre 0,55 €/kg e 1,88 €/kg. Em média a demolição de elementos de estruturas metálicas custa 0,91 €/kg.

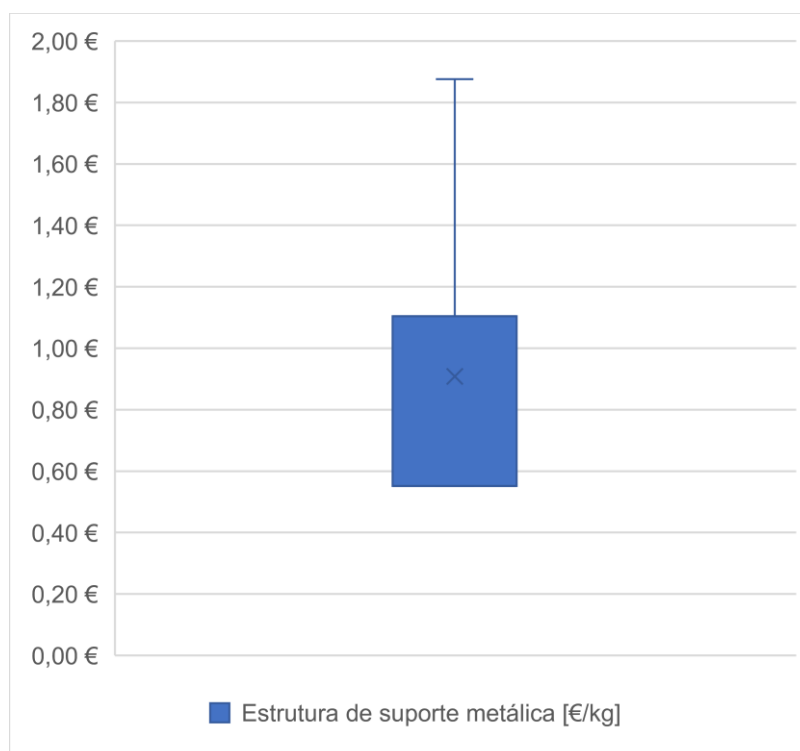


Figura 6 - Custos de demolição (módulo C1) para elementos de estrutura de suporte metálica de coberturas.

Na Figura 7 podem ser observados os custos de demolição para estruturas de suporte de coberturas em estrutura metálica, em estrutura de madeira e em estrutura mista. Os dados recolhidos

são uma amostra muito reduzida, que nestes casos (E.2, E.3 e E.4) contam com apenas com duas ocorrências, o que conduz a resultados estatísticos pouco interessantes.

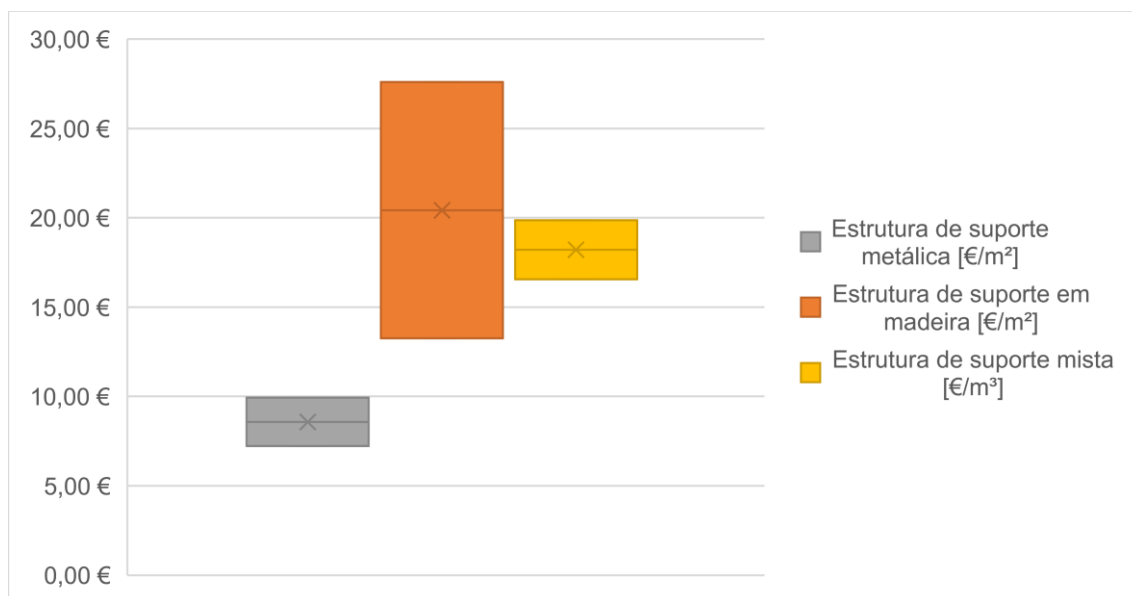


Figura 7 - Custos de demolição (módulo C1) para elementos de estrutura de suporte de coberturas.

Para os elementos de estrutura de suporte metálica (E.2) verifica-se que o valor máximo é de 9,93 €/m² e o mínimo corresponde a 7,23 €/m². Quanto aos elementos de estrutura de suporte em madeira (E.3) os custos variam entre 13,25 €/m² e 27,60 €/m². Por sua vez, os elementos de estrutura de suporte mista (E.4) apresentam custos entre 16,56 €/m³ e 19,87 €/m³.

O custo de demolição de elementos de estrutura de suporte metálica (E.2) corresponde em média a 8,58 €/m², para os elementos de estrutura de suporte em madeira (E.3) o custo médio é de 20,43 €/m², e para os elementos de estrutura de suporte mista (E.4) em média o custo de demolição é de 18,22 €/m².

O gráfico representado na Figura 8 mostra a distribuição dos custos de demolição para os elementos E.5, E.6, E.7, E.8 e E.9, referentes a revestimentos de coberturas de diversos materiais. Estes custos são em média aproximados, no entanto apresentam grande variabilidade, o que se demonstra mais evidente em revestimentos em chapas de fibrocimento com amianto (E.5), e em revestimentos variados (E.9) para os quais não é especificado o material constituinte nos custos recolhidos em diversas escolas.

Os custos de demolição referentes a elementos de revestimento de coberturas em chapas de fibrocimento com amianto (E.5) variam entre 4,42 €/m² e 27,60 €/m². Em média, a demolição de elementos de revestimento em chapas de fibrocimento com amianto custa 10,17 €/m².

Os elementos de revestimento em chapas metálicas (E.6) apresentam um custo médio de demolição de 6,30 €/m², e os custos variam entre 3,15 €/m² e 9,38 €/m².

A demolição de revestimentos de coberturas em chapas translúcidas (E.7) custa em média 5,64 €/m². Os custos de demolição destes elementos variam entre 2,76 €/m² e 9,93 €/m².

A demolição de revestimentos de coberturas em telhas cerâmicas (E.8) custam em média 4,67 €/m², e os custos recolhidos para estes elementos variam entre 2,26 €/m² e 7,73 €/m².

Por fim, os custos para a demolição elementos de revestimento de coberturas constituídos por outros materiais diversos não especificados nos dados recolhidos (E.9) correspondem em média a 8,66 €/m². Para a demolição de revestimentos de materiais diversos o custo mínimo é de 1,32 €/m² e o custo máximo é de 19,87 €/m². Observa-se um desvio padrão elevado correspondente a 6,70 €/m², o que reflete a incerteza referente aos custos recolhidos, que foram agrupados para diversos materiais de revestimento de coberturas por estes não se encontrarem discriminados.

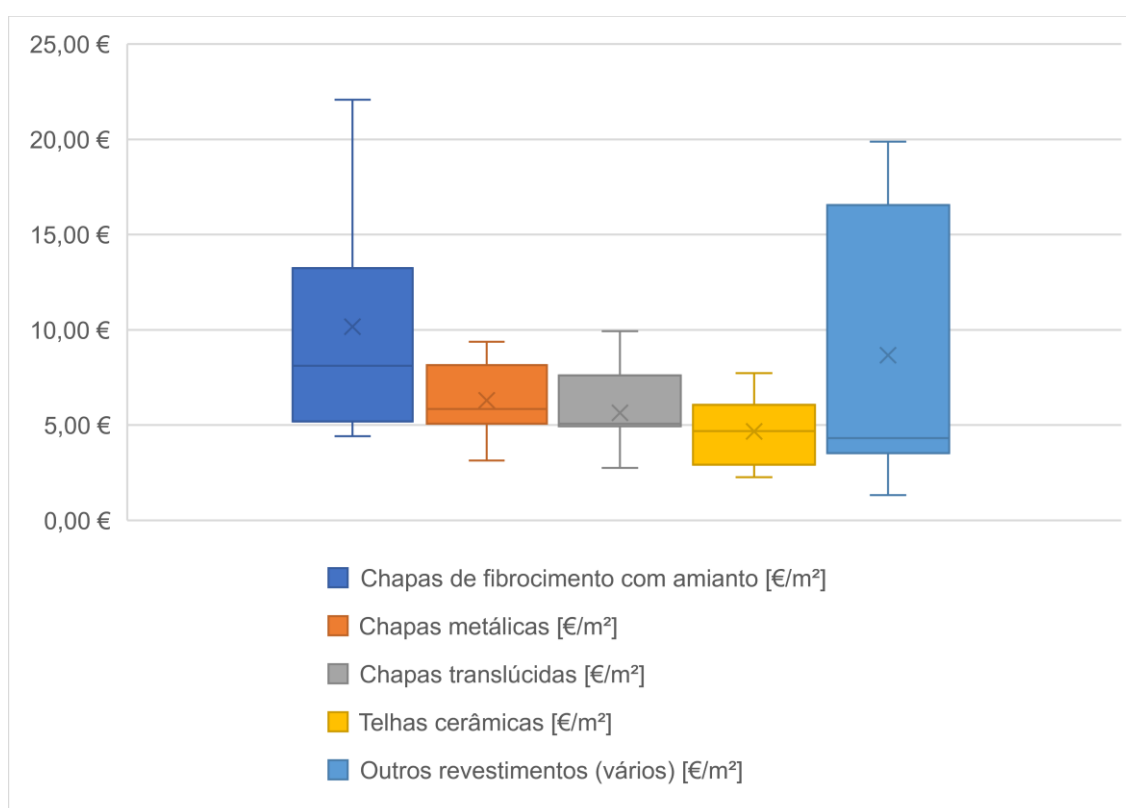


Figura 8 - Custos de demolição (módulo C1) por área de elementos de revestimento de coberturas.

Os custos de demolição representados graficamente na Figura 9 são referentes a elementos de impermeabilização (E.10) e isolamento (E.11) de coberturas, correspondentes em média a 5,39 €/m² e a 3,73 €/m², respetivamente.

Os elementos de impermeabilização (E.10) apresentam custos de demolição desde 1,10 €/m² até ao máximo de 11,04 €/m². Para os elementos de isolamento (E.11) os custos de demolição variam entre 1,10 €/m² e 5,52 €/m².

Os elementos de impermeabilização (E.10) apresentam 17 ocorrências nas 47 escolas estudadas no presente caso de estudo, enquanto que os elementos de isolamento (E.11) ocorrem apenas em 6 dos casos estudados.

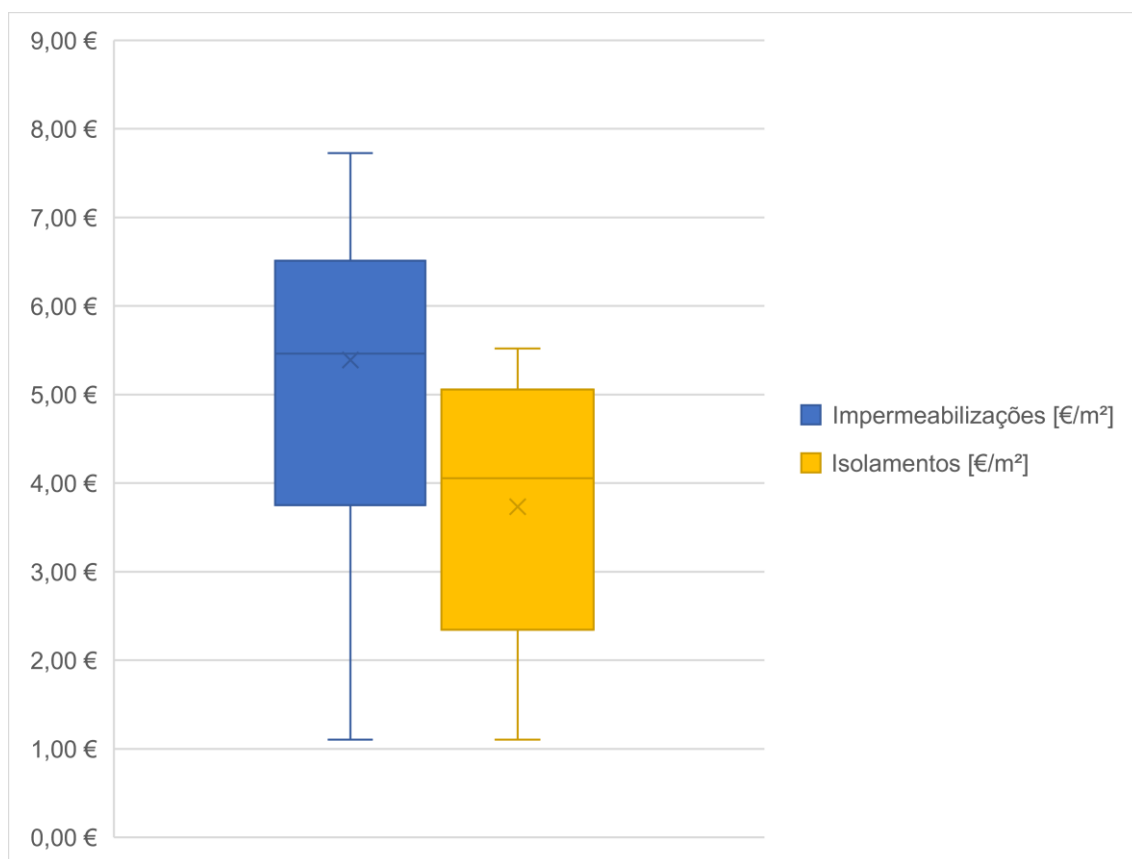


Figura 9 - Custos de demolição (módulo C1) por área de elementos de impermeabilização e isolamento de coberturas.

Módulo C2 – Transporte

Os custos de transporte de resíduos de construção e demolição, como já foi referido, são em geral independentes do tipo de resíduos a transportar, sendo apenas considerado o transporte de um determinado volume de resíduos, seja em contentores ou em camiões, o que resulta num custo apresentado por unidade de volume.

Na Tabela 15 apresentam-se os custos de transporte reais, recolhidos junto de empresas que efetuam o transporte de resíduos de construção e demolição, sendo este custos aproximados para o tipo de resíduos considerados, Assim, a média destes custos é utilizada para preencher o módulo de custos de transporte, referente ao módulo C2 da fase do fim do ciclo de vida de edifícios.

Considera-se para este caso de estudo que para cada tipo de material transportado, a quantidade em peso é variável e dependente do acondicionamento que é dado aos materiais em cada contentor ou camião. Os contentores em geral transportam 6 m³ de material, e os camiões transportam um volume na ordem dos 20 m³.

O transporte de resíduos perigosos como as chapas de fibrocimento com amianto considera-se que custa 180 € por tonelada de material, segundo os custos recolhidos na empresa C.

Tabela 15 - Custos de transporte recolhidos em empresas do setor.

Empresa	Custo de transporte [€/ton]			
	Madeira	Inertes	Metal	Mistura
A	60,00	12,00	40,54	75,00
B	46,86	9,34	31,54	58,35
C	100,00	20,00	67,57	125,00
D	200,00	40,00	135,14	250,00
E	93,32	18,66	63,05	116,65
F	40,00	8,00	27,03	50,00
Média	90,03	18,00	60,81	112,50

Módulo C3 – Processamento de resíduos para reutilização, recuperação e / ou reciclagem

O custo relativo ao processamento dos materiais constituintes dos elementos de cobertura varia para os diferentes tipos de materiais considerados. Em alguns casos, é até possível obter receitas pela entrega de materiais como aço em varão, perfis metálicos estruturais e chapas de revestimentos metálicos. No entanto estas receitas não devem ser contabilizadas no módulo C3, e sim no módulo D, que prevê as receitas provenientes de qualquer fase do ciclo de vida dos edifícios.

Os custos a preencher para o módulo C3, recolhidos numa empresa licenciada para receber e processar resíduos de construção e demolição (Empresa C) relativos às taxas de entrega praticadas apresentam-se na Tabela 16. Apresentam-se ainda quais as operações de valorização previstas para cada tipo de resíduos, que podem ser consultadas no Anexo B.

Na Tabela 16 verifica-se que para alguns elementos, nomeadamente os elementos E.1, E.2, E.4 e E.6 não está preenchido o módulo C3 correspondente aos custos correspondentes ao seu processamento através de operações de valorização. Isto explica-se pelo facto de para estes elementos não ocorrer um custo para a entrega dos resíduos aos operadores licenciados para o seu processamento. Em vez de um custo, para estes elementos a entrega dos resíduos em questão gera uma receita para o seu produtor, e por se tratar de uma receita deve ser incluída no módulo D do CCV como previsto pela EN 16627.

Quanto ao elemento E.6, não se considera um custo para preenchimento do módulo C3 uma vez que os elementos que contenham amianto são considerados resíduos perigosos e não podem ser alvo de processos de valorização. Estes resíduos são eliminados e o custo associado à eliminação deve ser preenchido no módulo C4.

Tabela 16 - Custos de processamento de resíduos recolhidos na Empresa C.

Elemento		Custo C3	Un.	Operação de valorização
E.1	Estrutura de suporte metálica	-	-	R12/R13
E.2				
E.3	Estrutura de suporte em madeira	20,00	€/ton	R3/R12/R13
E.4	Estrutura de suporte mista	-	-	R5/R12/R13
E.5	Chapas de fibrocimento com amianto	-	-	D1/D13
E.6	Chapas metálicas	-	-	R12/R13
E.7	Chapas translúcidas	50,00	€/ton	R12/R13
E.8	Telhas cerâmicas	8,00	€/ton	R5/R12/R13
E.9	Outros revestimentos (vários)	70,00	€/ton	R12/R13
E.10	Impermeabilizações	50,00	€/ton	R12/R13
E.11	Isolamentos	50,00	€/ton	R3/R12/R13

Módulo C4 – Eliminação

O módulo C4 relativo à eliminação dos resíduos de construção e demolição é apenas aplicável aos casos em que estes resíduos não são encaminhados para processos de valorização, cujos custos pertencem ao módulo C3. Assim sendo, somente os resíduos provenientes de chapas de fibrocimento com amianto (E.5) serão objeto de eliminação. Por serem considerados resíduos perigosos, o processo de eliminação utilizado é geralmente o encaminhamento para aterros autorizados, e os resíduos devem estar devidamente acondicionados em embalagens estanques.

Os códigos LER 17 06 01 e LER 17 06 05 correspondem a resíduos de construção e demolição que contenham amianto.

Os custos de entrega a um operador licenciado para a eliminação deste tipo de resíduos correspondem a 90 € por tonelada de material, de acordo a informação recolhida junto da empresa C.

Os custos estudados e recolhidos para preenchimento dos módulos C1, C2, C3 e C4 da fase do fim de vida de edifícios, previstos na EN 16627 resumem-se de seguida na Tabela 17.

Para os elementos E.1, E.2, E.4 e E.6 não são considerados custos para preenchimento do módulo C3 nem do módulo C4, uma vez que a valorização destes resíduos gera receitas, segundo as informações recolhidas junto da empresa C, e por outro lado os resíduos não são alvo de eliminação. Assim o preenchimento de custos nestes dois módulos não é considerado.

Tabela 17 - Resumo dos custos estudados relativos à fase do fim de vida de elementos de cobertura.

Elemento	C1	C2	C3	C4
E.1	0,91 €/kg	60,81 €/ton	-	-
E.2	8,58 €/m ²	60,81 €/ton	-	-
E.3	20,42 €/m ²	90,03 €/ton	20,00 €/ton	-
E.4	18,21 €/m ³	60,81 €/ton	-	-
E.5	10,17 €/m ²	180,00 €/ton	-	90,00 €/ton
E.6	6,30 €/m ²	60,81 €/ton	-	-
E.7	5,64 €/m ²	112,50 €/ton	50,00 €/ton	-
E.8	4,67 €/m ²	18,00 €/ton	8,00 €/ton	-
E.9	8,66 €/m ²	112,50 €/ton	70,00 €/ton	-
E.10	5,39 €/m ²	112,50 €/ton	50,00 €/ton	-
E.11	3,73 €/m ²	112,50 €/ton	50,00 €/ton	-

5.2. Discussão de resultados e viabilidade de aplicação

A aplicação da metodologia de ACCV conduz a resultados dispersos, verificando-se que é difícil obter custos em unidades de medição uniformizadas para o preenchimento dos vários módulos que constituem a fase do fim de vida dos elementos de cobertura estudados. Isto deve-se à dificuldade em estimar o peso dos resíduos quando os mesmos são transportados com acondicionamentos muito diferentes, o que depende do produtor dos resíduos. Assim, cada produtor de resíduos considera o peso dos diversos tipos de resíduos de formas diferentes.

Neste estudo foi considerado o peso considerado pela empresa C para os diferentes tipos de resíduos que produz nas suas obras, e assim estimou-se o custo relativo ao transporte e ao processamento dos resíduos por unidades de peso. Por outro lado, os custos de demolição estudados para os vários elementos provenientes da informação disponível no ProNIC, apresentam-se em diversas unidades de medição, sendo considerados custos por unidades de volume para alguns elementos, custos por unidades de área, em geral para o caso de elementos de revestimento, e ainda custos por unidade de peso, no caso dos elementos de estrutura de suporte metálica.

6. Conclusões e desenvolvimentos futuros

Neste capítulo são apresentadas as conclusões e os resultados mais relevantes para esta dissertação, e de seguida são sugeridos desenvolvimentos futuros relacionados com o tema.

6.1. Conclusões

A metodologia proposta pela EN 16627 e adaptada ao caso de estudo dos edifícios escolares simplifica a análise dos custos referentes à fase do fim de vida dos elementos de cobertura dos edifícios escolares estudados, sendo que as adaptações efetuadas se prendem com a necessidade de avaliar custos já ocorridos. Por outro lado, e ao contrário de outros tipos de custos, como por exemplo os custos relativos à fase de manutenção e operação que ocorrem ao longo de muitos anos e representam uma parcela significativo do CCV, os custos relativos ao fim de vida ocorrem uma única vez no ciclo de vida dos edifícios.

Verifica-se que não foram preenchidos alguns módulos de custos relativos ao processamento dos resíduos de construção e demolição, o que se justifica por este processamento gerar receitas para o produtor dos resíduos, tal como referido nos resultados apresentados, e essas receitas não devem ser atribuídas ao módulo C3 correspondente ao processamento dos resíduos, mas ao módulo D, que prevê o preenchimento de qualquer receita respeitante ao ciclo de vida dos edifícios.

Os resultados obtidos para cada módulo de custos da fase do fim de vida de edifícios e para cada tipo de material constituinte dos elementos de cobertura são muito variáveis uma vez que se baseiam em dados provenientes de diversas fontes para os custos relativos a demolição, transporte e valorização ou eliminação dos resíduos de construção e demolição.

Em relação às informações recolhidas junto das empresas A, B, C, D, E e F, verifica-se uma grande disparidade nos custos de transporte de resíduos, correspondentes ao módulo C2 da fase do fim de vida de edifícios. Esta divergência nos custos de transporte apenas pode ser justificada pelo facto de cada uma das empresas praticar orçamentos com margens diferentes, uma vez que os custos de transporte em contentores ou camiões deveriam ser aproximados para a zona geográfica da Grande Lisboa.

A estimativa do peso por volume para o acondicionamento e transporte de cada tipo de resíduos é muito complexa visto que depende dos cuidados na demolição, remoção e acondicionamento dos materiais nos contentores ou camiões para transporte dos mesmos. Assim, os custos associados serão sempre variáveis dependendo do peso por volume considerado para cada tipo de resíduos.

Esta estimativa para o peso dos resíduos dificulta a compatibilização dos custos de transporte que em geral é considerado por unidade de volume, com os custos de processamento ou eliminação, em geral considerados em unidades de peso.

Na base de dados ProNIC a recolha de custos foi dificultada uma vez que os artigos referentes a elementos de cobertura não identificam muitas vezes o material constituinte dos revestimentos utilizados em cada escola, e visto que existe uma grande variedade de materiais de revestimento de coberturas, os custos associados poderão ser igualmente muito variados.

A amostra de 47 escolas consideradas apresenta alguma variabilidade de características, descritas de forma generalizada pela tipologia escolar em que se inserem, no entanto, a descrição mais pormenorizada para cada escola individualmente tornar-se-ia extensa e de difícil interpretação e associação aos resultados pretendidos, e assim as escolas apresentam-se agrupadas pelas tipologias em que se inserem.

Uma vez que os estudos relativos ao custos de ciclo de vida de edifícios, e em particular na fase do fim do ciclo de vida, são de origem muito recente ainda existe alguma dificuldade em encontrar dados consistentes para esta matéria, não havendo termo de comparação sólido para os mesmos pressupostos. Por outro lado, as empresas licenciadas para o transporte e a gestão de resíduos de construção e demolição não divulgam publicamente valores tabelados, ocultando assim os seus preços aos restantes operadores concorrentes.

Por vezes as empresas apresentam orçamentos elaborados caso a caso, o que dificulta uma consulta estruturada para os custos que se pretendem estudar.

Assim, este estudo é uma contribuição para a recolha e compilação destes custos, ainda que os mesmos apresentem intervalos de valores alargados.

6.2. Desenvolvimentos futuros

As propostas para desenvolvimentos futuros tendo em conta o trabalho realizado relativamente a edifícios escolares pretendem incentivar e facilitar a implementação da metodologia estudada.

As propostas de desenvolvimentos futuros passam em primeiro lugar por abranger todas as fases do ciclo de vida dos mesmos, desde a fase de pré-construção até ao seu fim de vida, e ainda considerando a possibilidade de serem geradas receitas, o que está previsto para casos como por exemplo a produção e venda de energia.

Podem ser desenvolvidos estudos que avaliem mais edifícios escolares, abrangendo todas as fases do PMEES e todas as escolas que foram alvo de intervenções ao abrigo deste programa, sendo apenas nos seus elementos de cobertura, ou alargando a análise a outros subsistemas dos edifícios, e no limite estudando os edifícios no global, considerando todos os subsistemas que os constituem.

Seria ainda interessante desenvolver uma base de dados que pudesse reunir todos estes dados económicos relativos a edifícios com tipologias e utilizações diferentes, para futura referência e para possibilitar a elaboração de estimativas dos custos do ciclo de vida mais realistas e ajustadas a cada tipo edifício.

O estudo das variáveis com maior influência para os resultados que se pretendem obter deve ser feito através de análises de sensibilidade para variáveis como a taxa de desconto, o período de análise, e custos relativos a qualquer uma das fases do ciclo de vida dos edifícios que se revelem de importância acrescida, tais como os custos de operação e manutenção que ocorrem ao longo de vários anos, podendo tomar uma grande proporção do custo total do ciclo de vida de um edifício.

Referências bibliográficas

- APA. (2018). Obtido de apambiente.pt: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=1118&sub3ref=1119>
- Arnold, C. (2016). Building Envelope Design Guide - Introduction. *Building Systems Development Inc.*
- Bakis, N., Kagiouglou, M., Aouad, G., Amaratunga, D., Kishk, M., & Al-Hajj, A. (2003). An integrated environment for Life Cycle Costing in construction. Reino Unido: School of Construction and Property Management, University of Salford; The Scott Sutherland School, The Robert Gordon University.
- Barrelas, J. A. (2012). Caracterização construtiva e do estado de degradação das escolas do ensino secundário. Caso de estudo: Edifícios pavilhonares e prefabricados. Lisboa, Portugal: Instituto Superior Técnico.
- CDW Management in Belgium. (2015). *Construction and Demolition Waste Management in Belgium*. Bélgica.
- CDW Management in France. (2015). *Construction and Demolition Waste Management in France*. França.
- CDW Management in Germany. (2015). *Construction and Demolition Waste Management in Germany*. Alemanha.
- CDW Management in Greece. (2015). *Construction and Demolition Waste Management in Greece*. Grécia.
- CDW Management in Portugal. (2015). *Construction and Demolition Waste Management in Portugal*. Portugal.
- CDW Management in Sweden. (2015). *Construction and Demolition Waste Management in Sweden*. Suécia.
- CDW Management in United Kingdom. (2015). *Construction and Demolition Waste Management in United Kingdom*. Reino Unido.
- Comissão Europeia. (2012). Obtido de Section 7 - Waste production and management: http://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/wp-content/uploads/2012/07/Section-7-Waste-production_Copenhagen.pdf
- Couto, A. B., Couto, J. P., & Teixeira, J. C. (s.d.). Desconstrução - Uma ferramenta para a sustentabilidade da construção. Guimarães, Portugal: Universidade do Minho.
- Decisão 2014/955/UE. (2014). *Decisão da Comissão de 18 de dezembro*. Bruxelas, Bélgica.

- Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de março. (2008). *Diário da República n.º 51/2008, Série I de 2008-03-12*. Lisboa, Portugal: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho. (2011). *Diário da República n.º 116/2011, Série I de 2011-06-17*. Lisboa, Portugal: Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de novembro. (2008). *Jornal Oficial da União Europeia*.
- EN 15643-4. (2012). Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 4: Framework for the assessment of economic performance. Bruxelas, Bélgica: Comité Européen de Normalisation (CEN).
- EN 16627. (2015). Sustainability of construction works - Assessment of economic performance of buildings - Calculation methods. Bruxelas, Bélgica: Comité Européen de Normalisation (CEN).
- Gerador de Preços*. (2018). Obtido de CYPE Ingenieros, S.A.: <http://www.geradordeprecos.info/>
- Institute of Asset Management. (2015). *Asset Management - an anatomy*, 3. Bristol, Reino Unido: The Institute of Asset Management (IAM).
- ISO 14040. (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Geneva, Suíça: International Organization for Standardization (ISO).
- ISO 15686-5. (2014). Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 5: Life-cycle costing. Geneva, Suíça: International Organization for Standardization (ISO).
- Jeffrey, C. (2011). Construction and demolition waste recycling: A literature review. Halifax, Nova Escócia: Dalhousie University's Office of Sustainability.
- Johnson, V. (2018). *Laxton's Building Price Book*. Normanton, Inglaterra: Laxton's Publishing Limited.
- Lassandro, P. (2003). Deconstruction case study in Southern Italy: economic and environmental assessment. Florida, EUA: National Research Council of Italy, Institute for Technologies of Construction ITC-CNR.
- Marques, B. R. (2012). Caracterização de anomalias em edifícios escolares portugueses do tipo Liceu. Métodos analíticos de estudo de anomalias construtivas. Lisboa, Portugal: Instituto Superior Técnico.
- Marrana, T. C. (2015). Avaliação económica do ciclo de vida de coberturas planas. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

- Morgado, J. N. (2012). Plano de inspeção e manutenção de coberturas de edifícios correntes. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Mulders, L. (2013). High quality recycling of construction and demolition waste in the Netherlands. Netherlands: Faculty of Geosciences - Utrecht University.
- Orçamentos e Orçamentação*. (2019). Obtido de <https://orcamentos.eu/>
- Pereira, C. I. (2012). Caracterização construtiva e do estado de degradação das escolas do ensino secundário. Caso de estudo: Escolas Industriais e Comerciais. Lisboa, Portugal: Instituto Superior Técnico.
- Portal do INE*. (2019). Obtido de https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE
- Portal Parque Escolar*. (2019). Obtido de <https://www.parque-escolar.pt/pt/>
- Rato, V., & Brito, J. d. (2003). Exigências funcionais das coberturas inclinadas. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Rodrigues, F. (2009). Avaliação da qualidade dos edifícios de habitação após ocupação em Portugal: Uma proposta. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*. Vila Real, Portugal: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Salvado, A. F., & Couto, P. (2015). Análise estatística de preços de trabalhos de reabilitação de edifícios escolares nas obras da Fase 3 da Parque Escolar E.P.E. *Relatório 282/2015 - DED/NEG*. Lisboa, Portugal: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).
- Salvado, A. F., Couto, P., Raposo, S., & Gonçalves, L. (2014). Indicadores para obras de reabilitação de edifícios escolares - Aplicação às obras da Fase 2 da Parque Escolar E.P.E. inseridas no ProNIC pelo LNEC. *Relatório 51/2014 - DED/NEG*. Lisboa, Portugal: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).
- Schade, J. (2007). Life cycle cost calculation models for buildings. Luleå, Suécia: Luleå University of Technology.
- The Danish Environmental Protection Agency, Ministry of Environment and Food of Denmark. (2016). Waste Statistics 2014. Dinamarca.
- The Technical and Environmental Administration, City of Copenhagen. (Março de 2018). Resource and Waste Management Plan. Copenhaga, Dinamarca.

Anexos

Anexo A – Códigos LER relativos a RCD (Decisão 2014/955/UE, 2014)

Anexo B – Operações de eliminação e de valorização de RCD (Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho, 2011)

Anexo C – Transporte de resíduos inertes com contentor (Gerador de Preços, 2018)

Anexo D.1 – Custos reais de desconstrução (módulo C1) por escola e por elemento (2010)

Anexo D.2 – Custos nominais de desconstrução (módulo C1) por escola e por elemento (2018)

Anexo A – Códigos LER relativos a RCD (Decisão 2014/955/UE, 2014)

17	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DE DEMOLIÇÃO (INCLUINDO SOLOS ESCAVADOS DE LOCAIS CONTAMINADOS)
17 01	Betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos
17 01 01	betão
17 01 02	tijolos
17 01 03	ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos
17 01 06	misturas ou frações separadas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos, contendo substâncias perigosas
17 01 07	misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos, não abrangidas em 17 01 06
17 02	Madeira, vidro e plástico
17 02 01	madeira
17 02 02	vidro
17 02 03	plástico
17 02 04	vidro, plástico e madeira contendo ou contaminados com substâncias perigosas
17 03	Misturas betuminosas, alcatrão e produtos de alcatrão
17 03 01	misturas betuminosas contendo alcatrão
17 03 02	misturas betuminosas não abrangidas em 17 03 01
17 03 03	alcatrão e produtos de alcatrão
17 04	Metais (incluindo ligas metálicas)
17 04 01	cobre, bronze e latão
17 04 02	alumínio
17 04 03	chumbo
17 04 04	zinco
17 04 05	ferro e aço
17 04 06	estanho
17 04 07	misturas de metais
17 04 09	resíduos metálicos contaminados com substâncias perigosas
17 04 10	cabos contendo hidrocarbonetos, alcatrão ou outras substâncias perigosas
17 04 11	cabos não abrangidos em 17 04 10
17 05	Solos (incluindo solos escavados de locais contaminados), rochas e lamas de dragagem
17 05 03	solos e rochas, contendo substâncias perigosas
17 05 04	solos e rochas não abrangidos em 17 05 03
17 05 05	lamas de dragagem contendo substâncias perigosas
17 05 06	lamas de dragagem não abrangidas em 17 05 05
17 05 07	balastros de linhas de caminho-de-ferro, contendo substâncias perigosas
17 05 08	balastros de linhas de caminho-de-ferro não abrangidos em 17 05 07
17 06	Materiais de isolamento e materiais de construção, contendo amianto
17 06 01	materiais de isolamento, contendo amianto
17 06 03	outros materiais de isolamento contendo ou constituídos por substâncias perigosas
17 06 04	materiais de isolamento não abrangidos em 17 06 01 e 17 06 03
17 06 05	materiais de construção contendo amianto
17 08	Materiais de construção à base de gesso
17 08 01	materiais de construção à base de gesso contaminados com substâncias perigosas
17 08 02	materiais de construção à base de gesso não abrangidos em 17 08 01

17 09	Outros resíduos de construção e demolição
17 09 01	resíduos de construção e demolição contendo mercúrio
17 09 02	resíduos de construção e demolição contendo PCB (por exemplo vedantes com PCB, revestimentos de piso à base de resinas com PCB, envidraçados vedados contendo PCB, condensadores com PCB)
17 09 03	outros resíduos de construção e demolição (incluindo misturas de resíduos) contendo substâncias perigosas
17 09 04	misturas de resíduos de construção e demolição não abrangidas em 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03

Anexo B – Operações de valorização e de eliminação de RCD (Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho, 2011)

Operações de valorização de RCD	
R1	Utilização principal como combustível ou outro meio de produção de energia.
R2	Recuperação/regeneração de solventes.
R3	Reciclagem/recuperação de substâncias orgânicas não utilizadas como solventes (incluindo digestão anaeróbia e ou compostagem e outros processos de transformação biológica).
R4	Reciclagem/recuperação de metais e compostos metálicos.
R5	Reciclagem/recuperação de outros materiais inorgânicos.
R6	Regeneração de ácidos ou bases.
R7	Valorização de componentes utilizados na redução da poluição.
R8	Valorização de componentes de catalisadores.
R9	Refinação de óleos e outras reutilizações de óleos.
R10	Tratamento do solo para benefício agrícola ou melhoramento ambiental.
R11	Utilização de resíduos obtidos a partir de qualquer das operações enumeradas de R1 a R10.
R12	Troca de resíduos com vista a submetê-los a uma das operações enumeradas de R1 a R11.
R13	Armazenamento de resíduos destinados a uma das operações enumeradas de R1 a R12 (com exclusão do armazenamento temporário, antes da recolha, no local onde os resíduos foram produzidos).

Operações de eliminação de RCD	
D1	Depósito no solo, em profundidade ou à superfície (por exemplo, em aterros, etc.).
D2	Tratamento no solo (por exemplo, biodegradação de efluentes líquidos ou de lamas de depuração nos solos, etc.).
D3	Injeção em profundidade (por exemplo, injeção de resíduos por bombagem em poços, cúpulas salinas ou depósitos naturais, etc.).
D4	Lagunagem (por exemplo, descarga de resíduos líquidos ou de lamas de depuração em poços, lagos naturais ou artificiais, etc.).
D5	Depósitos subterrâneos especialmente concebidos (por exemplo, deposição em alinhamentos de células que são seladas e isoladas umas das outras e do ambiente, etc.).
D6	Descarga para massas de água, com exceção dos mares e dos oceanos.
D7	Descargas para os mares e ou oceanos, incluindo inserção nos fundos marinhos.
D8	Tratamento biológico não especificado em qualquer outra parte do presente anexo que produza compostos ou misturas finais rejeitados por meio de qualquer das operações enumeradas de D1 a D12.
D9	Tratamento físico-químico não especificado em qualquer outra parte do presente anexo que produza compostos ou misturas finais rejeitados por meio de qualquer das operações enumeradas de D1 a D12 (por evaporação, secagem, calcinação, etc.).
D10	Incineração em terra.
D11	Incineração no mar.
D12	Armazenamento permanente (por exemplo, armazenamento de contentores numa mina, etc.).
D13	Mistura anterior à execução de uma das operações enumeradas de D1 a D12.
D14	Reembalagem anterior a uma das operações enumeradas de D1 a D13.
D15	Armazenamento antes de uma das operações enumeradas de D1 a D14 (com exclusão do armazenamento temporário, antes da recolha, no local onde os resíduos foram produzidos).

Anexo C – Transporte de resíduos inertes com contentor (Gerador de Preços, 2018)

	Tipo RCD	€/contentor							Média [€/m³]
		1,5 m³	2,5 m³	3,5 m³	4,2 m³	5 m³	6 m³	7 m³	
Obra nova	Betões, argamassas e pré-fabricados	48,15 €	56,18 €	64,19 €	72,23 €	80,25 €	88,27 €	96,29 €	19,23 €
	Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos	48,15 €	56,18 €	64,19 €	72,23 €	80,25 €	88,27 €	96,29 €	19,23 €
	Plásticos	78,25 €	91,28 €	104,33 €	117,37 €	130,40 €	143,45 €	156,50 €	31,25 €
	Papel e cartão	78,25 €	91,28 €	104,33 €	117,37 €	130,40 €	143,45 €	156,50 €	31,25 €
	Madeiras	78,25 €	91,28 €	104,33 €	117,37 €	130,40 €	143,45 €	156,50 €	31,25 €
	Vidros	78,25 €	91,28 €	104,33 €	117,37 €	130,40 €	143,45 €	156,50 €	31,25 €
	Metais	78,25 €	91,28 €	104,33 €	117,37 €	130,40 €	143,45 €	156,50 €	31,25 €
	Mistura sem classificação	96,29 €	112,35 €	128,40 €	144,46 €	160,50 €	176,55 €	192,60 €	38,46 €
	Terras	46,75 €	54,54 €	62,32 €	70,13 €	77,91 €	85,70 €	93,49 €	18,67 €

	Tipo RCD	€/contentor							Média [€/m³]
		1,5 m³	2,5 m³	3,5 m³	4,2 m³	5 m³	6 m³	7 m³	
Reabilitação	Betões, argamassas e pré-fabricados	65,25 €	76,13 €	87,00 €	97,87 €	108,75 €	119,62 €	130,49 €	26,06 €
	Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos	65,25 €	76,13 €	87,00 €	97,87 €	108,75 €	119,62 €	130,49 €	26,06 €
	Plásticos	106,03 €	123,69 €	141,38 €	159,05 €	176,72 €	194,39 €	212,07 €	42,35 €
	Papel e cartão	106,03 €	123,69 €	141,38 €	159,05 €	176,72 €	194,39 €	212,07 €	42,35 €
	Madeiras	106,03 €	123,69 €	141,38 €	159,05 €	176,72 €	194,39 €	212,07 €	42,35 €
	Vidros	106,03 €	123,69 €	141,38 €	159,05 €	176,72 €	194,39 €	212,07 €	42,35 €
	Metais	106,03 €	123,69 €	141,38 €	159,05 €	176,72 €	194,39 €	212,07 €	42,35 €
	Mistura sem classificação	130,49 €	152,25 €	174,00 €	195,75 €	217,49 €	239,25 €	261,00 €	52,12 €
	Terras	54,51 €	63,60 €	72,69 €	81,76 €	90,85 €	99,94 €	109,03 €	21,77 €

Anexo D.1 – Custos reais de desconstrução (módulo C1) recolhidos no ProNIC por escola e por elemento (2010)

	Estrutura de suporte metálica	Estrutura de suporte metálica	Estrutura de suporte em madeira	Estrutura de suporte mista	Chapas de fibrocimento com amianto	Chapas metálicas	Chapas translúcidas	Telhas cerâmicas
Escola	[€/kg]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ³]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]
1	0,50				4,00			
2	0,50				4,60			
3								2,85
4					16,00			
5								
6					5,00			
7					48,00			
8					5,10		7,10	
9					4,60			
10								2,05
11	1,00	9,00				15,00	10,00	
12			12,00					5,00
13	1,00			15,00	10,00			
14								
15			25,00		25,00			5,00
16					5,70			
17					10,37			
18					13,10	7,50		
19	13,47				16,40	7,01		
20					4,60			
21					11,26			
22					16,00			
23	1,70							
24					7,20	8,50	9,00	

	Estrutura de suporte metálica	Estrutura de suporte metálica	Estrutura de suporte em madeira	Estrutura de suporte mista	Chapas de fibrocimento com amianto	Chapas metálicas	Chapas translúcidas	Telhas cerâmicas
Escola	[€/kg]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ³]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]
25	0,50						5,00	
26					5,10			
27					20,00			
28								7,00
29		6,55						
30					4,60			
31					4,60	4,60	4,60	
32				18,00				
33	0,50							
34	1,00				4,60		4,60	
35	1,00				8,20		4,60	
36	0,50				15,00			
37	0,50				7,50		2,50	
38					7,50			3,50
39	0,50				6,90		6,90	
40					6,00			
41	1,50				4,60	4,60	4,60	
42					11,98		4,48	
43					11,25			
44					6,00	6,00		
45					12,00	2,85	2,85	
46						4,60		
47								

Escola	Outros revesti- mentos (vários)	Impermeabilizações	Isolamentos	
	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ³]
1				
2		1,48	4,44	
3				
4				
5				
6				
7				
8		5,60	3,50	
9	3,20	5,20		
10				
11		10,00		
12			5,00	
13	10,00			
14	3,62	6,20	3,85	
15				
16				
17				
18	18,00			
19		3,36		2,14
20				
21		3,44		
22				
23				
24		4,95		
25				
26	3,91			
27				
28		7,00		
29				
30				
31				
32				
33		18,00		
34		1,00		
35				
36				
37		10,00		
38				
39				
40		3,50		
41		5,00	1,00	
42		5,15		
43	1,20	4,14		
44		4,00		
45		3,00	2,50	
46				
47	15,00			

Anexo D.2 – Custos nominais de desconstrução (módulo C1) recolhidos no ProNIC por escola e por elemento (2018)

	Estrutura de suporte metálica	Estrutura de suporte metálica	Estrutura de suporte em madeira	Estrutura de suporte mista	Chapas de fibrocimento com amianto	Chapas metálicas	Chapas translúcidas	Telhas cerâmicas
Escola	[€/kg]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ³]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]
1	0,55				4,42			
2	0,55				5,08			
3								3,15
4					17,66			
5								
6					5,52			
7					52,98			
8					5,63		7,84	
9					5,08			
10								2,26
11	1,10	9,93				16,56	11,04	
12			13,25					5,52
13	1,10			16,56	11,04			
14								
15			27,60		27,60			5,52
16					6,29			
17					11,45			
18					14,46	8,28		
19	14,87				18,10	7,74		
20					5,08			
21					12,43			
22					17,66			
23	1,88							
24					7,95	9,38	9,93	

	Estrutura de suporte metálica	Estrutura de suporte metálica	Estrutura de suporte em madeira	Estrutura de suporte mista	Chapas de fibrocimento com amianto	Chapas metálicas	Chapas translúcidas	Telhas cerâmicas
25	0,55						5,52	
26					5,63			
27					22,08			
28								7,73
29		7,23						
30					5,08			
31					5,08	5,08	5,08	
32				19,87				
33	0,55							
34	1,10				5,08		5,08	
35	1,10				9,05		5,08	
36	0,55				16,56			
37	0,55				8,28		2,76	
38					8,28			3,86
39	0,55				7,62		7,62	
40					6,62			
41	1,66				5,08	5,08	5,08	
42					13,22		4,95	
43					12,42			
44					6,62	6,62		
45					13,25	3,15	3,15	
46						5,08		
47								

Escola	Outros revesti- mentos (vários)	Impermeabilizações	Isolamentos	
	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ³]
1				
2		1,63	4,90	
3				
4				
5				
6				
7				
8		6,18	3,86	
9	3,53	5,74		
10				
11		11,04		
12			5,52	
13	11,04			
14	4,00	6,84	4,25	
15				
16				
17				
18	19,87			
19		3,71		2,36
20				
21		3,80		
22				
23				
24		5,46		
25				
26	4,32			
27				
28		7,73		
29				
30				
31				
32				
33		19,87		
34		1,10		
35				
36				
37		11,04		
38				
39				
40		3,86		
41		5,52	1,10	
42		5,68		
43	1,32	4,57		
44		4,42		
45		3,31	2,76	
46				
47	16,56			

